

METODOLOGIA PARA EL DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DE RODALES SEMILLEROS

Olman Murillo Gamboa*

Se describe en detalle la importancia, objetivos y criterios mínimos que debe reunir un rodal semillero, así como las etapas del proceso de selección y establecimiento del rodal. Se muestran datos de un ejemplo real, de la planificación del manejo y, finalmente, se presenta el análisis de ganancia genética que se espera obtener. Se concluye, entre otros aspectos, que este método permite eliminar criterios subjetivos y aumentar la ganancia genética de un programa semillero basado en esta estrategia.

INTRODUCCION

El rodal semillero forma parte de un plan mayor de mejoramiento genético en una región. Se considera que el rodal semillero va a satisfacer una demanda, casi inmediata, de semilla de buena calidad y en la cantidad requerida en ámbito regional. Esta estrategia de producción de semilla es la que mayor ganancia genética genera a corto plazo, lo que implica un impacto inmediato en la calidad de la reforestación regional (Murillo, 1989 y Murillo, 1990). Por otro lado, permite satisfacer la demanda en cantidad de semilla para continuar atendiendo la creciente cuota anual de establecimiento de plantaciones.

Se define el rodal semillero como un rodal superior o "plus", generalmente mejorado por la eliminación de árboles inferiores y luego manejado para una producción abundante y precoz de semilla

(adaptado de Barret, 1980). Se debe comprender que existen otras estrategias de producción de semilla mejorada (Zobel y Talbert, 1984). A corto plazo tenemos dos de ellas, como son el **árbol semillero**, plus o árbol madre, y el **área semillera**. Con la primera de ellas se obtiene una ganancia genética inferior e implica la recolección de semilla de árbol en árbol, recorriendo grandes distancias. La segunda es muy similar al rodal semillero, sin embargo podría implicar una menor intensidad de selección y por tanto menos ganancia genética.

En la actualidad es política de la Dirección General Forestal, en Costa Rica, incentivar la reforestación hasta alcanzar la tasa anual de establecimiento de 25 000 ha. Ante esta magnitud de reforestación, se requiere que sean establecidas no menos de 110 hectáreas de rodales semilleros, para satisfacer la demanda nacional de semilla.

En nuestro medio se cuenta con guías de establecimiento y manejo de rodales semilleros (Salazar y Boshier, 1989; Murillo, 1990); sin embargo, en éstas no se presenta una metodología que permita lograr una maximización de la ganancia genética por obtener. En este trabajo se proponen una serie de procedimientos que permiten asegurar, con base en los principios de la genética cuantitativa, una mejor utilización de esta estrategia de producción de semilla mejorada.

* Profesor-investigador del Departamento de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Se define el rodal semillero como un rodal superior o "plus", generalmente mejorado por la eliminación de árboles inferiores y luego manejado para una producción abundante y precoz de semilla.

OBJETIVOS DE UN RODAL SEMILLERO

Los objetivos del establecimiento de rodales semilleros, se pueden resumir en tres principales:

1. Obtener semilla mejorada genéticamente mediante un método rápido y a un bajo costo.
2. Facilitar la producción y recolección de semilla al lograr la concentración de dicha labor en una sola área.
3. Propiciar la regulación de la utilización y movimiento de semilla en los programas regionales de reforestación.

CRITERIOS MINIMOS QUE DEBE REUNIR UN RODAL SEMILLERO

Como aspectos mínimos, un buen rodal semillero debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Calidad genética del rodal

Este es el principal criterio de selección entre rodales. El rodal semillero debe ser superior a los demás rodales existentes en su misma unidad ecológica, índice de sitio u otro criterio de estratificación ambiental. El rodal semillero debe presentar un buen porcentaje de individuos con características deseables, de acuerdo con los objetivos de producción de la reforestación vigentes. Este criterio se basa principalmente en caracteres de alta heredabilidad como la forma, altura total, tolerancia a plagas y enfermedades, calidad de la madera y hábitos de ramificación.

Tamaño

A la hora de seleccionar el rodal semillero se debe tener presente que debe ser de un tamaño mínimo que justifique su

transformación en unidad productora de semilla. Barrett (1980) menciona que normalmente se considera un área mínima de 2 a 5 hectáreas. En realidad dependerá de criterios como:

1. Patrón arquitectural de la especie y su densidad óptima por área
2. Producción de frutos y semillas por árbol y por unidad de área
3. Disponibilidad de rodales de buena calidad
4. Demanda de semilla en la región
5. Tamaño mínimo de población que asegure la diversidad genética
6. Tamaño mínimo de población que asegure una aceptable intensidad de selección.

Con algunas especies forestales, como en los géneros *Alnus* y *Eucalyptus*, se puede satisfacer una alta demanda de semilla con algunos pocos árboles. Sin embargo, debe mantenerse un número no menor a 15 a 20 individuos no emparentados para asegurar la diversidad genética en la semilla que se va a producir.

Edad

El rodal debe tener edad suficiente como para que los árboles hayan expresado genéticamente su potencial, y permitir así una correcta evaluación de sus características (Barrett, 1980). El rodal debe haber alcanzado su capacidad reproductiva en una alta proporción de los individuos integrantes, y por último, ser lo suficientemente joven como para asegurar por varios años la producción de semilla.

Densidad y manejo previo

Es deseable que se presente una densidad alta que permita la máxima intensidad de selección posible (por

El rodal semillero forma parte de un plan mayor de mejoramiento genético en una región. con el que se puede satisfacer una demanda, casi inmediata, de semilla de buena calidad y en la cantidad requerida en ámbito regional.

ejemplo 1:10). Robbins *et al* (1980) recomiendan un espaciamiento final de la mitad de la altura del rodal. Debe recordarse que esto dependerá mayoritariamente del patrón arquitectural del árbol. Aquellos rodales con un manejo inadecuado previo, deben ser considerados como no deseables, ya que su potencial de respuesta al manejo (ej.: desarrollo de área de copa) será posiblemente muy inferior. Rodales que han sufrido algún aclareo por lo alto o eliminación de sus mejores fenotipos deben ser descartados. El caso de los rodales intervenidos para la producción de postes de electrificación son el mejor ejemplo de un rodal degradado o que ha sufrido selección disgénica.

Accesibilidad

El rodal deberá estar cerca de buenas vías de acceso, que permitan realizar todas las labores de manejo a más bajo costo. Para facilitar todo el proceso de recolección y comercialización de la semilla, resulta evidente que el rodal semillero se ubique en sitios estratégicos y de muy fácil acceso en su región de influencia.

Aislamiento

Un rodal semillero debe tratar de asegurar que no recibirá polen indeseable de rodales o individuos inferiores cercanos. Especialmente difícil será con especies polinizadas por el viento o por agentes polinizadores que cubran grandes territorios de acción. Si no es posible encontrar un buen rodal totalmente aislado, entonces debe establecerse una faja de aislamiento alrededor de la zona de recolección de semilla. Esta faja variará de 100 a 1000 metros de ancho, dependiendo de la especie y demás condiciones de polinización (Quijada, 1980), y será sometida a los mismos criterios de selección y eliminación de árboles, pero no se recogerá semilla de dicha área. Otra opción es eliminar los

individuos indeseables que se encuentren en un radio de unos 1000 metros alrededor del rodal semillero.

Origen

Los rodales candidatos deben preferiblemente provenir de árboles o procedencias de buena calidad. Como un criterio de mayor relevancia, deben asegurar que tienen una base genética amplia (idealmente proveniente de un lote de semilla conformado por no menos de 20 a 25 árboles no emparentados) y que no provienen de semilla colectada de un único árbol, como frecuentemente ocurre. A pesar de que en la mayoría de los casos, en la primera generación no se presentan serios y frecuentes trastornos producto de la consanguinidad, es preferible evitar este tipo de situaciones. Debe por tanto obtenerse el historial de la plantación, sobre todo con especies forestales de semilla pequeña como *Alnus*, *Cupressus*, *Casuarina*, *Eucalyptus* y otros.

Vigor, adaptabilidad y sanidad

El rodal seleccionado debe mostrarse vigoroso en una alta proporción de sus individuos, libre de los principales problemas fitosanitarios comunes en la especie, o mejor aún, con presencia de una alta proporción de individuos sanos en un rodal que fuera atacado por alguna plaga o enfermedad. Es muy probable que estos individuos no atacados presenten algún nivel de tolerancia o resistencia ante el predador, y que esta cualidad sea heredable en sus progenies.

SELECCION Y ESTABLECIMIENTO DEL RODAL SEMILLERO

La selección y el establecimiento del rodal semillero conlleva varias etapas, a saber:

*El rodal
semillero es
la estrategia
de
producción
de semilla
que genera
mayor
ganancia
genética a
corto plazo,
lo que
implica un
impacto
inmediato
en la
calidad de
la
reforestación
regional.*

- a) Definición de la zona de influencia del rodal semillero
- b) Búsqueda y evaluación de rodales candidato
- c) Selección entre rodales candidato
- ch) Selección de árboles dentro del rodal elegido.

Definición de la zona de influencia del rodal semillero

Como primer aspecto debe aclararse dónde será utilizada la semilla que produce el rodal semillero. Ante esta situación se deben establecer zonas semilleras o límites para el movimiento de la semilla. Este concepto se basa en el principio del fenómeno conocido como interacción genotipo-ambiente, el cual se refiere a la situación que se presenta cuando se toma semilla de una zona ecológica dada y se utiliza en otra zona, y cuyos resultados son totalmente fuera de lo esperado.

Se sabe que algunos genotipos no se comportan como los mejores fuera de su sitio o unidad ecológica. Su constitución genética ha interactuado con el nuevo ambiente, dando por resultado una pobre adaptación. A pesar de que este fenómeno se ha presentado comúnmente en un 10% o menos de los individuos de una población, es prudente definir inicialmente las posibles zonas semilleras, hasta tanto futuros estudios demuestren la posibilidad de eliminarlas. El principio detrás de este fenómeno se basa en el concepto de la existencia de poblaciones con características propias dentro de una especie. Al estar una misma especie por miles de años viviendo a lo largo de diferentes zonas o ecosistemas, las fuerzas naturales de la evolución harán que los individuos que se encuentren en cada una de ellas se adapten lo mejor posible a estas condiciones. Con el paso de los cientos de años, se irán conformando en poblaciones genéticamente diferenciadas y adaptadas a las condicio-

nes particulares del ambiente en que se han venido desarrollando. Por lo tanto, es de gran importancia definir dónde será utilizada la semilla de cada rodal semillero por establecer.

Búsqueda y evaluación de rodales candidato

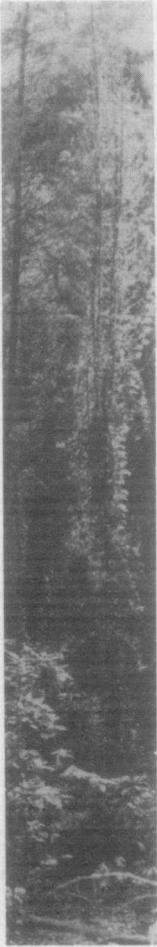
Como primer paso es necesario visitar los rodales existentes y realizar una primera escogencia de aquellos que reúnen las mejores condiciones para la producción de semilla. Se revisan los aspectos esenciales con los que debe cumplir un rodal semillero, mencionados anteriormente. Se analiza la ubicación del rodal y si se encuentra en un sitio representativo de las condiciones promedio de su región o unidad ecológica. Aspectos como la seguridad de la permanencia del rodal y comentarios hechos durante la visita deben también ser considerados.

En este diagnóstico se procura obtener un buen criterio general de la calidad de los rodales con que se cuenta, rango y valor medio aproximado de cada uno de los caracteres por utilizar, y calibración de los criterios de selección que se van a utilizar posteriormente. Cabe agregar otros criterios deseables en el rodal, como los señalados por Quirós (1988) en su trabajo con ciprés:

- Constituir una plantación coetánea
- Mantener una cobertura del área superior al 60%
- Ubicarse en sitios no afectados severamente por el viento o en terrenos muy escarpados.

Con base en todos estos criterios se aceptan, se rechazan o se reservan para el futuro los rodales con algún potencial (Chang, 1988).

Con los rodales aceptados, se procede a realizar un muestreo detallado



en ellos y se evalúa con base en los caracteres elegidos. El muestreo se realiza en parcelas circulares, ubicadas al azar dentro del rodal. Estas parcelas tendrán un radio de 10 a 15 metros (314 a 706 m²) o representarán de un 3 a un 7% del área. El número de parcelas dependerá de la magnitud del error de muestreo esperado, del grado de confiabilidad deseado y de la magnitud de la varianza del carácter por evaluar. Para resolver esta pregunta se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$N = \frac{CV^2 t^2}{E^2}$$

Un error esperado de 10% y una confiabilidad (α) de 95%, se consideran normalmente como suficientes. Con base en un premuestreo se procede a estimar el número de parcelas necesarias, utilizando la variabilidad encontrada con base en el carácter diámetro. En caso de rodales de área muy pequeña (< 1 ha) se considera que con al menos una o dos parcelas de 15 m de radio será suficiente.

En cada parcela se medirá, en todos y cada uno de los árboles, el diámetro, altura total, altura del primer eje o bifurcación, rectitud, forma o cilindridad y sanidad. Otros caracteres, como ángulo de ramas, grano en espiral o peso específico de la madera, podrían también ser incluidos, dependiendo de los objetivos del programa de reforestación con la especie.

Selección entre rodales

En el proceso de evaluación y selección del mejor rodal deben resolverse algunas dificultades. La primera de ellas se refiere a la situación de cuando los rodales tienen distintas edades. En estos casos deben utilizarse puntos de referencia comunes para poder comparar objetivamente entre rodales. Por ejemplo,

utilizar el IMA en altura al año 5, año 8 ó año 10, dependiendo de las edades y de la información disponible. Si se cuenta con curvas de crecimiento de la especie para la región, es posible ubicar cada rodal en su índice de sitio y utilizar una edad común para poder realizar las debidas comparaciones. Si no se cuenta con buena información sobre crecimiento de la especie en distintos sitios, entonces será absolutamente necesario eliminar el uso de caracteres cuantitativos y basar todos los análisis comparativos exclusivamente en criterios cualitativos. Se considera que los caracteres cualitativos no representan ningún problema al comparar rodales de distintas edades, ya que éstos se evalúan según su manifestación en la primera troza (presente en los primeros 3,7 m), segunda troza (presente entre los 3,71 – 7,5 m), etc., y no se considera que puedan cambiar con el paso de los años.

Para valorar en forma objetiva los rodales, y escoger el o los de mejor calidad, debe utilizarse algún criterio cuantitativo. Hemos hecho mención de que los caracteres de mayor heredabilidad son los que debemos utilizar. Estos caracteres son comúnmente la rectitud o cilindridad del eje, altura total, altura de bifurcación, ángulo de ramas, presencia de grano en espiral, peso específico de la madera y presencia de plagas y enfermedades, principalmente. Sin embargo, no podemos trabajar con todos ellos, por lo que conviene construir un índice de selección basado en los 2 ó 3 caracteres de mayor impacto económico y heredabilidad para la especie. Podemos entonces utilizar los siguientes criterios como un ejemplo:

1. Rectitud del eje
2. Altura de bifurcación
3. Desarrollo en altura del rodal.

Cada uno de los caracteres tendrá su propia escala (Murillo, 1991) y se podrá

reunir toda la información en un solo índice, similar al desarrollado por Quirós (1988) para ciprés en Costa Rica y por Murillo (1991) para otras especies. El principio se basa en que un buen rodal deberá tener una proporción de árboles de excelente calidad no menor a un 10 o un 15% del total, con el fin de asegurar una intensidad de selección no inferior a 1 de 10 árboles, y por consiguiente, una aceptable ganancia genética. Para establecer los criterios de selección se procede a determinar los valores promedio y el rango de cada carácter presente en el conjunto de los rodales candidatos. Con base en esta información se procede a plantear los niveles mínimos que un rodal debe reunir para ser escogido como semillero. Estos niveles mínimos para cada carácter deben ser superiores al promedio de la población en estudio.

Como ejemplos se presentan los Cuadros 1 y 2, desarrollados con base en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) y pochote (*Bombacopsis quinatum*) (Merayo y Murillo, 1990). En el Cuadro 1 se puede observar fácilmente que la plantación de La Libertad, Hojancha, Guanacaste, es muy superior al resto de plantaciones de la región, con más de 300 árboles/ha (35% de los árboles en el rodal) de excelente calidad en rectitud de fuste. Esta plantación

prácticamente duplica al promedio de árboles rectos por hectárea presente en la región. En el Cuadro 2 la plantación de Arado, en Santa Cruz, Guanacaste, supera a las otras dos en número de árboles rectos/ha (223 árboles o un 24% de los árboles de la plantación). En número de árboles con bifurcación después de 3 trozas, es la segunda plantación; sin embargo, en estos casos se considera que rectitud de fuste es un mejor criterio y de alta heredabilidad.

Con base en esta información se podría codificar a cada plantación bajo un índice de calificación como se muestra en la Figura 1. Vemos que de los Cuadros 1 y 2, en promedio, las plantaciones presentan alrededor de un 20% de los árboles con excelente rectitud y alrededor de 40% en altura de bifurcación. Como paso siguiente se podrían catalogar los rodales por clases, como se muestra en el Cuadro 3, de modo que se pueda facilitar la elección de los mejores rodales, basado en criterios cuantitativos y de mayor ganancia genética.

Otros caracteres, como grano en espiral, peso específico de la madera, tipos de ramas y sanidad del rodal, podrían ser de gran valor a la hora de seleccionar el rodal, dependiendo de los objetivos de la reforestación y las características de la

CUADRO 1. Población de árboles por clase de rectitud de fuste en plantaciones de teca, en una zona de la Península de Nicoya, Guanacaste

Plantación	Nº de árboles por clase de rectitud de fuste (por hectárea)				TOTAL
	R2 ¹	(%)	R3	(%)	
Lajas, Hojancha	414	(41,94)	191	(19,35)	1767
Paquera	499	(32,89)	212	(13,97)	2111
La Libertad, Hojancha	331	(38,40)	309	(35,84)	1788
San Pablo, Nandayure	238	(16,62)	16	(1,12)	922
Las Chorreras, Nicoya	223	(46,70)	191	(40,00)	1051
Las Chorreras, Nicoya	302	(42,18)	48	(6,70)	1098
x	334	(36,45)	161	(19,49)	1456

1. Árboles con las 2 (R2) y 3 (R3) primeras trozas rectas, según la metodología propuesta por Merayo y Murillo (1990).

CUADRO 2. Población de árboles por clase de rectitud de fuste y altura de bifurcación en plantaciones de pochote, en una zona de la Península de Nicoya, Guanacaste.

Plantación	No. árboles por clase de rectitud por hectárea				No. árboles por clase de altura de bifurcación por hectárea			
	R2 ¹	(%)	R3	(%)	B2 ²	(%)	B3	(%)
Jicaral	286	(27,2)	191	(18,2)	414	(39,4)	191	(18,2)
Arado, Santa Cruz	32	(3,4)	223	(24,16)	95	(10,29)	350	(37,9)
La Zompopa	336	(33,8)	191	(17,6)	413	(38,2)	620	(57,3)
x	228	(21,6)	202	(20,0)	307	(29,3)	387	(37,8)

1. Árboles con las 2 (R2) y 3 (R3) primeras trozas rectas, según la metodología propuesta por Merayo y Murillo (1990).
2. Árboles con 2 (B2) y 3 (B3) trozas antes de que ocurra la bifurcación o pérdida del eje dominante (Merayo y Murillo, 1990).

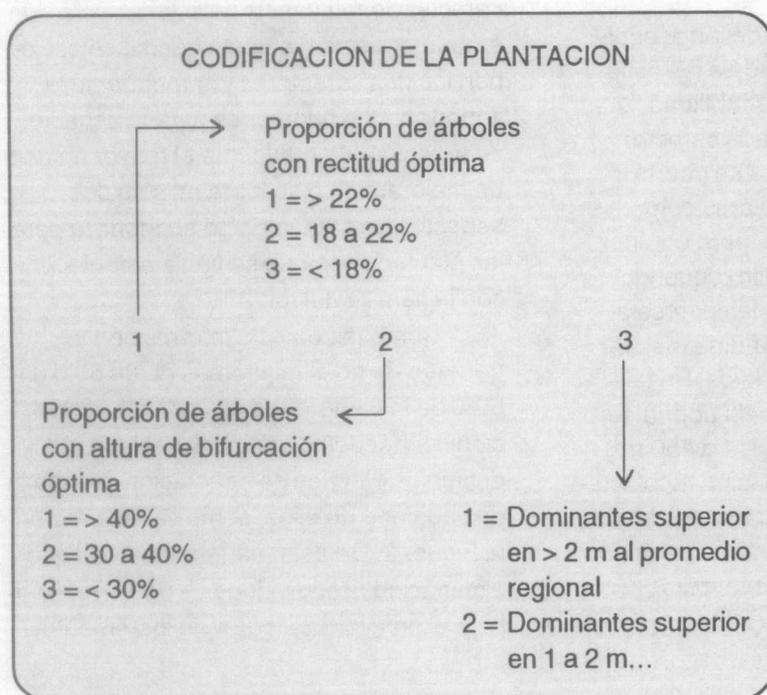


FIGURA 1. Codificación de una plantación forestal con base en proporción de individuos de alta calidad.

especie. El peso específico de la madera puede ser incluido como carácter tomando una muestra con barrenos de no menos de 10 individuos dentro del rodal. Debe tratarse de muestrear los árboles por cada clase diamétrica. Con base en los valores promedio de la población se procedería a

plantear los criterios de selección, en la misma manera que lo desarrollado con los otros caracteres.

Selección de árboles dentro del rodal seleccionado

La densidad final del rodal debe ubicarse entre 100 y 300 árboles/ha, dependiendo de la arquitectura de copa de la especie y condiciones de sitio. Se busca en lo posible que los individuos queden distribuidos regularmente sobre toda el área del rodal, con un espacio mínimo entre ellos que favorezca la floración y el movimiento de polen (Quijada, 1980). Como criterio básico debe mantenerse presente que los individuos seleccionados sean superiores al promedio del rodal, para cada uno de los caracteres de alta heredabilidad. Por ello es necesario realizar una buena estimación del valor medio e intervalos de dispersión de cada uno de los caracteres en el rodal.

Esta información se recopila por medio del establecimiento de parcelas circulares de radio igual a 15 o 18 metros (700 a 1000 m² de área) que permitan obtener una buena muestra del rodal (Chang, 1988). El número de parcelas

CUADRO 3. Clases de rodal basado en proporción de individuos de alta calidad

Clase de rodal	Combinaciones	
Superior o plus	111	
	121	
Apropiado	112	122
	211	212
	222	131
Inferior	231	232
	132	311
	312	321
	322	331
	332	

estará sujeto a la magnitud del error esperado, al nivel de confiabilidad de las estimaciones deseado (α) y a la variabilidad existente en el rodal para cada carácter (σ^2). En forma conservadora se podría estimar en un 4 a un 8% del área como tamaño de muestra mínimo, para obtener información al nivel de detalle requerido. En rodales pequeños deben establecerse al menos dos parcelas, con el fin de mejorar la representatividad de los datos. En tal situación, el radio de la parcela podría ser reducido a 10 o 12 metros (314 a 450 m²).

Con base en la información recolectada se procede a seleccionar los individuos superiores y a eliminar los inferiores dentro del rodal. Los raleos deben realizarse preferiblemente en la época seca.

El procedimiento incluye los siguientes pasos:

Paso 1: muestreo del rodal.

Paso 2: determinación de criterios de aceptación y rechazo de árboles dentro del rodal para cada raleo. En el Cuadro 4 se muestra la información recopilada en la plantación de pochote (*Bombacopsis quinatum*) de Santa Cruz, Guanacaste. En este cuadro se ha registrado apropiadamente la presencia de árboles por clase de altura versus clase de rectitud. En forma similar se podría elaborar un cuadro con base en clases de rectitud y clases de altura de bifurcación, o con algún otro carácter de relevancia para la especie. Sin embargo, es conveniente que se seleccionen los dos caracteres por mejorar más importantes o prioritarios para la especie en la región, de modo que el mayor énfasis en mejoramiento se logre en solo dos aspectos de gran impacto económico para las plantaciones que se van a establecer con la semilla del rodal.

Con base en esta información y tratando de no eliminar más de un 50 o un 60% de los individuos en cada intervención, se pueden planificar los raleos y definir los criterios de aceptación y rechazo de cada uno de ellos, como se muestra en la Figura 2. De esta manera, cada raleo o eliminación de individuos se podrá realizar bajo el principio de lograr un incremento

CUADRO 4. Número de árboles por hectárea por clase de rectitud y clase de altura total, del rodal plus (Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica)

1 Árboles con su primera troza torcida (R0), con su primera troza recta (R1), con las dos (R2) y con las tres (R3) primeras trozas rectas (Merayo y Murillo, 1990).

Altura total (m)	Clase de rectitud			
	R0 ¹	R1 ¹	R2 ¹	R3 ¹
9	95	64	—	32
8	95	32	32	95
7	229	64	—	95
6	64	—	—	—
5	32	—	—	—

efectivo en la ganancia genética por obtener con la semilla, y no en criterios silviculturales que es lo que ha prevalecido en el manejo de rodales semilleros (Barquero, 1987).

Es común observar que con base en un diámetro pequeño se eliminan individuos de excelente rectitud y altura, o por el contrario que, justificado por un buen desarrollo en diámetro se permite que se queden individuos de inferior clase de rectitud, aún por debajo del mínimo permisible.

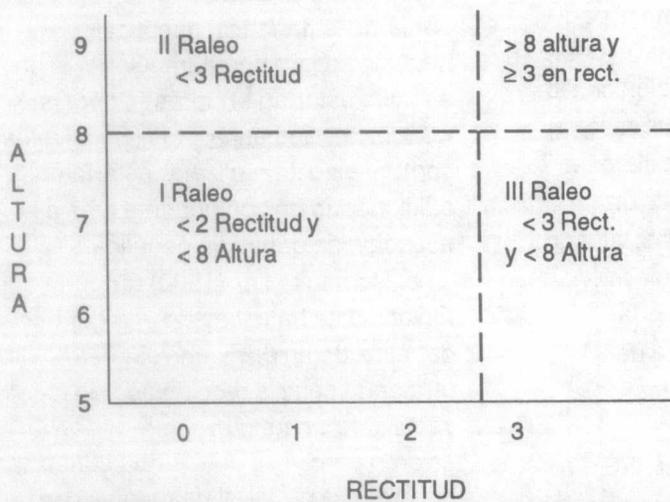


FIGURA 2. Niveles de aceptación y rechazo de árboles para cada intervención silvicultural dentro del rodal plus de pochote (*Bombacopsis quinatum*) de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica

Paso 3: marcaje de árboles dentro del rodal. Una vez definidos los criterios de eliminación de individuos para cada uno de los raleos, debemos asegurar metodológicamente que estas especificaciones se cumplirán en el rodal. Para lograr tal fin se ha utilizado el principio de las cajas, pero basados en cajas de 15 y 18 árboles en pie. Dentro de una caja de 15 árboles en pie hay oportunidad de valorar los árboles y marcar los individuos que deben ser eliminados en cada raleo, según los criterios de aceptación y rechazo que se hayan definido (Figura 3).

Si se desean planificar todos los raleos y dejar en el rodal debidamente marcados los árboles que se van a eliminar en cada intervención, se deben realizar los cálculos y asegurar que ninguno de los raleos supere el 55 o el 60% de intensidad. Finalmente, se puede conocer la intensidad de un raleo según las clases de altura y (o) rectitud que se incluyan en cada uno de ellos.

Este mismo procedimiento fue el utilizado para definir las líneas punteadas de la Figura 2, que especifican hasta dónde debe llegar cada intervención. Una vez definido cuántos árboles eliminar y de qué clases de rectitud y altura, se puede fácilmente establecer la relación entre el número total remanente y el número por

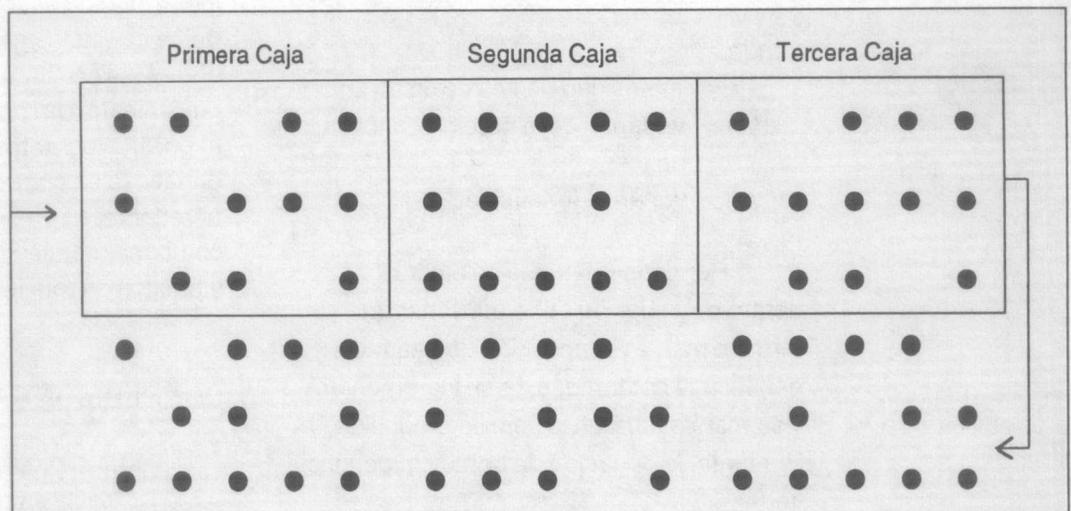


FIGURA 3. Ejemplo del uso de la caja de 15 árboles en pie en el marcaje de los árboles por eliminar en el rodal semillero (8 árboles de 15, 56%, según el I Raleo, ver Cuadro 5).



eliminar, así como extrapolar para un cajón de 18 ó 15 árboles.

GANANCIA GENETICA

La ganancia genética que se obtenga con rodales semilleros variará dependiendo de los caracteres y de la intensidad de selección que se empleen. El rodal semillero, como estrategia de selección masal o fenotípica (Murillo, 1991), basa su eficiencia en la utilización de caracteres de alta heredabilidad. En un rodal semillero se selecciona tanto a la madre como al padre, por lo tanto se puede esperar casi el doble de la ganancia genética en relación con los árboles semilleros. Durante el proceso de establecimiento de un rodal semillero se produce un primer nivel de selección, llamado **selección entre rodales**; y luego se realiza el segundo nivel de selección, llamado **selección dentro del rodal escogido** o plus, cuya expresión de ganancia genética es la siguiente:

$$\Delta G = \frac{2 \cdot i \cdot 1/2 \cdot \sigma^2 Ad}{\sqrt{\sigma^2 f_1}} + \frac{2 \cdot i \cdot 1/2 \cdot \sigma^2 Ad'}{\sqrt{\sigma^2 f_2}}$$

Selección entre rodales
Selección dentro del rodal

donde:

- i = intensidad de selección
- $\sigma^2 Ad$ = varianza de la porción genética aditiva
- $\sigma^2 f$ = varianza fenotípica

Por cada raleo que se efectúe dentro del rodal, se debe adicionar un término más en la ecuación de ganancia genética, y por tanto, ésta se incrementará y se manifestará en la semilla producida. Por tanto, la ecuación de ganancia genética sería:

$$\Delta G = \frac{2 \cdot i_1 \cdot 1/2 \cdot \sigma^2 Ad}{\sqrt{\sigma^2 f_1}} + \frac{2 \cdot i_2 \cdot 1/2 \cdot \sigma^2 Ad'}{\sqrt{\sigma^2 f_2}} + \frac{2 \cdot i_3 \cdot 1/2 \cdot \sigma^2 Ad''}{\sqrt{\sigma^2 f_3}}$$

Selección entre rodales
Selección dentro rodal (primer raleo)
Selección rodal (segundo raleo)

Se ha propuesto también, con especies de abundante producción de semilla por individuo, que se podrían seleccionar los mejores 15 o 25 individuos **dentro del rodal**, de tal forma que la semilla se recolecte solamente en ellos. Así la intensidad de selección será mayor y por ende la ganancia genética que se logre también se incrementará. Como especies ejemplo estarían el ciprés (*Cupressus lusitanica*) y los eucaliptos (*Eucalyptus* spp). Si esto se realizara, estaríamos adicionando un componente más a la ecuación de ganancia genética.

Robbins *et al* (1980) reportan que en Finlandia se ha estimado una ganancia genética de un 6,2% en volumen, utilizando semilla recolectada de rodales semilleros sin ningún aclareo. Con un aclareo parcial se obtuvieron ganancias del orden de 7,3%, y de rodales con un aclareo completo, ganancias hasta de 12,8%. Shelbourne (1969) muestra ganancias genéticas desde 9,9% hasta 18,9% en rectitud, dependiendo de la intensidad de selección. Debe comprenderse que estas ganancias fueron obtenidas con caracteres cuantitativos de crecimiento, de modo que es perfectamente posible lograr mayores ganancias genéticas en caracteres cualitativos de alta heredabilidad en una sola generación, como mejoramiento hacia rectitud de fuste y hábitos de ramificación.

CONCLUSIONES

Como se ha mostrado, el método desarrollado permite:



- Identificar en forma cuantitativa rodales superiores o plus, para la producción de semilla mejorada.
- Mantener una alta intensidad de selección dentro del rodal y entre rodales, con lo cual se aumenta la ganancia genética por obtener.
- Traducir fácilmente en el campo los criterios de raleo para rodales semilleros.
- Eliminar los criterios subjetivos que aún se encuentran en las metodologías conocidas de establecimiento de rodales semilleros.

La ganancia genética que se obtenga con la estrategia de rodales semilleros podrá ser mejorada, dependiendo de la mayor o menor intensidad de selección empleada, pero sobre todo si se realiza la selección con base en caracteres de alta heredabilidad, variabilidad en la población e importancia económica.

LITERATURA CITADA

- Barquero, M.E. 1987. *Establecimiento de rodales semilleros de Gmelina arborea Roxb. en Hojanca, Guanacaste*. En: Rojas, F.E. (ed.). **Primer Taller Nacional de Semillas y Viveros Forestales. Memoria.** (25-29 Noviembre, 1985, San José, Costa Rica). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. p. 141-153.
- Barrett, W.H.G. 1980. *Selección y manejo de rodales semilleros con especial referencia a coníferas*. En: **Mejora Genética de Arboles Forestales**. Estudio FAO: Montes Nº 20. Roma, Italia. p. 158-166.
- Chang, B. 1988. **Raleo por fenotipo estandarizado para el establecimiento del rodal semillero**. Dirección General de Recursos Naturales y del Ambiente. Banco de Semillas Forestales y Mejoramiento Genético. Managua, Nicaragua. Mimeo. 24 p.
- Merayo, O. y O. Murillo. 1990. **Establecimiento de rodales semilleros de Tectona grandis y Pochota quinatum en la Península de Nicoya, Guanacaste**. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Depto. de Ingeniería Forestal. Informe Técnico (sin publicar). 125 p.
- Murillo, O. 1989. *Estrategias de producción de semilla mejorada para la reforestación en Costa Rica*. En: **Congreso Agronómico Nacional VIII**. Julio 3-7. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Murillo, O. 1990. *Estrategias a corto plazo de producción de semilla mejorada genéticamente para la reforestación en Costa Rica*. **Tecnología en Marcha**, Vol. 10. no. 1. 4 p. 23-27.
- Murillo, O. 1991. *Metodología para el control de calidad en plantaciones forestales*. **Tecnología en Marcha** Vol. 11 no. 19-30.
- Quijada, S. 1980. *Rodales semilleros*. En: **Mejora Genética de Arboles Forestales**. Estudio FAO, Montes Nº 20. Roma, Italia. 154-158 p.
- Quirós, R. 1988. **Selección de rodales semilleros de ciprés (Cupressus lusitanica Mill) en el Valle Central, Costa Rica**. Tesis Lic. Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales. Heredia, Costa Rica. 76 p.
- Robbins, A.M.J.; M.I. Irimeicu y R. Calderón. 1980. *Recolección de semillas forestales. Curso sobre Organización y Técnicas de Programas Semilleros*. Julio 8-26. Siguatepeque, Honduras. COHDEFOR-ESNACIFOR. Mimeo. 59 p.
- Salazar, R. y D. Boshier. 1989. **Guía de establecimiento y manejo de rodales semilleros**. Turrialba: CATIE.
- Shelbourne, C.J.A. 1969. **Tree Breeding Methods**. New Zealand Forest Service. Technical Paper Nº 55. New Zealand. 43 p.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1984. **Applied Forest Tree Improvement**. John Wiley & Sons. New York, USA. 505 p. ■