

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

MONTEVIDEO - URUGUAY

**APLICACION DEL PRINCIPIO DE BITTERLICH
EN LA DETERMINACION DEL AREA BASAL:
EVALUACION DE SU EFICACIA**

POR

José A. BONILLA



APLICACION DEL PRINCIPIO DE BITTERLICH EN LA DETERMINACION DEL AREA BASAL: EVALUACION DE SU EFICACIA¹

JOSÉ A. BONILLA²

RESUMEN

En un bosque de Pino Insigne (*Pinus radiata* D. Don), de 15 años de edad, se efectúa en 30 parcelas de 400 m² cada una, un estudio comparativo, entre el método (1): "enumeración total" y el (2): Bitterlich, con factores 1, 2 y 4, en lo referente a determinación del Area Basal.

El tiempo utilizado por el método (1) es de 24 minutos por parcela, mientras que el (2), emplea solamente 5; 4 y 3 minutos respectivamente.

Los promedios de área basal por há. son: (1) 39 m² y (2) 42,4, 43,1 y 43,0 m², respectivamente, constatándose un coeficiente de variación muy similar en todos los casos y que asciende a 17-18 %.

Se detectan diferencias altamente significativas (nivel 1 %), entre el método (1) y el (2), con cualquiera de los factores estudiados (1, 2, 4). Estas diferencias expresadas en valores porcentuales, asumen las siguientes magnitudes: 8,7 %, 10,5 % y 10,2 %, respectivamente.

Se determina que el método (1), realizado con una intensidad de muestreo del 10 %, requiere un relevamiento de 72 minutos de duración para toda el área estudiada, mientras que el método (2) requiere solamente 20, 16 y 15 minutos, según se trate de los factores 1, 2 y 4, respectivamente.

En base a su error moderado y al gran ahorro de tiempo, se recomienda usar el método de Bitterlich, preferiblemente

1. Este trabajo ha sido presentado para su publicación el 30 de enero de 1968.

2. Encargado del Sector Dasometría del Departamento Forestal, Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay.

con factor 4, para la obtención de área basal por hectárea, cuando no sea necesaria una gran exactitud en la determinación de ésta.

El número de parcelas analizadas —30—, de acuerdo a la variabilidad del bosque en cuestión, indica un error de muestreo de 6,6 %.

INTRODUCCION

Las parcelas convencionales destinadas a proveer información para la obtención del volumen de los árboles, se caracterizan por poseer una forma determinada: cuadrada, rectangular o circular, conteniendo dentro de sus límites un número variable de árboles, en relación directa con el tamaño de éstos. En efecto, en una parcela de tamaño determinado, habrá más árboles si éstos son pequeños y menos si ellos son grandes.

Hace ya cierto tiempo (1948), Bitterlich estableció el concepto de las parcelas de dimensiones variables —cuyos límites no están determinados o definidos en el terreno— el cual permite trabajar con parcelas que tienen un número igual o similar de árboles, sin tomar en cuenta el tamaño de éstos.

El empleo de las parcelas de dimensiones variables requiere la utilización de un instrumento que permita la proyección de un ángulo determinado —denominado ángulo crítico— el cual será comparado con el diámetro de los árboles. Este concepto, referido inicialmente al área basal ha sido enriquecido bien pronto, aplicándose a la altura y a otras variables dasométricas.

El procedimiento básico de trabajo es muy sencillo: con el instrumento correspondiente (Relascopio, Prisma, "Vara", etc.), y a partir de un punto dado, se efectúa un giro de 360 grados, contabilizándose solamente aquellos árboles cuyo D.A.P. sea abarcado sólo en forma parcial por el ángulo crítico, o expresado de otra manera, sólo serán tenidos en cuenta aquellos árboles cuyo D.A.P. sea mayor que el ángulo crítico. De esta manera, cada árbol, sin considerar sus dimensiones, aporta una contribución de igual valor al cómputo total del Area Basal del rodal o del bosque en estudio.

Si usamos un factor determinado ($k = 1$), cada árbol contabilizado luego de efectuada la operación anteriormente descrita, representa $1m^2$ de área basal por hectárea.

El principio de Bitterlich, puede ser expresado de la siguiente manera: "Si desde un punto cualquiera, ubicado en medio de un bosque, observamos todos los árboles que tenemos alrededor nuestro y contamos aquellos cuyo D.A.P. abarca un ángulo de visión mayor de un ángulo dado, el número de árboles contados está en relación directa con el Area Basal por hectárea".

De acuerdo con lo expuesto, resulta evidente la importancia de este método de determinación de área basal. En comparación con los métodos convencionales pueden señalarse los siguientes aspectos:

1) *Ventajas*

a) Se eliminan los errores que provienen de una estimación insegura de la superficie de la parcela.

b) Si se toman las precauciones adecuadas (ajuste del factor a utilizar), permite la determinación del área basal a partir de un número relativamente reducido de árboles.

c) Reduce el tiempo de estimación del área basal y, por lo tanto, el costo correspondiente, por lo que trae aparejada la posibilidad de incrementar el número de parcelas y de una mejor distribución de las mismas.

d) Las estimaciones pueden hacerse con aparatos de fácil manejo y de bajo costo (prismas) y aún con instrumentos de fabricación casera ("vara").

2) *Desventajas*

a) Se determina solamente Area Basal total por hectárea, sin discriminar su distribución por clase diamétrica.

b) Se pueden producir errores de importancia por interferencia de árboles o del sotobosque, problema que se acentúa en bosques densos o con sotobosque abundante.

c) Se pueden producir errores por una incorrecta estimación del D.A.P. comparado con el ángulo crítico, lo que se acentúa también en bosques densos o con sotobosque abundante y también cuando la luz no es suficiente.

d) Debido a la facilidad del procedimiento, puede incurrirse en errores sistemáticos, si no hay un cabal conocimiento del principio en que se basa el método.

OBJETIVOS

El principio de Bitterlich de las parcelas de dimensiones variables —explicado anteriormente— ha provocado un impacto notable en los procedimientos de mensura forestal. El objetivo de este trabajo es, precisamente, efectuar un estudio comparativo de la aplicación de dicho principio, respecto a la determinación del Area Basal, en relación con los métodos clásicos. Se pretende determinar si la economía de tiempo lograda según la aplicación del principio de Bitterlich, tiene una importancia

mayor o menor que la reducción en la exactitud de la determinación, lo que significará la recomendación o no de su uso en bosques que reúnen condiciones similares a las existentes en el bosque estudiado. Asimismo, se intenta determinar cuál es el factor más indicado, atendiendo a la relación costo/seguridad.

ANTECEDENTES

Alvarez de Araya (3), trabajando en rodales bastante homogéneos de *Populus nigra* var. *italica*, con edades que oscilaban entre 9 y 17 años en un área total de 90 há., comparando el método tradicional de muestreo (T) (con intensidad de muestreo de 5 % y en parcelas de 1.000 m²) y el de las parcelas de dimensiones variables (B) (con factor K igual a 4), con el método de muestreo total, obtuvo los siguientes resultados:

a) En bosques de homogeneidad similar al estudiado, ambos métodos, en términos estadísticos, son igualmente satisfactorios.

b) En bosques de menor homogeneidad, se obtiene mayor exactitud con el método (T).

c) En montes con buenas condiciones de tránsito y aplicando un Factor de Area Basal conveniente, el método (B) requiere menor tiempo.

d) En bosques con sotobosque denso u otro tipo de obstáculos, el método (T) es más rápido que el (B).

e) Al utilizar parcelas pequeñas o Factores de Area Basal menores, disminuye la eficacia de los métodos (T) y (B) respectivamente.

B. Husch (25), trabajando en 431 parcelas de 500 m², de Pino insigne de 3 a 33 años, con y sin raleo, comparó los métodos (T) y (B), citados anteriormente, usando para éste último procedimiento un prisma con factor igual a 2,3. Se registraron importantes subestimaciones con el método (B), las que en rodales no raleados llegaron a un máximo de 21 m²/há., mientras que en las parcelas raleadas la subestimación alcanzó 11 m²/há. como máximo. En las plantaciones no raleadas las diferencias resultaron como consecuencia de la gran densidad del bosque y del abundante sotobosque, existiendo muchos árboles dudosos y se recibe, por otra parte, una cantidad limitada de luz. Las diferencias obtenidas —según el autor— hacen inaplicable el uso del Relascopio o del prisma en bosques de tales condiciones. Las diferencias menores registradas en las parcelas raleadas deben ser atribuidas al mejoramiento de esas condiciones negativas (densidad, sotobosque y luz).

Cromer (11), en Nueva Gales del Sur (Australia), ha comprobado un error de —2,4 a —2,7 % del método de Bitterlich, respecto a la enumeración total.

Rice y Penfound (32) han encontrado satisfactoria la aplicación del principio de Bitterlich para la determinación del área basal en Oklahoma, en bosques con *Quercus marilandica* y *Q. stellata* como especies principales y *Quercus velutina* y *Carya texana* como secundarias.

El ya citado B. Husch (23), trabajando en bosques sobremaduros de coníferas, bajo cuyo dosel se desarrollaba un bosque joven de latifoliadas, utilizando prismas como instrumento de mensura (con ángulos de 52,09, 104,18 y 208,38 minutos o sea factores 0,5, 2,3 y 9, respectivamente) y comparando los resultados con la mensura total de los árboles en área basal, llegó a la conclusión de que el factor 9 demostraba ser el más seguro y el más rápido, comprobándose un error de 4,6 %. Para el factor 0,5, el error encontrado se elevó a -7,6 %. El factor 2,3 mostró un error de valor intermedio.

Prodan (31), desarrollando las bases matemáticas del Principio de Bitterlich, demostró que la falta de homogeneidad de un rodal puede causar errores que oscilan entre 1 y 8 %, lo cual combinado con otras fuentes de error puede causar grandes desviaciones. Por aumento de la intensidad del muestreo, se pueden reducir los errores hasta un máximo de 5 %.

Ker, Smith y Walters (27), determinaron que el error medio de 25 estudiantes no entrenados en la determinación del área basal con un prisma de 3 dioptrías (factor 2,3), osciló entre 3,7 % y 1 %. Además trabajaron con prismas de factores 1,1, 2,3, 4,5 y 9, obteniendo con el de 4,5 un mejor balance de la relación costo/seguridad.

Afanasiev (1), trabajando en *Pinus palustris* en el Sur del Mississippi, comprobó que el Principio de Bitterlich aplicado a la determinación del área basal demostraba una diferencia de solamente 1,5 % con el método de mensura total, cuando se hacía referencia a toda el área considerada: 120 há., de bosque coetáneo. Cuando se consideraban individualmente las unidades de relevamiento se constató que los errores oscilaban entre -22,7 % y 103,8 %.

Loken (29) demostró que existe una subestimación sistemática de área basal, cuando se usa el método de Bitterlich, debido a que el ojo no es un punto prácticamente infinitesimal ("pin-point"), y porque es imposible enfocar con nitidez absoluta en la escala y en el árbol visado, simultáneamente.

Takacs (36), trabajando en un monte nativo en Jujuy y Santiago del Estero, constató errores del orden de 4 y 15 %, respectivamente, en la determinación del área basal, comparando el método que surge de la aplicación del principio de Bitterlich y el de la mensura total de los árboles involucrados. En *Eucalyptus*, en la provincia de Buenos Aires, constató un error de 3,5 %.

Blutel (5), trabajando en *Quercus* de 92 años de edad, en parcelas raleadas y sin ralear y comparando el método de mensura total de árboles y la aplicación del principio de Bitterlich en la determinación de área basal, llegó a la conclusión de que eran necesarios por lo menos 20 y preferiblemente 25 árboles por puntos de muestreo, en contradicción con las opiniones imperantes. Demostró, en relación con dicha comprobación, que aún multiplicando el número de puntos de muestreo, errores mayores de 10 %, ocurren siempre que se tomen solamente 10-20 árboles. En cambio, el error se reduce a un margen de 5 %, cuando el número de árboles medidos se eleva a 20-30.

Borgeson, Colclough y Young (7), trabajando en rodales de composición y densidad variable, comparando la aplicación del método de Bitterlich con el método convencional, midiendo todos los diámetros con cinta, en parcelas de 800 m², comprobaron que el tiempo utilizado en el relevamiento por el primer método era de 13.3 minutos en promedio y 31.6 minutos, en el segundo. Para el total de parcelas relevadas, el error en que se incurra al trabajar con el método de Bitterlich es de 10 %, pero en los rodales, considerados individualmente, ocurren errores que varían entre 24,5 % y 87,5 %.

Buzdech y Parkan (8), trabajando en rodales puros de *Pinus* y *Picea*, con edades comprendidas entre 80 y 125 años, se constató un error medio de -0,51 % (máximo de -7,7 %), al utilizar el Relascopio para determinar el área basal, en comparación con el método de enumeración total.

Carow (9), trabajando en *Pinus*, *Picea* y *Populus* con el Relascopio, utilizando factores 9/16, 1 y 2, llegó a la determinación de los errores de 6,5 %, 6,8 % y 7,2 %, respectivamente, si comparamos los resultados con los obtenidos por el método de enumeración total. El tiempo necesario para obtener datos de seguridad similar al método convencional antes mencionado es de: 5,1, 7,1 y 11,7 minutos, respectivamente, mientras que en aquél, se demora 16,2 minutos.

MATERIAL Y METODOS

El procedimiento utilizado consiste en tomar 3 parcelas de 4.000 m² (A, B y C), cada una de las cuales es subdividida en 10 subparcelas, lo que significa un total de 30 subparcelas. En cada una de éstas, se determina el área basal por dos vías: a) Medición del diámetro de todos los árboles comprendidos en la subparcela; b) Medición del área basal de dicha subparcela, ubicándose en el centro de la misma con el Relascopio de Bitterlich, usando factores 1, 2 y 4.

Las parcelas en estudio están ubicadas en el Parque Joaquín Suárez (km. 51 del ramal de la Ruta 36 al Parador Tajés), Departamento de Canelones, siendo constituidas todas ellas por

rodales puros de *Pinus radiata*, de 15 años de edad, habiéndose recogido los datos en los meses de octubre y noviembre de 1965.

El bosque en cuestión fue elegido teniendo en cuenta diversos factores, entre los que son dignos de mencionar: edad, homogeneidad, conocimiento de sus características dasométricas, etc. Si bien en la literatura se encuentran trabajos con un gran número de parcelas (subparcelas en este caso), que llegan hasta 431 en algún caso (25), hemos decidido comenzar a trabajar con un número relativamente bajo de las mismas —dado las limitaciones existentes, sobre todo de personal—, pero que, sin embargo, pueden considerarse por encima del mínimo exigible. Los resultados que se obtengan, dado el planteo anteriormente expuesto, sólo serán estrictamente aplicables al bosque en cuestión, aún cuando frente a situaciones similares, se puede pensar en hacerlos extensivos, siempre y cuando se actúe con un criterio altamente objetivo.

Descripción del sitio

a) *Suelos*.— Los suelos del bosque estudiado se caracterizan topográficamente por ser planos o casi en las parcelas A y B, mientras que en la parcela C, se registra una pendiente bastante considerable (8-10 %) hacia el Este.

El suelo —en las parcelas A y B— se presenta con dos horizontes: A y B, netamente definidos, ambos con una profundidad aproximada de 35-40 cm. En la parcela C, el suelo es más superficial, aflorando en algunos lugares la roca madre (areniscas de la formación Fray Bentos).

La textura es franco-arenosa en el horizonte A, aumentando considerablemente su contenido en arcilla en el horizonte B hasta alcanzar una textura arcillo areno limosa y en algunos sectores, completamente arcillosa. Se constata en este horizonte un abundante moteado rojizo y amarillento.

El pH en agua, es de alrededor de 5.0 y 6.5 en cloruro de potasio. El contenido de humus, oscila alrededor de 2 a 3 % en el horizonte superior.

b) *Vegetación*.— Se desarrolla un sotobosque de alguna importancia de *Celtis tala* (tala). Las especies de vegetación menor que predominan son las siguientes: *Chaptalia arechavaletai*, *Cichorium intybus* (achicoria), *Cirsium vulgare* (cardo negro) y en menor proporción: *Eryngium paniculatum* (cardilla), *Plantago* sp., *Oxalis macachin* (macachin), *Bromus mollis*, *Setaria caespitosa*, *Berberis laurina*, *Cynodon dactylon* (Pasto Bermuda), *Senecio selloi*, *Cissus striata*, *Hybanthus parviflorus*, etcétera. También se encuentran algunas plántulas de *Ilex aquifolium* (acebo) y *Rapanea laetevirens* (canelón).

c) *Características del bosque.*— Las tres parcelas estudiadas —A, B y C— presentan valores dasométricos similares, por lo cual preferimos presentarlos por medio de un valor único, resultante del promedio de las tres parcelas y que se exponen a continuación:

Diámetro promedio	20,2 cm.
Área basal por há.	39 m ²
Altura total promedio	14,8 m.
Edad	15 años
Coefficiente mórfico	0,48
Nº de árboles por há.	1.340
Volumen por há.	280 m ³
Incremento medio volumétrico ..	18,5 m ³ /há./año

La distancia de plantación es de 2×2 en las parcelas A y C y 3×2 en la B. Por aplicación de la fórmula dada en (22), por medio de la cual se obtiene un índice, proveniente del producto de la altura tope por la circunferencia a la altura del pecho por el número de árboles por acre, igual a 0,90, se comprueba un raleo por lo bajo, de débil intensidad.

Procedimiento de trabajo

En cada subparcela (de superficie igual a 400 m²), se efectuaron los siguientes mediciones:

a) Medidas de los D.A.P. de todos los árboles contenidos en la subparcela, utilizándose como instrumento de mensura un calibre de madera, con el cual se efectuaron dos medidas en ángulo recto y luego se promediaron al cm. más cercano. Una vez efectuada esta operación, en el gabinete se calcularon las áreas basales de cada árbol y por suma de las mismas se obtuvo el área basal de la subparcela, la cual, multiplicada por 25 —dado que la superficie es igual a 400 m²— da el área basal por há.

b) En el centro de cada subparcela, se ubicó el operador con el Relascopio de manera de abarcar con un giro de 360 grados los árboles que a la postre indican el área basal de la misma. Se trabajó con tres factores de los nueve posibles en el Relascopio: 1, 2 y 4, realizándose dos giros de 360 grados en cada uno de los casos y se promedian los resultados.

Cuanto menor es el factor K más demora el muestreo, debido a que deben medirse más árboles en cada punto, pero conjuntamente la exactitud obtenida es mayor, por lo menos teóricamente, y viceversa. La elección del factor es, precisamente, un punto de discusión entre los investigadores, tratándose aquí de lograr algún indicio de cual sería el más indicado, bajo las condiciones de nuestros bosques artificiales.

Algunos investigadores de gran experiencia sugieren usar un factor K tal que el número de árboles medidos por puntos sea una cifra comprendida entre 5 y 10 árboles, o aún entre 4 y 8 (14), con el fin de obtener del método su ventaja principal, que es, precisamente, su rapidez. Según Hanras (21), para pinos marítimos jóvenes un K indicado es 4 y para adultos y densos 5, debiéndose trabajar en este último caso con prisma, ya que el factor máximo del Relascopio es 4. Otros autores, recomiendan, como regla general, la utilización de los valores siguientes:

- Factor 4: Area basal mayor de 40 m²/há.
- Factor 2: Area basal entre 20 y 40 m²/há.
- Factor 1: Area basal menor de 20 m²/há.

Como ya se ha visto anteriormente, Biutel (5) recomienda la mensura de por lo menos 20 árboles por punto de muestreo, en desacuerdo con las opiniones citadas.

Una nueva consideración es la elección del factor, de acuerdo al número máximo de árboles que deseamos medir por punto de muestreo. En efecto si AB/há. es igual a N.K., K es obtenido por división del AB/há. por el número de árboles contados N. Husch (23) sugiere que N sea igual a 10, por lo que el factor a utilizar sería en definitiva:

$$K = \frac{AB/há.}{10}$$

En los procedimientos a) y b), citados anteriormente, se controló el tiempo utilizado en la mensura (ver cuadro N° 1).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente estudio, son expresados por intermedio de los cuadros siguientes:

CUADRO N° 1

TIEMPO UTILIZADO EN LA DETERMINACION DEL AREA BASAL
POR SUBPARCELA

Tiempo aproximado (minutos)	M é t o d o s			
	Conven- cional	Relascopio Fac. 1	Relascopio Fac. 2	Relascopio Fac. 4
24	5			3

CUADRO Nº 2

AREA BASAL DE LAS SUBPARCELAS (en m²)

Nº Subparcela	Métodos de determinación del área basal				Número árboles
	Conven- cional	Rel. Fact. 1	Rel. Fact. 2	Rel. Fact. 4	
1 A	39,9	38	40	40	52
2 A	50,4	44	50	44	67
3 A	42,9	41	42	36	43
4 A	46,7	53	54	52	57
5 A	42,6	49	46	48	54
6 A	45,6	45	52	52	60
7 A	46,7	54	56	56	57
8 A	45,3	43	38	40	45
9 A	42,6	43	40	44	54
10 A	36,0	39	38	40	38
Promedio A	43,9	44,9	45,6	45,2	53
1 B	32,0	33	38	40	46
2 B	29,0	32	36	40	35
3 B	29,4	34	34	32	37
4 B	40,6	48	48	44	51
5 B	46,3	57	50	56	65
6 B	33,3	38	36	32	59
7 B	28,3	35	34	36	41
8 B	24,5	30	28	32	37
9 B	25,5	28	24	28	60
10 B	31,6	33	36	36	50
Promedio B	32,0	36,8	36,4	37,6	48
1 C	39,3	42	46	36	65
2 C	40,5	50	52	48	56
3 C	43,7	54	52	52	62
4 C	39,3	41	46	48	56
5 C	39,4	46	50	52	62
6 C	41,9	46	50	48	58
7 C	37,3	50	44	48	59
8 C	42,9	42	50	48	64
9 C	43,7	44	44	44	58
10 C	41,9	41	40	36	58
Promedio C	41,0	45,6	47,4	46,0	60
Promedio general	39,0	42,4	43,1	43,0	53
Desviación típica	6,63	7,57	7,94	7,64	9,27
Cofic. variación (%)	17,0	17,9	18,4	17,7	17,5

CUADRO Nº 3

AREA BASAL DE LAS SUBPARCELAS (en %)

Nº Subparcela	Métodos de determinación del área basal			
	Conven- cional	Rel. Fact. 1	Rel. Fact. 2	Rel. Fact. 4
1 A	100,0	95,0	100,0	100,0
2 A	100,0	87,3	99,2	81,0
3 A	100,0	95,5	97,2	83,9
4 A	100,0	113,5	115,0	111,3
5 A	100,0	115,1	108,0	112,6
6 A	100,0	98,7	114,0	114,0
7 A	100,0	115,6	119,9	119,9
8 A	100,0	94,9	83,9	92,7
9 A	100,0	100,9	93,6	103,6
10 A	100,0	108,3	105,5	111,1
Promedio A	100,0	102,5	103,9	103,4
1 B	100,0	103,1	118,8	125,0
2 B	100,0	110,4	124,1	137,9
3 B	100,0	115,6	115,6	108,3
4 B	100,0	118,2	118,2	108,3
5 B	100,0	123,1	108,0	120,9
6 B	100,0	114,1	108,1	96,1
7 B	100,0	123,7	120,1	127,2
8 B	100,0	122,4	114,3	130,6
9 B	100,0	109,8	94,1	109,8
10 B	100,0	104,4	113,9	113,9
Promedio B	100,0	114,6	113,4	117,1
1 C	100,0	106,8	117,0	91,6
2 C	100,0	123,4	128,4	118,5
3 C	100,0	123,5	119,0	119,0
4 C	100,0	104,3	117,0	122,1
5 C	100,0	116,7	127,0	131,1
6 C	100,0	109,8	119,3	114,5
7 C	100,0	134,0	118,0	128,7
8 C	100,0	97,6	116,5	110,9
9 C	100,0	100,7	100,7	100,7
10 C	100,0	97,8	95,4	85,9
Promedio C	100,0	111,2	115,6	112,2
Promedio general	100,0	108,7	110,5	110,2
Desviación típica	0,0	10,69	12,19	14,69
Coefic. variación (%)	0,0	8,9	11,0	7,5

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

1) Prueba *t*

Si aplicamos la prueba *t*, como si fueran parcelas apareadas, y comparamos el método convencional con el de Bitterlich, con distintos factores, se obtienen los resultados siguientes:

Comparación	\bar{d}	$S_{\bar{d}}$	$\bar{d}/S_{\bar{d}}$
Convenc. vs. $k = 1$	3,4	0,81	4,19++
Convenc. vs. $k = 2$	4,1	0,80	5,12++
Convenc. vs. $k = 3$	4,0	0,92	4,35++

O sea que se detectan diferencias altamente significativas (nivel 1 %) en todas las comparaciones efectuadas, registrándose en todos los casos una sobreestimación en los resultados que alcanzan a las cifras de 8,7 %, 10,5 % y 10,2 %, según se trate de los factores 1, 2 y 4, respectivamente.

2) Comparación de variancias

En la práctica normal de la inventariación, no se realiza casi nunca la enumeración total de los árboles existentes en un área determinada, debido, fundamentalmente al alto costo que significaría trabajar de esa manera. Se toman, en cambio, muestras cuidadosamente elegidas —al azar o en forma sistemática—, las que son consideradas como la representación de la población en su conjunto. En ese sentido, a continuación, efectuamos la comparación entre el número de puntos de muestreo que serían necesarios para igualar la variancia del promedio, correspondiente a un muestreo de intensidad 10 %.

Si consideramos la variancia de la población de las 30 subparcelas como S^2 , la variancia del promedio de las mismas, con una intensidad de muestreo de 10 % (= 3 subparcelas), sería $S^2/3$. Mientras tanto, la variancia del método de Bitterlich, llamando s^2 al error de medida y n al número de puntos necesarios para igualar S^2 , será igual a:

$$S_B^2 = \frac{S^2 + s^2}{n_i}$$

siendo i el factor del Relascopio utilizado en cada caso (1, 2 y 4).

Cuando el factor utilizado es el 1 o el 2, n_1 resulta igual a 4, y cuando se usa el 4, n_1 es igual a 5.

Si estos resultados son relacionados con los datos del cuadro Nº 1, se comprueba que con el método convencional son necesarios 24×3 , o sea 72 minutos, mientras que con el Relascopio sólo son necesarios 20, 16 y 15 minutos, según que el factor sea 1, 2 ó 4, respectivamente, para realizar un relevamiento en las condiciones señaladas anteriormente.

3) *Tamaño de muestra*

Si el error de muestreo considerado aceptable es el de 0,10, el número de parcelas, necesarias para cumplir con dicho valor, puede ser calculado por medio de la fórmula apropiada de tamaño de muestra, obteniéndose n igual a 13.

Si en vez de 0,10, tomamos un error de muestreo de 5 %. n se elevará mucho, siendo aproximadamente igual a 50.

Los valores arriba obtenidos, significan que el número de parcelas estudiadas es ampliamente suficiente si consideramos aceptable un error de muestreo de 10 %, y faltarían tomar datos de 20 parcelas más, si ese error es fijado en 5 %. Por otra parte, el número de parcelas tomadas —30— indica un error de muestreo del orden de 6,6 %.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los resultados de este estudio, indican que el método de Bitterlich, arroja diferencias estadísticamente significativas con respecto al método de la "enumeración total", incurriendo en una sobreestimación de 8,7 %, 10,5 % y 10,2 %, según se trate de los factores 1, 2 y 4, respectivamente.

Por otra parte, el tiempo utilizado en el relevamiento de una subparcela convencional es de 24 minutos, mientras que para un punto de muestreo es de 5, 4 y 3 minutos, para los factores 1, 2 y 4, respectivamente. Del estudio de comparación de variancias, surge, por otra parte, que hay equivalencia entre el muestreo con intensidad del 10 % —que demanda 72 minutos— y un muestreo con 4 puntos, usando los factores 1 ó 2 y 5 puntos si se trata del factor 4, los cuales demandan 20, 16 y 15 minutos, respectivamente.

Tomando en cuenta los aspectos señalados en los dos párrafos anteriores, surge con claridad que el método de Bitterlich, para la especie y tipo de bosque estudiado, no puede considerarse equivalente al de la "enumeración total" desde un punto de vista estrictamente estadístico. Sin embargo, considerando que tal

método, a igualdad de variancias, utiliza tiempos 3,6, 4,5 y 4,8 veces menores, según se use factor 1, 2 ó 4 y teniendo en cuenta que el error es moderado, a "grosso modo" del orden del 10 %, no parece conveniente, en la fase actual de nuestros conocimientos, descartar su uso. En efecto, admitiendo que un error de 10 % puede considerarse admisible para ciertos propósitos, principalmente cuando deseamos hacer un inventario rápido que nos proporcione cifras aproximadas, debe continuarse investigando acerca de la utilidad de este método. Dentro del marco de elementos proporcionados por este trabajo, debería darse preferencia, dentro de los factores estudiados al 4, en mérito a una exactitud similar a los demás y a una rapidez mayor.

Los errores máximos registrados en las subparcelas son: Factor 1: 12,7 m² (34 %), Factor 2: 11,5 m² (28 %), Factor 4: 11,0 m² (38 %), los cuales resultan bastante inferiores a los presentados por Husch (25), en la misma especie, en bosque no raleado, así como a los informados por otros autores: Afanasiev (1), Borgeson, Colclough y Young (7).

Los antecedentes bibliográficos consultados, indican en general, un error menor al obtenido en este estudio, a escala total del trabajo. En efecto, Afanasiev (1), indica en *Pinus palustris* un error de 1,5 %; Takacs (36), en *Eucalyptus*, un 3,5 %; Buzdech y Parkan (8), en *Pinus* y *Picea*, solamente 0,5 %; Cromer (11); por su parte, informe de un error inferior a —3 %. Otros autores, en cambio, informan de errores similares o sólo algo menores, a los registrados en este trabajo como ser: Blutel (5) en *Quercus*, 10 %; Borgeson, Colclough y Young (7), también un 10 %, mientras que Carow (9), en *Pinus*, *Picea* y *Populus*, informa errores del orden del 6 a 7 %.

Cabe señalar, sin embargo, que salvo el trabajo de Husch (25), los demás, aparte de referirse a otras especies, estudian bosques maduros, generalmente raleados, en los cuales, la densidad de la masa forestal con su consecuente influencia en la cantidad de luz, así como la presencia molesta del sotobosque, son factores que están considerablemente disminuidos, permitiendo la obtención de resultados más exactos.

Otro aspecto digno de señalar es que en el presente trabajo, así como en varios de los consultados, Afanasiev (1), Borgeson, Colclough y Young (7), Carow (9), Takacs (36), no se ha comprobado la demostración teórica de Loken (29), referente a que el método de Bitterlich produce una subestimación sistemática de área basal.

Por otra parte, el número de parcelas estudiadas es satisfactorio para un error de muestreo del 10 %, mientras que para un error de 5 %, serían necesarias un total de 50. Ello significa que si se pretendiera llegar a resultados más precisos que los expuestos en el presente trabajo, sería necesario tomar

más parcelas, 20 como mínimo (para un error de 5 %). El error de muestreo correspondiente a este estudio es del orden del 6,6 %, al cual consideramos aceptable, dadas las características de este trabajo, primera contribución nacional al tema, y que lógicamente, no puede alcanzar ya, un alto grado de precisión. Por otro lado, y de acuerdo con la información bibliográfica revisada, surge que los errores cometidos por la aplicación del método de Bitterlich en la determinación del área basal, son muy variables según la especie, edad, densidad, factor utilizado, etc., por lo que no pueden darse recomendaciones generales debiéndose, a esos efectos, realizar estudios más detallados.

De cualquier manera, de acuerdo con los resultados obtenidos, la notable economía de tiempo lograda, justifica el uso del método de Bitterlich —especialmente con factor 4— para la determinación de Área Basal por hectárea en bosques jóvenes de Pino insignne, no raleado o débilmente raleado, siempre y cuando no se requiera gran exactitud en los resultados, y sea limitante al factor tiempo.

CONCLUSIONES

1) La determinación del área basal en el bosque en estudio, por medio de la mensura del diámetro de todos los árboles en consideración (“enumeración total”), arroja diferencias estadísticas, altamente significativas (nivel 1 %), respecto al método de Bitterlich con factores 1, 2 y 4, registrándose diferencias del orden de 8,7 %, 10,5 % y 10,2 %, respectivamente.

2) El tiempo utilizado en el método de “enumeración total” resulta 3,6, 4,5 y 4,8 veces mayor que el correspondiente al método de Bitterlich con factores 1, 2 y 4, respectivamente, cuando se aplica un muestreo de intensidad 10 %, lo que a igualdad de variancias significa que se requerirán 4, 4 y 5 puntos de muestreo en el área considerada (1,2 há.).

3) De lo expuesto en los numerales 1) y 2), se concluye que para un bosque de las características del estudiado (pino insignne; 15 años de edad; densidad de plantación 2×2 y 3×2 ; densidad actual de 1.340 árboles por hectárea; área basal de 39 m²/há.; textura francoarenosa del suelo; sotobosque escaso), en base a su error moderado y al gran ahorro de tiempo, se recomienda el uso del método de Bitterlich, preferiblemente con factor 4, para obtener el área basal por hectárea, cuando no es necesaria una gran exactitud en su determinación. En caso contrario, se debe continuar usando el método convencional.

4) Es necesario realizar nuevos estudios, a los efectos de confirmar o modificar, con una mayor seguridad, los resultados expuestos en el presente trabajo.

SUMMARY

In a Monterrey Pine forest (*Pinus radiata* D. Don) of 15 years of age, a comparative study is made in 30 plots of 400 m² each, between methods (1): "total enumeration" and (2): Bitterlich, with factors 1, 2 and 4, regarding the determination of basal area.

The time used for the method (1) is 24 minutes per plot, while method (2) uses only 5, 4 and 3, respectively.

The basal area average por hectare are: (1) 39 m² and (2) 42,4, 43,1 and 43,0 m², respectively, recording a variation coefficient very similar in all cases which rises to 17-18 %.

Highly significant differences are recorded (level 1 %) between method (1) and method (2) with any of the factors studied (1, 2, 4). These differences which are expressed in percentual values, show the following amounts: 8,7 %, 10,5 % and 10,2 %, respectively.

We found out that method (1) proved with a sample intensity of 10 %, needs a survey of 72 minutes, for all the studied area, while method (2), needs only 20, 16 and 15 minutes according to the factors 1, 2 and 4, respectively.

On the basis of a reasonable error and the great saving of time, we recommend the use of Bitterlich's Method, with factor 4, in order to obtain the basal area por hectare, where no great accuracy in the determination is needed. The number of plots studied —30— according with the variability of the forest, shows a sampling error of 6,6 %.

Se agradece al profesor de Tecnología y Explotación de Bosques, Ing. Agr. Rinaldo Tuset, la revisión del borrador de este trabajo; al Ing. Agr. Raúl Brescia la determinación de las especies de vegetación menor encontradas en las parcelas en estudio; y al Sr. Fermín Silva su colaboración en la toma de datos de campo.

BIBLIOGRAFIA

1. AFANASIEV, M. (1958).— Some results of the use of the Bitterlich method of cruising in a even-aged stand of Longleaf Pine. *J. For.*, 56 (5): 341-343.
2. ALONSO, O. G.— *Las características y las aplicaciones del Re-lascopio en la dasometría*. Buenos Aires, Centro de Estud. de Fac. Agr., 27 pp. (Mimeografiado.)
3. ALVAREZ DE ARAYA, G. (1963).— *Estudio comparativo de sistemas de muestreo empleados en mensuras forestales*. Esc. Ing. For. Univ. Chile, 117 pp. (Tesis no publicada.)

4. BEERS, T. W. and MILLER, C. I. (1964).— Point sampling: research results, theory and applications. *Purdue University Research Bulletin*, N° 786, 56 pp.
5. BLUTEL, Y. (1960).— Vite, bien, complètement: le Rélascope de Bitterlich le permet-il? *Rev. for franc.*, 12 (10): 628-636.
6. ----- (1962).— Les applications très pratiques du Relascope de de Bitterlich. *Rev. for franc.*, 14 (1): 28-43.
7. BORGESON, A. F.; COLCLOUGH, D. M. and YOUNG, H. E. (1958).— A field test of the Bitterlich variable plot cruising method in Maine. *Tech. Note Univ. Me. For. Dep.*, N° 48, 4 pp.
8. BUZDECH, J. and PARKAN, J. (1957).— (Examining of and rate of work with Bitterlich mirror Relascope). *Prace. vyzkum. Ust. Lesn. CSR.*, (13): 293-304. (Resumen en Forestry Abstracts 20: 2134.)
9. CAROW, J. (1957).— Cruising pole timber by Bitterlich angle-count method. *Pap. Mich. Acad. Sci.*, 43: 151-156.
10. CARREON, F. (1963).— Inventarios forestales: I. Manual de muestreo de bosques por sitios de dimensiones variables. *Com. For. Est. Michoacán.*, Bol. N° 12, Serie Técnica, 64. pp.
11. CROMER, D. A. N. (1954).— Techniques and instruments for the determination of basal area and volume per acre. *Austr. For.*, 18 (2): 86-92.
12. ----- and BROWN, A. G. (1956).— Plantations inventories with aerial photographs and angle-count sampling. *Bull. For. Timb. For. Aust.*, N° 34, 23 pp.
13. DAFAUCE, C. (1957).— Un nuevo método de medición rápida. *Montes*, N° 75: 179-187.
14. ESCARPITA, A. (1962).— Método del muestreo de dimensiones variables. *México y sus bosques*, Epoca II (1): 6-13.
15. ----- y SIERRA, A.— La cuña óptica como telémetro en la delimitación de sitios circulares de muestreo. *Inst. Nac. Inv. For. Coyoacán.*, México, 6 pp.
16. GALLARDO, J. y GONZALEZ, A. (1957).— Muestreo puntual en el cálculo de existencias. *Montes* (75): 179-187.
17. GOULDEN, C. H. (1956).— *Methods of statistical analysis*, 2 ed., N. Y., Wiley.
18. GROSENBAUGH, L. R. (1954).— New tree measurement concepts: height accumulation, giant tree, taper and shape. *South. For. Exp. Sta. Occas. Pap.*, N° 134, 32 pp.
19. ----- (1958).— Point-sampling and line-sampling. Probability theory, geometric implications, synthesis. *South. For. Exp. Sta. Occas. Pap.*, N° 160, 34 pp.
20. ----- and STOVER, W. S. (1957).— Point-sampling compared with plot-sampling in Southeast Texas. *For. Sci.*, 3 (1): 2-14.

21. HANRAS, J. (1962).— Etude sur l'application de la méthode de Bitterlich aux forêts de pins maritimes. *Rev. for. franc.*, 14 (1): 28-43.
22. HUMMEL, F. C.; LOCKE, G. M. L.; JEFFERS, A. I. S. and CHRISTIE, J. M. (1959).— *Code of Sample Plot Procedures*. For. Comm., London, 114 pp.
23. HUSCH, B. (1963).— Comparación de estimaciones de área basal en plantaciones de pino insigne, usando el método de Bitterlich y parcelas convencionales. *Inst. For. Chile*. Nota Técnica, N° 1, 8 pp.
24. ----- (1963).— *Forest mensuration and Statistics*. N.Y., Ronald Press.
25. ----- (1955).— Results of an investigation of the variable plot method of cruising. *J. For.*, 53 (8): 570-574.
26. JEFFERS, J. N. R. (1959).— *Experimental design and analysis forest research*. Iufro, Stockholm, Almqvist and Wiksell, 172 pp.
27. KER, J. W.; SMITH, J. H. G. and WALTERS, J. (1957).— Observations on the accuracy and utility of plotless cruising. *B. C. Lumberm.*, 41 (11): 32-36. (Resumen en Forestry Abstracts 19: 2108.)
28. LAMBARDI, H. (1960).— Sencilla explicación del método Bitterlich. *Rev. For. Agr.*, 4 (1): 19-21.
29. LOKEN, L. (1961).— (The eye as a source of error when using a stick Relascope). *Norsk Skogbr.*, 7 (5): 174-175. (Resumen en Forestry Abstracts 22: 2881.)
30. PARDE, J. (1951).— *Dendrometrie*. Nancy, Ecol. Nat. Eux et Forest, 350 pp.
31. PRODAN, M. (1953).— (The accuracy of Bitterlich's sampling method). *All. Forstetq.*, 64 (7/7): 96-100. (Resumen en Forestry Abstracts 17: 4270.)
32. RICE, E. L. and PENFOUND, W. T. (1955).— An evaluation of the variable —radius and paired— tree methods in the Blackjack and Post Oak forest (of Oklahoma). *Ecology*, 36 (2): 315-320.
33. SANCHEZ MEJORADA, N. (1962).— Los sitios de dimensiones variables y su aplicación en Michoacán. *Com. For. Est. Michoacán*, México, Publ. Esp., N° 1.
34. SHANKS, R. E. (1954).— Plotless sampling trials in Appalachian forest types. *Ecology*, 35 (2): 237-244.
35. SNEDECOR, G. W. (1956).— *Statistical methods*. 5.ed. Ames, Iowa State College Press.
36. TAKACS, A. (1959).— Mediciones rápidas de volúmenes leñosos en masas forestales. *Rev. For. Arg.*, 3 (4): 135-140.
37. VAN HOUTTE, J. (1964).— Empleo del Relascopio de Bitterlich en la medición forestal. *Idia (Suplemento Forestal)*, 83-118.