

METODO PARA DETERMINAR EL TAMAÑO OPTIMO DE UNIDADES DE MUESTREO EN PLANTACIONES FORESTALES

J. Valerio (*)

Se plantea el problema de encontrar el tamaño óptimo de la unidad de muestreo —parcela— para evaluar plantaciones forestales. Se propone una metodología de evaluación de parcelas que permitan, para fines de determinar el tamaño óptimo, simular diferentes dimensiones. Del análisis de la información de estas parcelas se obtiene que, en unidades de registro desde cuatro y hasta 144 árboles, es posible estimar los parámetros de la media y de la varianza del diámetro. Se plantea que la parcela corresponde a una muestra de la población por lo que se debe definir en función de un número de árboles y no de una superficie predeterminada. Se considera que una parcela de 49 árboles es adecuada para estimar parámetros en plantaciones forestales.

INTRODUCCION

Para que el proceso de manejo forestal sea satisfactorio, es necesario que exista un adecuado flujo de información, desde el medio hacia las instancias de planificación así como de éstas a los ejecutores. La información es necesaria tanto en la fase de toma de decisiones, en la identificación de los problemas, en el planteamiento de opciones, así como en las fases de ejecución y control. Existe una relación entre el costo de la información y su valor. Se deben buscar las situaciones óptimas de manera que se obtenga la mayor cantidad y calidad de información al menor costo posible.

Uno de los tipos de información más necesaria en la planificación del uso de los recursos forestales es el referente a indicadores silviculturales, diámetro, altura, área basal, volumen, IDR, S% y crecimiento, entre otros. Para la obtención de esta información es necesario realizar mediciones. Si se midieran todos los árboles de la plantación se podrían determinar los parámetros de las variables de dicha población. Esto sería muy preciso pero demasiado caro, por lo que se recurre al muestreo de la población por medio de parcelas. A partir de los resultados del muestreo se estiman los parámetros. Esto es más barato pero los resultados poseen cierto grado de imprecisión, expresado como error de muestreo. Para disminuirlo se incrementa el tamaño de la muestra, referida al número de unidades de muestreo. A mayor tamaño de muestra, mayor costo y mayor precisión por lo que hay que tomar la decisión de cuánto se está dispuesto a pagar por un determinado nivel de precisión. Existe la posibilidad de disminuir los costos reduciendo el tamaño de cada una de las unidades de muestreo, siempre y cuando esta reducción no altere la exactitud para estimar los parámetros estadísticos de las variables en estudio (Steel y Torrie 1980).

En parcelas grandes se sabe que existe mayor variabilidad, dadas las características de heterogeneidad de los suelos y del arbolado. Esta

(*) Profesor del Departamento de Ingeniería Forestal Instituto Tecnológico de Costa Rica.

El objetivo del presente trabajo es plantear y validar una metodología para estimar el tamaño óptimo de parcelas para determinar parámetros poblacionales en plantaciones forestales.

heterogeneidad se expresa como variabilidad dentro de la parcela y es identificable cuando se hace un estudio árbol por árbol, pero cuando se hace comparación de medias de parcelas esta variabilidad se confunde con el error, perdiéndose precisión en los estudios. Por otra parte si se usa algún rasgo biofísico de la parcela como covariable en el análisis de la información individual de los árboles, por ejemplo la pendiente, se perderá correspondencia al aumentar el tamaño de la parcela debido a que ese rasgo variará dentro de la misma. Una parcela demasiado pequeña, bien puede no representar la situación promedio de la población o perder la representatividad como resultado de los raleos u otra causa de disminución de la población de árboles.

El objetivo del presente trabajo es plantear y validar una metodología para estimar el tamaño óptimo de parcelas para determinar parámetros poblacionales en plantaciones forestales.

MATERIALES Y METODO

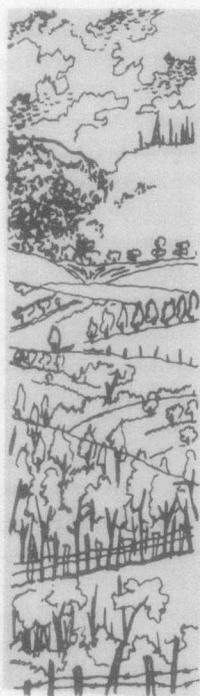
Para determinar el tamaño óptimo se propuso establecer parcelas de dimensión variable. Estas consisten en parcelas de 144 árboles numerados de tal forma que se puede evaluar el efecto del tamaño de la parcela en la estimación de parámetros estadísticos de la población, mediante el incremento del número de los árboles por analizar. Es importante destacar que en el campo los árboles correspondientes a los diferentes tamaños de unidad de muestreo se ubican formando parcelas cuadradas. La numeración de los árboles y su distribución es la que se muestra en el Cuadro 1.

La numeración de los árboles crece en forma espiralada del centro hacia la periferia, esto permite analizar parcialmente la masa, simulando parcelas de diferente tamaño.

Para el análisis se parte de los primeros cuatro individuos, luego 9, 16, 25,

CUADRO 1.
Numeración de los árboles y su distribución en la parcela.

111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122
110	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	123
109	72	43	44	45	46	47	48	49	50	83	124
108	71	42	21	22	23	24	25	26	51	84	125
107	70	41	20	7	8	9	10	27	52	85	126
106	69	40	19	6	1	2	11	28	53	86	127
105	68	39	18	5	4	3	12	29	54	87	128
104	67	38	17	16	15	14	13	30	55	88	128
103	66	37	36	35	34	33	32	31	56	89	130
102	65	64	63	62	61	60	59	58	57	90	131
101	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91	132
144	143	142	141	140	139	138	137	136	135	134	133



etc. Si algún árbol hubiera muerto o hubiera sido eliminado en un raleo no se toma en cuenta para estimar el parámetro. Para el procesamiento de la información de este tipo de parcela se debe contemplar una progresión cuadrática del tamaño de las unidades de análisis y el hecho de que cada parcela, a partir de la segunda, comprende a la anterior.

Para validar la metodología se establecieron dos parcelas de 144 árboles en una plantación de ciprés. Para evaluar la aplicabilidad de las parcelas de muestreo de la dimensión escogida se estableció un sistema de parcelas en la finca forestal Los Lotes, Dulce Nombre, La Unión, cartago.

RESULTADOS

Se establecieron dos parcelas de este tipo en una plantación de ciprés en las que se observan resultados similares. Se presentan los estimadores de la media, su desviación típica, límites de confianza y el porcentaje de error, para la variable diámetro (en milímetros), medida a la altura del pecho, correspondientes a las

diferentes dimensiones de una de las parcelas (Cuadro 2 y Figura 1). Se ha estimado el intervalo de confianza de la media para comparar las estimaciones de este parámetro en cada una de las posibles dimensiones de parcela. Se ha escogido un nivel de confianza de 90 por ciento para no ampliar demasiado el intervalo correspondiente.

Al analizar las medias dentro de sus intervalos de confianza tanto numéricamente (Cuadro 2) como en su representación gráfica (Figura 1) se evidencia que no existe diferencia significativa entre las medias del diámetro estimadas en parcelas de las diferentes dimensiones. Si se acepta la parcela de 144 árboles, que comprende a las demás, como población y por tanto su media como parámetro, es evidente que las medias de las parcelas menores no son diferentes al parámetro pues éste valor está comprendido en el intervalo de confianza de cada una de ellas.

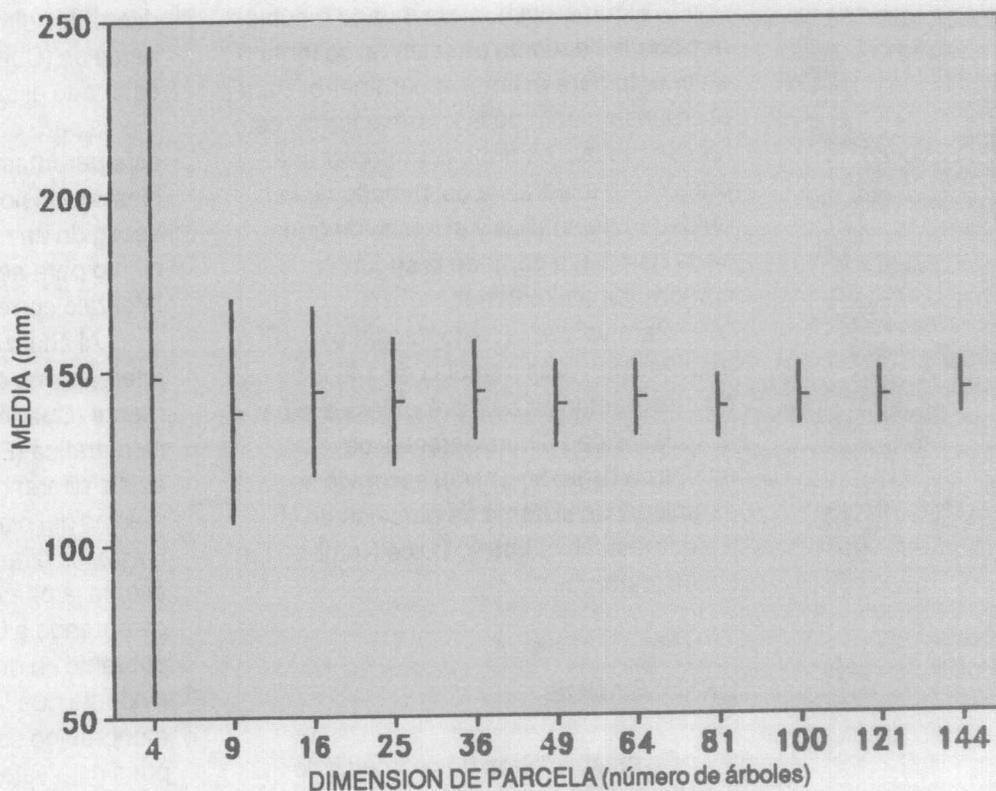
En el Cuadro 2 se presentan las desviaciones y el error típico de la media y en la Figura 2 su representación gráfica. Se evidencia que a partir de la parcela de 36 árboles, éstos indicadores se compor-

CUADRO 2. Estimadores de la media, desviación típica, intervalos de confianza y porcentaje de error del diámetro en una parcela de dimensión variable.

Tamaño parcela	Estimador de media	Error Tip. de media	Límite inferior	Límite superior	Error %
4	148,00	21,96	53,50	242,50	63,85
9	138,14	12,83	106,76	169,53	22,72
16	144,38	10,99	120,44	168,33	16,58
25	141,19	8,52	123,41	158,97	12,59
36	144,13	6,61	130,62	157,64	9,37
49	139,83	5,96	127,77	151,88	8,62
64	141,76	5,23	131,24	152,28	7,42
81	138,98	4,54	129,89	148,07	6,54
100	142,28	4,38	133,59	150,98	6,11
121	141,72	4,04	133,69	149,76	5,67
144	144,47	3,69	137,16	151,78	5,06

*****PROGRAMA J. VALERIO***

FIGURA 1.
Medias del
diámetro e
intervalos de
confianza (90%)
para la variable
diámetro en una
parcela de
dimensión
variable.



tan en forma similar, esto es sin cambios bruscos como lo hacen en las dimensiones menores.

A partir de las mediciones en parcelas, además del estimador de la media, se calcula el de la varianza. Se ha realizado la prueba de Bartlett (Steel & Torie, 1980) para probar si la varianza estimada en cada una de las diferentes dimensiones de parcela muestra homogeneidad. Los resultados se presentan en el Cuadro 3.

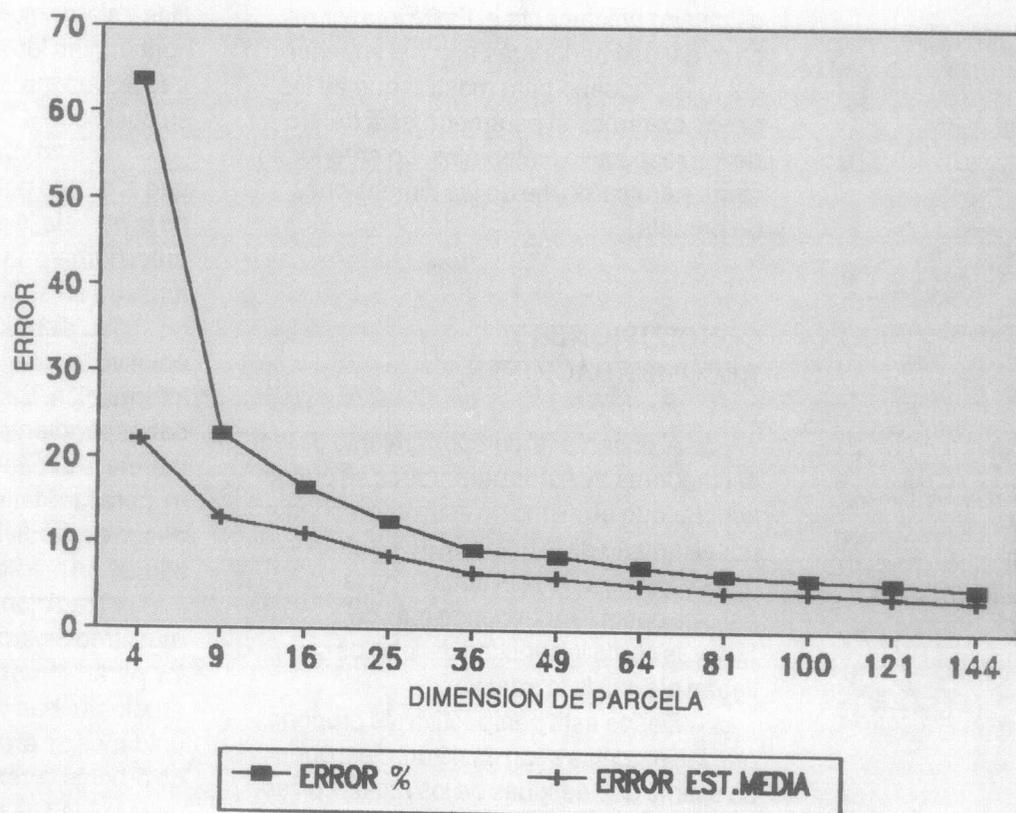
La X^2 calculada corregida es de 0,58 mientras que la tabulada correspondiente es de 3,94 por lo que se acepta la homogeneidad de las varianzas. Una vez más, si se acepta como población a la parcela de 144 árboles y como parámetro a la varianza calculada en ella, habría que verificar si ese valor está comprendido dentro de cada uno de los respectivos intervalos de confianza de la varianza estimada en cada parcela. Para el cálculo

del intervalo se parte del siguiente postulado (Steel & Torie, 1980):

$$P \left| \frac{S^2(N-1)}{X^2(0,025)} < \sigma^2 < \frac{S^2(N-1)}{X^2(0,975)} \right| = 0,95$$

En el caso del ejemplo se tiene que el valor del estimador de la varianza más pequeño es de 1151,48 y corresponde a la estimada en la parcela de 9 árboles (Cuadro 2), en ese caso el valor de $S^2(n-1)$, suma de cuadrados, es de 6908,86 y el valor de $X^2(0,975)$ con 6 grados de libertad es de 1,24 por lo que el límite superior del intervalo es 5571. El valor más grande es 1569,59 que corresponde al estimado en la parcela de 16 árboles, en éste caso la suma de cuadrados es de 18835,06 y el valor de $X^2(0,025)$ correspondiente a 12 grados de libertad es de 23,34 por lo que el límite inferior del intervalo es 806,98. Se ha

FIGURA 2. Error típico y porcentual respecto a la dimensión de parcela.

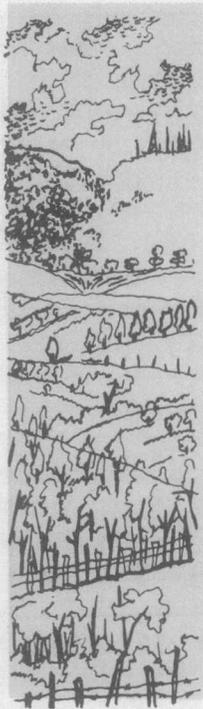


CUADRO 3. Resultado de la prueba de Bartlett para una parcela de dimensión variable.

Tamaño parcela	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Estimador varianza	Logaritmo varianza	Log varianza por GI	Inverso GI
4	2	2894,00	1447,00	7,27725	14,55450	0,50000
9	6	6908,86	1151,48	7,04880	42,29280	0,16667
16	12	18835,06	1569,59	7,35857	88,30282	0,08333
25	20	30507,25	1525,36	7,32999	146,59980	0,05000
36	30	40687,50	1356,25	7,21248	216,37440	0,03333
49	39	55487,82	1422,76	7,26036	283,15390	0,02564
64	49	66995,13	1367,25	7,22056	353,80720	0,02041
81	61	78111,00	1280,51	7,15501	436,45580	0,01639
100	77	115191,90	1496,00	7,31055	562,91230	0,01299
121	93	142894,90	1536,50	7,33727	682,36570	0,01075
144	110	166267,80	1511,53	7,32087	805,29610	0,00909
TOTALES:	499	726661,00			3632,11600	0,92861
GLOBAL:			1456,23	7,28361	3634,52100	

La Chi calculada es de 0,5876647 y la varianza homogénea

PROGRAMA*J.VALERIO



calculado únicamente el límite inferior del caso del estimador más alto y el superior del más pequeño para mostrar que en los casos extremos el parámetro está dentro de los respectivos intervalos. Lo anterior es cierto para cada una de las dimensiones de parcela.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al observar el comportamiento de los estimadores de estos parámetros se puede aceptar que el mismo no está determinado por el tamaño de la unidad de muestreo y que la optimización del tamaño de la parcela por utilizar depende más de factores como la cantidad de árboles que llegan al final de la rotación.

Desde esta perspectiva, se propone que las parcelas sean de 49 árboles, pues se estimó que después de los raleos correspondientes quedarían entre cinco y diez árboles y que existiría mucho menos variabilidad entre ellos por el efecto homogeneizador de los raleos. Una muestra de esa magnitud sería válida para estimar parámetros de la población en el futuro. Se pretende usar una unidad de muestreo válida pero pequeña de manera que se pueda levantar una mayor cantidad de muestras dados recursos disponibles limitados.

Para la estimación de parámetros se propone una parcela formada por un grupo de 49 posibles árboles, distribuidos en siete

filas y siete columnas. En la misma se contemplan los árboles muertos o raleados y se les asigna el número correspondiente a su posición.

Los árboles se numeran de manera que el rumbo norte, tomado desde el centro de la parcela, siempre se ubica entre el árbol número 1 y el número 7, como se muestra en el Cuadro 4.

La distribución indicada tiene como objetivo facilitar el levantamiento de la información. Se debe pintar el número correspondiente a cada árbol, así como marcar la circunferencia a la altura de 1,30 m, para facilitar su reubicación y disminuir el riesgo de medir los diámetros a diferentes alturas en mediciones sucesivas.

Tradicionalmente las unidades de muestreo o parcelas utilizadas para estimar los parámetros de las poblaciones de árboles se han conceptualizado como unidades de área que contienen un número de árboles determinado por la densidad y la uniformidad de la plantación. Este concepto puede llevar al error de que el área no corresponda con la superficie que requirieron esos árboles para crecer y al hacer las extrapolaciones de los estimadores referidos al área, tales como área basal, IDR, etc., se introduce un sesgo que puede ser importante. En realidad la muestra corresponde a la población de árboles y no al terreno.

Una vez definido el grupo de árboles que constituirá la muestra se levanta, con cinta y brújula, la poligonal formada por el punto intermedio entre cada uno de los árboles de vértice y sus tres vecinos más cercanos, para determinar el área en la que crecieron los árboles. Se anota también la magnitud de la pendiente, en porcentaje y el acimut de la misma. Esta información podría contribuir a explicar diferencias entre parcelas.

CUADRO 4.

N						
1	2	3	4	5	6	7
14	13	12	11	10	9	8
15	16	17	18	19	20	21
28	27	26	25	24	23	22
29	30	31	32	33	34	35
42	41	40	39	38	37	36
43	44	45	46	47	48	49

REFERENCIA

Stell, R. y Torrie, J. 1980. *Principales and procedures of statistics: a biological approach*. McGraw-Hill. New York. 633p.