

# TAMAÑO OPTIMO DE PARCELAS DE MUESTREO DISTRIBUIDAS SISTEMATICAMENTE EN RETICULO CUADRADO EN INVENTARIOS DE BOSQUE NATIVO

(\*) Patricio Corvalán V.

## RESUMEN

Dado una intensidad de muestreo, el tamaño, forma y distribución espacial de las parcelas de inventarios forestales tienen una incidencia importante en la cantidad de tiempo empleado por las cuadrillas en medición y desplazamiento en terreno.

Considerando las restricciones del más frecuente tipo de muestreo forestal: parcelas rectangulares, distribuidas sistemáticamente en retículo cuadrado, se formula un modelo de costos con el objeto de recomendar el tamaño óptimo de las parcelas y estimar el tiempo mínimo total a emplear en su medición.

Se explica tanto la deducción del modelo como las restricciones de la información a emplear en su construcción.

Finalmente el modelo es aplicado a un bosque natural compuesto principalmente por Coigüe y Raulí, ubicado en el Complejo Maderero Panguipulli en la localidad de Pilmaiquén.

## INTRODUCCION:

En la planificación de costos de operación en terreno, en prospecciones enmarcadas en áreas geográficas (tales como en terrenos agrícolas, ganaderos, forestales y urbanos), es fundamental considerar el número, distribución, tamaño y forma de las unidades de muestreo.

Si la muestra se distribuye aleatoriamente sobre la superficie, el distanciamiento entre parcelas será obviamente estocástico y la estimación del recorrido total necesario para visitar todas las unidades de muestreo dependerá de una distribución de probabilidades.

En contraposición, una distribución sistemática de parcelas estará definida por separaciones conocidas dependiendo de la forma del retículo, del número de unidades y área de muestreo.

Si el retículo es cuadrado, se podrá estimar el recorrido total y en consecuencia su costo mínimo, suponiendo desplazamientos en línea recta entre centro de parcelas.

La separación entre parcelas en este caso de-

---

(\*) Ingeniero Forestal;  
Escuela de Ciencias Forestales  
Universidad de Chile.

pende del tamaño de la población y número de unidades muestrales. La primera es una variable independiente necesariamente conocida y la segunda es función de la variabilidad del atributo en estudio, dado un error de muestreo y nivel de confiabilidad, siendo estas últimas restricciones habitualmente preestablecidas al muestreo.

La variabilidad puede ser estimada para la población en función del tamaño y forma de las unidades muestrales, en consecuencia será posible estimar para cada una de ellas la intensidad de muestreo y sus respectivos costos de medición y recorrido o desplazamiento, siendo el tamaño de unidades de muestreo aquel que minimice los gastos de operación en terreno.

La literatura especializada indica como tamaño de parcelas recomendable para inventarios forestales en bosques mixtos templados, superficies del orden de 1.000 m<sup>2</sup> (0.1 há.) de forma rectangular. Tal consideración se formula mas bien atendiendo a razones de tipo práctico, siendo interesante estudiar casos específicos en los que con un criterio estadístico o económico se recomiendan tamaños que optimicen ya sea el error de estimación del muestreo o el costo de operación en terreno.

Es común fijar errores máximos de muestreo del orden del 20%/o, al 95%/o de confiabilidad, dado el elevado orden de magnitud de la variabilidad del parámetro a estimar, siendo el más interesante de conocer el volumen comercial de madera existente por hectárea.

Aceptando las consideraciones anteriores, se planteó la necesidad de construir un modelo de costos de operación en terreno, para la realización de un inventario forestal en bosque nativo, con el objeto de recomendar el tamaño óptimo de parcelas.

Se entenderá por tamaño óptimo aquel que minimice el costo total de operación en terreno, sujeto a las siguientes restricciones:

- Error máximo de muestreo del 20%/o al 95%/o de confiabilidad
- Parcelas rectangulares, distribuidas sistemáticamente en retículo cuadrado.

## 1.— FORMULACION DEL MODELO

El tiempo de operación de terreno (Tt) más directamente relacionado con el tamaño de las

parcelas para la realización de un inventario se puede descomponer en:

- 1.1.— El tiempo de medición de las parcelas de muestreo (Tm) y
- 1.2.— El tiempo de desplazamiento en terreno entre parcelas (Td)

$$T_t = T_m + T_d \quad (1)$$

Existen otros ítems que dependen de la forma de organización, y son específicos para cada equipo de trabajo y condiciones de terreno (costo de alimentación, alojamiento, viajes, número de cuadrillas, cómputos, etc.) y relativamente independientes del tamaño de las parcelas.

Es necesario entonces especificar en el modelo (\*), las relaciones entre los tiempos y los tamaños de parcelas.

### 1.1.— Tiempo de Medición de la parcela

El tiempo de medición de las parcelas (Tm), es igual a la suma de los tiempos de cada una de las parcelas.

Si el tiempo total de medición (Tt), proviene del producto de un tiempo promedio de medición (Tm̄) por el número de parcelas (n), se tiene:

$$T_m = T_{\bar{m}} \cdot n \quad (2)$$

$$T_m = f(s)$$

pudiendo ser esta:

$$T_m = \alpha + \beta S \quad (3)$$

El número de parcelas a medir (n), depende del coeficiente de variación (c), del error de muestreo (a) y del nivel de confiabilidad de la estimación (t).

Dado que no es posible conocer el verdadero coeficiente de variación, éste debe ser estimado a partir de una muestra de la población que se desea estudiar. Este estimador se relaciona con el tamaño de parcela a través de una expresión matemática.

$$c = f(s)$$

---

(\*) El tiempo se utiliza como una variable independiente directamente proporcional al costo.

Aplicando la transformación arc-sen al coeficiente de variación se logra una relación exponencial en función de s.

$$c = \text{sen}^2 k \cdot S^{-b} \quad (4)$$

k y b son coeficientes de regresión.

Por otro lado es necesario establecer la comparación de tiempos de medición a un mismo nivel de confiabilidad y error muestral.

Si:

$$n = \frac{t^2 c^2}{a^2} \quad (5)$$

entonces:

$$n = \frac{t^2 \cdot \text{sen}^4 k \cdot S^{-b}}{a^2} \quad (6)$$

Reemplazada n de (6) y  $T_m$  de (3) por (2)

$$T_m = (\alpha + \beta S) \cdot \frac{(t^2 \cdot \text{sen}^4 K \cdot S^{-b})}{a^2} \quad (7)$$

## 1.2.- Tiempo de desplazamiento entre parcela

Para un área boscosa a inventariar (A), en un muestreo sistemático de retículo cuadrado (parcelas a igual distancia entre y sobre la línea), el área de muestreo que representa cada parcela está definido por la fracción A/n. En consecuencia el distanciamiento entre centros de parcela es  $\sqrt{A/n}$ , y la distancia total a recorrer será  $n \cdot \sqrt{A/n}$ .

Dependiendo de la velocidad de tránsito promedio (V) en el bosque será posible expresar el tiempo de desplazamiento entre parcelas.

$$T_d = \frac{n}{V} \sqrt{\frac{A}{n}} \quad (8)$$

Reemplazando n de (8) por (6) y reduciendo:

$$T_d = \frac{t^2 \cdot \text{sen}^4 k \cdot S^{-b}}{a \cdot V} \cdot \sqrt{\frac{A}{t^2 \cdot \text{sen}^4 k \cdot S^{-b}}}$$

$$T_d = \frac{t \cdot \text{sen}^2 k \cdot S^{-b}}{a \cdot V} \cdot \sqrt{A} \quad (9)$$

Sumando (7) con (9) se obtiene el tiempo de operación en terreno.

$$T_t = \frac{(\alpha + \beta \cdot S) \cdot (t^2 \cdot \text{sen}^4 k \cdot S^{-b})}{a^2} + \frac{t \cdot \text{sen}^2 k \cdot S^{-b}}{a \cdot V} \cdot \sqrt{A}$$

$$T_t = \frac{t \cdot \text{sen}^2 k \cdot S^{-b}}{a} \left[ \frac{(t \cdot \text{sen}^2 k \cdot S^{-b})}{a} (\alpha + \beta S) + \frac{\sqrt{A}}{V} \right] \quad (10)$$

Es conveniente expresar el tiempo en rendimiento, lo que permitirá fácilmente una expresión monetaria.

El tamaño que minimiza el tiempo de operación en terreno se deduce evaluando S., de forma que se cumpla:

$$0 = \frac{t}{2a} \{1 - \cos(2ks^{-b})\} \left\{ \frac{t}{2a} (1 - \cos(2ks^{-b})) \cdot \beta \right.$$

$$\left. - \frac{t}{2a} (\alpha + \beta S) \cdot \text{sen}(2kS^{-b}) \cdot 2ks^{-b-1} \right\}$$

$$\left\{ \frac{t}{2a} (1 - \cos(2KS^{-b})) (\alpha + \beta S) + \frac{\sqrt{A}}{V} \right\} \left\{ \frac{t}{2a} \text{sen}(2KS^{-b}) \cdot 2ks^{-b-1} \right\}$$

## 2.- RECOPIACION DE DATOS

Con el objeto de construir el modelo, es necesario determinar los coeficientes:  $\alpha$ ,  $\beta$ , K, b y valores opcionales de t, a, A y v. Los cuatro primeros se pueden obtener de una muestra de la población que se desea estudiar, a través de un análisis de regresión.

Los valores "t" y "a" que definen los límites de confiabilidad de la estimación y el Area a inventariar son restricciones que se deben decidir previo al muestreo y son variables independientes por excelencia en el modelo.

La velocidad de tránsito en el bosque de las cuadrillas depende tanto de las condiciones de terreno (topografía, accesibilidad, densidad de la vegetación, etc.) como de la capacidad física de movimiento de las brigadas o su medio de movilización. De esta forma se puede estimar un valor en forma muy aproximada conociendo estas condiciones de trabajo.

## 2.1.— Restricciones de la Información

Con el objeto que los coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $K$  y  $b$  reflejen estrictamente las relaciones entre el tamaño de las parcelas ( $s$ ) y las variables de interés ( $C$  y  $T\bar{m}$ ) se debe tomar las siguientes precauciones en la toma de la información; para todos los tamaños de parcelas:

- 1) Debe existir el máximo de homogeneidad en las muestras.
- 2) Independencia del tamaño con características:
  - del área (pendiente, altitud, exposición, topografía).
  - del bosque (estructura, composición, densidad).
- 3) El mismo diseño muestral.
- 4) Mantener en lo posible la misma forma de las parcelas.
- 5) La información debe ser tomada por las mismas cuadrillas.
- 6) Las condiciones de tránsito y tiempo deben ser homogéneas.
- 7) Obviamente homogeneidad de normas, criterios, instrumentos de medición y forma de cálculo de los datos.

Todas precauciones arriba indicadas tienen como objetivo básico, evitar correlaciones entre el tamaño de parcela  $S$  y variables ajenas a las de los modelos propuestos.

## 2.2.— Diseño de terreno para la toma de datos

Con el fin de obtener los objetivos propuestos, la toma de datos puede seguir el procedimiento que se indica a continuación.

- Definir la población (bosque a estudiar)
- Elección del tamaño de las muestras (mayor a 30)
- Elección de los tamaños límites de parcelas sobre el bosque que se desea estudiar.
- Elección de una forma de distribución de las muestras en terreno (se sugiere la sistematización).
- Definición de los tamaños intermedios a ensayar.
- Definir una forma de parcela.
- Definir una ubicación espacial para cada tamaño de parcela en el punto seleccionado de tal modo que una parcela de tamaño mayor siem-

pre integre en su superficie a otra de tamaño menor y así para cada una de ellas (ver Gráfico N° 1).

- Dividir el número de puntos de muestreo equitativamente entre las cuadrillas (del mismo número de integrantes cada una);
- Cada cuadrilla debe registrar en cada punta de muestreo todos los tamaños de parcelas a ensayar.
- Definidas las variables a medir, ellas deben registrarse separadamente para cada tamaño de parcela, indicando la hora de inicio y término del trabajo (a medida que se pasa de un tamaño de parcela menor a uno mayor en cada punto de muestreo, sólo es necesario registrar la información complementaria por superficie).
- Finalizada la recolección de datos en terreno, se deben calcular el coeficiente de variación y el tiempo promedio para cada tamaño de parcela.
- Se debe construir el modelo propuesto.

## 3.— CONSTRUCCION DEL MODELO

Con el objeto de estudiar el comportamiento del costo de operación en terreno de inventarios en bosques naturales en relación con el tamaño de las parcelas se eligió como material de trabajo un sector boscoso del complejo maderero Panguipulli denominado "Puente de Viga", perteneciente al Fundo Pilmaiquén.

Para efectuar el trabajo de terreno, se contó con la participación de 84 estudiantes en práctica estival, pertenecientes a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile, con los cuales se formó 14 cuadrillas de 6 personas cada una, a cargo de 7 ayudantes y 2 profesores.

Por limitaciones de tiempo, se dispuso una muestra total constituida por 70 puntos de muestreo, distribuidos sistemáticamente sobre un bosque definido como Coigüe - Raulí, según mapa forestal de la empresa.

Se asignó entonces a cada cuadrilla un total de cinco puntos de muestra.

Se eligió como límites aceptables parcelas de  $100 \text{ m}^2$  (0.01) a  $5.000 \text{ m}^2$  (0.5 há), de acuerdo a consideraciones prácticas y sugerencias bibliográficas.

Interesaba conocer el comportamiento de todos los tamaños posibles de parcelas menores de  $1.000 \text{ m}^2$ , cada  $100 \text{ m}^2$ , lo que cubriría el posible rango de parcelas pequeñas y también el de

parcelas mayores, cada 1.000 m<sup>2</sup>. De esta forma se estudió 14 posibles tamaños expresados en m<sup>2</sup>: 100, 200, . . . 900, 1.000, 2.000, . . . 5.000

Entre parcelas circulares y rectangulares se eligieron éstas últimas por ser más prácticas y comunes.

El punto de muestreo quedó constituido por 500 metros lineales planteado físicamente por una cuerda anudada cada 10 metros desde los 10 hasta los 100 metros y cada 100 a partir de éste, hasta los últimos 500 metros. Hacia ambos lados de la cuerda, una distancia de 5 metros perpendiculares a los puntos de anudación, definió la superficie de los 14 tamaños que constituyó cada punto de muestra.

Se definió como parámetro de estimación el volumen aserrable bruto por hectárea, para el total de especies considerando como comercial diámetros sobre 20 cm.

Asignados los rumbos y distancias que definieron los puntos de muestra se recolectó y procesó la información.

A través de un análisis de correlación lineal se obtuvieron las siguientes expresiones:

$$C = \text{sen}^2 145,348 S^{-0.1622} \quad (11) \quad *r = 0,906$$

$$T_m = 5.988 + 0.0216 S \quad (12) \quad *r = 0,995$$

Estas relaciones se aprecian en los Gráficos N° 2 y 3 respectivamente.

La exposición final del tiempo de operación en terreno (T<sub>t</sub>) según fórmula (10) queda.

$$T_t = 100 \text{sen}^4 (145,348 \cdot S^{-0.1622})$$

$$(5,988 + 0.0216 \cdot S)$$

$$\frac{+ 10 \text{sen}^2 (145,348 \cdot S^{-0.1622})}{V} \sqrt{A} \quad (13)$$

Esta expresión está formulada en minutos/cuadrilla. Para expresarla en horas/hombre se debe multiplicar por 0.1 (cada cuadrilla de seis personas).

r = Coeficiente de correlación

Gráfico N° 1

Disposición espacial de parcelas de distinto tamaño en un punto de muestreo.

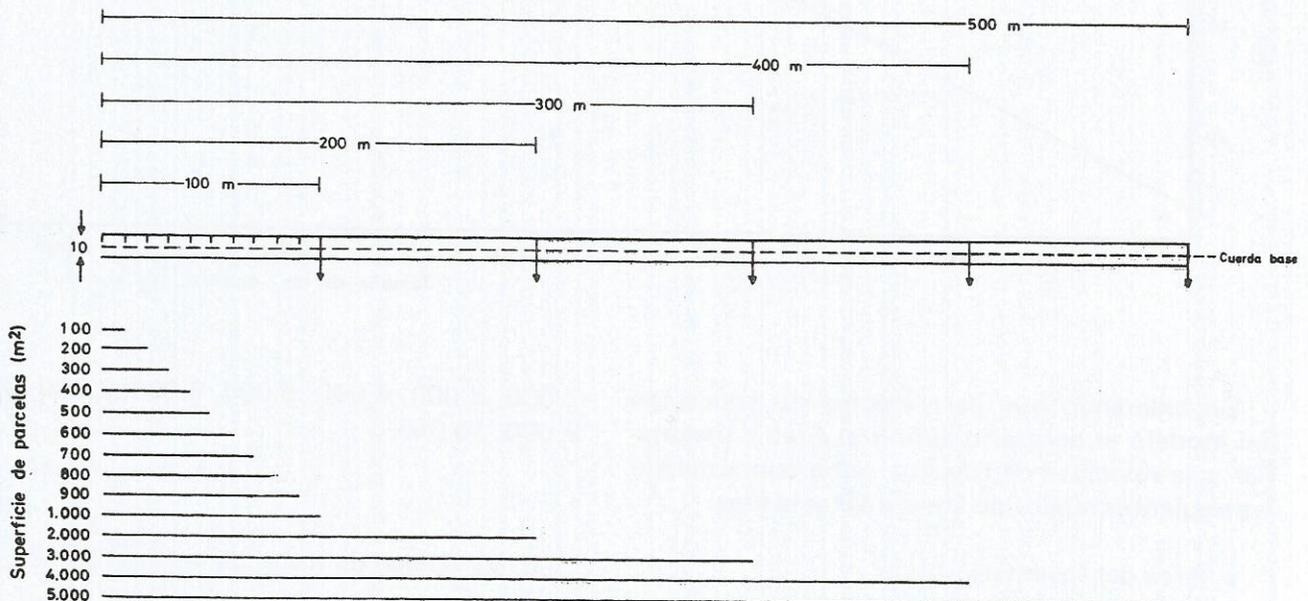


Gráfico N° 2

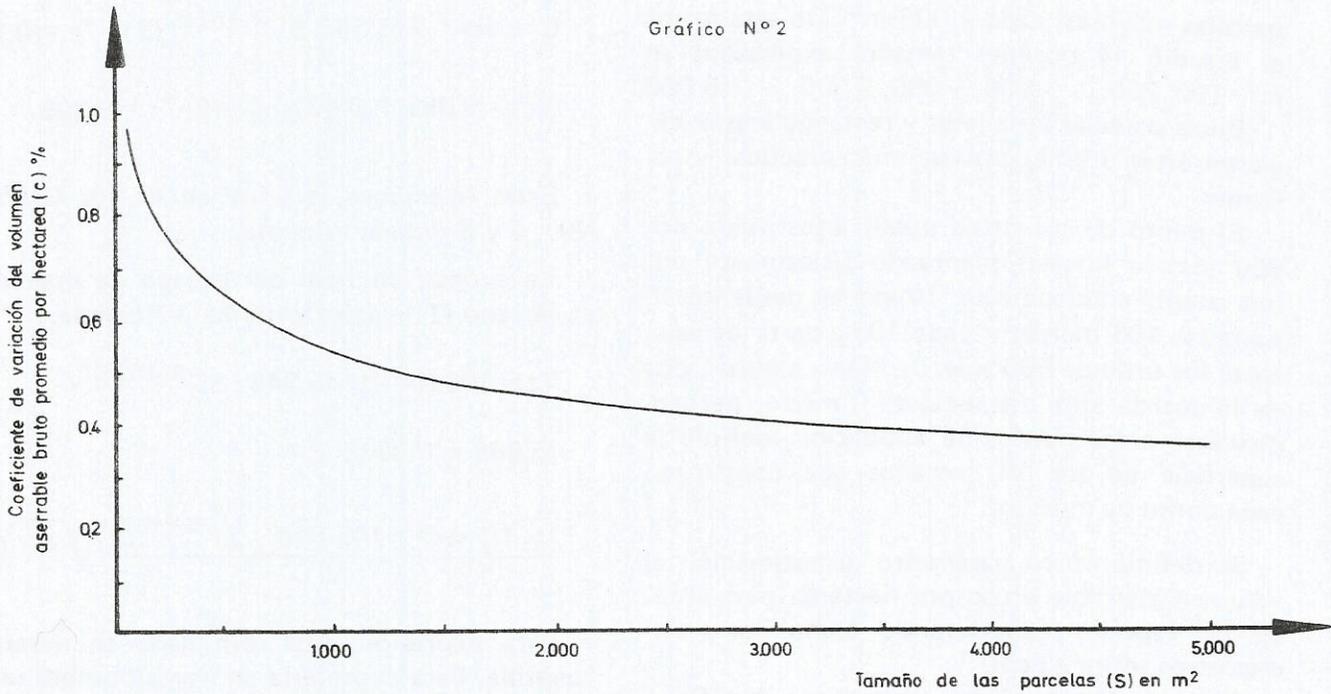
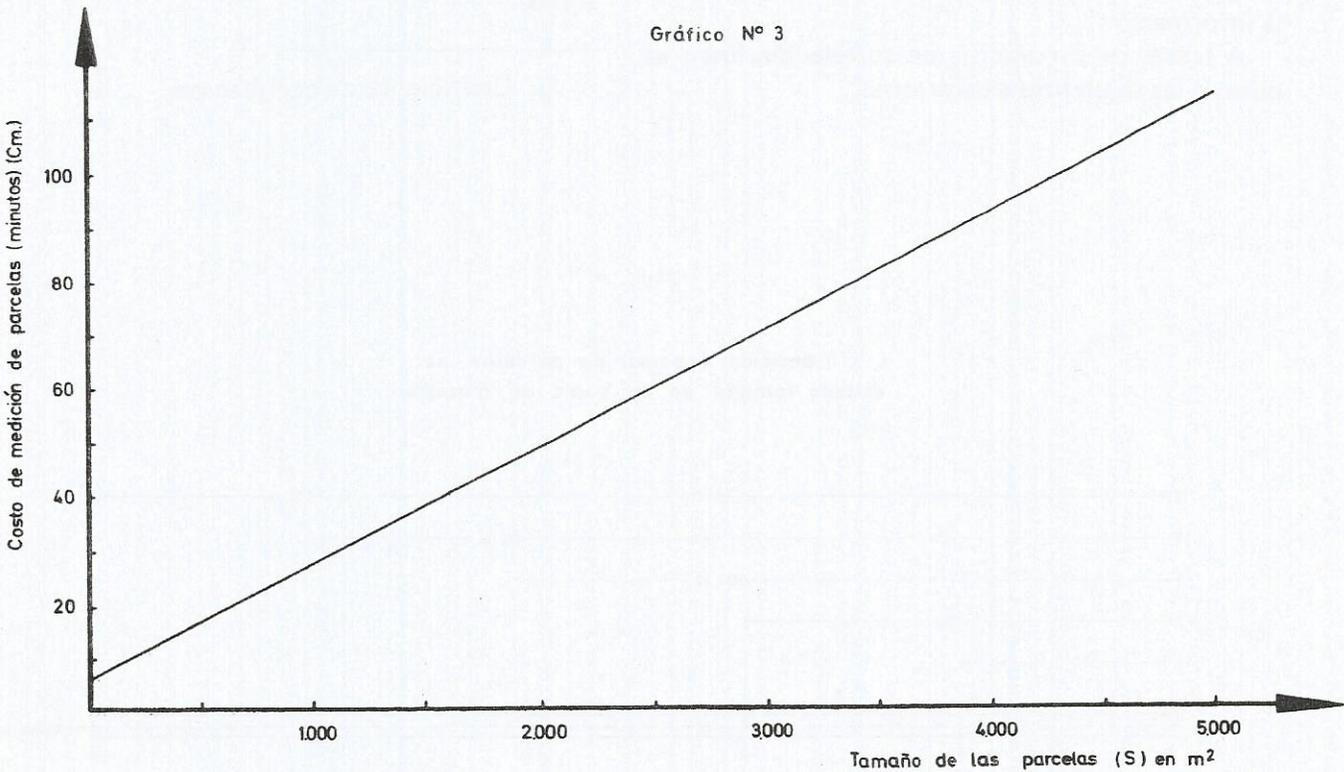


Gráfico N° 3



Considerando que para efectos de aplicación del modelo es necesario definir el Área a Inventariar y la velocidad de tránsito, se ha contemplado los siguientes rangos de áreas y velocidades:

2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000, 7.000, 8.000, 9.000, 10.000.

a. Área del Inventario (há.):

100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1.000,

b. Velocidad de tránsito (m/min.):

5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50.

CUADRO Nº 1

TAMAÑOS RECOMENDABLES, SEGUN TIEMPO MINIMO DE OPERACION EN TERRENO, EN RELACION CON EL AREA A INVENTARIAR Y VELOCIDADES DE TRANSITO EN EL BOSQUE

		AREA A INVENTARIAR (há.)																			
Velocidad de tránsito (V) (m./min.)		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000	
5	* 1.000 & 189	1.500	2.100	2.800	3.100	3.800	3.800	3.800	4.300	4.700	4.700	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
10	500	700	800	1.000	1.200	1.500	1.500	1.500	1.500	1.600	1.800	3.100	3.900	4.600	4.900	4.900	4.900	4.900	4.900	5.000	5.000
15	300	400	500	700	800	900	900	900	900	1.000	1.000	1.600	2.200	2.800	3.700	3.900	4.400	4.500	4.600	4.700	4.700
20	300	400	400	500	500	600	600	600	700	700	700	1.200	1.700	1.800	2.200	2.500	2.600	2.99	3.100	3.700	3.700
25	200	300	400	300	400	500	500	500	600	700	700	800	1.100	1.200	1.500	1.800	2.000	2.100	2.800	2.800	2.800
30	200	300	300	300	400	400	400	400	400	500	500	800	900	1.000	1.300	1.400	1.500	1.600	1.800	2.100	2.100
35	200	300	300	300	300	300	300	300	400	400	400	600	700	900	1.000	1.100	1.200	1.300	1.500	1.600	1.600
40	200	200	300	300	300	300	300	400	400	400	400	500	700	700	800	900	1.000	1.200	1.200	1.400	1.400
45	200	200	200	300	300	300	300	300	300	300	400	500	500	600	700	800	900	1.000	1.000	1.300	1.300
50	200	200	200	200	300	300	300	300	300	300	400	400	500	600	700	800	900	1.000	1.000	1.000	1.000

NOTA: Números de arriba, TAMAÑO OPTIMO (m<sup>3</sup>). (\*)  
Números de abajo, TIEMPO DE OPERACION DE TERRENO (horas/hombre). (&)

Con la combinación A y V es posible predecir el gasto mínimo de operación en terreno en que incurrirá en el inventario ( $T_t$ ) y el tamaño de parcela (s) que lo determina.

Considerando que por tratarse de tamaños discretos de parcelas y horas en que interesa la solución podrán existir varios tamaños que lo optimicen en terreno, siendo indiferente su elección bajo el criterio económico.

Para visualizar en las combinaciones de Areas a inventariar y velocidades de tránsito, las soluciones óptimas en términos de tamaños de parcelas y tiempo de operación en terreno se presenta el siguiente cuadro en el que se recomiendan los tamaños de parcelas expresados en  $m^2$  y el tiempo de operación en terreno mínimo, en horas/hombre. En los casos, en que existan varios tamaños de parcelas que satisfacen el mínimo tiempo, se presenta el menor. Para las soluciones fuera del rango (mayores de  $5.000 m^2$ ) se recomienda el máximo ( $5.000 m^2$ ).

#### 4.- RESULTADOS

El Cuadro N° 1 presenta una matriz de resultados en los que conociendo el Area a inventariar y la velocidad de tránsito se puede estimar el tamaño óptimo de las parcelas de inventario y el tiempo mínimo de operación en terreno.

#### 5.- CONCLUSIONES

— Para inventarios en bosques del tipo Coigüe - Raulí, en la zona de Panguipulli o condiciones similares, para un error del 20% de muestreo para el volumen aserrable bruto promedio, estimado al 95% de confiabilidad, el tiempo de operación en terreno depende del Area a Inventariar, de la velocidad de tránsito y del tamaño de parcelas para inventarios sistemáticos.

— En el rango de tamaño de parcelas probadas se determinó que los tamaños óptimos varían entre los  $200 m^2$  y los  $5.000 m^2$ , y sus tiempos mínimos de operación en terreno entre 77 y 851 horas/hombre.

— Para inventarios en áreas pequeñas y grandes velocidades de tránsito es conveniente usar tamaños de parcelas pequeñas.

— Para inventarios en áreas grandes y pequeñas velocidades de tránsito es conveniente tamaños de parcelas grandes.

— En la reducción del tiempo de operación en terreno es más importante un aumento de la velocidad de tránsito que la disminución del área a inventariar, razón por la cual un pequeño costo adicional reducirá fuertemente el tiempo de operación en terreno. Ejemplo: movilizarse a caballo ( $10 m/min.$ ) en vez de a pie si es posible ( $5m/min.$ ).

— Es posible determinar en forma aproximada, el tiempo de operación en terreno de un inventario, conocidos el área a muestrear y las condiciones de tránsito, una vez definido el modelo.

— La repetición sistemática de este ensayo, en otro tipo de bosque, permitiría una adecuada planificación de tiempo, en inventarios forestales.

#### BIBLIOGRAFIA

- COCHRAN W.C. 1963: Sampling techniques. 413 pp. John Wiley and Sons Inc.: New York.
- D'OTTONE H. 1971: Estadística elemental Cooperativa de Cultura y Publicaciones, Ltda. Santiago.
- FAO. 1974: Manual de Inventario Forestal con especial referencia a los bosques mixtos tropicales. Roma.
- FREESE F. 1962: Muestreo Forestal Elemental. Centro Regional de Ayuda Técnica. Boletín de Agricultura N° 232. México.
- GILCHRIST J.H., GILCHRIST J.M. 1978: Manual de Inventarios Forestales, Facultad Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago.
- HUSCH, B., MILLER C.I., BEERS T.N. 1971: Forest Mensuration. The Ronald Press Co. New York.
- LATORRE J. 1978: Tamaño de parcelas de Muestreo para Inventarios Forestales en el Chaco Paraguayo. Informe Mecanografiado. Asunción.
- LOETSCH F., HALLER K.E. 1964. Forest Inventory. Volume 1. Blue Verlagsgesellschaft. München.
- LOETSCH F., HALLER K.E. 1973: Forest Inventory, Volume 2. Blue Verlagsgesellschaft. München.