

MUESTREO EN CONGLOMERADOS PARA EL INVENTARIO DE PLANTACIONES DE *PINUS CARIBAEA* Y *EUCALYPTUS SP.* EN LA UNIDAD DE MANEJO 20 DE MAYO, E.F.I MACURIJE.

Edilio Aldana Pereira¹, Ilya García Corona² y Ing. Forestal y Roberto Mario³

¹Dr en Ciencias forestales Universidad de Pinar del Río (UPR). Martí 270, Pinar del Río, c.e.: aldana@af.upr.edu.cu , Teléf. 779661.

²MSc. Universidad de Pinar del Río (UPR). Martí 270, Pinar del Río, c.e.: ilia@af.upr.edu.cu , Teléf. 779661.

³Estudiante de Ingeniería Forestal Universidad de Pinar del Río (UPR). Martí 270, Pinar del Río, c.e.: aldana@af.upr.edu.cu , Teléf. 779661.

RESUMEN

Se realizó un inventario piloto donde se levantaron 52 parcelas o unidades primarias en conglomerados de un kilómetro cuadrado cada uno y en cada conglomerado se levantaron ocho unidades secundarias, cuatro con el método de Bitterlich y cuatro de área fija de 500 m². Se utilizó el volumen de madera como variable de interés al cual se le realizaron los análisis estadísticos correspondiente con el objetivo de determinar las ventajas o no de utilizar este tipo de muestreo en lugar del muestreo aleatorio simple. Asimismo se hace un análisis del comportamiento del coeficiente de correlación intraconglomerados y se determina la intensidad de muestreo donde se precisa la cantidad de conglomerados o unidades primarias necesarios y el número de unidades secundarias por conglomerado.

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

El muestreo en conglomerados es una variante del muestreo en dos etapas o bifásico, donde la segunda etapa es organizada dentro de la primera. Por esta razón, este proceso puede ser clasificado como muestreo mixto en cuanto a la estructura organizacional en la población muestreada.

Es un proceso que puede ofrecer ventaja substancial en precisión y costo, comparado con el muestreo aleatorio simple, cuando la población a ser inventariada es extensa y la variable de interés presente grande hasta razonable homogeneidad.

La sistematización de las unidades secundarias dentro de las unidades primarias produce la mayor reducción de los costos de muestreo debido a la flexibilidad y facilidad operativa de localización, instalación y medición.

Las unidades secundarias son, previamente, definidas en formas, tamaños y organización espacial, caracterizando así la fijación estructural de la segunda etapa de muestreo.

Los conglomerados son organizados de las más diversa formas, tamaños y organización espacial. La literatura es amplia en este aspecto.

Con el presente trabajo se pretende comprobar la efectividad o no del método de muestreo en conglomerados para la evaluación de las masas de *Pinus* y *Eucalyptus* en la EFI Macurije, utilizando como estudio de caso las plantaciones de ambas especies de la UBPF 20 de Mayo.

Materiales y Método

En el presente trabajo se empleó una estructura en conglomerados de forma cuadrada, cuyos lados son de 200 m de longitud, que abarca una superficie de 40000 m², equivalente a 4 hectáreas. En cada conglomerado, se levantaron 8 subunidades de área fija de 0,05 ha y una distancia entre ellas de 100 m. Se levantaron 30 conglomerados en plantaciones de *Pinus caribaea* y 21 en las plantaciones de *Eucalyptus sp.* La variable de interés que se tomó para el análisis fue el volumen de madera por hectárea. Los datos están archivados en una base de datos en el Centro de Estudio Forestal de la Facultad de Forestal y Agronomía.

El procesamiento estadístico matemático que característico del método en conglomerado es como sigue:

Valores estimados de la población mediante el muestreo conglomerado

Media estimada de la población por subunidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M X_{ij}}{nM} \quad (1)$$

Media estimada de las subunidades por conglomerado

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^M \frac{X_{ij}}{M} \quad (2)$$

Varianza estimada de la población por subunidad

$$s_x^2 = \frac{1}{nM - 1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X_{ij} - \bar{x})^2 \quad (3)$$

Donde:

N = número total potencial de conglomerados de la población;

M = número de subunidades del conglomerado;

n = número de conglomerados muestreados;

X_{ij} = variable de interés.

Considerándose que en el muestreo en conglomerados también es posible dividir la varianza total en dos componentes de variación, o sea, entre y dentro de los conglomerados, se puede realizar un análisis de varianza para obtener las estimaciones aisladas de esos dos componentes de la varianza.

A través del análisis de varianza, se puede decir que:

$$S_x^2 = S_e^2 + S_d^2 \quad (4)$$

donde:

S_e^2 = Varianza entre los conglomerados

S_d^2 = Varianza dentro de los conglomerados, o entre las subunidades

Las estimaciones son obtenidas a través del análisis de varianza, cuyos estimadores poseen las siguientes esperanzas matemáticas:

$$E(MQ_{entre}) = S_d^2 + MS_e^2 \quad (5)$$

$$E(MQ_{dentro}) = S_d^2 \quad (6)$$

donde:

$$MQ_{dentro} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X - \bar{x}_i)^2}{n(M-1)} = s_d^2 \quad (7)$$

que es una estimación sin tendencia de S_d^2 , y

$$MQ_{entre} = \frac{\sum_{i=1}^n M(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (8)$$

La estimación sin tendencia de la varianza entre conglomerados (S_e^2) está dada por:

$$s_e^2 = \frac{MQ_{entre} - MQ_{dentro}}{M} \quad (9)$$

Así, la estimación de la varianza total resulta:

$$s_x^2 = s_e^2 + s_d^2 = \frac{MQ_{entre} + (M-1)MQ_{dentro}}{M} \quad (10)$$

Coefficiente de correlación intraconglomerados

El coeficiente de correlación intraconglomerados se define como el grado de similitud entre subunidades dentro de los conglomerados. Esta similitud puede ser fácilmente percibida, por el hecho de que cuanto más próximas estén las subunidades en un conglomerado, tanto más correlacionadas serán entre sí y viceversa.

Este coeficiente fue definido por COCHRAN (1963) e implementado por PELLICO NETTO (1979), como sigue:

$$r = \frac{s_e^2}{s_e^2 + s_d^2} \quad (11)$$

El coeficiente de correlación intraconglomerados puede asumir valores entre $(0 \leq r \leq 1)$. Será igual a cero ($r = 0$) cuando $(s_e^2 = 0)$ o sea, no existe varianza entre los conglomerados. En este caso la

varianza total (s_x^2) es explicada sólo por la varianza dentro de los conglomerados. Será igual a uno ($r = 1$) cuando la varianza dentro de los conglomerados fuera nula ($s_d^2 = 0$), o sea, no existe varianza entre las subunidades de los conglomerados y la varianza total es debida sólo a la varianza entre conglomerados.

De ese modo, el coeficiente de correlación intraconglomerados es utilizado para evaluar el grado de homogeneidad del volumen en el bosque. Así, cuanto menor fuera el valor de (r) tanto más homogéneo será el bosque y viceversa.

Para efecto práctico, límite aceptable del coeficiente de correlación para la aplicación del muestreo en conglomerados en inventarios forestales es: $0 \leq r \leq 0,4$.

Este intervalo encuadra las poblaciones absolutamente homogéneas ($r = 0$) hasta las razonablemente homogéneas ($r = 0,4$).

Cuando el coeficiente de correlación fuera mayor que el límite aceptable $r > 0,4$, ciertamente el muestreo estratificado será más eficiente que el muestreo en conglomerado.

INTENSIDAD DE MUESTREO

La intensidad de muestreo en este proceso es obtenida a partir de las mismas justificaciones presentadas en el muestreo en dos etapas.

Según MADOW & MADOW (1944), la existencia de dos variables (n) y (M) exigen dos ecuaciones y, por tanto, la función de costos es utilizada para componer, juntamente con la varianza de la media, dos de las ecuaciones del sistema.

Aislándose (n) y, substituyéndose en la función de costos, se tiene:

$$n = \frac{t^2(CV)^2}{V_{\bar{x}}^2 M} [1 + \rho(M - 1)] \quad (12)$$

Aplicando un raciocinio matemático a la substitución en la función de costo y derivándose parcialmente esta función con relación a (M) resolviéndose para (M), se tiene:

$$M = \sqrt{\frac{C_1 * 1 - \rho}{C_2 \rho}} \quad (13)$$

Y las estimaciones de la intensidad de muestreo para conglomerados puede ser obtenida como sigue:

Número óptimo de subunidades del conglomerado

$$M = \sqrt{\frac{C_1 * 1 - r}{C_2 r}} \quad (14)$$

número de conglomerados

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2 M} [1 + r(M - 1)] \quad (15)$$

La precisión a ser especificada (E^2) es igual a la presentada en los procesos de muestreo aleatorio simple, sistemático, estratificado y bietápico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas 1 y 2 aparecen los volúmenes por subunidad (unidad secundaria) dentro de las respectivas unidades primarias (conglomerado), los cuales sirven de base para el procesamiento estadístico matemático con vista a la evaluación de la efectividad del muestro conglomerado en los tipos de plantaciones analizado.

Tabla 1: Volúmenes por hectárea en plantaciones de *Pinus caribaea* para las ocho unidades secundarias o subunidades en las respectivas unidades primarias o conglomerados.

Unidad Primaria	UNIDAD SECUNDARIA (m ³ /ha)								Media \bar{x}_i
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01	21,71	17,98	17,98	16,50	27,50	16,52	8,27	10,72	17,15
02	49,63	43,99	28,41	97,76	67,12	133,39	37,22	29,96	45,94
03	85,66	55,27	52,43	69,80	17,11	54,99	13,54	19,18	46,00
04	76,33	49,54	77,01	47,02	85,96	68,53	79,67	65,99	68,76
05	126,15	105,99	111,81	100,58	106,22	109,84	100,91	110,54	109,05
06	59,46	53,13	4,09	11,19	217,89	59,78	0,00	31,96	54,69
07	48,65	86,36	0,00	107,91	181,61	68,56	0,00	17,63	63,84
08	51,32	78,68	35,96	13,16	72,85	106,95	45,54	39,48	46,39
09	43,96	69,80	54,52	24,68	38,00	0,00	0,00	65,57	37,07
10	30,46	58,94	68,10	97,06	93,98	93,77	79,41	55,77	72,19
11	42,70	49,63	79,67	48,88	55,84	46,48	46,48	56,21	47,90
12	47,38	70,50	55,60	62,56	54,14	68,15	46,39	50,27	50,95
13	38,92	67,12	45,68	71,35	50,20	55,13	37,24	65,42	49,02
14	40,32	54,80	47,38	42,30	46,88	52,43	46,41	61,62	43,98
15	41,71	56,99	53,02	52,73	49,19	54,71	33,28	60,91	45,10
16	37,22	45,50	32,08	42,30	47,94	63,73	48,88	63,07	42,94
17	43,43	57,53	43,43	83,24	36,43	63,73	23,69	68,24	47,04
18	43,96	66,48	34,64	72,19	32,43	56,96	38,00	66,55	45,91
19	62,60	67,12	50,34	47,56	68,43	82,91	58,16	72,19	55,84
20	43,92	72,85	59,27	73,44	71,68	75,58	52,73	39,81	55,67
21	22,18	20,73	19,04	27,07	30,88	19,41	30,81	20,40	21,04
22	42,86	37,22	47,94	22,28	38,92	51,32	32,99	29,89	32,57
23	48,50	32,15	32,15	43,62	42,86	38,73	56,96	52,45	37,37
24	45,26	59,78	53,02	55,27	40,42	24,02	29,33	44,42	38,28
25	38,78	33,28	37,79	32,43	54,64	35,53	57,81	33,61	35,64
26	56,40	54,71	67,21	58,75	64,86	47,87	51,70	48,00	49,14
27	73,32	58,66	58,09	51,70	43,43	45,50	59,46	55,27	45,51
28	52,43	58,42	69,80	25,85	45,12	62,86	63,59	56,75	47,80
29	56,40	33,84	36,05	56,40	53,58	56,87	0,00	25,85	32,82
30	71,91	74,24	31,02	43,99	48,08	60,91	56,87	62,04	56,13

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS PARA EL PINO

a) Media de la población por subunidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M X_{ij}}{nM} = 52,13 m^3/ha$$

b) Media de las subunidades por conglomerado

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^M \frac{X_{ij}}{M} = (21,71 + 17,98 + \dots + 10,72) = 17,15$$

Cuyos valores están representado en la columna 10 de la tabla 1.

c) Variación de la población por subunidad

$$s_x^2 = \frac{1}{nM-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X_{ij} - \bar{x})^2 =$$
$$\frac{1}{30 * 7} \sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^8 [(21,71 - 52,13)^2 + \dots + (10,72 - 52,13)^2] + \dots + [(71,91 - 52,13)^2 + \dots + (62,04 - 52,13)^2]$$
$$s_x^2 = 704,33 (m^3/ha)^2$$

o a través del análisis de varianza $s_x^2 = s_e^2 + s_d^2$

$$MQ_{dentro} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X - \bar{x}_i)^2}{n(M-1)} = 522,90 (m/ha)^2 = s_d^2$$

d) Varianza entre conglomerados

$$MQ_{entre} = \frac{\sum_{i=1}^n M(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{n-1} = 2018,09 (m^3/ha)^2$$
$$s_e^2 = \frac{MQ_{entre} - MQ_{dentro}}{M} = \frac{2018,09 - 522,90}{8} = 186,90 (m^3/ha)^2$$
$$s_x^2 = 186,90 + 522,90 = 709,8 (m^3/ha)^2$$

e) Coeficiente de correlación intraconglomerados

$$r = \frac{s_e^2}{s_e^2 + s_d^2} = \frac{186,90}{186,90 + 522,90} = \frac{186,90}{709,8} = 0,26$$

Como el intervalo aceptable para la aplicación del muestreo en conglomerados en inventario forestal es: $0 \leq r \leq 0,4$; en este caso será más eficiente el muestreo en conglomerados que el muestreo estratificado.

f) Intensidad de muestreo

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2 M} [1 + r(M - 1)]$$

$$t_{(0,05;29)} = 2.045 \quad E = (\bar{x} * 0,1) = 52,13 * 0,1 = 5,213$$

$$n_1 = \frac{(2,045)^2 * 709,8}{(5,213)^2 * 8} [1 + 0,26(8 - 1)] = 39$$

$$t_{(0,05;38)} = 2,0252$$

$$n_2 = \frac{(2,0252)^2 * 709,8}{(5,213)^2 * 8} [1 + 0,26(8 - 1)] = 38$$

$$t_{(0,05;37)} = 2,0273$$

$$n_3 = \frac{(2,0273)^2 * 709,8}{(5,213)^2 * 8} [1 + 0,26(8 - 1)] = 38$$

Tabla 2: Volúmenes por hectárea en plantaciones de Eucalyptus sp. para las ocho unidades secundarias o subunidades en las respectivas unidades primarias o conglomerados.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS PARA EL EUCALYPTUS SP.

Unidad Primaria	UNIDAD SECUNDARIA (m ³ /ha).								Media \bar{x}_i
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01	45,89	41,95	46,92	41,06	49,27	46,55	51,13	43,26	45,75
02	37,67	41,93	26,59	38,96	42,50	36,27	35,74	38,46	37,27
03	27,32	30,43	41,26	33,65	36,71	33,65	27,37	32,45	32,86
04	48,02	33,90	75,07	66,65	41,22	30,02	47,61	58,60	50,14
05	77,28	42,85	41,45	39,74	89,13	44,57	72,93	53,31	57,66
06	75,90	53,61	89,10	57,55	60,31	42,23	62,10	69,58	63,80
07	55,94	63,76	71,76	53,61	72,36	35,26	43,70	60,72	57,14
08	57,13	52,44	62,79	61,27	68,77	68,17	72,93	54,74	62,28
09	93,29	89,42	71,30	78,29	67,80	92,05	66,24	57,41	76,98
10	29,72	30,59	27,95	27,23	29,44	27,76	31,46	16,56	27,59
11	28,70	23,92	34,96	23,46	21,90	29,07	29,44	24,01	26,93
12	38,09	63,02	70,10	76,18	52,37	69,00	48,02	58,79	59,45
13	73,37	60,72	62,93	52,62	54,65	50,26	60,38	53,13	58,51
14	67,34	55,15	53,61	55,15	55,66	61,36	53,54	60,17	57,75
15	61,36	52,62	56,86	46,37	63,25	61,27	52,99	59,20	56,74
16	40,71	63,02	40,02	50,83	59,87	58,88	57,96	40,11	51,43

17	63,37	45,82	52,99	41,06	55,06	30,91	58,70	37,44	48,17
18	28,98	26,50	30,11	19,50	30,22	23,92	21,39	32,29	26,63
19	51,20	48,07	40,73	42,00	40,48	52,44	36,80	41,40	44,14
20	23,18	29,81	24,63	33,53	23,60	33,49	19,67	32,71	27,58
21	32,38	23,55	31,46	20,61	28,64	26,91	31,05	22,08	27,09

a) Media de la población por subunidad

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M X_{ij}}{nM} = 47,39 m^3/ha$$

b) Media de las subunidades por conglomerado

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^M \frac{X_{ij}}{M} = (45,89+41,95+\dots+43,26) = 45,75 m^3/ha$$

Y los valores están representados en la columna 10 de la tabla 2

c) Variación de la población por subunidad

$$s_x^2 = \frac{1}{nM-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X_{ij} - \bar{x})^2 =$$

$$\frac{1}{30*7} \sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^8 [(45,89 - 47,39)^2 + \dots + (43,26 - 47,39)^2] + \dots + [(32,38 - 47,39)^2 + \dots + (27,09 - 47,39)^2]$$

$$s_x^2 = 294,09 (m^3/ha)^2$$

o a través del análisis de varianza $s_x^2 = s_e^2 + s_d^2$

$$MQ_{dentro} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X - \bar{x}_i)^2}{n(M-1)} = 92,17 (m/ha)^2 = s_d^2$$

d) Varianza entre conglomerados

$$MQ_{entre} = \frac{\sum_{i=1}^n M(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{n-1} = 1777,99 (m^3/ha)^2$$

$$s_e^2 = \frac{MQ_{entre} - MQ_{dentro}}{M} = \frac{1777,99 - 92,17}{8} = 210,73 (m^3/ha)^2$$

$$s_x^2 = 210,73 + 92,17 = 302,9 (m^3/ha)^2$$

e) Coeficiente de correlación intraconglomerados

$$r = \frac{s_e^2}{s_e^2 + s_d^2} = \frac{210,73}{210,73 + 92,17} = \frac{210,73}{302,9} = 0,6957$$

En este caso no es aplicable el muestreo en conglomerados y por tanto será más eficiente el muestreo estratificado.

CONCLUSIONES

Se comprobó de acuerdo con el coeficiente de correlación que el método de muestro en conglomerado es factible utilizarla en la plantaciones de pinos de la EFI el cual trae ventaja sustancial por encima del muestreo aleatorio simple.

No se recomienda el método para las plantaciones de eucaliptos debido a su alto grado de heterogeneidad.

Este método es factible de aplicar con buenos resultados y bajo costo en áreas forestales con cierta accesibilidad y con un alta grado de homogeneidad en cuanto a la estructura y composición de las especies como por ejemplo los bosque caducifolio de la Península de Guanahacabibes e Isla de la Juventud

BIBLIOGRAFÍA

COCHRAN, W.G. **Sampling techniques**. 2 ed., New, John Willey & Sons, Inc., 1963. 413 p.

LOETSCH, F. & HALLET, K. E. Forest inventory. 1 ed., Munich, BLV Verlagsgesellschaft, 1964. 436p. Vol. I.

MADOW, W.G. & MADOW, L. H. On he theory of systematic sampling. Ann. Math. Statistic, (15):1-24, 1944.

PELLICO NETTO, S. Amostragem em conglomerados e sua aplicação em inventarios florestais de florestas tropicais. In: I CONGRSSO BRASILEIRO DE FLORESTAS TROPICAIS, Anais. Vol.1:36-53, 1974, publicado em 1981.

PELLICO NETTO, S. Factors affecting cluster sampling. Syracuse, 1968. 112 p. (Disertación de Maestría).

PELLICO NETTO, S. Die Forstinventuren in Brasilien – Neu e Entwicklungen und ihr Beitrag für eine geregelte Forstwirtschaft. Mitteilungenaus der arbeitskreis für forstliche Biometrie. Freiburg, 1979. 232 p. (Tese de Doctorado).

QUEIROZ, W. T. Efeitos da variação estrutural em unidades amostrais na aplicação do processo de amostragem em conglomerados nas florestas do Planalto do Tapajós. Curitiba, 1977. 108 p. (Disertación de Maestría-UFPR).