

# DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA EN PARCELAS PERMANENTES DE MUESTREO MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO BOOTSTRAP

## DETERMINATION OF THE SAMPLE SIZE IN PERMANENT SAMPLING PLOTS BY MEANS OF THE APPLICATION OF THE BOOTSTRAP METHOD

DR. C. JOSÉ A. BRAVO-IGLESIAS,<sup>1</sup> DRA. C. VERENA TORRES-CÁRDENAS,<sup>2</sup> LIC. LOURDES RODRÍGUEZ-SHADE,<sup>2</sup> ING. JUAN M. MONTALVO-GUERRERO,<sup>1</sup> ING. WILMER TOIRAC-ARGÜELLES,<sup>3</sup> ESP. VÍCTOR M. FUENTES-UTRÍA<sup>3</sup> E ING. PEDRO RODRÍGUEZ-CUEVAS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174 no. 1723 e/ 17B y 17C, Siboney, Playa, La Habana, bravo@forestales.co.cu

<sup>2</sup> Instituto de Ciencia Animal. Km 47<sup>1/2</sup>, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. vtorres@ica.co.cu, lrodriguez@ica.co.cu

<sup>3</sup> Estación Experimental Agro-Forestal Baracoa. Carretera Central, Paso de Cuba, Baracoa, Guantánamo, Cuba, baracoa@forestales.co.cu

<sup>4</sup> Empresa Forestal Integral Baracoa. Bohorque 126 Carretera a Guantánamo, Baracoa, Guantánamo, Cuba. ftalbcoa@enet.cu

### RESUMEN

La estimación del volumen por hectárea en las parcelas permanentes de muestreo es de vital importancia para poder seleccionar la alternativa de manejo del bosque que más se adecuen a los objetivos que se proponga el silvicultor, con el objetivo de lograr la mayor producción de madera. Para este fin resulta vital el levantamiento de información biométrica del bosque a través del muestreo, así como el conocimiento básico de informática como herramienta para el cálculo de número de árboles, el área basal, el volumen de madera total o por hectárea y otros cálculos relevantes en forma rápida y eficiente. En Cuba, ante la carencia de transporte y de combustible necesarios para el levantamiento de las parcelas permanentes de muestreo entre los problemas que se están presentando, están las bajas intensidades de muestreo. Por tal motivo en este trabajo se recurre a la aplicación del método Bootstrap buscando obtener estimaciones confiables de los parámetros poblacionales. Se determina el tamaño de muestra utilizando el método tradicional y a partir de la aplicación del método Bootstrap, donde se obtienen reducciones de un 40 y un 60 % de las muestras.

Palabras claves: *Tamaño de muestra, método Bootstrap.*

### INTRODUCCIÓN

En investigaciones forestales las parcelas permanentes de muestreo (PPM) son dispositivos

### ABSTRACT

The estimation of the volume per hectare in the Permanent Sampling Plots is of vital importance to select the forest management alternative that suits the most to the farmer's objectives, with the aim of achieving the largest wood production. To this end, it is vital the collection of biometric data from the forest through the sampling; as well as to have basic computers knowledge as a tool for the calculation of the number of trees, the basal area, the total wood volume, or per hectare, and other outstanding calculations in a quick and efficient form. In Cuba, due to the shortage in transportation and fuel for the collection of data from the Permanent Sampling Plots, there are problems such as the low sampling intensities. Thus, in this work, the Bootstrap method is applied looking for reliable estimates of the population parameters. The size sample is determined using the traditional method and out of the application of the Bootstrap method, obtaining reductions of 40 and 60 % in the samples.

Key words: *Sample size, Bootstrap method.*

de investigación a largo plazo, permanentemente demarcados y periódicamente medidos.

Las PPM son de utilidad tanto en estudios con fines descriptivos como en ensayos formales. En estudios descriptivos las unidades de una red de PPM pueden ser seleccionadas a través de los diseños de muestreo completamente al azar, aleatorio estratificado y sistemático. En el caso del diseño de muestreo aleatorio estratificado, la división del bosque por estratos con base en tipos de vegetación, suelo, topografía, manejo, etc. puede ayudar a lograr una mayor precisión [Ortiz y Quirós, 2002].

Entre los principales problemas planteados por autores como Malleux (1982), Ortiz y Quirós (2002a) y Gallegos *et al.* (2010), que dan lugar a una inadecuada planificación forestal, se encuentran la falta de correspondencia entre los tipos de inventarios y sus diseños, las bajas intensidades de muestreo, los análisis incorrectos, errores en las fórmulas, criterios estadísticos mal aplicados, mediciones deficientes, falta de equipo de medición y de personal capacitado, los cuales conllevan a inventarios deficientes, y es necesario lograr la aplicación y utilización de diseños adecuados, de manera que se logren estimaciones poblacionales con un mínimo error, lo cual garantizará la precisión y exactitud de dichas estimaciones.

De todos los problemas anteriormente planteados, las bajas intensidades de muestreo son las que más inciden, pues no se dispone de tiempo suficiente para la permanencia del personal en las áreas de trabajo. Ante esta situación se hace necesario acudir técnicas estadísticas que nos permitan obtener estimaciones confiables de los parámetros poblacionales, siendo una solución para estas condiciones la aplicación del método Bootstrap.

El Bootstrap o *bootstrapping* –términos usados indistintamente en la literatura internacional [Efron, 1979; Efron y Tibshirani, 1986]– descansa en la analogía entre la muestra y la población, de la cual la muestra es extraída; implica el remuestreo (*resampling*) de los datos obtenidos en una muestra, con remplazamiento, muchas veces para generar una estimación empírica de la distribución muestral completa de un estadístico, y puede considerarse como un tipo especial de simulación denominada *simulación basada en los datos*.

El objetivo de este trabajo fue determinar el tamaño de muestra en PPM mediante el método

tradicional y con la aplicación del método Bootstrap.

## Materiales y métodos

Las áreas experimentales se encuentran ubicadas en las unidades silvícola Baracoa, perteneciente a la Empresa Forestal Integral Baracoa.

La temperatura media anual reportada es de 26,8 °C, el mes más frío es febrero (24,7 °C) y los más calientes julio y agosto (28,6 °C), la precipitación media anual es 1174,3 mm y la humedad relativa promedio 80 %. Los suelos predominantes son ferrítico púrpura, ferralítico rojo, ferralítico amarillento, fersialítico rojo parduzco, fersialítico pardo rojizo, pardo sin carbonato y esquelético [Rodríguez *et al.*, 2008].

Se utilizó el mapa forestal 1: 25 000 para ubicar las PPM en plantación de *Pinus cubensis* Griseb, seleccionándose dos rodales en periodos de variabilidad diferente del ecosistema boscoso:

1. Momento en el cual la plantación quedó establecida y los árboles se encuentran en el proceso de crecimiento (Clase de Edad II de superficie de 31,4 ha).
2. Momento en el cual se estabiliza el crecimiento y se manifiesta una mayor homogeneidad del bosque (Clase de Edad IV de superficie de 60,2 ha).

Se establecieron cinco parcelas rectangulares de 0,05 ha mediante un muestreo aleatorio simple, se midió el diámetro y la altura de todos los árboles y se calculó el volumen de cada árbol utilizando la fórmula de volumen de la Norma 595 (1982). Se sumaron estos volúmenes individuales y se obtuvo el volumen de cada parcela, con lo que se infirió el volumen por hectárea.

Se estudiaron cuatro tamaños de muestra preliminares, seleccionándose las parcelas 1 y 2 para el tamaño de muestra  $n = 2$ , las parcelas 1, 2 y 3 para el tamaño de muestra  $n = 3$ , las parcelas 1, 2, 3 y 4 para el tamaño de muestra  $n = 4$  y las parcelas 1, 2, 3, 4 y 5 para el tamaño de muestra  $n = 5$ , a partir de los cuales se determinaron los estadígrafos de posición (la media aritmética), de dispersión (la varianza, el coeficiente de variación y el error estándar) e intervalos de confianza del 95 %, y posteriormente se calculó el tamaño de muestra teórico mediante la fórmula:

$$n = \frac{(t_{\alpha/2,gl})^2 (CV\%)^2}{(E\%)^2}$$

donde:

$t_{\alpha/2,gl}$ : Valor de t de Student con un nivel de confianza establecido  $(1 - \alpha)$  y  $n - 1$  grados de libertad (gl)

CV%: Coeficiente de variación estimado de la población por muestrear

E%: Error máximo requerido en porcentaje a un nivel de confianza establecido  $(1 - \alpha)$ . Para este estudio se fija un valor constante del error máximo requerido del 15 %.

Posteriormente se procedió con los diferentes tamaños de muestra a la aplicación del método Bootstrap, eligiéndose como magnitudes Bootstrap (B): 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 y 300, para estimar el estadígrafo posición (media Bootstrap) y de dispersión (error estándar Bootstrap), siguiendo el criterio de Efron (1979), Hinkley (1988), y Efron y Tibshi-

rani (1993), quienes describen los pasos básicos de la estimación Bootstrap.

El tamaño de muestra óptimo se determinó a partir del mínimo relativo o punto de máxima curvatura de la función generada de los errores estándar Bootstrap, y del sesgo determinado por:

$$\text{Sesgo}_{\text{BOOT}} = \hat{\theta}^* - \hat{\theta}$$

donde:

$\hat{\theta}^*$ : Parámetro bootstrap estimado

$\hat{\theta}$ : Parámetro poblacional estimado

y se calcularon los intervalos de confianza del 95 %

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Determinación de los estadígrafos de posición y dispersión

En la *Tabla 1* se muestran los estadígrafos de posición y dispersión del volumen por hectárea para cada tamaño de muestra para el rodal de Clase de Edad II.

**TABLA 1**  
**Estadígrafos de posición y dispersión del volumen por hectárea para cada tamaño de muestra para el rodal de Clase de Edad II**

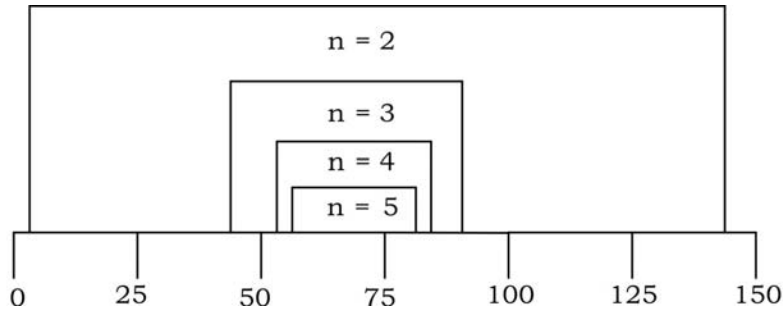
Estadígrafo	Tamaño de muestra			
	2	3	4	5
Media	71,15	67,13	68,54	67,22
Varianza	60,83	78,78	60,44	54,04
Coeficiente de variación (%)	10,96	13,22	11,34	10,94
Error estándar	± 5,52	± 5,12	± 3,89	± 3,29

Los intervalos de confianza, para las medias de los tamaños de muestras  $n = 3$ ,  $n = 4$  y  $n = 5$  poseen amplitudes menores que el intervalo de confianza de la media correspondiente al tamaño de muestra  $n = 2$  (*Fig. 1*). Esto evidencia que este tamaño de muestra ( $n = 2$ ) no es adecuado para representar la población de la especie en esta clase de edad, lo cual es lógico porque en esta etapa se manifiesta mayor variabilidad debido a que el bosque está en la fase inicial de crecimiento, donde los árboles comienzan a incrementar tanto en diámetro como en altura, siendo más heterogéneos.

En la *Tabla 2* se observan los estadígrafos de posición y dispersión del volumen por hectárea

para cada tamaño de muestra para el rodal de Clase de Edad IV. Los intervalos de confianza de las medias de todos los tamaños de muestra alcanzan amplitudes pequeñas, aunque el intervalo de confianza para la media de tamaño de muestra  $n = 2$  tiene una amplitud mayor que los otros intervalos (*Fig. 2*).

En esta etapa el bosque presenta una menor variabilidad debido a que se encuentra en su fase final de crecimiento, donde se manifiestan incrementos muy bajos o casi nulos, apreciándose una mayor homogeneidad en los diámetros y las alturas de los árboles en el rodal.



n	2	3	4	5
LI (m <sup>3</sup> /ha)	1,07	45,08	56,17	58,09
LS (m <sup>3</sup> /ha)	141,22	89,18	80,19	76,35

Figura 1. Intervalos de confianzas de las medias para el rodal de Clase de Edad II.

**TABLA 2**  
**Estadígrafos de posición y dispersión del volumen por hectárea para cada tamaño de muestra para el rodal de Clase de Edad IV**

Estadígrafo	Tamaño de muestra			
	2	3	4	5
Media	154,05	153,50	153,55	153,68
Varianza	3,65	2,73	1,83	1,46
Coefficiente de variación	1,24	1,08	0,88	0,79
Error estándar	± 1,35	± 0,95	± 0,68	± 0,54

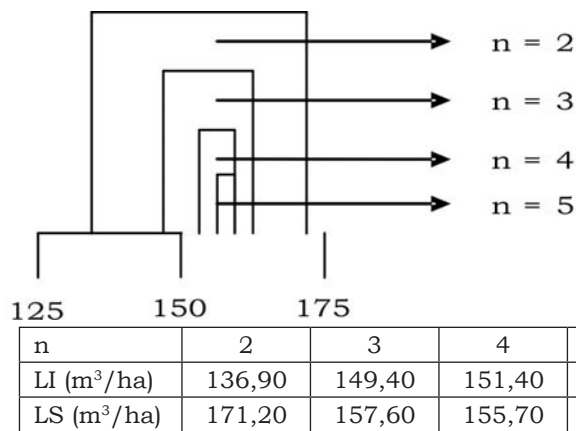


Figura 2. Intervalos de confianzas de las medias para el rodal de Clase de Edad IV.

En ambas clases de edades los valores de los coeficientes de variación explican que existe una baja variabilidad, lo que justifica la utilización de un muestreo aleatorio simple y unidades de muestreo pequeñas. Según Malleux (1982), estas unidades de muestreo (500 m<sup>2</sup>) son aptas

para bosques homogéneos, ya que existirá menor variabilidad y mayor variabilidad entre ellas. En las Tablas 3 y 4 se presentan los tamaños de muestra teóricos para los rodales de Clase de Edad II y Clase de Edad IV. Según Malleux (1982) y Ortiz y Carrera (2002a), el tamaño de

muestra depende de la variabilidad del bosque (CV%) y el error máximo requerido, además del tipo de muestreo, el parámetro a estimar y el nivel de confianza.

El tamaño de muestra aumenta en relación cuadrática, mientras que el error de muestreo disminuye en proporción aritmética. Esto significa que si se disminuye a la mitad el error de muestreo aumenta el tamaño de muestra en una proporción mayor de cuatro veces; por lo tanto, la precisión de la muestra debe ser determinada con especial cuidado, tratando de que sea lo estrictamente necesaria para lo que se ha planeado.

nuye en proporción aritmética. Esto significa que si se disminuye a la mitad el error de muestreo aumenta el tamaño de muestra en una proporción mayor de cuatro veces; por lo tanto, la precisión de la muestra debe ser determinada con especial cuidado, tratando de que sea lo estrictamente necesaria para lo que se ha planeado.

**TABLA 3**  
**Tamaño de muestra teórico para el rodal de Clase de Edad II**

<i>Aspectos a considerar</i>	<i>Tamaño de muestra</i>			
	2	3	4	5
$t_{a/2gl}$	12,71	4,30	3,18	2,78
Coefficiente de variación (%)	10,96	13,22	11,84	10,94
Error máximo requerido (%)	15	15	15	15
Tamaño de muestra teórico	86	14	6	4

En el rodal de Clase de Edad II el tamaño de muestra  $n = 2$  no es representativo de la población, al mostrar un valor del coeficiente de variación menor que el del tamaño de muestra  $n = 3$ . A partir de este último comienza a disminuir la variabilidad del rodal, por lo que se define el tamaño de muestra teórico 5 como el más apropiado, ya que se pudo observar una disminución del tamaño de muestra teórico de 86 a cuatro muestras.

minuir la variabilidad del rodal, por lo que se define el tamaño de muestra teórico 5 como el más apropiado, ya que se pudo observar una disminución del tamaño de muestra teórico de 86 a cuatro muestras.

**TABLA 4**  
**Tamaño de muestra teórico para el rodal de Clase de Edad IV**

<i>Aspectos a considerar</i>	<i>Tamaño de muestra</i>			
	2	3	4	5
$t_{a/2gl}$	12,71	4,30	3,18	2,78
Coefficiente de variación (%)	1,24	1,08	0,88	0,79
Error máximo requerido (%)	15	15	15	15
Tamaño de muestra teórico	1,1	0,09	0,03	0,021

En el caso del rodal de Clase de Edad IV, la variabilidad manifiesta un comportamiento no típico, debido a la alta homogeneidad del rodal, influyendo en ello las condiciones de la localidad, los manejos silvícolas y la probabilidad de ocurrencia de este evento.

Los resultados del tamaño de muestra teórico no son adecuados, puesto que no es posible representar la población; sin embargo, los tamaños de muestra preliminares permitieron caracterizar la población, observándose lo planteado por Smith (1938) [citado por Torres, 1980]. La

reducción la variabilidad relativa conforme aumenta el tamaño de muestra, seleccionándose el tamaño de muestra 5. Según Montalvo (2010), en estudios del Instituto de Investigaciones Forestales se definió el tamaño de muestra 5 como el tamaño de muestra piloto (preliminar) en el establecimiento de PPM, y a partir de este determinar el tamaño de muestra teórico y definir el adecuado que permitirá obtener estimaciones confiables de los parámetros poblacionales.

Si el tamaño de muestra se hubiera determinado en función de la intensidad de muestreo y si-

guiendo el criterio de la Norma Ramal 595 (1982), según la cual en bosques homogéneos se debe muestrear el 3 % del área total, para el rodal de Clase de Edad II se necesitaría muestrear un área de 0,9 ha, equivalente a 18 parcelas de 500 m<sup>2</sup>. Para el rodal de Clase de Edad IV se necesitaría muestrear un área de 1,8 ha que representan 36 parcelas. Como se observa, por este método se logra una mejor representación de la población, pero a la vez se necesita disponer de más tiempo de trabajo, lo que trae consigo un aumento de los costos del inventario.

La determinación correcta del tamaño de muestra en función del coeficiente de variabilidad con un error máximo requerido adecuado permite obtener estimaciones de los parámetros poblacionales con calidad y a un costo permisible.

### Determinación del tamaño de muestra a partir de las muestras Bootstrap

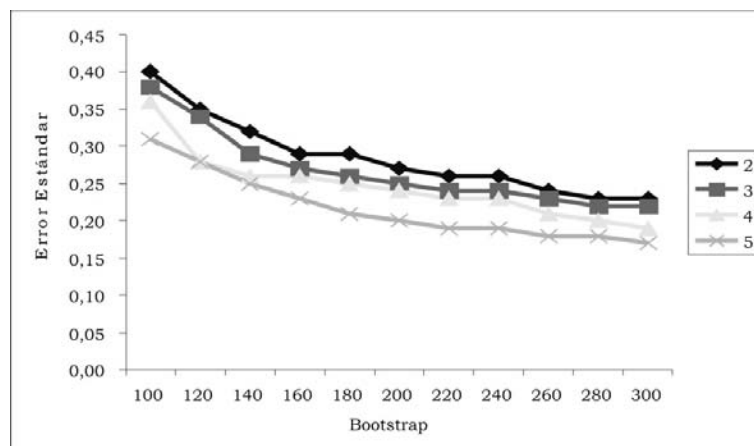
En la *Tabla 5* se observa el comportamiento del error estándar en función de los tamaños de muestra. A partir de la magnitud Bootstrap B = 220, el error estándar comienza a estabilizarse, siendo las diferencias mínimas para los diferentes tamaños de muestra, por lo que se define el tamaño de muestra n = 3 como el tamaño de muestra mínimo que permite hacer estimaciones confiables del parámetro, reduciéndose el tamaño de muestra en un 40 % con respecto al obtenido con las muestras originales (*Tabla 3*). Resultados similares obtuvieron Demey *et al.* (2004), logrando disminuir en un 50 % el tamaño de muestra en los cultivares B6746 y V64-10 de caña de azúcar.

**TABLA 5**  
**Comportamiento de los errores estándar en función de los tamaños de muestra para el rodal de Clase de Edad II**

Tamaño de muestra	Magnitud Bootstrap										
	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
2	± 0,40	± 0,35	± 0,32	± 0,29	± 0,29	± 0,27	± 0,26	± 0,26	± 0,24	± 0,23	± 0,23
3	± 0,38	± 0,34	± 0,29	± 0,27	± 0,26	± 0,25	± 0,24	± 0,24	± 0,23	± 0,22	± 0,22
4	± 0,36	± 0,28	± 0,26	± 0,26	± 0,25	± 0,24	± 0,23	± 0,23	± 0,21	± 0,20	± 0,19
5	± 0,31	± 0,28	± 0,25	± 0,23	± 0,21	± 0,20	± 0,19	± 0,19	± 0,18	± 0,18	± 0,17

La *Fig. 3* muestra el comportamiento de los errores estándar en el remuestreo para el rodal de Clase de Edad II. Se ve que desde la magnitud Bootstrap

B = 220 comienzan a estabilizarse los valores del error estándar. A partir de esa magnitud la estimación del parámetro será con mayor precisión.



*Figura 3.* Comportamiento de los errores estándar en función del remuestreo (B) para el rodal de Clase de Edad II.

En la *Tabla 6* se observa la estimación del sesgo Bootstrap, error estándar e intervalos de confianza de la media Bootstrap; se aprecia que para  $n = 3$ ,  $B = 220$  el valor más bajo de sesgo se obtiene con exactitud la estimación de los parámetros poblacionales y aumenta la precisión al disminuir el error estándar de

$\pm 3,29$  (*Tabla 1*) de la muestra original a  $\pm 0,24$  a partir de las muestras Bootstrap, y la estimación del parámetro poblacional (media) del tamaño de muestra seleccionado de las muestras originales  $67,22 \text{ m}^3/\text{ha}$  (*Tabla 1*) se encuentra dentro del intervalo de confianza Bootstrap.

**TABLA 6**  
**Estimación del sesgo Bootstrap, error estándar Bootstrap e intervalos de confianza Bootstrap para el tamaño de muestra  $n = 3$  para el rodal de Clase de Edad II**

Tamaño de muestra	Magnitud Bootstrap	Media Bootstrap	Sesgo Bootstrap	Error estándar Bootstrap	Intervalo de confianza Bootstrap 95%	
					LI	LS
3	100	67,69	0,56	$\pm 0,38$	59,10	74,17
3	120	66,81	-0,32	$\pm 0,34$		
3	140	66,60	-0,53	$\pm 0,29$		
3	160	66,86	-0,27	$\pm 0,27$		
3	180	66,96	-0,17	$\pm 0,26$		
3	200	66,63	-0,50	$\pm 0,25$		
3	220	67,10	-0,03	$\pm 0,24$		
3	240	67,19	0,06	$\pm 0,24$		
3	260	67,46	0,33	$\pm 0,23$		
3	280	67,38	0,25	$\pm 0,22$		
3	300	66,94	-0,19	$\pm 0,22$		

En la *Tabla 7* se observa el comportamiento del error estándar en función de los tamaños de muestra. A partir de la magnitud Bootstrap  $B = 200$  el error estándar comienza a estabilizarse, siendo las diferencias mínimas para los diferentes tamaños de muestra; pero para los tamaños de

muestras se define el tamaño de muestra  $n = 2$  como el tamaño de muestra mínimo que permite hacer estimaciones confiables de los parámetros poblacionales. Se puede lograr reducir el tamaño de muestra en un 60 % con respecto al obtenido con las muestras originales (*Tabla 4*).

**TABLA 7**  
**Comportamiento de los errores estándar en función de los tamaños de muestra para el rodal de Clase de Edad IV**

Tamaño de muestra	Magnitud Bootstrap										
	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
2	$\pm 0,10$	$\pm 0,09$	$\pm 0,08$	$\pm 0,07$	$\pm 0,07$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
3	$\pm 0,07$	$\pm 0,07$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
4	$\pm 0,06$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$
5	$\pm 0,05$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$

En la Fig. 4 se presenta el comportamiento de los errores estándar en función del remuestreo para el rodal de Clase de Edad IV, donde se aprecia que a partir de la magnitud Bootstrap

B = 200 comienzan a estabilizarse los valores del error estándar. Desde esa magnitud la estimación de los parámetros poblacionales será con mayor precisión.

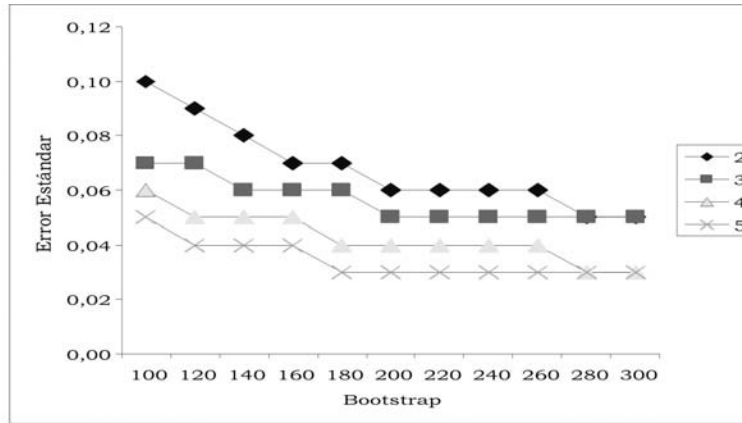


Figura 4. Comportamiento de los errores estándar en función del remuestreo (B) para el rodal de Clase de Edad IV.

En la Tabla 8 se observa la estimación del sesgo Bootstrap, error estándar e intervalos de confianza de la media Bootstrap. Se aprecia que para  $n = 2$  y  $B = 200$ , un valor bajo de sesgo Bootstrap, se obtiene con exactitud la estimación de los parámetros poblacionales y aumenta

la precisión al disminuir el error estándar  $\pm 0,54$  (Tabla 2) de la muestra original a  $\pm 0,06$  a partir de las muestras Bootstrap; y la estimación de la media poblacional  $153,68 \text{ m}^3/\text{ha}$  (Tabla 2) se encuentra dentro del intervalo de confianza Bootstrap.

**TABLA 8**  
**Estimación del sesgo Bootstrap, error estándar Bootstrap e intervalos de confianza Bootstrap para  $n = 2$  para el rodal de Clase de Edad IV**

Tamaño de muestra	Magnitud Bootstrap	Media Bootstrap	Sesgo Bootstrap	Error estándar Bootstrap	Intervalo de confianza Bootstrap 95%	
					LI	LS
2	100	154,00	-0,05	$\pm 0,10$	152,70	155,26
2	120	154,02	-0,03	$\pm 0,09$		
2	140	154,05	0,00	$\pm 0,08$		
2	160	154,04	-0,01	$\pm 0,07$		
2	180	153,93	-0,12	$\pm 0,07$		
2	200	154,06	0,01	$\pm 0,06$		
2	220	154,02	-0,03	$\pm 0,06$		
2	240	154,08	0,03	$\pm 0,06$		
2	260	154,02	-0,03	$\pm 0,06$		
2	280	154,09	0,04	$\pm 0,05$		
2	300	154,10	0,05	$\pm 0,06$		

## CONCLUSIONES

- En los rodales de Clase de Edad II y Clase de Edad IV se lograron reducir los tamaños de muestra en un 40 y un 60 % respectivamente, obtenidos a partir de las muestras Bootstrap en comparación con las muestras originales.
- El método Bootstrap es una aplicación estadística que permite obtener estimaciones confiables de los parámetros poblacionales del volumen por hectárea.

## BIBLIOGRAFÍA

- EFRON, B. 1979. «Bootstrap Methods. Another look at the Jackknife». *Annals of Statistics* 7, 1-26.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. 1986. «Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other measures of statistical accuracy». *Statistical Science* 1(1): 54-77.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. 1993. *An Introduction to the Bootstrap*. New York. Chapman & Hall. 436 pp.
- GALLEGOS, A.; AGUIRRE, O. A.; GONZÁLEZ, G. A. 2010. «Optimización de inventarios forestales para manejo forestal de un bosque tropical en Jalisco, México» <http://www.cucba.udg.mx/forestal/index.pdh?option=com> [consulta: 23 de marzo de 2010].
- HINCKLEY, D. W. 1988. «Bootstrap Methods». *Journal of the Royal Statistical Society (GB)*, Series B, 50: 321-337.
- MALLEUX, J. 1982. *Inventarios forestales en bosques tropicales*. Lima. Perú. 414 pp.
- MONTALVO, J. M. 2010. Comunicación personal.
- Normal Ramal 595. 1982. *Tratamientos silviculturales*. Ministerio de la Agricultura. 25 pp.
- ORTIZ, E.; QUIRÓS, D. 2002. «Definiciones y tipos de inventarios forestales en inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Costa Rica. CATIE. pp. 3-24.
- ORTIZ, E.; QUIRÓS, D. 2002a. «Planificación de inventarios forestales en inventarios forestales para bosques latifoliados en América Centra»l. Costa Rica. CATIE. pp. 27-34.
- RODRÍGUEZ, P. E. ET AL. 2008. *Proyecto de organización y desarrollo de la economía forestal 2008-2017*. Ministerio de la Agricultura. Grupo Empresarial de la Agricultura de Montaña. Empresa Forestal Integral Baracoa. 57 pp.

## RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: José A. Bravo Iglesias

Doctor en Ciencias Forestales, investigador titular del Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, trabaja en la temática de Silvicultura y Medio Ambiente, y Biometría Forestal. Profesor instructor, ha impartido cursos de posgrado sobre Silvicultura, Agroecología y Diseño Experimental, entre otros. Recibió premio en el Forum Tecnológico Especial sobre los cambios climáticos y la actividad agraria. Ha participado en eventos nacionales e internacionales.