

MÉTODO DE INVENTARIO PARA PLANTACIONES PEQUEÑAS

Olman Murillo Gamboa, Ph.D. Costa Rica. olmuga@yahoo.es. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Yorleny Badilla Valverde, B.Sc.; Costa Rica. yorlenybadilla@yahoo.es. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Manuel Morales Salazar. Lic. Costa Rica. manuel.morales@pawcr.net. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Resumen

Las plantaciones pequeñas, los lotes pequeños dentro de fincas y los sistemas agroforestales generan un problema de muestreo, débilmente atendido dentro del esquema del inventario forestal tradicional. Por tanto, la unidad muestral debe ser redefinida, de modo que permita capturar información representativa de la masa forestal, a bajo costo y con un error de muestreo bajo. Con base en plantaciones censadas de distintos tipos, con y sin raleos, de edad avanzada y con grandes claros internos, se validó un método de muestreo basado en árboles individuales. Se construyó un programa que permitió simular 1000 posibles inicios aleatorios de muestreo en plantaciones censadas, donde se determinó la calidad del inventario con una intensidad de 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, 4%, 4,5% y 5% de los árboles en pie. La calidad del inventario se determinó con base en el desvío o error en porcentaje del valor conocido poblacional. Como parámetros se evaluó la magnitud del error en la estimación del promedio, desviación estándar y el error máximo de estimación del DAP, G, mortalidad y sobrevivencia. Así también se revisó la estimación del diámetro máximo, mínimo y la distribución diamétrica. Los resultados indican que con un 3% de los árboles en pie se obtiene suficiente representatividad de la masa forestal. En campo, se inicia con un árbol aleatorio y sistemáticamente se muestrea cada 25avo (4%) ó 33avo (3%) árbol en pie. En cada árbol incluido se contabiliza los vecinos inmediatos presentes a su alrededor, que conforman una parcela imaginaria y un factor de corrección para estimación de área y sobrevivencia. Se describe como el método también permite estimar el área efectiva y neta plantada del lote. Se incluye una variante con muestreo de tres líneas simultáneas, que reduce el tiempo de inventario en cuatro veces.

I Introducción

Las plantaciones pequeñas, los lotes pequeños dentro de fincas y los sistemas agroforestales, generan un problema de muestreo débilmente atendido dentro del esquema del inventario forestal tradicional. Por tanto, la unidad muestral debe ser redefinida, de modo que permita capturar información representativa de la masa forestal, a bajo costo y con un error de muestreo bajo.

En el caso de plantaciones forestales, el muestreo sistemático con un inicio aleatorio es el más utilizado, basado en parcelas circulares de área

predeterminada, lo que permite un costo razonable dentro de límites de tiempo apropiados (Akça, 1993; Kramer y Akça, 1995; Spitler, 1995; Laar y Akça, 1997). Sin embargo, ¿será eficiente aplicar esta técnica de muestro en áreas pequeñas de 1 a 2 ha?. En lotes pequeños, por ejemplo de 1 ha, ocurre que una única parcela de muestreo de 500 m² ya significa un 5% del área plantada, valor muy superior al 2,5 a 3% usualmente recomendado para muestreo en estudios de evaluación y valoración de plantaciones (Murillo y Camacho, 1997; Murillo *et al*, 2003; Murillo y Badilla, 2004). Con una sola parcela no se puede estimar el error de muestreo, pues no hay variación. Si se establecen 2 parcelas de muestreo, tendremos entonces 1000 m² y un 10% del área bajo muestreo. Sin embargo, con frecuencia, los errores de muestreo con solamente 2 parcelas son muy superior al 10% recomendado (Murillo y Badilla, 2004). Esta situación persiste y se magnifica en lotes plantados en áreas pequeñas, donde es evidente que el sistema tradicional de inventario basado en parcelas con varios individuos, no logra obtener información representativa de la plantación, con un error bajo de muestreo y a un costo razonable. Si se quisiera obtener información de los árboles en un sistema agroforestal, donde hay muy pocos individuos/ha, o en sistemas de siembra en líneas, tres hileras, etc, el uso de parcelas circulares convencionales será del todo imposible.

En la ecuación para estimar el error de muestreo se utiliza en el numerador el valor de “t” elevado al cuadrado, que cuando corresponde a menos de 7 grados de libertad utiliza valores muy grandes. En el denominador aparece “n” que cuando se tiene menos de 7 parcelas de muestreo no logra reducir la magnitud del error de muestreo. Por tanto, en lotes o plantaciones de menos de 6 ha siempre se presentará el problema de registrar valores muy altos de error de muestreo si se utiliza el procedimiento tradicional de muestreo basado en parcelas de 200 y 500 m² de superficie.

$$E = \frac{t^2 * S^2}{n}$$

A raíz de esta situación se inició esta investigación basada en muestreos donde el árbol individual es ahora la unidad muestral o parcela. Con base en este principio, se utilizará el conocimiento existente de intensidad de muestreo, que sugiere la medición de un 2 a 3% del área efectiva plantada (Murillo *et al*, 2003; Sánchez y Murillo, 2004), pero en términos del número inicial de árboles plantados (N).

Metodología

Plantaciones utilizadas en el estudio de muestreo

Para la realización de la investigación, se utilizaron cinco plantaciones establecidas en el Pacífico norte y central, así como de la zona norte del país (ver cuadro 1). En cada una de las plantaciones existía un censo de toda el área efectiva plantada. Tres de las plantaciones ya habían sido intervenida con el primer raleo silvicultural, donde se extrajo aproximadamente un 50% de los individuos en pie. Con cada una de las plantaciones censadas se construyó una base de datos con tres parámetros para cada árbol: número del árbol, sobrevivencia (presente =1, ausente = 2) y dap.

Método de muestreo basado en árboles individuales

En la figura 1 se muestra como se inicia el muestreo eligiendo el primer árbol en forma aleatoria, para luego continuar incluyendo árboles en la muestra cada determinada cantidad fija de individuos, según sea la intensidad de muestreo definida: para un 2% de intensidad se elige cada 50avo árbol, para un 3% cada 33avo, para un 4% cada 25avo y para un 5% cada 20avo individuo.

Técnicamente este procedimiento es análogo a establecer una parcela circular de 500 m², pero ahora los árboles están aleatoriamente distribuidos dentro de todo el lote. Por lo tanto, los estimados de la población tendrán una mayor representatividad y permitirán una mejor captura de la variación dentro de la población. Esta muestra tiene una alta representatividad del lote, ya que obliga al técnico a recorrerlo completamente. Interesante notar que este método permite resolver el problema de muestreo en sistemas agroforestales, plantaciones con diseños irregulares, árboles en hileras, o en pequeños conglomerados.

En la hoja EXCEL (versión 2003) se construyó un programa de muestreo que permitiera seleccionar determinada cantidad de individuos de una población real, a partir de un árbol inicial elegido de forma aleatoria y, de ese punto inicial, el resto de árboles a ser incluidos en la muestra, se eligieran cada cierto número fijo de individuos en forma sistemática. El árbol de inicio del muestreo lo genera el programa a partir de un número aleatorio tomado de un rango de valores del 1 al 999. El programa se puso a funcionar tomando 1000 muestras en cada población de estudio y para cada una de 9 intensidades de muestreo evaluadas, con el fin de determinar la intensidad de muestreo óptima, donde se evaluaron: 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, 4%, 4,5% y 5% de los árboles originalmente plantados. Es decir, estuvieran presentes o no.

Todos los árboles incluidos en la base de datos tenían su DAP y sobrevivencia (1 = vivo, 2 = muerto). En cada una de las 1000 muestras, correspondientes a cada una de las nueve intensidades de muestreo simuladas, el programa calculó 23 parámetros utilizados como criterios o indicadores de calidad del muestreo (cuadro 2). De las cinco plantaciones utilizadas para validación se calcularon los mismos 23 parámetros y utilizados como datos censales, para poder determinar luego la precisión de los estimados en cada muestra.

Puede observarse que los 23 parámetros evaluados fueron propuestos para **a)** estimar datos generales de la población (dap promedio, sobrevivencia, mortalidad, área basal), otros para estimar **b)** aspectos de la distribución diamétrica (dap máximo, dap mínimo, dap máximo – dap mínimo, asimetría, etc.) y **c)** parámetros para estimar confiabilidad y precisión de los datos (error real de muestreo para varios parámetros, valores máximo de error real, estimados del valor promedio con un 95% de confiabilidad).

Dado que el método de muestreo permite contabilizar todos los árboles, presentes o ausentes, entonces el estimado de área basal se obtuvo como sigue:

$$\frac{\sum m^2 * 100}{3\%}$$

Si en un muestreo de un 3% de los árboles se tiene que la suma de su área basal es de 0.1642 m², el valor extrapolado a hectárea se calcula

$$\frac{0,1642m^2}{3\%} = \frac{x}{100\%} = 16,42m^2.$$

De manera similar se utilizó la contabilidad del número de individuos presentes (n), para obtener un estimado de la mortalidad y/o sobrevivencia. Estos dos parámetros de la población permitieron estimar el comportamiento del sistema de muestreo con variables de tipo binomial. El estimado de error de muestreo se obtuvo por medio del procedimiento regular ($E = \frac{t^2 S^2}{n}$), que no incluye el factor de corrección infinitesimal por tratarse de muestras con 1000 parcelas (n).

Resultados y discusión

En el cuadro 3 se muestra los resultados del Porcentaje de Error Real Máximo del Diámetro Promedio. Puede observarse, que a partir de una intensidad de muestreo del 3% de los árboles, el error real máximo se ubica en promedio, por debajo del 10%. Esta relación se mantiene en todas las plantaciones, con excepción del sitio de teca en el Pacífico seco (Jicaral) con un raleo. Si se utiliza entonces una intensidad del 3,5%, ya en todas las cinco plantaciones evaluadas se registran errores por debajo de un 10%. A partir de esta intensidad de muestreo, los valores de error máximo para estimar el dap continúan disminuyendo como se esperaría. Sin embargo, puede notarse que este parámetro no continúa descendiendo y se mantiene por encima del 5%.

Los datos muestran diferencias pequeñas, no significativas en este parámetro, al comparar las plantaciones con y sin raleo. En todas estas plantaciones, el primer raleo se efectuó hace ya más de 3 años siguiendo los criterios del raleo por lo bajo, donde se eliminaron los individuos de clases diamétricas inferiores. Puede notarse que las plantaciones raleadas registran valores de error máximo de muestreo, ligeramente inferiores a las plantaciones sin raleo. Este resultado es esperado, ya que cuando se efectúa un raleo por lo bajo, la plantación pierde varias de sus clases diamétricas inferiores y por tanto, su desviación estándar tiende a reducirse. Debe tenerse especial precaución con los estimados de desviación estándar de la población si se obtienen menos de dos años después del raleo. La distribución diamétrica muy probablemente no se comporte como una distribución normal y los estimados de desviación estándar estarían seriamente sesgados.

En la figura 2 se puede observar el comportamiento entre el error máximo de muestreo vs intensidad de selección. Si se utilizan los límites de confianza, puede entonces argumentarse, que con una intensidad de muestreo de un 3 a 3,5% de los árboles se obtendrán estimados del dap promedio sumamente confiables.

En lo que respecta al error máximo de área basal, el método de muestreo por árboles individuales, claramente produce estimados muy altos (cuadro 4). El efecto del raleo produce también un aumento en los estimados del error máximo del área basal. Debe recordarse que el área basal está compuesta por el número de árboles y sus valores de dap. Por tanto, cambios en la distribución espacial de los árboles producto de un raleo, pueden influir significativamente en la densidad de árboles remanentes dentro de la plantación. Es de esperarse, por tanto, que

las plantaciones raleadas registren valores más altos en el estimado del error real máximo del área basal. Obsérvese que aún con intensidades de muestreo de un 5%, los valores del error máximo no disminuyen de un 18% (plantaciones sin raleo) a un 23% (raleadas). Los resultados sugieren que este tipo de muestreo de árboles individuales, utilice alguna variable espacial adicional, con el fin de mejorar la precisión de los estimados de área basal.

Los estimados de error real máximo del porcentaje de sobrevivencia y mortalidad registran valores sumamente altos. Las variables sobrevivencia y mortalidad, al igual que el área basal, son altamente dependientes de la distribución espacial de los árboles remanentes y su variabilidad dentro de la plantación. Puede sin embargo observarse (figura 3), que los estimados de error máximo de sobrevivencia y mortalidad, son mucho más altos que los registrados para el área basal; y que los valores de mortalidad casi triplican los de sobrevivencia.

Una observación interesante es que las plantaciones sin raleo tienden a sobreestimar los porcentajes de mortalidad. Por el contrario, la estimación del error máximo en los árboles remanentes o sobrevivientes tiende a disminuir en las plantaciones raleadas. Estos resultados son esperados, ya que el raleo por lo bajo reducirá el número de árboles remanentes (N), por tanto, disminuyen todos los parámetros relacionados, como la desviación estándar de N. Por el contrario, el efecto del raleo implica un aumento en el número de árboles no presentes (mortalidad), que se traducirá en un aumento en los estimados de desviación estándar.

Inclusión de un factor de corrección espacial

Dado que el método se basa en la subpoblación de los árboles existentes en pie y no de toda la población original, no permite obtener una estimación correcta de la sobrevivencia, el área basal y el volumen, debido a que no estima los espacios vacíos dentro de la plantación. Una manera de estimar estos espacios vacíos se logra a través del conteo de los árboles presentes en la miniparcela imaginaria alrededor de cada árbol muestreado. Para plantaciones de distribución regular serán los próximos 8 posibles individuos (Figura 4, izq.) y para las plantaciones en tresbolillo o pata de gallo, serán los próximos 6 individuos (Figura 4, der.) que rodean a cada árbol muestreado.

De esta manera, de cada árbol muestreado se obtendrá un cociente $n/9$, donde "n" es el número de árboles en pie de los 8 posibles vecinos + el árbol muestra (centro). Este procedimiento se repite en cada árbol elegido dentro de la muestra y finalmente se obtiene un cociente promedio, que permitirá obtener un mejor estimado de sobrevivencia y mortalidad de mayor confiabilidad. Este cociente se utiliza también para corregir el estimado del área basal y volumen:

$$G = \frac{\bar{g} * 10000}{\text{ÁreaPorÁrbol}(m^2)} * \text{cociente } (n/9)$$

Donde:

\bar{g} = área basal promedio (en m^2) de todos los individuos incluidos en la muestra.

Área/árbol (m^2) = área en m^2 que ocupa originalmente cada árbol. Ejemplo, $9 m^2$ para los espaciamientos de $3 \times 3m$.

El conteo de árboles vecinos no se realiza si el árbol de la muestra se localiza en el borde de la plantación.

De manera interesante este procedimiento es de utilidad para obtener un buen estimado del **Área Efectiva e introducir el concepto que podríamos denominar Área Neta plantada**.

Si se utiliza la figura 1 como ejemplo, se tiene 24 individuos y 7 de saldo en la muestra, 3 de ellos como árboles de borde (el 4, 22 y el 24), que corresponde a $24 \times 20 = 480 + 7$ de saldo = 487 árboles en pie en ese Lote. Si la plantación fue establecida en espaciamiento regular de $3 \times 3\text{m}$ (9 m^2 por árbol), se tiene que 487 árboles en pie/ha $\times 9 \text{ m}^2 = 4\,383 \text{ m}^2$ de **Área Neta plantada**. Que puede interpretarse como la superficie exclusivamente cubierta con árboles en pie. Si utilizamos el promedio de todos los cocientes de árboles vecinos de todas las parcelas muestreadas, se obtiene un valor de 6,85 árboles + 1 (árbol del centro) = 7,85 árboles. Que corresponde a $7,85/9 = 0,872$ ó un 87,2% de los árboles originales. Tenemos entonces que los 487 árboles utilizan el 87,2% de la superficie plantada. Por lo tanto, el **Área Efectiva plantada** será = $(487 \times 100)/87,2 \times 9\text{m}^2 = 558$ árboles $\times 9 \text{ m}^2 = 5\,526 \text{ m}^2$. Esta superficie corresponde al total de Área Efectiva Plantada del rodal, que incluye dentro de su periferia árboles muertos, pequeños claros, drenajes, etc. En plantaciones donde puedan ocurrir claros grandes, este método podría subestimar el Área Efectiva Plantada.

Una variante del método es ampliar ahora la parcela a 3 individuos o 3 filas. Se ha estimado que esto ahorra hasta en 4 veces el tiempo de muestreo, ya que se recorren 3 filas de árboles simultáneamente. Si se sigue con la intensidad de muestreo de 1 árbol cada 20, se elige entonces una tripleta cada 20 árboles en pie, contando los 20 individuos únicamente en la fila del centro de la tripleta. Este procedimiento asume que las dos filas laterales, por efectos aleatorios y a lo largo de toda la plantación, tenderán a registrar un número similar de árboles en pie que la fila del centro. La variación en el método es que ahora se toman los datos a los tres posibles individuos presentes en la tripleta. Únicamente al árbol del centro se le realiza el conteo de los 8 posibles vecinos presentes, tal y como se muestra en la figura 5. El procedimiento de corrección de la sobrevivencia y área basal es idéntico al sistema con árboles individuales. En plantaciones de mayor edad, sin raleos durante muchos años, es recomendable aumentar la intensidad de muestreo, a un 4 a 5% (cada 25 ó 20 individuos).

Debe tenerse presente ahora, que la base de muestra de cada tripleta representa para este ejemplo $20 \times 3 = 60 =$ individuos (n). Si en los bordes hay menos de 3 hileras, se contabiliza todos los árboles remanentes. En el ejemplo de la figura 5, puede observarse que una vez localizado el árbol 14, restan 5 para concluir con esa faja. Se contabiliza entonces $5 \times 3 = 15$ árboles. Pero la faja siguiente tiene solamente 2 filas de árboles, entonces $45/2 = 22,5$ árboles para completar la siguiente muestra (árbol No. 15). La contabilidad de los árboles cambia ahora por la fila interna. El saldo de árboles en este sector de la plantación es de $19 \times 2 = 38$. Finalmente, se completa el muestreo en el sector hacia la izquierda del árbol 1. Se contabiliza nuevamente 20 individuos para localizar al árbol No. 16 y se registra un segundo saldo de $4 \times 3 = 12$ individuos. La sumatoria de los dos saldos es entonces de $38 + 12 = 50$ individuos. El total de árboles en pie será de $n = 16$, que al multiplicarse por 60 resulta en $N = 960 + 50 = 1010$ individuos en toda la plantación. Si la distancia de plantación fue de $3 \times 3\text{m}$, entonces el

estimado de Área Neta es de $1010 \times 9 \text{ m}^2 = 9\,088 \text{ m}^2$. La relación de sobrevivencia es de 6,69 árboles vecinos + 1 (árbol del centro) = 7,69 árboles de 9 posibles, que resulta en un 85,4%. Finalmente, el estimado de Área Efectiva plantada es de $((9088 \text{ m}^2) \times 100)/85,4 = 10\,640 \text{ m}^2$.

Conclusiones

El método de muestreo de árboles individuales es sumamente exitoso, de fácil utilización y adecuado para plantaciones de tamaño pequeño, así como para sistemas agroforestales.

La estimación del área basal, volumen y sobrevivencia, debe ir acompañada de la parcela imaginaria que contabiliza los individuos en pie alrededor.

La variante de muestreo en tripletas agiliza el muestreo y permite abarcar plantaciones de hasta 10 ha.

Literatura

Akça, A. 1993. Forest Inventory. Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde. Universidad de Göttingen, Alemania. 180 p.

Kramer, H.; Akça, A. 1995. Leitfaden zur Waldmesslehre. J.D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt, Alemania. 266 p.

Laar, A., van; Akça, A. 1997. Forest Mensuration. Cuvillier Verlag Göttingen. Alemania. 418 p.

Murillo, O. 1991. Metodología para el control de la calidad en plantaciones forestales. Tecnología en Marcha 11(1): 19-30.

Murillo, O. & Camacho, P. 1997. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones recién establecidas. Agronomía Costarricense 21 (2): 189-206.

Murillo, O.; Badilla, Y. & Gallegos, A. 2003. Calidad en el Establecimiento de Plantaciones Forestales. Manual. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 36 p.

Murillo, Olman y Badilla, Yorleny. 2004. Calidad y valoración de plantaciones forestales. Manual. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 51 p.

Sánchez, Silvia y Murillo, Olman. 2004. Desarrollo de un método para controlar la calidad de producción de plántulas en viveros forestales: estudio de caso con ciprés (*Cupressus lusitanica*). Agronomía Costarricense 28(2): 95-106.

Spitler M., P. 1995. Guía Técnica para el inventario rápido de bosques secundarios en la zona norte de Costa Rica. COSEFORMA. Alajuela, Costa Rica. 20 p.

Spitler M., P. 1996. Inventario Rápido en Bosques Secundarios de la Región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis M.Sc. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Georg-August, Göttingen, Alemania. 75 p.

Cuadro 1: Plantaciones censadas utilizadas para el estudio de intensidad de muestreo con árboles individuales en Costa Rica.

Sitio	Área (m²)	Especie y condición de sitio	Edad (años)	N inicial
Hojancha, Pacífico seco, 100 msnm y 2500 mm de precipitación	12500	Teca en terreno inclinado (5 a 15%)	8 con un raleo	1111
Jicaral, Pacífico seco, 50 msnm y 2500 mm de precipitación	12500	Teca en terreno plano (0 a 5%)	8 con un raleo	1111
Santa Cruz, Pacífico seco, 75 msnm y 2000 mm de precipitación	12500	Teca en terreno plano (0 a 5%)	8 sin raleo	1111
San Mateo, Pacífico central, 200 msnm y 2500 mm de precipitación	12500	Teca en terreno plano (0 a 5%)	8 sin raleo	1111
San Carlos, zona norte, 200 msnm y 3500 mm de precipitación	15000	<i>Hieronyma alchorneoides</i> en terreno inclinado (5 a 15%)	12 con un raleo	1111

Cuadro 2: Parámetros utilizados para determinar la calidad y precisión de las nueve intensidades de muestreo evaluadas, en el desarrollo del método de muestreo para plantaciones pequeñas.

Dap promedio.
Dap máximo y mínimo.
Distancia entre dap medio y dap máximo.
Distancia entre dap medio y dap mínimo.
Distancia entre el dap mínimo y dap máximo (ámbito de la población).
Desviación estándar entre todos los dap promedio.
Error estándar del dap promedio.
Promedio de la sobrevivencia y mortalidad/ha .
Valor promedio del error estimado del dap (en %).
Valor máximo del estimado de error del dap (en %).
Error real de muestreo (dap del censo vs dap promedio estimado, en %).
Valor máximo del error real del dap (en %).
Promedio del área basal/ha .
Error real del área basal/ha (en %).
Valor máximo del error real del área basal/ha (en %).
Estimado del valor real de muestreo del área basal (en %) con 2 desviaciones estándar*valor de t (95% de confiabilidad).
Error real de la mortalidad (en %)
Valor máximo del error real de la mortalidad (en %).
Estimado del error real de la mortalidad (en %) con 2 desviaciones estándar*valor de t (95% de confiabilidad).
Error real de la sobrevivencia (en %)
Valor máximo del error real de la sobrevivencia (en %)
Estimado del valor real de error de la sobrevivencia (en %) con 2 desviaciones estándar*valor de t (95% de confiabilidad).

Cuadro 3. Porcentaje de error real máximo del dap promedio para distintas plantaciones e intensidades de muestreo.

Plantación	Intensidad de muestreo									
	1%	1,5%	2%	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	
Teca Pacífico seco con raleo	21,13	13,78	12,09	8,62	7,73	6,77	4,48	6,68	3,94	
Teca Pacífico seco, con raleo	25,14	12,87	15,41	17,0	11,47	6,71	8,15	5,3	7,05	
Teca Pacífico seco, sin raleo	18,22	15,88	11,8	15,38	8,17	9,48	6,12	7,33	7,21	
Teca Pacífico central, sin raleo	15,01	11,45	10,51	11,05	7,27	8,67	5,59	4,66	4,47	
Pilón Zona norte, con raleo	11,08	13,8	14,16	8,334	6,69	9,45	4,44	5,44	5,64	
Promedio	18,12	13,56	12,79	12,08	8,26	8,20	5,74	5,88	5,66	
Promedio plantaciones sin raleo	17,36	13,50	12,97	12,94	8,39	8,57	6,06	5,68	6,09	

Cuadro 4. Porcentaje de error real máximo del área basal para distintas plantaciones e intensidades de muestreo.

Plantación	Intensidad de muestreo								
	1%	1,5%	2%	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%
Teca Pacífico seco con raleo	115,0	98,67	76,02	62,35	51,09	73,58	38,91	44,66	42,80
Teca Pacífico seco, con raleo	61,18	65,25	37,13	46,76	34,55	28,94	26,10	23,16	27,28
Teca Pacífico seco, sin raleo	61,17	47,08	45,03	37,64	31,57	38,49	30,16	33,85	20,66
Teca Pacífico central, sin raleo	42,65	36,35	37,93	28,93	28,15	28,08	16,06	14,5	13,16
Pilón Zona norte, con raleo	28,09	27,99	34,22	24,66	18,33	20,5	13,69	14,21	11,14
Promedio	61,62	55,07	46,07	40,07	32,74	37,92	24,99	26,08	23,01
Promedio plantaciones sin raleo	48,27	44,17	38,58	34,50	28,15	29,00	21,50	21,43	18,06

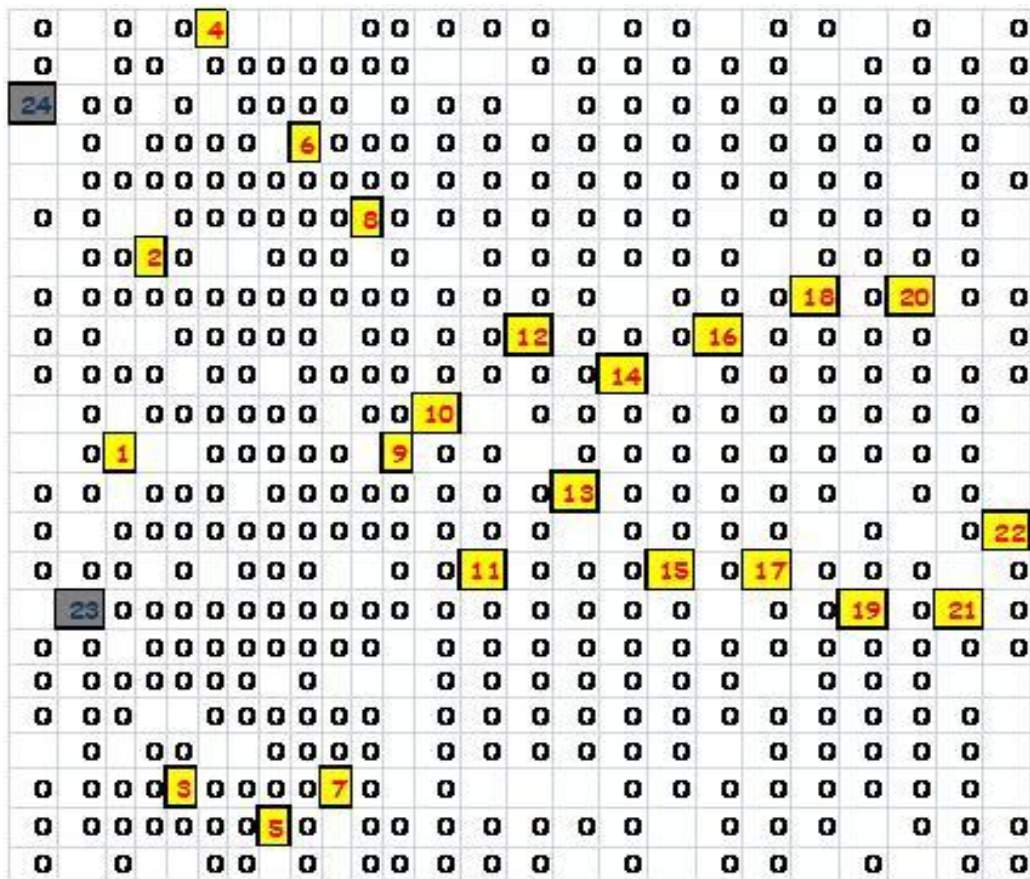


Figura 1: Procedimiento de muestreo con árboles individuales, para plantaciones o lotes menores a 2 ha. El muestreo inició con el árbol en pie No. 43 y luego cada 20 individuos (5% de la población). Al terminar en una dirección (Árbol 22), retoma el muestreo en la otra dirección y logra seleccionar 2 árboles más (el 23 y el 24).

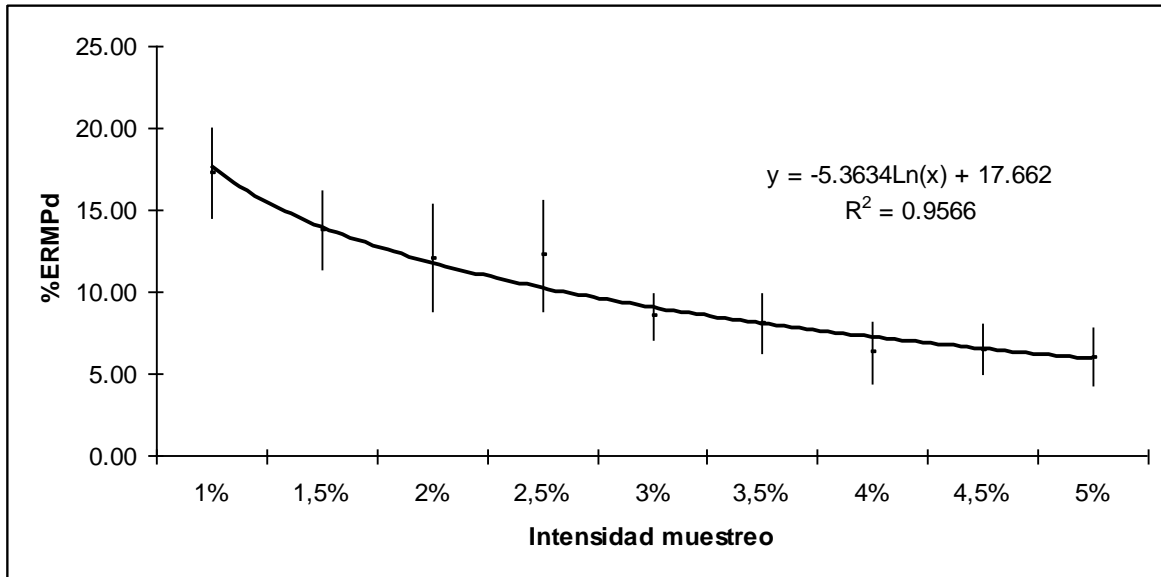


Figura 2. Comportamiento del porcentaje de error real máximo del dap ($\%ERMPd$, con sus respectivos límites de confianza) vs intensidad de muestreo.

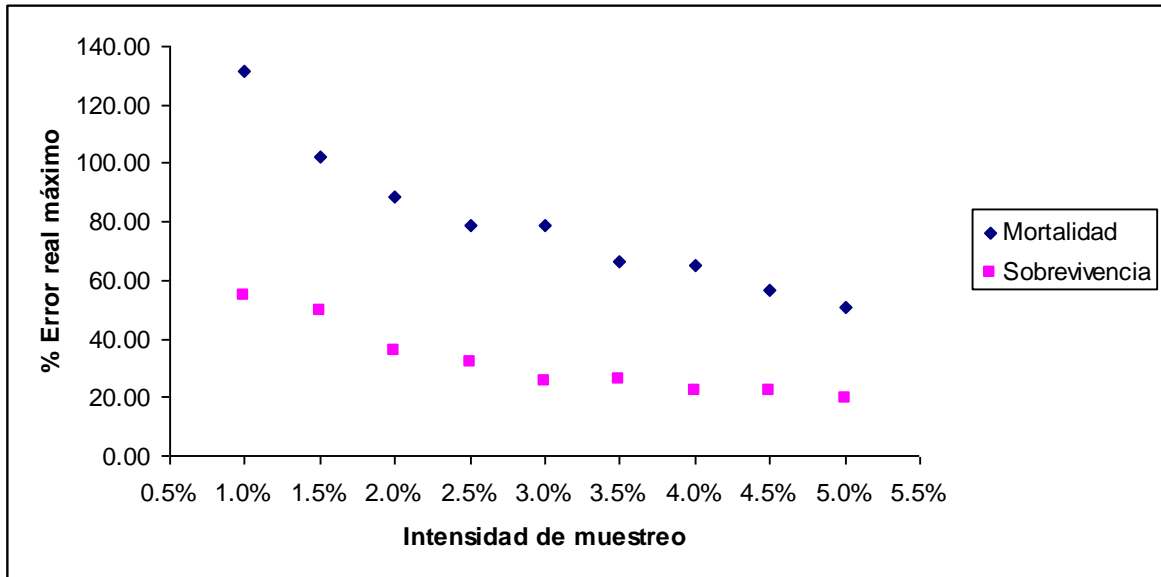


Figura 3: Comportamiento del error real máximo de muestreo para la mortalidad y la supervivencia (N) según la intensidad de muestreo.

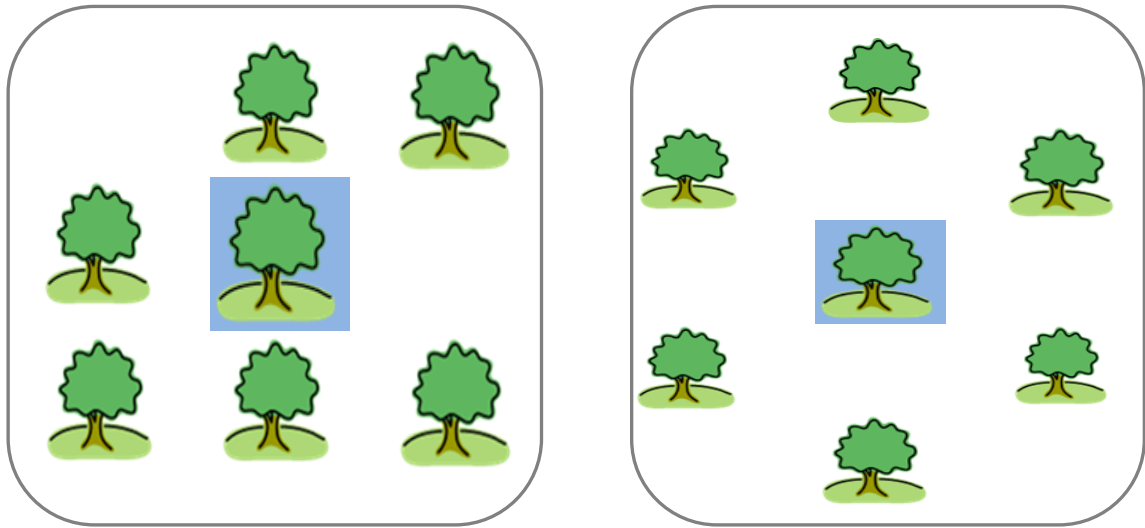


Figura 4: Parcela imaginaria de 8 árboles posibles alrededor de cada árbol muestreado (izq.) y de 6 posibles alrededor de cada árbol para distanciamientos en tresbolillo (der.)

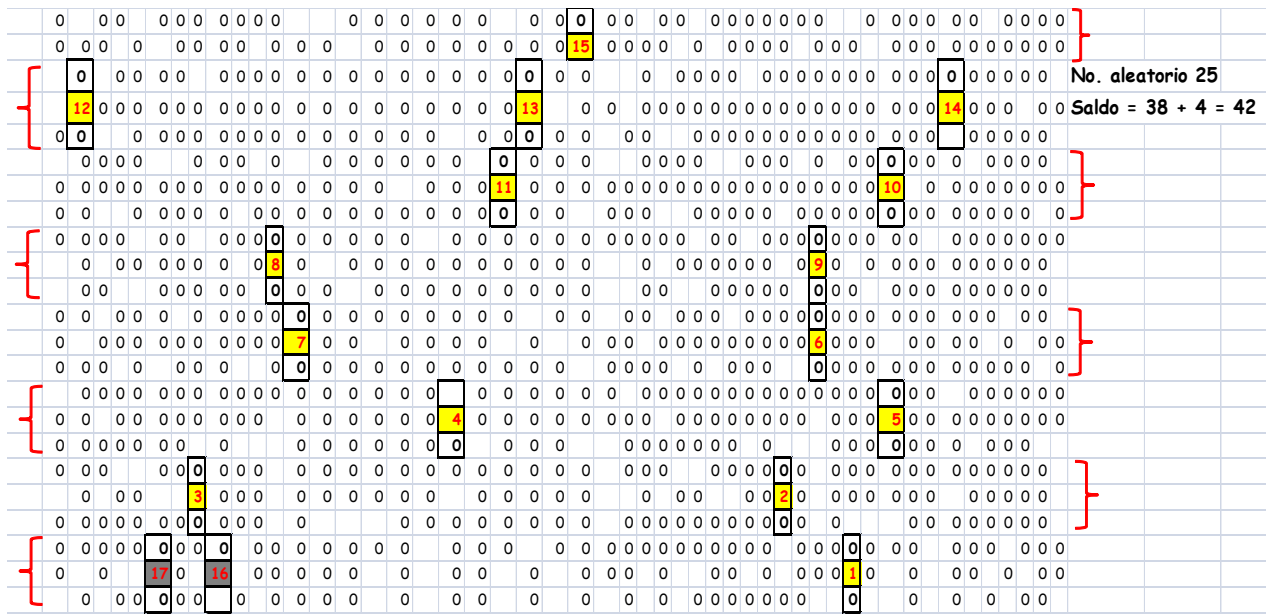


Figura 5: Muestreo en tripletas para lotes de 1 a 6 ha. La contabilidad de los árboles presentes se lleva en la línea del centro de cada tripleta. En un muestreo al 5%, se elige una tripleta cada 20 árboles. Este ejemplo dio inicio aleatoriamente con el árbol 25.