

COMPARACIÓN ENTRE MODALIDADES DE MUESTREO EN PLANTACIONES DE PINO CARIBE EN EL ORIENTE DE VENEZUELA

Comparing sampling methods in Caribbean Pine plantations in Eastern Venezuela

Jerez Mauricio^{1,2}, Lawrence Vincent^{1,2}, Ana Y. Moret^{2,3} y Ana Quevedo⁴

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, ¹Centro de Estudios Forestales de Postgrado,

²Grupo de Investigación Genética y Silvicultura, Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal,

³Escuela de Ingeniería Forestal, ⁴Escuela Técnica Superior Forestal

RESUMEN

En este trabajo se comparó tres modalidades de muestreo para estimar el área basal, el volumen y la densidad en rodales de pino caribe (*Pinus caribaea*) en el Oriente de Venezuela. Se probó una modalidad de muestreo con parcelas fijas y dos modalidades con parcelas variables (método Bitterlich). Adicionalmente, se estimaron los tiempos de ejecución de cada una. Se realizó un muestreo sistemático en ocho rodales de plantación de 12 años de edad con 50 ha cada uno. Los inventarios consistieron en una malla de 24 puntos de muestreo establecidos según un patrón sistemático en cada rodal. Los resultados muestran un menor error de muestreo (para un número dado de puntos muestreados) en los inventarios realizados con parcelas de tamaño fijo para las estimaciones de área basal y volumen (error menor a 15%). Asimismo, en las estimaciones de densidad también el inventario de parcelas fijas presentó un error menor (12 % vs. 19-20%); sin embargo, al analizar el costo en tiempo empleado para la ejecución de los mismos, se observó que las modalidades de parcelas variables presentaron ahorros en tiempo de ejecución de entre 38% y 56%, lo cual representa un ahorro significativo en los costos del inventario, que en muchos casos podría justificar tolerar mayores errores de muestreo. Para grandes extensiones las diferencias en el error de muestreo entre las modalidades se reducen considerablemente.

Palabras clave: muestreo puntual, muestreo sistemático, plantaciones de pino, Bitterlich.

ABSTRACT

In this work, three sampling techniques, one based on fixed plots and two based on variable plots (point sampling) were carried out to estimate stand variables (basal area, stand density, and volume) for caribaean pine (*Pinus caribaea*) plantations in Eastern Venezuela. Means, sampling errors and time costs for each technique were compared. The point sampling methods differed in the degree of detail used in measuring tree and plot variables. The sampling layout consisted of a grid of 24 points in each of eight 50 ha, 12-yr-old pine stands. The results showed that fixed plot sampling had lower sampling error than point sampling techniques for estimating basal area and volume (sampling error under 15%). In estimating stand density, the sampling error for fixed plots was considerably lower (12% vs. 19-20%) than for point sampling. However, point sampling methods were carried out considerably faster than the fixed plot inventory, saving between 38 and 56 % of time, therefore, reducing considerably inventory costs. For large areas, the differences in sampling error among the various techniques are less important.

Key words: point sampling, fixed plots, forest inventory, *Pinus caribaea*, Bitterlich

INTRODUCCIÓN

Entre los diseños muestrales usados en inventarios forestales destacan aquellos que utilizan parcelas de tamaño fijo y parcelas de tamaño variable; éste último conocido también como muestreo de Bitterlich o muestreo puntual, donde la probabilidad de seleccionar un árbol es proporcional a su área basal (Prodan *et al.*, 1997).

El muestreo puntual originalmente se restringió a la estimación del área basal del bosque, más tarde la teoría se amplió al proponer estimadores para el volumen, número de árboles y otras variables del rodal. La probabilidad de incluir un árbol en un punto muestral, se expresa como la razón del área de un círculo imaginario que rodea a cada árbol respecto al área del bosque (Palley *et al.*, 1961). El área del

círculo imaginario es función del diámetro del árbol y de un "factor de área basal". La probabilidad de incluir un árbol es inversamente proporcional al factor de área basal y directamente proporcional a su área basal (Van Deusen *et al.*, 1989). Se han realizado numerosos estudios para comparar la eficiencia de este tipo de muestreo respecto a las parcelas fijas; Grosenbaugh (1957) comparó en una plantación al este de Texas, la media y la precisión de los estimadores del área basal y el volumen utilizando los métodos de parcelas variables y parcelas fijas. Los resultados mostraron sólo un 0,1 % de diferencia en la estimación de área basal o volumen por los dos métodos. Además, aunque fue necesario un 20 % más de parcelas variables que de parcelas de tamaño fijo para lograr idénticos errores de muestreo, en cada punto sólo se midió un 25 % de los árboles

con respecto al número muestreado para las parcelas fijas.

Oderwald (1980) comparó la precisión para los estimadores de área basal para los métodos de parcelas fijas y parcelas de variable, encontrando que la precisión variaba dependiendo del tipo de agregación del rodal, siendo más preciso el método variable para rodales donde la distribución de los árboles ocurría aleatoriamente.

Sparcks *et al.* (2002) compararon las estimaciones de densidad en tres rodales en el sureste de Oklahoma (EUA), usando parcelas circulares de tamaño fijo, de tamaño variable y parcelas cuadradas. Encontraron que todas las parcelas fueron eficientes en cuanto al tiempo de medición pero las de tamaño fijo produjeron estimaciones más precisas de la densidad independientemente de las dimensiones de los árboles. Las parcelas circulares de tamaño variable y las parcelas cuadradas tendieron a subestimar la densidad real del rodal. Los autores recomendaron usar parcelas fijas para árboles pequeños (2,5 cm a 11,4 cm de dap) y parcelas variables para árboles gruesos mayores a 11,4 cm de dap.

El muestreo puntual permite obtener una estimación rápida y confiable de los parámetros de interés de un rodal; sin embargo, esta metodología ha sido poco utilizada en el país, debido al desconocimiento de sus fundamentos metodológicos y de sus ventajas prácticas, aunque ha sido ampliamente utilizada en otros países

El objetivo de este trabajo fue comparar las estimaciones del promedio de densidad (árboles/ha), área basal (m^2/ha) y volumen (m^3/ha) en rodales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* obtenidas utilizando tres modalidades de muestreo: una de parcelas fijas y dos modalidades de parcelas variables, así como también, comparar los tiempos de ejecución de las mismas, para determinar la modalidad más eficiente en términos de tiempo y precisión.

MATERIALES Y METÓDOS

Bases teóricas del muestreo puntual

En el muestreo puntual se consideran generalmente como unidades de muestreo los puntos desde los cuales se hace la selección de los árboles a través de la proyección de un ángulo constante que está en relación con el factor de calibración del instrumento. En un recorrido de 360° alrededor del punto de muestreo se inventarían todos aquellos árboles cuyo

diámetro a 1,30 m sobre el nivel del suelo aparenta ser mayor, en un plano horizontal, que la separación de los lados del citado ángulo proyectado sobre el árbol. El método es muy sencillo, práctico y eficiente para determinar el área basal por hectárea. Si se está interesado en conocer el número de árboles por ha, su distribución por clases diamétricas y el volumen, es necesario adicionalmente, la medición del DAP.

Según Palley *et al.* (1961) en el muestreo puntual existen dos fases, la primera, consiste en seleccionar aleatoriamente los puntos muestrales y en la segunda, elegir árboles con probabilidad proporcional a su diámetro. Aunque este método es eficiente y teóricamente insesgado, una selección inapropiada de los puntos de muestreo o del ángulo de proyección pueden conducir a imprecisiones o sesgo.

Cuando se realiza el muestreo puntual es necesario conocer que factores los afectan los resultados obtenidos. Entre los más importantes cabe destacar: la localización y distribución de los puntos de muestreo, la comprobación de los árboles de borde y la elección del factor de área basal adecuado.

La selección de los puntos de muestreo debe ser estadísticamente válida. La localización apropiada de los mismos puede realizarse aleatoriamente o mediante un muestreo sistemático, facilitando éste último la aplicación práctica y el control del inventario. Estadísticamente, cada punto dentro de una masa es una unidad de muestreo independiente. La mínima distancia entre puntos de muestreo para evitar solapamientos será igual a dos veces la distancia crítica calculada con base a la categoría diamétrica máxima (Diéguez *et al.*, 2003). Los árboles de borde o dudosos, son aquéllos para los que no se aprecia con exactitud si el diámetro es mayor, menor o coincide con el ancho de separación de los lados del ángulo proyectado. En estos casos se puede realizar una comprobación exacta midiendo el diámetro del árbol y la distancia horizontal a la que el operador está situado con respecto al árbol, y luego se calcula la distancia crítica por medio de la fórmula:

$$Y_k = \frac{d}{2\sqrt{FAB}} \quad (1)$$

donde: Y_k distancia límite o crítica entre el observador y el árbol medio (m), d =diámetro a la altura de pecho (1,30 m) sobre el nivel del suelo, FAB = factor de área basal o de calibración del instrumento, depende del ángulo crítico α o de barrido del relascopio.

El árbol forma parte de la parcela si la distancia horizontal del centro de la parcela al árbol, es menor que la distancia límite Y_k , de lo contrario el árbol no se incluye. El factor de área basal, es el valor por el cual hay que multiplicar el número de árboles contados en el muestreo puntual para estimar el área basal de una masa. Al usar un factor de área basal (FAB) pequeño en un punto de muestreo específico se contará un número grande de árboles cuyo diámetro normal será mayor que el ángulo proyectado, lo cual complica el trabajo de campo. Por tanto, es recomendable usar un FAB grande para contar pocos árboles por punto de muestreo; sin embargo, esto implica menor precisión en la estimación (Fountain et al, 1983; Banyard, 1992). Es recomendable contar entre 7 y 12 árboles por punto de muestreo (Brack, 1999). Una vez seleccionado el FAB adecuado se debe continuar utilizando el mismo valor en cada punto de muestreo (Bitterlich, 1984).

Número de puntos de muestreo

El número de puntos de muestro se puede calcular por las siguientes fórmulas (Bitterlich 1984):

$$\text{Si } A < 5 \text{ ha, } n = 2\sqrt{FAB \times A} \quad (2)$$

$$\text{Si } A > 5 \text{ ha, } n = 2\sqrt{FAB \times \frac{5^{\log A}}{\text{Log} A}} \quad (3)$$

donde: n = número de puntos de muestreo, A = área total a inventariar y FAB = factor de área basal.

Estimación del área basal

El número de árboles contados en el recorrido de 360° alrededor del punto de muestreo multiplicado por el factor de área basal da directamente el área basal a la hectárea (Bitterlich, 1984), es decir,

$$G = N_i \times FAB \quad (4)$$

donde: N_i = número de árboles contados, FAB = factor de área basal

Estimación de la densidad

La densidad (árb/ha) se calcula a partir del área basal de un árbol muestreado y el factor de área basal utilizado, en términos de cuantas veces es contenido G_i en FAB , de forma que:

$$N_j = FAB/G_i \quad (5)$$

donde: N_j = número de árboles por hectárea (para clase diamétrica), FAB = factor de área basal y G_i = área basal del árbol medio de la clase.

Para el número total de árboles por ha para la clase diamétrica i:

$$N_s = (FAB/G_s) \times Z_s \quad (6)$$

donde: Z_s = número de árboles contados para la clase "s" en el muestreo puntual, N_s = número de árboles por ha para la clase diamétrica "s", FAB = factor de área basal y G_s = área basal del árbol medio de la clase "s".

Área de estudio

Este trabajo se realizó en las plantaciones de pino del Oriente de Venezuela. Estas plantaciones están establecidas en una altiplanicie que forma parte del paisaje de mesas que integran los llanos orientales, con topografía plana (3% de pendiente) y una inclinación suave hacia el sureste y este.

El clima es típico de la zona de vida "Bosque Seco Tropical" según la clasificación de Holdridge. La precipitación presenta una marcada distribución estacional, con dos periodos perfectamente definidos; uno lluvioso que abarca los meses de junio hasta septiembre y uno de sequía desde diciembre hasta mayo. La temperatura media anual es de 26 °C. La humedad relativa media anual oscila entre 74,0 y 78,8% (Salas, 1988; citado por Devia et al., 1992).

Los suelos se definen en tres clases: tierras clase I o buena, profundidad efectiva mayor a 150 cm, textura franco arcillosa o más fina, buen drenaje superficial o interno, relieve plano o convexo, napa de explayamiento. Tierras clase II o regulares, profundidad efectiva entre 100 y 105 cm, textura arenosa franca y franca arcillosa sobre un estrato más fino, relieve plano o ligeramente ondulado, mantos ecológicos sobre napas de explayamiento, cubetas de sofución. Tierras clase III deficientes o muy deficientes, textura arenosa franca más de 150 cm de profundidad, moderadamente drenados, permeabilidad moderadamente lenta, mantos eólicos y cubetas con mal drenaje interno (Salas, 1988; citado por Devia et al., 1992).

Diseño del inventario

Para la realización del inventario, se seleccionó una plantación de 12 años de edad, con espaciamiento

inicial de 2,7 x 2,7 m (1370 árboles por ha) y una superficie de 4.618 ha divididas en 97 rodales de 50 ha cada uno.

Previo al diseño del muestreo se determinó que el factor de área basal dos (2) era el más apropiado, con base en el tamaño de los árboles y al número de árboles a incluir por punto.

El estudio se realizó en ocho rodales seleccionados aleatoriamente (400 ha) entre los 97 que constituyen la población. Para determinar el número de puntos a muestrear en cada rodal se utilizó la fórmula Bitterlich para $A > 5$, con un factor de área basal igual a 2, obteniéndose así 24 puntos de muestreo por rodal. Dentro de cada rodal se establecieron sistemáticamente con arranque aleatorio tres alineaciones y ocho parcelas dentro de cada alineación, y se prefijó un error de muestreo porcentual menor al 15%. Se utilizaron tres modalidades de inventario (Cuadro 1):

- Parcelas fijas de 250 m²: de forma circular, delimitadas con cuatro cuerdas de nylon de 8,92 m de radio donde se midieron todos los árboles dentro del perímetro de la parcela
- Parcelas variables “modalidad detallada”, utilizando el relascopio de Bitterlich para la selección de los árboles, con medición directa de diámetros y chequeo de distancias de árboles dudosos.
- Parcelas variables “modalidad rápida” utilizando un instrumento artesanal o stick para la se-

lección de los árboles, con estimación a ojo de los diámetros y no se chequea la distancia de los árboles dudosos, el criterio utilizado fue contabilizarlo como medio árbol.

El volumen total con corteza fue calculado con la fórmula:

$$V = D^2x(0,953411 + 0,280294xH) \quad (6)$$

donde: V = volumen total con corteza (m³), D = diámetro a la altura de pecho con corteza(m) y H = altura (m).

Dicha fórmula fue ajustada para las plantaciones de pino del oriente de Venezuela por Albarrán y Zerpa (1992). Para determinar el volumen en parcelas variables se utilizó un método indirecto, que consistió en estimar la distribución por categorías diamétricas y calcular el volumen del árbol medio en cada categoría con la fórmula antes descrita.

Para cada modalidad se registraron los siguientes tiempos: tiempo de barrido utilizado para demarcar y evaluar la parcela; tiempo para medición de alturas; tiempo promedio utilizado para desplazarse de una parcela a otra dentro de una alineación y tiempo promedio utilizado para desplazarse de una alineación a otra dentro de un mismo rodal.

Cuadro 1. Modalidades de Inventario utilizadas en el estudio

	Modalidad		
	Parcela fija	Variable detallada	Variable rápida
Superficie (m ²)	250	variable	variable
FAB	-	2	2
Instrumento	-	Relascopio	instrumento artesanal elaborado según principio)
Árboles Incluidos	≥ 5 cm	≥ 5 cm	≥ 5 cm
Chequeo de Árboles dudosos	cinta	cinta	½ arbol
Instrumento utilizado para la medición del dap	Forcípula	Forcípula	Estimado al ojo
Instrumento utilizado para la medición de altura	Hipsómetro	Hipsómetro	Estimado a ojo
Cuadrilla (personal)	3	3	3

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Precisión de los inventarios

Las estadísticas básicas de las variables analizadas para las tres modalidades de inventario consideradas se presentan en el cuadro 2. El error porcentual para la densidad a nivel de rodal en la modalidad fija varió entre el 7 y 18% mientras que para las parcelas variables varió entre el 13 y 36% lo cual sugiere que la modalidad de parcelas fijas es más precisa que las modalidades de parcelas variables, resultados similares fueron obtenidos por Sparcks *et al.* (2002) quien recomienda utilizar parcelas fijas ya que las variables tienden a subestimar la den-

sidad real del rodal. La densidad promedio varió desde 814 arb/ha para la modalidad variable detallada hasta 843 arb/ha, para la modalidad fija, con estimación mínima confiable que varió entre 741 arb/ha y 658 arb/ha respectivamente con un 95% de probabilidad. Al efectuarse un análisis de varianza en bloques completos, donde cada modalidad se consideró como un tratamiento y cada rodal como un bloque, se determinó que las diferencias observadas en los promedios obtenidos para cada modalidad se debieron a la variabilidad de los rodales y no a diferencias entre las modalidades utilizadas lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Oderwald (1980).

Cuadro 2. Estadísticas básicas para la densidad (arb/ha), área basal (m²/ha) y volumen (m³/ha) por rodal para las plantaciones de pino de 12 años de edad en el Oriente de Venezuela.

Rodal	Estadístico	Densidad (arb/ha)			Área basal (m ² /ha)			Volumen (m ³ /ha)		
		Fija*	V1**	V2+	Fija	V1	V2	Fija	V1	V2
1	Media	520	558	665	15	16	13	77	82	68
	E% ^x	14	13	32	11	11	10	11	11	10
	EMC [†]	447	483	451	13	14	12	69	73	61
8	Media	667	771	699	16	17	15	83	86	78
	E%	10	18	17	9	14	12	9	14	12
	EMC	606	634	581	15	14	14	76	74	69
19	Media	773	761	626	14	12	12	72	62	60
	E%	18	36	25	18	23	20	18	22	20
	EMC	637	488	471	12	10	10	59	48	48
54	Media	900	828	857	18	16	16	92	82	82
	E%	18	19	22	13	15	17	13	15	16
	EMC	739	670	666	16	14	14	80	70	68
58	Media	963	878	910	18	17	17	93	86	82
	E%	10	17	16	9	12	14	9	12	14
	EMC	864	727	761	17	15	14	84	75	71
65	Media	1110	1065	1113	20	18	19	99	94	92
	E%	7	14	13	5	2	8	5	8	7
	EMC	1034	913	966	19	17	17	94	87	85
71	Media	912	869	957	17	17	17	86	84	85
	E%	11	15	16	10	12	11	10	12	11
	EMC	809	736	806	15	15	15	77	74	75
10	Media	861	767	718	13	12	12	66	60	60
	E%	8	21	19	7	16	15	7	16	15
	EMC	789	608	578	12	10	10	61	50	51
Promedio	Media	843	814	826	17	16	15	84	80	76
	E%	12	19	20	10	13	13	10	14	13
	EMC	741	658	660	15	14	13	75	69	66

*Fija: Parcelas modalidad fija detallada. **V1: Parcelas modalidad variable detallada. +V2: Parcelas modalidad variable rápida. ^x E%: error porcentual utilizado para el cálculo de la estimación mínima confiable. [†] EMC: estimación mínima confiable. Límite inferior de intervalo de confianza calculado con t de una cola con un nivel de confianza de 95%

El error de muestreo porcentual para las tres modalidades con respecto al promedio del área basal y volumen estuvo por debajo del límite prefijado (15%), lo que significa que cualquier modalidad puede ser utilizada para estimar estas variables.

Distribución diamétrica

Se analizó el comportamiento de las distribuciones diamétricas promedio obtenidas con cada una de las modalidades de muestreo de acuerdo a categorías preestablecidas cada tres centímetros a partir de 7,5 cm y hasta mayores de 29,5 cm. No se encontraron diferencias en las distribuciones diamétricas entre modalidades, como se ilustra para los rodales 08 y 71 (Figura 1 y 2), excepto para la “modalidad rápida” donde se observan diferencias en las categorías inferiores (menores a 11,5 cm), encontrándose una subestimación considerable en la primera cate-

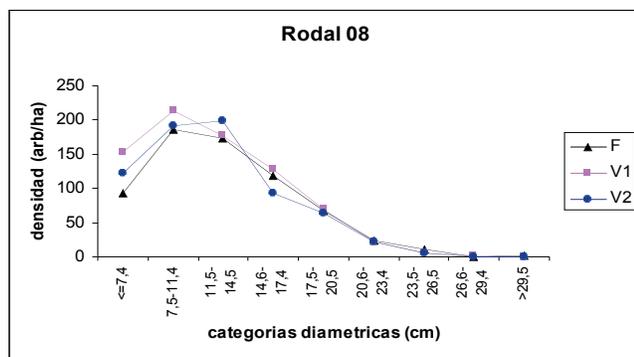


Figura 1. Distribución diamétrica obtenida a partir del inventario del rodal 08 de la plantación 1983, utilizando parcelas fijas modalidad detallada (F), parcelas variables modalidad detallada (V1) y parcelas variables modalidad rápida (V2).

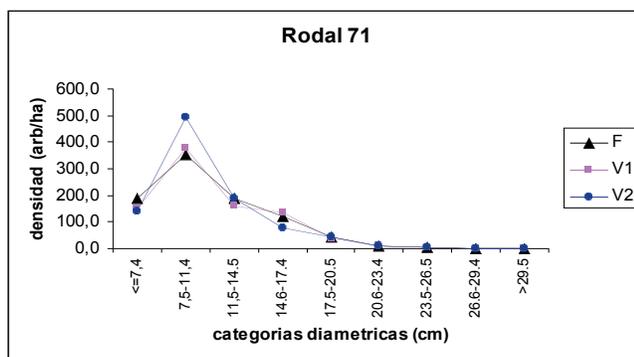


Figura 2. Distribución diamétrica obtenida a partir del inventario del rodal 71 de la plantación 1983, utilizando parcelas fijas modalidad detallada (F), parcelas variables modalidad detallada (V1) y parcelas variables modalidad rápida (V2).

goría (<7,5 cm) y una sobreestimación en la segunda categoría (7,5 a 11,4 cm), esta variación puede deberse a que en esta modalidad no se realiza una medición directa del diámetro, sino que se estima desde el centro de la parcela. Este caso sugiere una sobreestimación del tamaño de los árboles menores. Lo anterior no es motivo para descartar la modalidad ya que las estimaciones generales de densidad y volumen no difieren apreciablemente de las otras modalidades, excepto si se está interesado en determinar la distribución diamétrica del rodal.

Relación entre la intensidad y el error de muestreo

Se determinó el error porcentual de muestreo en una superficie de 400 ha variando la intensidad de muestreo para la densidad y volumen, los resultados se presentan en el Cuadro 3, en el mismo se observa que con sólo 96 parcelas (12 parcelas por rodal) se obtienen errores de muestreo entre 6 y 11% lo cual esta por debajo de los requerimientos (15%), mientras que por encima de 120 parcelas (15 parcelas por rodal) no se obtienen ganancias apreciables de precisión. Para el volumen (Cuadro 3) se observa que levantando 32 parcelas (4 parcelas por rodal) los errores están por debajo del 12% para cualquiera de las modalidades estudiadas. Esto sugiere que es posible mejorar las estimaciones si la población de referencia es un lote de al menos 400 ha, obteniendo así una reducción considerable de los costos de inventario.

En el Cuadro 4 se presentan los tamaños óptimos de muestra para obtener la precisión deseada con base a la densidad (arb/ha), para los grupos de rodales considerados, por lo tanto, sí se trabaja en lotes de 100 ha (2 rodales) se necesitaría al menos 28 parcelas fijas (14 por cada rodal) ó 35 parcelas variables (17 por rodal) para obtener un 15% de error. Para grupos de 4 rodales (200 ha) se necesitaría 19 parcelas fijas (5 por rodal) y 30 variables (7-8 por rodal).

Tiempos de ejecución

Para levantar 24 parcelas fijas modalidad detallada se requirieron en promedio de 5 horas con 56 minutos, es decir, un 38% más del tiempo promedio requerido para levantar 24 parcelas variables modalidad detallada (3 horas con 42 minutos) y un 56% más del tiempo necesario para levantar 24 parcelas variables de modalidad rápida (2 horas con 45 minu-

Cuadro 3. Estadísticas para la densidad (arb/ha) y el volumen (m³/ha) utilizando diferentes intensidades de muestreo para una superficie de 400 ha para las diferentes modalidades de inventario.

Estadístico	Densidad (arb/ha)			Volumen (m ³ /ha)		
	Fija*	V1**	V2+	Fija	V1	V2
n	32 parcelas (4 parcelas/rodal)					
Media	871	808	833	88	82	85
E% ^x	12	15	15	10	12	12
EMC [†]	764	684	707	79	72	75
n	48 parcelas (6 parcelas/rodal)					
Media	846	838	826	85	82	83
E%	10	14	13	8	10	10
EMC	764	718	715	78	74	74
n	64 parcelas (8 parcelas/rodal)					
Media	878	776	852	87	79	81
E%	8	11	12	6	8	8
EMC	806	691	746	81	73	75
n	96 parcelas (12 parcelas/rodal)					
Media	868	836	847	85	82	83
E%	6	9	10	5	6	7
EMC	812	758	764	81	77	77
n	120 parcelas (15 parcelas/rodal)					
Media	856	807	929	85	81	82
E%	6	8	8	4	6	6
EMC	807	741	760	81	77	77
n	144 parcelas (18 parcelas/rodal)					
Media	823	805	801	83	79	79
E%	6	8	8	5	6	6
EMC	775	736	737			
n	192 parcelas (24 parcelas/rodal)					
Media	839	812	818	83	79	80
E%	5	7	7	4	5	5
EMC	799	755	761	80	76	76

*Fija: Parcelas modalidad fija detallada. **V1: Parcelas modalidad variable detallada. +V2: Parcelas modalidad variable rápida. ^x E%: error porcentual utilizado para el cálculo de la estimación mínima confiable. [†] EMC: estimación mínima confiable. Límite inferior de intervalo de confianza calculado con t de una cola con un nivel de confianza de 95%

tos) (Figura 3). Es importante atender a los tiempos de desplazamiento dentro y entre alineaciones, medición de alturas, etc. ya que constituyen aproximadamente un 40% del tiempo total necesario. A medida que estos tiempos se reduzcan, las diferencias relativas en los tiempos de ejecución entre parcelas fijas y variables favorecerán más a éstas últimas.



Figura 3. Tiempos de ejecución del inventario para las parcelas fijas modalidad detallada, parcelas variables modalidad detallada y parcelas variables modalidad rápida sobre una superficie de 50 ha.

Cuadro 4. Número total de parcelas por grupo y por rodal necesario para obtener una precisión mínima del 15% para grupos de rodales.

Superficie (ha)	Nro de rodales	Número total de parcelas por grupo			Número de parcelas a establecer por rodal		
		Fj*	V1**	V2+	Fj	V1	V2
100	2	28	35	44	14	17	22
150	3	22	31	37	7	10	12
200	4	19	30	34	5	7	8
250	5	19	31	38	4	6	8
300	6	17	28	35	3	5	6
400	8	15	32	31	2	4	4

*Fija: Parcelas modalidad fija detallada. **V1: Parcelas modalidad variable detallada. +V2: Parcelas modalidad variable rápida.

CONCLUSIONES

- El inventario de la modalidad de parcelas fijas, es moderadamente más preciso que el de las parcelas variables especialmente en cuanto a la estimación densidad.

- La menor precisión de la metodología de parcelas variables es compensada por su mayor velocidad en la ejecución que conlleva a un ahorro en los costos de inventario.
- En el inventario con parcelas variables, no hay diferencias apreciables en los resultados cuando en lugar de chequear la distancia de los árboles dudosos, estos son contados como medio árbol, aspecto importante ya que contribuye a reducir los tiempos en el trabajo de campo.
- Para obtener estimaciones confiables con errores menores al 15% en superficies menores de 50 ha (rodales), se requiere de una alta intensidad de muestreo (más de 20 parcelas por rodal). Para poblaciones de 250 ha o más (5 o más rodales) las intensidades de muestreo necesarias para obtener la precisión requerida, son considerablemente menores (6-8 parcelas por rodal). Se observó igualmente que para los lotes grandes (mas de 250 ha), las diferencias en precisión entre las modalidades de inventario, se reducen notablemente (menos de un 2% de diferencia).
- Las distribuciones diamétricas obtenidas con las modalidades consideradas en este trabajo son muy similares en todos los casos, excepto para la modalidad rápida donde se observaron diferencias en la distribución para las dos categorías menores.

RECOMENDACIONES

Se recomienda no descartar ninguna de las modalidades de inventario probadas, y utilizarlas según sea el caso. Para inventarios rutinarios, donde se requiera cierto grado de precisión pero a la vez rapidez, se recomienda utilizar parcelas variables detalladas. Para inventarios en rodales especiales de gran interés, se recomienda usar parcelas fijas o bien parcelas variables con elevada intensidad de muestreo y para inventarios en rodales o lotes donde se requiere obtener información con mucha rapidez, a bajo costo es conveniente utilizar parcelas variables con la modalidad rápida.

Para inventarios rutinarios se sugiere trabajar con grupos de rodales, ya que la intensidad de muestreo se reduce y se obtiene mayor precisión, sin embargo, si se requiere información para rodales individuales (50 ha aproximadamente) se debe

utilizar como mínimo 24 parcelas por rodal, y para rodales muy malos se recomienda aumentar ésta intensidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con financiamiento de la Empresa Corporación Forestal Guayamure. Los autores desean agradecer a la Ing. Tania Zambrano por su participación en el procesamiento de los datos y a los Ing. Julio Lobo, Eleodoro Márquez, Abel Pérez, Maribel Quintero y Frank Sandia por su participación en los trabajos de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBARRÁN, V. y F. ZERPA. 1992. Modelos matemáticos para generar tablas de volumen y peso verde en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* del oriente Venezolano. *Boletín Técnico* # 5. C.V.G. PROFORCA, Edo. Monagas.
- BANYARD, S. 1992. Cluster point sampling in moist tropical forest using large basal area factors. *For. Ecol. Manage.* 53: 307-317.
- BITTERLICH, W. 1984. *The Relascope idea, relative measurements in forestry*. Common Wealth Agricultura Bureaux. England.
- BRACK, C. 1999. *Forest mensuration. Measuring trees, stands and forests for effective forest management*. Computer-base course resources for forest mensuration at the Australian National University.
- DEVIA, E. y R. MÁRQUEZ. 1992. Ensayo de metodología en inventario forestal utilizando el Relascope de Bitterlich, "Plantaciones de Pino Caribe (*Pinus caribaea*) Edo. Managas". Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- DIEGUÉZ, U., M. BARRIO, F. CASTEDO, A. RUIZ, M. ÁLVAREZ, J. ÁLVAREZ y A. ROJO. 2003. *Dendrometría*. Fundación Conde del Valle de Salazar. E.T.S. de Ingenieros de Montes. Ciudad Universitaria. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid.
- FOUNTAIN, M., E. HUNT y C. HASSLER. 1983. Comparison of five methods basal area factors. *J. For.* 81: 26- 27.
- GROSENBAUGH, L y W. STOVER. 1957. Point-sampling compared with plot-sampling in southeast Texas. *Forest Science*. 3(1): 2-14.

- ODERWALD, R. 1981. Comparison of point and plot sampling basal area estimators. *Forest. Sci.* 27(1): 42-48.
- PALLEY, M y L. HORWITZ. 1961. Properties of some random and systematic point sampling estimators. *Forest Science* 7(1): 53-65.
- PRODAN, M., R. PETERS, F. COX y P. REAL. 1997. *Mensura Forestal*. Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. San José, Costa Rica.
- SPARKS, J., R. MASTERS y M. PAYTON. 2002. Comparative evaluation of accuracy and efficiency of six forest sampling methods. *Proc. Okla. Acad. Sci.* 82: 49-56.
- VAN DEUSEN, P y J. MYERS. 1989. An alternative estimator for horizontal point clusters. *For. Sci.* 35: 257-262.
- VELASCO, E., G. RENDÓN, V. GONZÁLEZ y H. RAMÍREZ. 1999. Estimación de área basal y volumen maderable totales mediante muestreo por conglomerados de puntos. *Agrociencia*. 33: 341-347.