

Comprobación de cinco métodos de muestreo forestal en un bosque nativo de *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze

Comparison of five methods of forest sampling in the native forest of Araucaria angustifolia Bert. O. Ktze

F. A. MOSCOVICH¹ y D. A. BRENA²

Recibido en junio de 2004; aceptado en noviembre de 2006

RESUMEN

En un bosque nativo de *Araucaria angustifolia* perteneciente a la Floresta Nacional de San Francisco de Paula (RS-BR), se realizó la comparación de cuatro métodos de muestreo de área variable (Strand, Prodan, Cuadrantes y Bitterlich) con un método de Área Fija para determinar la eficiencia de cada uno de ellos en la estimación de parámetros cuantitativos (volumen, número de árboles por hectárea, área basal) y cualitativos (número de especies) de la población. Se realizó el inventario de una hectárea considerando todos los árboles con circunferencia a la altura del pecho (CAP) \geq 30 cm, identificándolos y midiendo sus alturas total y comercial. El método de Área Fija adoptado fue el de Fajas de 100 m de largo por 10 m de ancho (10 fajas contiguas). Para los métodos de Prodan, Bitterlich y Cuadrantes se realizaron 25 puntos de muestreo distribuidos sistemáticamente a cada 20 m, y del método de Strand fueron realizadas 30 líneas de muestreo de 15,7 m largo. Por análisis de la variancia se comprobó que los métodos no presentaron diferencias significativas en la estimación del volumen, área basal y número de árboles por hectárea. Se encontraron diferencias significativas en el número de especies, siendo el método de Área Fija el que presentó mayor media. Con los tiempos tomados y los coeficientes de variación encontrados se calculó la Eficiencia Relativa, verificándose que el método de Strand fue siempre superior a los demás métodos en la estimación de todos los parámetros y que el método de Cuadrantes, fue siempre inferior en la estimación de todos los parámetros.

Palabras clave: Métodos de muestreo, Inventario Forestal, Bosque Nativo de Araucaria

ABSTRACT

In a native forest of *Araucaria angustifolia* belonging to the National Forest of San Francisco of Paula (RS-BR), was carried out a comparison of four methods of sampling of variable area (Strand, Prodan, Quadrants and Bitterlich) with a method of Fixed Area in order to determine the efficiency of each one to estimate the quantitative parameters (volume, number of trees by hectare, basal area) and the qualitative (number of species) of the population. The inventory was carried in one hectare considering all the trees with circumference to the height of the chest (CAP) \geq 30 cm, identifying them, and measuring their total and commercial heights. The adopted method of Fixed Area was that of the Strips of 100 m long for 10 m wide (10 contiguous strips). The Prodan, Bitterlich and Quadrants methods were carried out on 25 sampling points distributed 20 m systematically each, and for the method of Strand were 30 lines of sampling of 15,7 m long selected. For analysis of the variance it was proved that the methods did not present significant differences in the estimate of the volume, basal area and number of trees by hectare. There were significant differences in the number of species, and the Fixed Area method presented larger stocking. The Relative Efficiency was calculated based in the timing and the variation coefficients thus the Strand method was the best to estimate all the parameters, whereas the Quadrants method under estimate all of them.

Keywords: Sampling methods, Forest Inventory, Native Forest of Araucaria

¹ Ing. Ftal. EEA INTA Montecarlo. (3384) Montecarlo, Misiones, Argentina. Tel. y FAX +54 (3751) 480057/480512. E-mail: fmoscovich@ceel.com.ar.

² Profesor de la Universidad Federal de Santa María. E-mail: Brena@creta.ccr.ufsm.br

1. INTRODUCCION

Las estimaciones de los parámetros de una población se obtienen a través de la medición de un conjunto de unidades de muestreo consideradas como representativas de la población de origen.

El muestreo mediante el uso de parcelas de área fija es el más utilizado en los inventarios forestales, ya que la probabilidad de selección de los árboles, esta relacionada directamente al área de la parcela y a la frecuencia de los individuos que están dentro de ella (Péllico Netto y Brena, 1997). Esta situación cambia cuando se trabaja con parcelas de superficies variables, donde la probabilidad de selección de los árboles es proporcional al área basal o a la distancia de los árboles respecto a un punto o línea determinada. Es sabido que el muestreo por parcelas, o por puntos o líneas, es una técnica apropiada para la selección de los árboles, por proceso casual o sistemático, brindando estimaciones dignas de confianza de algunos parámetros de la población como ser, volumen, número de árboles y área basal entre otros (Souza, *et al.*, 1981).

El tamaño y la forma de las parcelas de área fija, bien como el método de muestreo de área variable que sean empleados, influirán en la eficiencia de un inventario forestal, reflejándose esto, en el nivel de precisión alcanzado, y por la exactitud de los valores que están siendo estimados, además de tener una influencia directa sobre los costos del inventario.

El objetivo general del presente trabajo es el de comparar los métodos de Strand, de Prodan, de Bitterlich y de los Cuadrantes, con el método de Área Fija cuando están aplicados en un Bosque Nativo de *Araucaria angustifolia*.

Los objetivos específicos son: a) comparar la precisión de las estimaciones de los métodos de Strand, Prodan, Bitterlich y de los Cuadrantes con el método de Área Fija; b) comparar los tiempos de toma de datos demandados por los distintos métodos en estudio; y c) comparar el número de especies forestales muestreadas por cada uno de los métodos en estudio.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Método de Área Fija

La selección de los individuos, en este método, se realiza de forma proporcional al área de la unidad de muestreo y, además, por la frecuencia de los individuos que están dentro de ella. Las variaciones en la forma y el tamaño de las unidades de muestreo constituyen las variables fundamentales para evaluar la aplicación práctica de éste método (Péllico Netto y Brena, 1997). La forma y el tamaño de las unidades de muestreo están definidas, generalmente, por la practicidad y operacionalidad de su demarcación y localización en el campo, que por cualquier otra argumentación.

Según Pearce, op. cit. por Péllico Netto y Brena (1997), se puede afirmar que no hay informaciones acerca del mejor tamaño para estas unidades de muestreo, pero hace la salvedad que las unidades de tamaño pequeño proporcionan economía de tiempo, en tanto que las de mayor tamaño proporcionan reducción de mano de obra. En general se puede decir que el tamaño queda definido en función de la experiencia práctica y de un enfrentamiento entre beneficios y costos.

En lo que se refiere a la forma de las unidades de muestreo, Pearce op. cit. por Péllico Netto y Brena (1997) establece que, las unidades de muestreo angostas y largas, en general, son mejores que las cuadradas. Según Robles (1978), en términos generales se puede afirmar que unidades de muestreo angostas y largas son más convenientes desde el punto de vista de la heterogeneidad del suelo. En definitiva, la forma de la unidad dependerá del objetivo del estudio.

2.2. Método de Strand

El Método de la Línea o Método de Strand, es una aplicación de la técnica de conteo angular (Loetsch, *et al.*, 1973). Strand, focaliza en este método, fundamentalmente, el criterio probabilístico de que la selección de los individuos que forman parte de la unidad de muestreo, es proporcional al diámetro, para hacer las estimaciones del área basal y del número de árboles por unidad de superficie, y proporcional a la altura total de los individuos, para obtener el volumen y el número de árboles. El levantamiento de los datos se realiza sobre líneas dentro del bosque.

La unidad de muestreo está constituida por una línea de 5π de largo sobre la cual se consideran todos los árboles que se encuentran a la izquierda de dicha línea; el muestreo es realizado en dos etapas: En la primera, la selección de los árboles a ser medidos se realiza con probabilidad proporcional al diámetro, haciendo la selección de los árboles por el método de Bitterlich, para realizar las estimaciones de área basal y número de árboles por hectárea. En la segunda etapa, caminando por la línea, se seleccionan los árboles en forma proporcional a su altura total, para realizar las estimaciones del volumen por hectárea. Se seleccionan los árboles cuya distancia desde el árbol a la línea, sea igual o menor que la mitad de la altura total del árbol considerado, o sea, $D \leq \frac{h}{2}$ (Péllico Netto y Brena, 1997).

2.3. Método de Prodan

Este método fue presentado por Prodan en 1968. Considera la medición de seis (6) árboles y la distancia desde el punto de muestreo al centro del sexto árbol como referencia de la unidad de muestreo. En estas condiciones, la inclusión de un árbol en el muestreo es proporcional a su distancia al punto de muestreo.

La decisión sobre el número de árboles a ser medidos en la unidad de muestreo, tiene como base el comportamiento del coeficiente de variación del volumen individual de los árboles, con relación al número de árboles medidos. En este estudio, Prodan (1968), observó que el coeficiente de variación se volvía estable a partir del sexto árbol medido. La unidad de muestreo consiste en medir los seis árboles más próximos a un punto determinado como centro de la parcela. El sexto árbol es contado como medio árbol.

2.4. Método de los Cuadrantes

Según Martins (1993), el Método de los Cuadrantes tiene su origen en los levantamientos realizados por agrimensores de la United State Land Survey Service en el Estado de Wisconsin, EEUU, durante los años 1833 a 1834. Este método pertenece a la clase de métodos de distancias, debido a que la probabilidad de selección de los individuos es proporcional a la distancia desde el árbol al centro de la unidad de muestreo. La unidad de muestreo está definida por un punto, este punto representa el centro de cuatro cuadrantes. Dentro de cada cuadrante se selecciona el árbol más cercano al punto.

2.5. Método de Bitterlich

Los estudios de relascopia tuvieron inicio con Bitterlich en 1931 (Finguer, 1992; Loetsch *et al.*, 1973; Husch *et al.*, 1982).

El método se basa en el postulado de Bitterlich que dice que (Finguer, 1992): “el número de árboles de un rodal, cuyos diámetros a la altura del pecho (DAP) a partir de un punto fijo aparecen superior a un valor angular *alfa* constante, es proporcional al área basal en metros cuadrados por hectárea”. El método consiste en contar los árboles, realizando un giro de 360°,

cuyos diámetros sean iguales o mayores que una abertura angular equivalente a $\left(\text{sen} \frac{\theta}{2}\right)$, donde (θ) es un ángulo fijo, cuyo vértice es el punto central de la unidad de muestreo. La selección de los árboles se realiza con probabilidad al área basal, o al cuadrado del diámetro y la frecuencia.

La muestra de conteo angular resulta de la determinación del número de árboles de un rodal, cuyos diámetros, a partir de un punto fijo, aparece superior a un valor angular constante previamente determinado. Estos valores constituyen la medida básica para determinar el área basal (Husch *et al.*, 1982; Péllico Netto y Brena, 1997; Finguer, 1992; Loetsch *et al.*, 1973).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en una unidad de muestreo permanente de 1 hectárea, instalada en el año 1995 en la Floresta Nacional (FLONA) de São Francisco de Paula, en la región fisiográfica del Planalto de las Araucarias (Fontana, 1994), al nordeste del Estado de Rio Grande do Sul (Brasil) (BRASIL, 1993). La vegetación natural de la FLONA de São Francisco de Paula pertenece al tipo fitogeográfico “Bosque de Araucaria o Pino Brasileiro” (IBDF/FATEC, 1989; Rambo, 1956; Hueck, 1982; Klein, 1960; Reitz y Klein, 1966; Lindman y Ferri, 1974).

Los métodos de muestreo (Área Fija, Strand, Prodan, Bitterlich y Cuadrantes) fueron aplicados sobre la parcela permanente, de modo de cubrirla con el máximo número potencial de unidades de muestreo en cada método, evitando que se produzcan superposiciones entre unidades de un mismo método. Con estos criterios, la parcela permanente quedó cubierta por 10 unidades correspondientes al método de Área Fija; 25 unidades de los métodos de Prodan, Bitterlich y Cuadrantes (en este caso los puntos de muestreo fueron comunes a los tres métodos); y 30 unidades del método de Strand.

El volumen comercial de los árboles medidos, en los métodos de Área Fija, Prodan, Cuadrantes y Bitterlich fueron calculados a través de las ecuaciones desarrolladas por IBDF/FATEC (1983), para el inventario de los Bosques Nativos de Rio Grande do Sul, como sigue:

1. Para *Araucaria angustifolia*: $\log v = -4,2974 + 2,1842 \log d + 0,6850 \log h$
2. Para las otras especies: $\log v = -3,92528 + 2,0425 \log d + 0,6146 \log h$

donde: v = volumen individual comercial, en m^3 , con corteza; d = diámetro a la altura del pecho (DAP), en centímetros; h = altura total, en metros.

Para el cálculo de los volúmenes, en el método de Strand, se estimaron dos factores medios derivados de las ecuaciones de volúmenes anteriormente presentadas, un factor para Araucaria y otro para las demás especies, cuyos valores fueron 0,500 y 0,4244 respectivamente. Estos factores de forma expresan el volumen comercial a partir de la altura total de los árboles seleccionados en cada unidad de muestreo.

3.1 Método de Área Fija

El método de Área Fija aplicado fue el de fajas, con 10 metros de ancho y 100 metros de largo. Este método fue considerado como patrón o testigo para realizar la comparación con los parámetros obtenidos con los demás métodos. Los cálculos para las estimaciones del área basal, número de árboles y volumen, fueron obtenidas por las siguientes ecuaciones:

$$G = \left(\sum_{i=1}^m g_i \right) \cdot F \qquad N = m \cdot F \qquad V = \left(\sum_{i=1}^m v_i \right) \cdot F$$

donde: G = área basal por hectárea ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$); F = factor de proporcionalidad; g_i = área de la sección transversal de los m árboles de la unidad de muestreo; N = número de árboles por hectárea; m = número de árboles medidos en la unidad de muestreo; V = volumen comercial por hectárea ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$); v_i = volumen individual de los m árboles de la unidad de muestreo.

La conversión de las estimaciones obtenidas en el muestreo para la hectárea, fue realizada mediante el uso del factor de proporcionalidad (F), propuesto por Péllico Netto y Brena (1997), de la siguiente manera:

$$F = \frac{A}{a}$$

donde: A = área de una hectárea (10.000 m^2); a = área de la unidad de muestreo

3.1. Método de Strand

Las parcelas del método de Strand fueron instaladas colocando una cinta métrica como base de la unidad de muestreo. El largo (L) de la línea fue de 15,7 m ($L = 5\pi$).

La selección de los árboles se realizó en dos etapas: a) en la primera etapa se seleccionaron los árboles con criterio probabilístico proporcional al diámetro, mediante el uso del relascopio de Bitterlich, usando un FAB (factor de área basal) igual a 4; b) en la segunda etapa, se seleccionaron los árboles en forma proporcional a su altura, incluyéndose todos los árboles cuya distancia hasta la línea fuese igual o menor que la mitad de su altura total. Las estimaciones del área basal, número de árboles y volumen, fueron obtenidas por las siguientes ecuaciones:

$$G = \frac{\sqrt{FAB}}{10} \sum_{i=1}^m d_i; \quad N = \frac{200 \sqrt{FAB}}{L} \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{d_i} \right); \quad V = f \frac{1}{10} \sum_{i=1}^m d_i$$

donde: FAB = factor de área basal (en este caso $FAB = 4$); L = largo de la línea ($L = 15,7 \text{ m}$); d_i = DAP de los árboles seleccionados; f = factor de forma medio del rodal o de las especies.

2.3. Método de Prodan

La aplicación de este método se realizó distribuyendo los puntos de muestreo a cada 20 m. En cada punto se seleccionaron los seis árboles más cercanos al mismo. La distancia del punto central al sexto árbol se realizó con cinta métrica, con precisión de centímetros. Las ecuaciones utilizadas para estimar área basal, número de árboles y volumen fueron las siguientes:

$$G = \frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_5^2 + (d_6^2/2)}{R_6^2} \cdot 2.500; \quad N = \frac{55.000}{\pi R_6^2};$$

$$V = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_5 + (v_6/2)}{\pi R_6^2} \cdot 10.000$$

donde: R_6 = radio del sexto árbol.

2.4. Método de los Cuadrantes

Los árboles seleccionados en cada punto fueron también identificados, medidos sus CAP y sus alturas y se realizó la medición de las distancias de cada árbol hasta el centro de la unidad de muestreo. Las ecuaciones utilizadas para estimar los distintos parámetros fueron las siguientes:

$$G = \left(\frac{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}{4} \right) \cdot N; \quad N = \frac{10.000}{\bar{M}}; \quad V = \left(\frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}{4} \right) \cdot N$$

donde: \bar{M} = área media de ocupación (Martins, 1993).

2.6. Método de Bitterlich

Los árboles fueron seleccionados realizando un giro de 360° en el punto de muestreo, empleándose un relascopio de Bitterlich con el factor de área basal (FAB) igual a 4. Las ecuaciones para estimar los diferentes parámetros fueron las siguientes:

$$G = m \cdot FAB; \quad N = \sum_{i=1}^m N_i, \quad N_i = \frac{FAB}{g_i};$$

$$V = \sum_{i=1}^m V_i; \quad V_i = N_i v_i$$

En todos los métodos los datos fueron tomados de la siguiente manera: CAP (circunferencia a la altura del pecho) con cinta métrica, precisión de milímetros de todos los árboles con CAP \geq 30 cm. Alturas total y comercial con Blume-Leiss, con precisión de 0,5 m. Los tiempos medidos, desde la instalación de cada unidad de muestreo hasta el fin de la toma de datos en cada una de ellas fue tomado con cronometro electrónico.

Los parámetros fitosociológicos fueron calculados para todas las unidades del método de Área Fija. Una vez caracterizada la población se realizaron las comparaciones florísticas obtenidas en los métodos de Prodan, Strand, Bitterlich y Cuadrantes. Se realizó el análisis de la variancia de las estimaciones para todos los parámetros cuantitativos. Si había diferencias significativas se aplicaba el test de comparación de medias de Tukey (Storck y Lopes, 1997).

La comparación en la eficiencia en la estimación de cada uno de los parámetros, de todos los métodos, fue realizada a través del cálculo de la Eficiencia Relativa (ER) por medio de la siguiente ecuación (Silva Mendes, 1998):

$$ER = \frac{1}{T_x CV^2}$$

donde: ER = eficiencia relativa; T_x = tiempo de instalación y medición; CV = coeficiente de variación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el relevamiento hecho en la unidad de muestreo de una hectárea, fueron medidos un total de 890 árboles con CAP \geq 30 cm, de los cuales fueron identificados 53 especies, pertenecientes a 42 géneros y 30 familias botánicas, además de los árboles muertos que también hacen parte del presente estudio.

De acuerdo con el análisis fitosociológico realizado se observó que la especie con mayor densidad fue *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. (Pino-Paraná) con 353 árboles/ha (39,66% del total de árboles muestreados), siguiendo en orden decreciente: *Ilex brevicuspis* Berg. (Caúna) con 59 árboles/ha (6,63%); *Blepharocalyx salicifolius* (Kunt.) Berg. (Murta) con 58 árboles/ha (6,52%); *Luehea divaricata* Mart. (Azota-cavallito) con 46 árboles/ha (5,17%); *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Yerba-mate) y *Campomanesia xanthocarpa* Berg. (Guabiroba) con 22 árboles/ha (2,47%); y *Banara Parvifolia* (A. Gray) Benth. (Guasatunga) y *Sebastiania commersoniana* (Baill.) Smith & Downs (Branquillo) con 19 árboles/ha (2,13%) cada una. Es

un Bosque de Araucaria típico, donde *Araucaria angustifolia* es la especie predominante del estrato superior.

En la Tabla 1 se pueden observar, de modo comparativo, el número (en porcentaje) de las principales especies muestreadas por los diferentes métodos, tomando como parámetro el método de Área Fija. Se observa que los mismos tienen una distribución semejante, con un gran porcentaje de ocurrencia de *Araucaria angustifolia* y una poca representación de las otras especies.

Tabla 1. Densidad relativa de las 9 especies más importantes encontradas en los métodos de muestreo en estudio.

| Especies (Nombre Científico) | Métodos/Densidad Relativa (%) | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------|------------|------------|--------|
| | Área Fija | Prodan | Bitterlich | Cuadrantes | Strand |
| <i>Araucaria angustifolia</i> | 39,66 | 36,67 | 72,71 | 42,00 | 51,53 |
| <i>Ilex brevicuspis</i> | 6,63 | 4,67 | 4,01 | 8,00 | 3,43 |
| <i>Blepharocalyx salicifolius</i> | 6,52 | 2,67 | 2,67 | 3,00 | 5,91 |
| Muertas, No Identificadas | 6,40 | 6,67 | 2,34 | 4,00 | 4,77 |
| <i>Luehea divaricata</i> | 5,17 | 6,00 | 2,01 | 4,00 | 4,20 |
| <i>Campomaneisa xanthocarpa</i> | 2,47 | 2,00 | 0,33 | 1,00 | 1,72 |
| <i>Ilex paraguariensis</i> | 2,47 | 2,67 | 2,67 | 3,00 | 2,48 |
| <i>Banara Parvifolia</i> | 2,13 | 5,33 | 0,33 | 4,00 | 1,33 |
| <i>Sebastiania commersoniana</i> | 2,13 | 0,67 | 0,00 | 1,00 | 1,91 |

En la Tabla 2 se pueden observar los resultados de las estimaciones para el volumen comercial medio con corteza por hectárea, área basal por hectárea, número de árboles medios estimados por hectárea, tiempos medios de medición, número medio de especies botánicas identificadas, desviación estándar de la media y coeficiente de variación para todos los métodos empleados.

Tabla 2. Estimación de los distintos parámetros por método.

| Parámetros | Métodos | | | | |
|--|------------|---------|------------|------------|--------|
| | Área Fija | Prodan | Bitterlich | Cuadrantes | Strand |
| Vol. Com. (m ³ .ha ⁻¹) | 411,11 | 299,55 | 375,00 | 517,18 | 539,60 |
| Cv% | 12,97 | 49,84 | 34,11 | 107,51 | 42,52 |
| $S_{\bar{x}}$ | 4,10 | 9,96 | 6,82 | 21,50 | 0,90 |
| Área Basal (m ² .ha ⁻¹) | 53,16 | 46,58 | 48,00 | 63,65 | 48,30 |
| Cv% | 12,32 | 55,55 | 31,18 | 103,65 | 38,47 |
| $S_{\bar{x}}$ | 3,89 | 11,03 | 6,22 | 20,72 | 7,01 |
| N/ha | 889,20 | 811,56 | 983,80 | 1.126,00 | 878,00 |
| Cv% | 9,03 | 40,68 | 45,93 | 78,03 | 51,80 |
| $S_{\bar{x}}$ | 2,85 | 8,13 | 9,18 | 15,60 | 5,45 |
| Tiempo medio | 4h 45' 59s | 16' 47s | 33' 17s | 12' 47s | 4' 40s |
| Núm. medio de especies | 20,00 | 3,92 | 3,52 | 3,00 | 4,90 |
| Núm. total de especies | 53 | 32 | 23 | 28 | 37 |

Los resultados del análisis de la variancia del volumen comercial con corteza, área basal, número de árboles y número de especies; por hectárea, son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis de la variancia de los parámetros en estudio.

| Fuente de Variación | GL | Cuadrados Medios | | | Núm. de especies |
|---------------------|-----|---|--|-----------------------|------------------|
| | | Volumen (m ³ .ha ⁻¹) | Área Basal (m ² .ha ⁻¹) | Núm. Árboles/ha | |
| Método | 4 | 262806,9 ¹ | 1235,9 ¹ | 366891,8 ¹ | 606,2* |
| Error | 105 | 90006,3 | 1239,1 | 291767,1 | 2,9 |
| Media | | 435,58 | 51,61 | 941,35 | 5,29 |
| Cv% | | 68,88 | 68,20 | 57,38 | 32,10 |

¹ no significativo; * significativo.

De lo observado en la Tabla 3, se puede verificar que no hay diferencias estadísticas significativas entre los métodos, con 1% de nivel de error, en lo que se refiere a la estimación del volumen comercial con corteza, área basal y número de árboles por hectárea.

De acuerdo con los valores estimados por los diferentes métodos de muestreo, en la estimación del volumen comercial con corteza por hectárea, y comparando estos resultados con el método de Área Fija, se puede decir que, el método de los Cuadrantes y el método de Strand realizaron una sobre estimación de este parámetro, entre tanto los métodos de Bitterlich y de Prodan realizaron una sub estimación de este parámetro.

El método de Strand fue el que más sobre estimó el volumen (+31,26%); el método de los Cuadrantes realizó una sobre estimación del +25,81%. El método de Prodan hizo una sub estimación del -27,14% y el método de Bitterlich del -8,78%. Por lo tanto el método de Bitterlich fue el que realizó una estimación del volumen comercial con corteza mas cercana a la del valor obtenido por el método de Área Fija.

Respecto a la estimación del área basal por hectárea, el método de los Cuadrantes fue el único que sobre estimó este valor, con relación al obtenido por el método de Área Fija (+19,73%). Los métodos de Prodan, Bitterlich y Strand sub estimaron este valor en -12,38%, -9,71% y -9,14% respectivamente. Por lo tanto, el método de Strand fue el que obtuvo la estimación del área basal por hectárea mas próxima al valor paramétrico.

En la estimación del número de árboles por hectárea, los métodos de Cuadrantes y de Bitterlich sobre estimaron este valor en +26,66% y +19,57% respectivamente. En tanto que los métodos de Prodan y Strand sub estimaron el área basal por hectárea en -8,77% y 1,24% respectivamente. Por lo tanto el método de Strand fue el mejor estimador de este parámetro.

Ahora, en la estimación del número de especies, se encontraron diferencias significativas, al nivel de 1% de error, entre los métodos bajo estudio. Para determinar las diferencias existentes entre los métodos se realizó el test de comparación de medias de Tukey, con un nivel de 1% de probabilidad de error (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de medias por el Test de Tukey.

| Métodos | Media de especies | | |
|------------|-------------------|---|---|
| Área Fija | 20,00 | a | |
| Strand | 4,90 | b | |
| Prodan | 3,92 | b | c |
| Bitterlich | 3,52 | b | c |
| Cuadrantes | 3,00 | | c |

Métodos con medias no ligadas por la misma letra difieren por el test de Tukey a un nivel del 1% de probabilidad de error.

A través de la Tabla 4, se verifica que la mayor media fue la obtenida por el método de Área Fija y la menor media por el método de los Cuadrantes. Las medias obtenidas por los métodos de Bitterlich y de Prodan no difieren estadísticamente del método de los Cuadrantes. Finalmente, se observa que entre las medias de los métodos de Strand, Prodan y Bitterlich no existen diferencias estadísticas significativas. Esto demuestra que cada faja del método de Área

Fija muestrea mas especies que cada una de las unidades de muestreo de los otros métodos, situación esperada debido a la mayor superficie de muestreo de una faja con relación a los punto o líneas de los otros métodos.

Considerando el total de especies muestreadas, por el total de unidades de cada uno de los métodos, se verificó que el método de Strand fue el que presentó mayor número de especies (69,81% del total de especies existentes en el área en estudio), seguido por los métodos de Prodan (60,38%), de los Cuadrantes (52,83%) y de Bitterlich (43,40%).

En la Tabla 5 se observan los valores correspondientes a la eficiencia relativa (ER) calculada para cada uno de los métodos de muestreo estudiados y para los diferentes parámetros considerados. Se observa que, en todos los casos, el método de Strand fue el que presentó mayor eficiencia. Este resultado está ligado a su principal ventaja que es la no-medición de alturas. Esto lleva a la realización de levantamientos muy rápidos, pues solo es preciso el conteo de árboles seleccionados en forma proporcional a su diámetro y a su altura, identificación de la especie y la medición del DAP. El método de los Cuadrantes siempre ocupó el último lugar en eficiencia, resultando el menos eficiente en su aplicación en función de los costos y de los valores obtenidos por sus estimaciones.

Tabla 5. Eficiencia relativa (ER) para cada método.

| Métodos | Tiempo Medio (h) | Vol. Comercial (m ³ .ha ⁻¹) | | Área Basal (m ² .ha ⁻¹) | | Número de árboles/ha | |
|------------|------------------|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| | | cv % | ER 1/T _x cv ² | cv % | ER 1/T _x cv ² | cv % | ER 1/T _x cv ² |
| Área Fija | 4,7663 | 12,9692 | 12,4736 | 12,3229 | 6,6879 | 9,0339 | 25,7080 |
| Cuadrantes | 0,2130 | 107,5127 | 4,0616 | 103,6501 | 4,3699 | 78,0301 | 7,7107 |
| Prodan | 0,2797 | 49,8405 | 14,3927 | 55,5554 | 11,5839 | 40,6763 | 21,6085 |
| Strand | 0,0778 | 42,5259 | 71,0744 | 38,4725 | 86,8400 | 51,7969 | 47,9085 |
| Bitterlich | 0,5547 | 34,1145 | 15,4904 | 31,1805 | 18,5428 | 45,9326 | 8,5448 |

5. CONCLUSIONES

Se encontraron en el área bajo estudio 53 especies, distribuidas en 42 géneros y 30 familias botánicas, indicando la existencia de una gran diversidad florística. Las especies *Araucaria angustifolia*, *Ilex brevicuspis*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Luehea divaricata*, *Ilex paraguariensis*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Banara parvifolia* y *Sebastiania commersoniana* fueron las más características del área estudiada.

Los métodos en estudio no presentaron diferencias significativas para las estimaciones de volumen comercial con corteza, área basal y número de árboles por hectárea. El método de Bitterlich fue el que más se aproximó al valor real del volumen por hectárea; el método de Strand fue el que más se aproximó al valor real del área basal y número de árboles por hectárea.

Para los resultados de número de especies se encontraron diferencias significativas. El método de Área Fija presentó mayor media. Entre los métodos de Strand, de Prodan, de Bitterlich y de los Cuadrantes no se encontraron diferencias significativas. Comparando estos métodos con el método de Área Fija (como parámetro), el método de Strand muestreó el mayor número de especies, seguido, en orden decreciente por los métodos de Prodan, Cuadrantes y Bitterlich.

El método de Strand fue el que ofreció la mejor eficiencia relativa en la estimación de todos los parámetros. En contraposición, el método de los Cuadrantes, fue el que presentó la menor eficiencia relativa en todos los parámetros.

De acuerdo con este estudio, y dependiendo de los objetivos del inventario, el método de Strand puede ser utilizado para la realización de inventarios forestales en este tipo de bosques, debido a que presentó el mejor conjunto de resultados, tanto cuantitativos como cualitativos, en menor tiempo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Brasil. Ministerio da Agricultura. 1993. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife: 1973, 431 p. (Boletín Técnico, n.30).
- Finguer, C. A. G. 1992. Fundamentos de biometria florestal. Santa Maria: UFSM CEPEF/FATEC, 269 p.
- Fontana, C. S. 1994 História natural de *Heteroxolmis dominicana* (VIEILLOT, 1823) (AVES TYRANNIDAE) com ênfase na relação com *Xanthopsar flavus* (GMELIN, 1788) (AVES ICTERIDAE), no nordeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: PUCRS. Disertación de Maestrado. 120 p.
- Hueck, K. 1982. As florestas de Américo do Sul. São Paulo: Ed. Plígono, 1972. 446 p.
- Husch, F.; Miller, C. I.; Brees, T. W. 1982. Forest mensuration. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 402 p.
- IBDF/FATEC 1983. Inventário florestal nacional: Florestas nativas do Rio Grande do Sul. Brasília: Ed. Gráfica Brasileira Ltda., 345 p.
- IBDF/FATEC 1989. Plano de manejo para a Floresta Nacional de São Francisco de Paula – RS Santa Maria: Ministério do Interior. 217 p.
- Klein, R. M. 1960. O aspecto dinâmico do Pinheiro Brasileiro. *Sellowia*, Itajaí, v.12, n.12, p.17-48.
- Lindman, C. A. M.; Ferreri, M. G. 1974. A vegetação do Rio Grande do Sul Belo Horizonte: Itatiaia, 377 p.
- Loetsch, F.; Zöhner, F.; Haller, K. E. 1973. Forest inventory. 2ª ed. Munich: BLV Vellagsgesellschaft, 469 p.
- Martins, F. R. 1993. Estrutura de uma Floresta Mesófila Campinas: UNICAMP. 246 p.
- Péllico Netto, S.; Brena, D. A. 1997. Inventário florestal. Curitiba: UFP – UFSM, 316 p.
- Prodan, M. 1968. Forest bimetrics. Oxford: Pergamon Press 447 p.
- Rambo, Pe. R. 1956. A fisionomia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Librería Selbach, 456 p.
- Reitz, R.; Klein, R. M. 1966. Flora ilustrada catarinense: Araucariáceas, Itajaí: Herbario Barbosa Rodríguez. 63 p.
- Robles, C. 1978. Estadística. Santiago del Estero: Fac. de Cs. Forestales. Universidad Nacional de Sgo. del Estero, 285 p.
- Silva Medes, I. M. da. 1998. Aplicação do método de amostragem de Strand para estimação da densidade na regeneração natural de espécies arbóreas e arbustivas tropicais na Amazônia Ocidental. Curitiba: UFP, 51 p. Disertación (Maestrado en Ciencias Forestales). Setor de Ciências Agrárias.
- Souza, A. L.; Paula Neto, F.; Ladeira, H. P.; Brandi, R. M. 1981. Comparação de tipos de amostragem, com parcelas circulares de Área Fixa e variable, em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, de origem híbrida, cultivados na regioao de Bom Despacho, Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, v.5, n.1, p.43-55.
- Stork, L.; Lopes, S. J. 1997. Experimentação II. Santa Maria: UFSM, Centro de Ciências. Rurais, Departamento de Fitotecnia, 197 p.

