

ARTICULOS

Aplicación del sistema de muestreo 3P sobre parcelas de área fija en un bosque de *Nothofagus pumilio* en la provincia del Chubut

Application of 3P Sampling System over fixed plots in a *Nothofagus pumilio* forest in Chubut Province

C.D.O.: 524.63

FRANCISCO ANDRES CARABELLI

Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, C.C. 238,
Esquel, Pcia. del Chubut, República Argentina.

SUMMARY

The 3P Sampling -Probability Proportional to Prediction- combined with a fixed plot sampling which used a simple systematic design, was applied experimentally. A Silvicultural Management Schedule for lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) was used at Lago Fontana area, Chubut Province. The main object of the study was to apply a mixed sampling technique that would project the major advantages of both sampling systems in small and medium size inventories. The results indicate that it is technically feasible and economically convenient to implement this technique, while more applications are essential for its consolidation.

RESUMEN

En forma experimental se aplicó el Sistema de Muestreo 3P -Probabilidad Proporcional a la Predicción-, combinado con un muestreo con parcelas de área fija que utilizó un diseño sistemático simple. Con este último se elaboró un Plan de Manejo Silvícola en un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser, en la región de Lago Fontana, Provincia del Chubut. El objeto principal del presente estudio fue el de ensayar una técnica mixta de inventario que resaltase las principales ventajas de ambos sistemas de muestreo para inventarios a pequeña y mediana escala. Los resultados permiten concluir que es técnicamente factible y económicamente conveniente aplicar esta técnica de muestreo, aun cuando es indispensable consolidarla con nuevas aplicaciones.

1. INTRODUCCION

La preparación de un plan de manejo para pequeñas y medianas superficies boscosas -entre 100 y 1.000 ha, principalmente en bosques nativos, implica actualmente un importante esfuerzo laboral y económico durante un período de tiempo prolongado. La aplicación de sistemas de muestreo tradicionales permite obtener valiosa información dasométrica y silvícola, pero involucra la inversión antes mencionada. Esta situación dificulta y muchas veces impide la puesta en marcha de estudios de esta naturaleza y consecuentemente del manejo del bosque; mientras tanto, la teoría que

respalda al Sistema de Muestreo 3P destaca tres características particularmente atractivas del mismo: es rápido, económico y confiable desde el punto de vista de la precisión estadística. Iles (1992) señala, sin embargo, que el uso del muestreo 3P está actualmente restringido a tres situaciones básicas: la primera, para inventarios de áreas pequeñas, en los cuales el acceso a cada árbol no representa un problema; la segunda, para inventarios de marcación donde de todos modos hay que visitar cada árbol y, finalmente, para inventarios totales o 100%. Para este último caso, expresa que el Comité de Manejo de Tierras de EE.UU. está abocado a esta política.

En lo que supone una prueba de experimentación y adiestramiento en la aplicación de una técnica mixta se utilizó el Sistema de Muestreo 3P -Probabilidad Proporcional a la Predicción-, en combinación con las parcelas de área fija y un tipo de diseño del muestreo convencional. Con este último se realizó un inventario silvícola para elaborar un plan de manejo en un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser, en la zona de Lago Fontana, en la provincia de Chubut. El objetivo esencial del estudio fue el de intentar combinar las características más relevantes de ambos sistemas de muestreo en uno mixto que fuese más eficaz en la obtención de información silvodosométrica a costos razonablemente bajos, para aplicarlo en inventarios de pequeña y mediana escala.

2. AREA DE ESTUDIO

La zona boscosa que abarcó el estudio comprende una superficie total de 86 ha y se ubica geográficamente entre las coordenadas 44° 26' L.S. y 71° 34' L.O. (según Carta IGM 4572-16), por encima de los 1.000 m s.n.m., con exposición preponderante al noreste. Topográficamente es una zona de media ladera baja sobre la margen sur del Lago Fontana. El terreno es irregular, con pendientes suaves a marcadas, que oscilan entre 0° y 10°.

El clima es frío moderado a subtemplado y húmedo. La media anual de precipitación es de 900 mm, distribuida en forma relativamente uniforme durante todo el año. La media anual de temperatura es de 7.7° C. Los vientos dominantes son del cuadrante O-SO, constantes durante todo el año.

Los suelos que desarrollan en la zona son pardos forestales; predominan en las laderas bajas de los valles y generalmente son de textura francoarenosa. En las áreas más elevadas, por lo general desprovistas de vegetación o con muy escasa presencia, hay predominio de litosoles y suelos esqueléticos, de textura gruesa y poco profundos.

Las especies arbóreas presentes son lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser y ñire (*Nothofagus antarctica* (Forst.) Oerst.). El sotobosque arbustivo y herbáceo es muy abundante en especies y en su mayoría no sobrepasa el metro de altura.

El bosque de lenga productivo de la unidad de manejo tiene una superficie de 59 ha y se halla en

fase de crecimiento óptimo-envejecimiento, con una cobertura media del dosel de 80%-100%. Estructuralmente es disetáneo, con presencia de tres o más estratos de altura. El sitio, clasificado por clases de calidad según la altura dominante, presenta una altura media que oscila entre 15-17 metros, dentro de un rango cuyos extremos son 11 metros (Clase de Calidad IV) y 22 metros (Clase de Calidad II).

3. METODOS

El inventario silvícola de la masa se realizó a través de un diseño sistemático simple -pues la pequeña escala de las fotos aéreas (1:63.000, aproximadamente) no permitió la estratificación previa-. Se instalaron 51 parcelas circulares de 300 m² de superficie unitaria. El tamaño óptimo de parcela se seleccionó tras realizar un premuestreo, instalando parcelas concéntricas de 100 m², 200 m² y 300 m², en las que se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los árboles presentes para calcular el coeficiente de variabilidad en área basal. La intensidad de muestreo fue de 1.8%.

La estimación de volumen maderable se efectuó aplicando una metodología en dos etapas: en la etapa de campo se aplicó una clasificación visual, en la que, a partir del seccionamiento teórico del fuste del árbol en pie, se realizó una evaluación sanitaria y de forma de todos los árboles con DAP mayor de 30 cm. Posteriormente, sobre los árboles muestra volteados y trozados se corrigió la clasificación preliminar, evaluando internamente la presencia y grado de afectación de cada troza. La segunda etapa, de gabinete, se describe en el capítulo de resultados.

El inventario con el sistema 3P utilizó la misma red de parcelas circulares del anterior. La metodología para su implementación fue la siguiente:

- a) *Antes del trabajo de campo:*
 - a1) Se seleccionó como variable a estimar el DAP².
 - a2) Se predijeron los valores de DAP y frecuencia/ha promedios para la superficie a muestrear, basados en un reconocimiento previo del terreno.
 - a3) Se multiplicó el DAP promedio por la frecuencia estimada promedio para la superficie que representaba el tamaño de la muestra del inventario silvícola.

En este punto es importante aclarar que se ha seguido un procedimiento distinto al que men-

ciona la teoría del Muestreo 3P, pues en ella este valor se obtiene como la sumatoria de las estimaciones predichas, partiendo de la aplicación del propio sistema, es decir, habiendo estimado el valor de la variable elegida para la totalidad de los árboles presentes en una superficie dada.

- a4) A partir del cálculo anterior se obtiene un nuevo valor, que es necesario para la construcción de la tabla de números aleatorios. Este valor posee tres componentes, uno de los cuales representa el máximo valor esperado de la variable a estimar (DAP²); el otro el número de chances de exclusión de la misma variable por encima de ese valor máximo. El restante valor interviniente es el tamaño esperado de la muestra n(e), calculado mediante una fórmula convencional.

También en este caso se produjo una variante con respecto a la teoría de Muestreo 3P. En ella se obtiene n(e) mediante la fórmula $n(e) = (CV * t)^2 / ES^2$ (donde CV es el coeficiente de variación, t es el número de errores estándar o la expresión de los límites de confianza y ES es el error esperado de muestreo) y CV se calcula a partir del error estándar y del promedio de la relación [variable medida/variable estimada], mediante un premuestreo o una predicción. Entonces, el valor obtenido n(e) es el número de árboles que serán efectivamente medidos con respecto al total de estimados, es decir, el número de árboles muestra.

En esta aplicación, el CV empleado fue el calculado para el muestreo convencional, a partir de datos de un premuestreo que tomó 3 grupos de 15 parcelas, cada uno de 400 m² de superficie unitaria. Del mismo modo, el tamaño muestral se calculó como número de parcelas de área fija y no como número de árboles muestra.

- a5) Con el valor del producto del DAP promedio por la frecuencia estimada promedio (a3), el valor del tamaño de la muestra n(e), el valor calculado en la paso a4) y los estadísticos CV, ES, t, se elaboró la tabla de números aleatorios.
- b) *Durante el trabajo de campo:*
 - b1) Se efectuó una estimación consistente y rápida del DAP de cada uno de los árboles a incluir dentro de cada parcela circular. El DAP estimado era simultáneamente elevado al cuadrado.
 - b2) Cada DAP y su correspondiente cuadrático se

registraba en un anotador y era comparado con un número de la tabla de aleatorios. Si el valor estimado era mayor o igual que el de la tabla, se medía el árbol muy cuidadosamente. Si era menor, se pasaba al siguiente árbol y se repetía el procedimiento con el número siguiente de la tabla.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Se elaboraron dos tablas locales de volúmenes, una para volumen total y otra de volumen neto. Las funciones ajustadas y sus respectivos estadísticos se presentan a continuación:

CUADRO 1

Ecuaciones de volumen total y neto para lenga, para la zona de Lago Fontana

Total and net volume for lenga equations at Lago Fontana area

Función ajustada	ESE (%)	Rango de utilización
Vol. total = $-8.85868 * D^2 + 2.481226$	0.1741	5-90cm
Vol. neto = $0.003924 * D + 0.000578D^2$	0.4434	30-80cm

D es el diámetro a la altura del pecho

Con respecto al volumen maderable, los cálculos de gabinete permitieron conocer la diferencia entre las estimaciones en pie y volteado. Los cálculos del porcentaje de la diferencia con respecto al volumen del fuste del árbol volteado, en primera instancia, y con respecto al volumen del fuste del árbol en pie, en segundo término, arrojaron valores de 20% y de 7% respectivamente. Paralelamente, el cálculo del promedio de la sumatoria de diferencias volumétricas, expresado en m³, indicó un sesgo promedio cercano a cero, lo que sin duda es auspicioso, pues consolida la validez y confiabilidad de esta metodología.

Para el muestreo 3P, los resultados se concentran en cuatro grandes grupos:

- I Confiabilidad estadística de la relación y volumen total por hectárea.
- II Tabla de existencias.
- III Tabla de rodal
- IV Análisis económico comparativo

I *Confiabilidad estadística de la relación y volumen total por hectárea.* En este primer grupo de resultados se ha realizado una estratificación por grupos de trabajo de campo. Teóricamente la estratificación no es un problema que concierne al muestreo 3P, dado que el empleo de una estimación consistente hace que toda consideración de variación entre volúmenes de árboles sea eliminada. Sin embargo, cuando estas estimaciones son realizadas por distintos individuos, como en este caso, pueden considerarse como estratos particulares todas las estimaciones y mediciones efectuadas por un mismo individuo.

El procedimiento de cálculo seguido es muy sencillo y sólo exige obtener previamente los volúmenes, a partir de sus respectivos DAPs, de todos los árboles estimados y medidos. Una vez realizada esta operación para cada estrato se calcula el promedio de la relación y sus estadísticos. Es importante mencionar que la confiabilidad que tenga la relación será la del inventario. De aquí la importancia de realizar una estimación consistente y una medición cuidadosa. La expresión analítica de los estadísticos calculados es la siguiente:

Cuanto mejor se realice la estimación -cuanto más consistente sea-, menor será la cantidad de árboles muestra a medir y menores los valores de

$$\bar{R} = \sum Ri/n$$

donde Ri =Vm/Ve Vm: volumen medido
Ve: volumen estimado
n = número de valores Ri

$$DE = \sqrt{\sum (Ri-\bar{R})^2/n-1}$$

Desviación estándar

$$CV = (DE/\bar{R}) * 100$$

Coefficiente de variación

$$EE = DE/\sqrt{n}$$

Error estándar absoluto

$$EE\% = (EE/\bar{R}) * 100$$

Error estándar relativo

CV y EE%. El cuadro 2 resume los principales resultados por estrato.

Debe resaltarse que tanto el CV como el EE% se hallan dentro de los valores que la literatura cita como adecuados para este sistema. La relación (\bar{R}) es prácticamente la misma para los tres grupos, lo cual señala que ha habido una alta consistencia intra e interestratos en el primer caso porque la relación tiende a uno.

II *Tabla de existencias.* De acuerdo con Iles (1992), la idea básica es que el número de árboles muestra refleja la proporción de volumen en cada clase. Expresado analíticamente:

$$\left[\frac{\text{Nº de árboles muestra en la clase X}}{\text{Nº total de árboles muestra}} \right] * \text{Vol. Total} = \text{Vol. en la clase X}$$

CUADRO 2

Resultados del análisis estadístico por estrato para el Muestreo 3P

Results of the statistical analysis per strata for the 3P sampling

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Promedio	Total
Nº de estimaciones	449	187	263	-	899
Nº de mediciones	45	20	22	-	87
ñ de estimaciones (m ³)	386.66	235.15	251.26	-	873.07
Valor medio relación (\bar{R})	0.96	0.95	0.95	0.96	-
Desviación estándar	0.19	0.24	0.22	0.21	-
Coefficiente de variación	19.28	24.83	22.72	22.28	-
Error estándar	0.03	0.05	0.05	0.04	-
Error estándar porcentual	2.87	5.55	4.84	4.42	-
Intervalo de confianza	±5.74	±11.1	±9.68	±8.84	-
Volumen bruto [m ³ /ha]	591.1	497.21	531.94	540.08	-

El cuadro 3 presenta la tabla de existencias por clases diamétricas de 5 cm de amplitud.

CUADRO 3

Tabla de existencias por clase diamétrica para el sistema de Muestreo 3P

Diameter class volume Table for 3P sampling

Clase diamétrica (cm)	Vol. Total (m ³)
5 - 10	6.207
10 - 15	6.207
15 - 20	37.246
20 - 25	37.246
25 - 30	49.662
30 - 35	37.246
35 - 40	24.831
40 - 45	99.325
45 - 50	18.623
50 - 55	55.870
55 - 60	12.415
60 - 65	43.454
65 - 70	37.246
70 - 75	12.415
75 - 80	18.623
80 - 85	12.415
85 - 90	24.831
90 - 95	6.207
TOTAL	540.08

III. *Tabla de rodal.* Este resultado surge sencillamente de expresar por hectárea el número de estimaciones realizadas en cada clase diamétrica, siempre y cuando se halla tenido la precaución de registrar las mismas. El cuadro 4 muestra la frecuencia para cada clase e incluye también el área basal respectiva. Finalmente, el cuadro 5 presenta una comparación entre los principales resultados dasométricos y estadísticos de ambos sistemas de muestreo.

Sin duda alguna, el dato más relevante que surge del cuadro 5 es la diferencia de esfuerzo, y de costos, como se verá más adelante, entre ambos sistemas. La precisión obtenida con el sistema 3P es ligeramente superior a la del muestreo convencional -la que también resulta satisfactoria- con tan sólo el 9.7% de árboles medidos con respecto a este último.

CUADRO 4

Tabla de rodal para el sistema de muestreo 3P

Stand table for 3P sampling

Clase diamétrica (cm)	Frecuencia (N° árb./ha)	Área basal (m ² /ha)
5 - 10	48	0.218
10 - 15	78	0.903
15 - 20	84	1.906
20 - 25	72	2.767
25 - 30	67	3.713
30 - 35	57	4.518
35 - 40	48	5.072
40 - 45	44	5.954
45 - 50	18	3.077
50 - 55	19	4.017
55 - 60	14	3.549
60 - 65	14	4.025
65 - 70	9	3.138
70 - 75	3	1.035
75 - 80	5	2.403
80 - 85	3	1.701
85 - 90	3	1.510
90 - 95	1	0.831
TOTAL	587	50.34

CUADRO 5

Comparación dasométrica y estadística de los sistemas de muestreo empleados

Dasometric and statistical comparison of the sampling systems

Parámetro	Muestreo convencional	Muestreo 3P
Frecuencia (N° árb./ha)	536	572
Area basal (m ² /ha)	50.72	50.34
Volumen total (m ³ /ha)	579	540.08
Coefficiente de variación (%)	26.43	22.28
Error estándar (%)	4.67	4.42
Intervalo de confianza (m ³)	633.09	587.82
	524.89	492.33
Número de árboles medidos	899	87

IV *Análisis económico comparativo.* El tiempo promedio que demandó la toma de datos en las parcelas de área fija, sin considerar el que deman-

dó el trabajo del sistema 3P, fue de 50'. Para el segundo, el tiempo medio fue de 10'. El tiempo promedio para los desplazamientos entre parcelas, durante el cual se efectuaba una descripción esencialmente cualitativa de accidentes de terreno naturales y artificiales y de la estructura del bosque, fue de 15'.

Las tareas descritas fueron realizadas por tres cuadrillas de técnicos razonablemente entrenados en el inventario silvícola, pero sin práctica en las estimaciones para el muestreo 3P. El tiempo total que demandó el inventario combinado, sumando el levantamiento de los límites del área de estudio, fue de seis jornadas laborales de ocho horas cada una.

El costo medio de un Plan de Manejo Silvícola aplicando técnicas convencionales de muestreo es actualmente de U\$S 50 por hectárea, en la Pcia. del Chubut.

Tomando como base el presente estudio, una cuadrilla de trabajo, adecuadamente entrenada, compuesta por un profesional forestal, un técnico forestal y un auxiliar de campo, puede instalar 4 parcelas de área fija de 300/400/500 m² de superficie por jornada de trabajo. Contando con tres cuadrillas de trabajo, la realización de un inventario silvícola de 100 ha, con un tamaño muestral de 60 parcelas, implica un tiempo neto de 5 días. Si es necesario confeccionar una tabla de volumen, el período puede ser de ocho días y se extiende a diez días con el levantamiento de límites y traslado.

Mediante la aplicación del sistema 3P, el tiempo neto de inventario se reduce a un día, con tres cuadrillas de trabajo, o a dos días con dos cuadrillas. El tiempo total, si se confecciona una tabla de volumen oscilará entre 4-5 días, dependiendo de la cantidad de personal disponible. El costo medio en esta nueva circunstancia puede descender a U\$S 15-U\$S 20 por hectárea, es decir, un 60%-70% inferior al del muestreo convencional*.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de tiempos y costos para el inventario convencional y para el que demandaría una combinación de éste con el 3P, de acuerdo con la experiencia realizada.

* En este análisis se ha prescindido de las consideraciones climáticas, por considerar que es un factor que, si bien puede tener una importante influencia en la duración de los trabajos, es muy difícil de cuantificar.

CUADRO 6

Expresión de tiempos y costos de los sistemas de muestreo empleados

Time and cost of the sampling systems

Variable	Muestreo convencional	Muestreo combinado
Toma de datos en la parcela (min)	50	15
Tiempo desplazamiento (min)	15	10
Costo medio total (U\$S/ha)	50	15-20

5. CONCLUSIONES

En principio, es válido considerar factible la utilización de una técnica combinada de muestreo en inventarios de pequeña y mediana escala, complementando las ventajas de ambos sistemas, lo cual permitirá avanzar sobre las actuales aplicaciones del sistema 3P.

Por un lado, la utilización del muestreo con parcelas de área fija, preferiblemente a través de diseños sistemáticos por la variabilidad que presentan nuestros bosques, permitirá delimitar la superficie que será objeto de la estimación aplicando el muestreo 3P. Asimismo, puesto que pretendemos obtener información no sólo dasométrica sino también silvícola que permita planificar el manejo del bosque, se propone realizar las clasificaciones para la estimación del volumen maderable y la simulación silvícola sobre los árboles muestra, es decir, sobre los que son efectivamente medidos. Como se ha podido demostrar, el tamaño de la muestra se reduce sensiblemente y la precisión estadística es superior.

6. BIBLIOGRAFIA

- BELL, J. F., J. R. DILWORTH. 1990. *Log scaling and timber cruising*. Corvallis, Oregon. O. S. U. Book Stores, Inc., pp. 204-219.
- CARABELLI, F., O. TRONCOSO, J. PUIG. 1993. Plan de manejo Arroyo Fragua. Unidad de Manejo Silvícola en un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*). Lago Fontana. Pcia. del Chubut. Dirección General de Bosques y Parques de la Provincia del Chubut. 65 pp.
- CHAUCHARD, L., F. CARABELLI, M. DAVEL. 1992. Plan de ordenación Cuartel Arroyo Perdido. Proyecto de Desarrollo Forestal del Area Cordillerana. II Etapa. Consejo Federal de Inversiones. Dirección General de Bosques y Parques de Pcia. del Chubut. 59 pp.

- CHAUCHARD, L. 1990. Plan de Ordenación del Cuartel de Lomas de Cholila. Proyecto de Desarrollo Forestal del Area Cordillerana. Consejo Federal de Inversiones. Dirección de Bosques de la Pcia. del Chubut, 50 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE MINERIA. 1965. Cartas Geológicas de la Provincia del Chubut: Carta Geológica del Lago Fontana.
- ILES, K. 1992. 3P Sampling. A Simple Introduction. Kim Iles and Associates Ltd. Forest Inventory Consultants, 45 pp.
- SCHMIDT, H., A. URZUA. 1982. Transformación y manejo de los bosques de Lengua en Magallanes. XII Región. Fac. de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, Corporación Forestal Nacional, *Ciencias Agrícolas* 11. Chile, 62 pp.
- WOOD, G. B., H. V. VIANT, Jr. 1992. "Comparison of point-3P and modified point-list sampling for inventory of mature native hardwood forest in southeastern New South Wales", *Can. J. For. Res.* Vol. (22): 725-728.