

## // SELECCION DE ESPECIES Y PROCEDENCIAS FORESTALES

Francisco Mesón  
Genetista Forestal, PROSEFOR

### INTRODUCCION

En la actualidad se reconoce ampliamente que el éxito en el establecimiento y productividad de las plantaciones forestales depende en gran medida de la selección correcta, no sólo de la especie, sino también de la fuente de semilla dentro de la especie. La semilla representa un pequeño porcentaje de los costos totales de plantación; no obstante, una mala escogencia puede llevar a más problemas a mediano y a largo plazo que casi cualquier otro factor. La importancia de utilizar la fuente de semilla apropiada para cada sitio ha sido demostrada en cientos de ensayos establecidos en todo el mundo, principalmente en los últimos 20 años. Los ensayos de especies y procedencias representan el esfuerzo cooperativo de muchas personas e instituciones a lo largo de muchos años; por lo tanto, deben ser establecidos y manejados apropiadamente, para que todo ese esfuerzo se traduzca en resultados confiables y aplicables a los programas de mejoramiento genético y de reforestación comercial.

### EL PROCESO DE SELECCION Y EVALUACION

Burley y Wood (1979) describieron un proceso teórico idealizado para la investigación sobre especies y procedencias que incluía las siguientes etapas:

- i) arboretum
- ii) eliminación de especies
- iii) evaluación de especies promisorias
- iv) comprobación de especies
- v) procedencias de todo el rango de distribución
- vi) procedencias selectas
- vii) comprobación de procedencias
- viii) plantaciones piloto
- ix) plantaciones comerciales

Sin embargo, dada la premura que existe por la obtención de resultados prácticos y la carencia de recursos, este proceso idealizado rara vez se lleva a cabo. Generalmente, una o más de estas etapas se omiten, se combinan o se traslapan. En la

última década, ha habido una tendencia hacia la simplificación de este proceso (Willan et al. 1990).

Uno de los problemas principales de los ensayos de especies es que normalmente se ha utilizado un único lote de semilla para cada especie. Este tipo de ensayos son de utilidad limitada y proporcionan poca información para fines de mejoramiento y reforestación comercial, ya que no se puede desechar una especie por el comportamiento de sólo una de sus poblaciones. Además, es posible utilizar la experiencia obtenida en otras regiones similares para suponer de antemano la posible adaptación de las especies al sitio, o utilizar información de parcelas o plantaciones existentes en el sitio de prueba. Por estas razones, la tendencia actual es iniciar el proceso de investigación directamente con la selección de procedencias.

Dentro del proceso de selección de procedencias, también se está dando una tendencia hacia la simplificación. En muchos casos, si la fase de procedencias del rango total (PRT) ha sido conducida apropiadamente y ha incluido una representación adecuada de la variación genética de la especie, no tiene mucho sentido realizar la fase de procedencias selectas (Willan et al. 1990). La mayoría de los programas de mejoramiento a nivel mundial están procediendo directamente de la fase de PRT al establecimiento de rodales o plantaciones semilleras y al inicio de programas de mejoramiento genético a nivel de selecciones individuales.

Por las razones anteriores, este documento se concentra en el proceso de evaluación y selección de procedencias únicamente.

## **PRUEBAS DE PROCEDENCIAS**

### **Definiciones**

Existen varios términos relacionados con procedencia, algunos de los cuales se pueden prestar a confusión, ya que no hay consenso entre los investigadores y cada quien los utiliza según su criterio. A nivel centroamericano, se recomienda la adopción de las definiciones de Styles (1979) y Burley y Wood (1979), por considerarlas más acordes con los términos populares y por lo tanto menos propensas a causar confusión. Dichos autores definen procedencia como el área geográfica y ambiental donde crecieron los árboles progenitores, dentro de la cual se ha desarrollado su constitución genética por selección natural y/o artificial. La población de progenitores debe tener una base genética amplia y puede ser nativa o no

nativa (introducida), en cuyo caso se hablaría de una procedencia nativa o una procedencia derivada, respectivamente. El término fuente de semilla se trata como sinónimo de procedencia. El término "origen" significa el área geográfica original (en el bosque nativo) donde crecieron los árboles progenitores, y puede coincidir o no con la procedencia. Por ejemplo, si se recolecta semilla de un rodal natural de *Cordia alliodora* en La Ceiba, Honduras para establecer una plantación en Turrialba, Costa Rica, dicha semilla se clasificaría como de origen La Ceiba, procedencia La Ceiba. Si posteriormente se recolecta semilla de la plantación establecida en Turrialba, esta se clasificaría como de origen La Ceiba, procedencia derivada Turrialba.

El término "exótico" se aplica a poblaciones que crecen fuera de su rango natural. No es conveniente utilizar este término con relación a divisiones o fronteras políticas, que generalmente guardan poca o ninguna relación con las divisiones ecológicas.

El término "raza local" se refiere a aquellas poblaciones exóticas que después de varias generaciones, se han adaptado por selección natural al ambiente específico donde fueron introducidas.

Las características ecológicas y geográficas del rango de distribución de la especie puede dar origen a formas diferentes de variación. Cuando las poblaciones crecen aisladas, tienden a formar unidades altamente adaptadas al ambiente en particular donde están creciendo, dando origen a los ecotipos. Un ecotipo es entonces el resultado de las fuerzas evolutivas que tienden a favorecer a los individuos que se ajustan mejor a las condiciones ambientales prevalecientes en el sitio, y a eliminar a aquellos individuos no aptos (Burley y Wood 1979). Por lo tanto, la variación ecotípica se refiere al genotipo total del individuo. En ocasiones, la variación puede darse en forma continua, como resultado de gradientes en altitud, precipitación, temperatura, etc. En estos casos se habla de variación clinal, es decir, cambios graduales en algunas características de la especie como respuesta a un gradiente ambiental a lo largo de su rango de distribución (Burley y Wood 1979). Una procedencia podría ser equivalente a un ecotipo o formar parte de un cline.

Un ensayo de procedencias es una plantación de varias fuentes de semilla procedentes de diferentes áreas geográficas (procedencias nativas o derivadas), establecidas de tal manera que permita una comparación estadísticamente válida entre ellas en cuanto a productividad y otras características de interés.

## **La importancia de la procedencia**

Cuando se plantan árboles de varias procedencias en un sitio común, pueden darse grandes diferencias en comportamiento entre las procedencias para características de interés económico. En algunos casos, las diferencias pueden ser muy grandes: se ha informado de niveles de superioridad entre procedencias de 45% en altura para *Gliricidia sepium* en Nigeria (Atta-Krah 1987), de 60% en altura y 75% en diámetro entre procedencias de la misma especie en Filipinas (Willan et al. 1990) y hasta del 112% entre procedencias de *Pinus* spp. en Costa Rica (Corea et al. 1993). Por otro lado, las varias procedencias no necesariamente se comportan igual en ambientes diferentes, fenómeno común denominado interacción genotipo-ambiente. Es claro que la selección de la procedencia correcta puede significar la diferencia entre el éxito y el fracaso de una plantación, de ahí la importancia de las pruebas de procedencias antes de iniciar programas de mejoramiento genético o de reforestación a gran escala. No tendría sentido pasar años mejorando una población hasta obtener ganancias que pudieron haberse logrado desde el inicio mediante la selección de la procedencia correcta.

## **Objetivos de los ensayos de procedencias**

Las pruebas de procedencias no son el lugar para conducir prácticas silviculturales tales como ensayos de espaciamiento, fertilización, preparación de sitio, raleos, etc., y sus objetivos principales generalmente deberían limitarse a:

- a) Identificar las procedencias más sobresalientes en términos de volumen, forma y calidad del material producido, y capacidad para producción sostenida (adaptación fisiológica al sitio).
- b) Determinar si existen interacciones genotipo-ambiente.
- c) Si las interacciones son importantes, identificar las mejores procedencias para cada sitio.
- d) Identificar las procedencias con mayor potencial para mejoramiento más avanzado y producir material de selección para construir la población de mejoramiento.
- e) Conocer los patrones de variación genética entre poblaciones de la especie.

Una vez identificadas las mejores procedencias, se pueden utilizar dichas fuentes para el establecimiento de ensayos silviculturales o de otra índole.

### **Obtención de semilla para las pruebas de procedencias**

Básicamente hay dos maneras de obtener semilla para ensayos de procedencia: mediante la participación en redes internacionales de ensayos o a través de recolecciones locales. Para especies de distribución natural muy amplia, la obtención de semilla para ensayos de procedencias del rango completo requiere necesariamente de la cooperación internacional, ya que sería sumamente difícil para un solo proyecto o país, en términos prácticos y económicos, realizar recolecciones a lo largo de todo el rango natural de la especie.

Las recolecciones de procedencias a nivel nacional, principalmente para especies nativas, son también de gran importancia, especialmente para países como los centroamericanos, donde existe una gran variabilidad ecológica dentro de distancias muy cortas, y se pueden esperar variaciones importantes a lo largo del rango local de distribución de la especie. Este tipo de recolecciones sí están al alcance de programas locales.

Generalmente no existe suficiente información sobre los patrones de variación genética dentro de la especie, que permita planear mejor las recolecciones de semilla de procedencias. El conocer estos patrones es, incluso, uno de los objetivos de los ensayos. En la práctica, generalmente se acepta como "procedencia" un grupo de poblaciones que comparten una misma unidad ecológica. Si dentro de esta unidad se detectara una variación edáfica importante, es recomendable hacer una subdivisión adicional y tratar los lotes de cada subdivisión como procedencias diferentes.

En los ensayos de procedencias también es importante incluir razas locales o fuentes mejoradas, si existen. Existen bastantes ejemplos donde las razas locales han superado significativamente el comportamiento de cualquier otra procedencia de introducción reciente (Zobel, 1984; Valerio, 1986; Mesén, 1990; Willan et al. 1990). Una ventaja clara de esta práctica es que, si la raza local demuestra superioridad sobre las demás procedencias, como ocurre en muchos casos, se puede utilizar inmediatamente esta fuente para iniciar un proceso de producción de semilla comercial.

También se debe incluir testigos estándar, que pueden ser la fuente utilizada comercialmente o la mejor fuente disponible

(a veces será la misma raza local). El uso de los mismos testigos en todos los ensayos aumenta grandemente la eficiencia de las comparaciones entre ensayos establecidos en sitios y años diferentes.

Como regla general, un buen ensayo siempre debería incluir: i) procedencias de la zona ecológica que más se asemeje al sitio de introducción, ii) procedencias del área donde la especie alcanza su mejor desarrollo, y iii) procedencias que se extiendan hacia extremos importantes del rango de distribución, por ejemplo, ecotipos creciendo en áreas más secas, más infértiles, etc. que el promedio para la especie (Edwards y Howell 1962). Estas últimas son importantes porque pueden poseer características adaptativas de gran potencial para ciertos ambientes en particular (Turnbull 1975; Palmberg 1985; Willan et al. 1990)

#### **Consideraciones importantes en la recolección de semilla para los ensayos de procedencias**

Una consideración fundamental en las recolecciones de procedencias es la constitución genética del material. Semilla de sólo uno o pocos árboles no es representativa de la población total, y debe evitarse. Para la mayoría de las especies tropicales no existen estudios detallados sobre los sistemas de cruzamiento y variabilidad genética dentro de las poblaciones, que permitan tomar decisiones precisas sobre el número de árboles a muestrear y el distanciamiento óptimo entre árboles, a fin de evitar consanguinidad y obtener una muestra genéticamente representativa. Como regla general se sugiere recolectar de un mínimo de 30 árboles, separados a un distanciamiento tal que permita incorporar el mayor rango posible de genes y que reduzca al máximo la posibilidad de incluir individuos emparentados. Una distancia mínima entre árboles de 100 metros se considera aceptable. En esta etapa, la selección de árboles no debe ser muy rigurosa. Las recolecciones pueden hacerse de forma sistemática o aleatoria, evitando únicamente árboles enfermos, de muy mala forma o que tengan muy poca semilla. La selección de únicamente individuos sobresalientes puede llevar a una reducción en la variabilidad genética que no necesariamente será benéfica a este nivel, donde lo que se busca es evaluar la variabilidad y el potencial de la procedencia como tal.

Para los lotes de semilla de procedencias es vital suministrar información completa sobre la ubicación y características climáticas y edáficas del área de recolección de la semilla. Asimismo, se debe indicar el número, espaciamiento y características de los árboles madre incluidos

en la muestra. Es inaceptable que aún se manejen lotes de semilla cuya única identificación es el país de origen. Se debe recordar que semilla sin información no tiene ninguna utilidad en un ensayo.

En las recolecciones de procedencia, la semilla no se mantiene separada por árbol madre, sino que esta se mezcla de forma tal que cada árbol seleccionado esté representado por igual en la muestra de la procedencia (i.e. cada árbol madre produzca el mismo número de plántulas). Idealmente, la representación de cada árbol debería decidirse con base en pruebas individuales de germinación, aunque esto raramente es posible. Al menos, la muestra debería contener igual número de semillas de cada árbol.

#### **La fase de vivero**

Las labores de producción de plantas en vivero para los ensayos de procedencias deben seguir básicamente los procedimientos rutinarios normales para la especie en cuestión. Sin embargo, hay tres aspectos que deben considerarse en el caso del material para los ensayos, que normalmente no aplican en el caso de la producción comercial: i) las plántulas de todas las procedencias deben estar sometidas a las mismas condiciones ambientales, para no perjudicar el comportamiento de algunas de ellas. Esto puede lograrse utilizando un diseño experimental en el vivero, pero normalmente basta con asegurarse que las condiciones ambientales sean las mismas para todas las procedencias; ii) se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar la mezcla de materiales o confusiones entre lotes, lo cual sería fatal para el desarrollo del experimento, y iii) no se debe realizar selección de la semilla por tamaño (tamizado), ya que de esta manera se puede perder material e información genética valiosa: el tamaño de la semilla es en alto grado una característica maternal, de modo que se podrían eliminar familias completas si se adopta esta práctica (Barnes y Gibson 1984).

Se deben producir suficiente plantas por procedencia considerando las pérdidas en el vivero y en el campo. Si sobra material después de establecer el ensayo y realizar los replantes, este puede establecerse en parcelas individuales identificadas por procedencia. Este tipo de plantaciones son de gran utilidad para selecciones posteriores e incluso para su conversión eventual en plantaciones semilleras de procedencias superiores, una vez que los ensayos proporcionen información confiable sobre las mejores fuentes.

### Selección de sitios

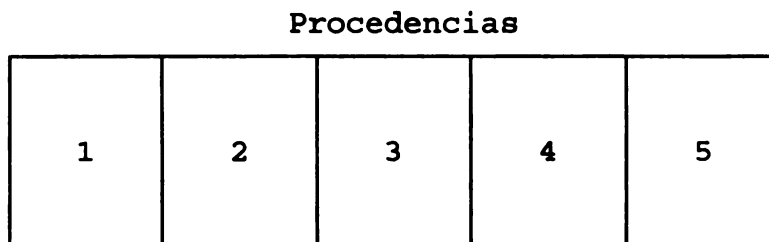
Una localidad donde se llevará a cabo la reforestación raramente es tan uniforme como para que un solo experimento proporcione resultados aplicables al área entera. Esto es mucho más crítico cuando se trabaja a nivel de países o regiones. Idealmente, el área potencial de plantación se debería dividir de acuerdo a características ecológicas (clima, suelo, factores bióticos), y establecer repeticiones completas del ensayo en cada subdivisión para poder estimar los efectos de la interacción procedencia-ambiente. Se debe tener cuidado de no seleccionar micrositos atípicos que proporcionen resultados de poca utilidad para el área global de plantación. Asimismo, la selección de sitios no debe basarse únicamente en criterios como facilidad de establecimiento, mantenimiento y monitoreo, por ejemplo, por estar cerca a la sede. **Si los sitios no son representativos de una zona de plantación actual o potencial, los ensayos tienen poca utilidad.**

### Diseño experimental

El objetivo básico de los diseños experimentales es proveer un estimado preciso de las diferencias genéticas entre las procedencias, tratando de minimizar los efectos de la variación ambiental dentro del sitio experimental (ej. variaciones en drenaje, fertilidad, etc.). Un buen diseño es aquel en el cual el error experimental (la parte de la variación debida a causas desconocidas) es mínimo (Matheson 1990).

### Importancia del diseño experimental

Si se obtiene semilla de cinco procedencias, podríamos decidir realizar una plantación de cada procedencia para seleccionar la mejor, como se muestra en la figura 1.



**Fig. 1.** Plantación de cinco procedencias en un solo bloque.



Cuando se evalúe el experimento, sin embargo, no será posible decir si la mejor procedencia fue mejor debido a su superioridad genética o debido a alguna influencia ambiental dentro del sitio (por ejemplo, porque existía un gradiente de fertilidad, drenaje, etc., a lo largo de las parcelas). Es decir, el experimento no permitió separar los efectos genéticos de los efectos ambientales, de manera que no se pueden hacer conclusiones sobre el potencial de las procedencias en otros sitios diferentes.

Es claro que para poder evaluar el potencial genético de las procedencias, es necesario tomar en cuenta la variación ambiental dentro del sitio, de manera que todas las procedencias tengan la posibilidad de crecer en toda la gama de condiciones diferentes presentes dentro del sitio experimental.

Existe una serie de diseños disponibles a los forestales, y el uso de uno u otro deberá decidirse de acuerdo a la naturaleza del ensayo y sus objetivos. En algunos casos, además de la evaluación de procedencias, los ensayos también cumplirán otros objetivos, tales como conservación de genes y/o producción de semilla. Independientemente del diseño utilizado, existen dos condiciones generales que se deben cumplir en todos los casos:

- i) **aleatorización** - las procedencias se deben ubicar dentro de los bloques o las repeticiones en forma aleatoria, y
- ii) **repetición** - las parcelas de cada procedencia deben estar repetidas varias veces dentro del sitio experimental, para evitar los problemas mencionados anteriormente.

#### ***Diseño completamente al azar***

En este diseño, las parcelas con las varias procedencias se distribuyen aleatoriamente dentro del sitio. Este diseño es útil cuando la variación ambiental dentro del sitio es mínima. Sin embargo, aún dentro de cámaras de ambiente controlado existen diferencias ambientales, más aún en los sitios heterogéneos que normalmente están disponibles para ensayos forestales. Por esta razón, este diseño no es muy útil para ensayos de procedencias.

### **Diseño de cuadrado latino**

El diseño de cuadrado latino tiene la ventaja de que permite utilizar sitios que presentan variación ambiental en dos sentidos. En este diseño, los tratamientos se ubican en filas y columnas, y cada tratamiento aparece una vez en cada columna y en cada fila, como se muestra en la figura 2.

		Columnas				
		1	2	3	4	5
Filas	1	1	2	5	3	4
	2	4	1	3	2	5
	3	2	3	4	5	1
	4	3	5	1	4	2
	5	5	4	2	1	3

**Fig. 2.** *Diseño de cuadrado latino con cinco procedencias*

Los cuadrados latino raramente se utilizan en experimentos forestales, porque existen otros diseños igualmente eficientes y que requieren menos terreno (Matheson 1990).

### **Diseño de bloques completos al azar (BCA)**

Este diseño es el más utilizado en experimentos forestales, ya que es fácil de establecer y analizar, aún con una calculadora de oficina, y es estadísticamente robusto. En el diseño de BCA, las parcelas de procedencias se ubican aleatoriamente dentro de varios bloques, de manera que cada bloque contiene una representación de todas las procedencias (Fig. 3).

		Bloques				
		1	2	3	4	5
Gradiente	4	4	2	5	3	4
	5	5	1	3	2	2
	2	2	3	4	1	5
	3	3	5	1	5	1
	1	1	4	2	4	3

**Fig. 3.** *Diseño de bloques completos al azar con cinco procedencias en cinco bloques.*

Frecuentemente, la variación ambiental dentro del sitio toma la forma de gradientes ambientales, por ejemplo de pendiente. En estos casos, los bloques deben ubicarse perpendicularmente a la gradiente. Cuando la variación se da en parches, por ejemplo áreas que varían en fertilidad, drenaje, etc., los bloques se deberían ubicar de tal manera que cada una de estas áreas contengan un bloque completo, aunque en la práctica esto puede ser difícil de realizar con precisión.

Se busca uniformidad **dentro** de las parcelas y de los bloques. La uniformidad **entre** bloques no tiene importancia, y si es necesario, los bloques pueden plantarse separadamente a fin de evitar situaciones atípicas tales como áreas pantanosas o rocosas, zanjas, caminos antiguos, etc. Sin embargo, se debe procurar que el experimento sea tan compacto como sea posible.

El diseño de BCA tiene la desventaja de que cuando el número de procedencias bajo evaluación es muy alto, se vuelve difícil mantener la homogeneidad dentro del bloque. En estos casos se debe utilizar otro tipo de diseño, especialmente cuando el sitio experimental es muy heterogéneo (Matheson 1990).

#### ***Bloques incompletos al azar (BIA)***

Los BIA son una buena alternativa cuando el número de tratamientos es muy alto, aunque también pueden utilizarse para pocos tratamientos. En este diseño, cada bloque contiene menos tratamientos que el número total de tratamientos bajo evaluación (Fig. 4). En este caso, los bloques incompletos no pueden agruparse para formar repeticiones completas, por lo

cual las opciones para el análisis son muy limitadas (Matheson 1990).

		Bloques							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Gradiente	1	2	5	4	7	8	2	7	
	3	4	2	5	8	6	8	6	
	7	6	1	2	3	7	1	5	
	8	5	3	6	1	4	3	4	

**Fig. 4.** *Diseño de bloques incompletos al azar con ocho procedencias en ocho bloques con cuatro repeticiones.*

### Látices

Los látices son un tipo de diseño de bloques incompletos mucho más útil para experimentos forestales, que permite la evaluación de un gran número de tratamientos y relativamente pocas repeticiones (Matheson 1990). En este caso, los bloques incompletos pueden agruparse para formar repeticiones completas de todos los tratamientos bajo evaluación (Fig. 5). Los látices hacen un uso óptimo de áreas pequeñas, ya que ocupan menos área que otros diseños, sin perjudicar la precisión del análisis. El análisis de los látices es más sencillo cuando el diseño está balanceado; para látices cuadrados, el número de procedencias debe ser un cuadrado perfecto (eg.  $k^2$ : 9, 16, 25, etc.), y el balance se logra utilizando  $k + 1$  repeticiones.

	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
Bloque 1	1 2 3	1 4 7	1 5 9	1 8 6
Bloque 2	4 5 6	2 5 8	7 2 6	4 2 9
Bloque 3	7 8 9	3 6 9	4 8 3	7 5 3

**Fig. 5.** *Látice balanceado con 9 procedencias y cuatro repeticiones (Cochran y Cox 1957).*

### Espaciamiento, forma y tamaño de parcela

Las parcelas con distribución en cuadro son las más usuales, con distancias entre árboles que van desde 1 a 4

metros, dependiendo de la especie y los objetivos. Para especies maderables los espaciamientos más utilizados son 2,5 x 2,5 y 3,0 x 3,0 metros. Como regla general, se debe seguir las normas comerciales de espaciamiento, ya que esto aumenta la aplicabilidad de los resultados.

El utilizar espaciamientos menores permite utilizar menos terreno, lograr mayor uniformidad ambiental dentro de las parcelas y los bloques, reducir los costos de mantenimiento y estimar la habilidad competitiva de las procedencias a una edad temprana. Las desventajas son que los raleos son necesarios a menor edad cuando el potencial de las procedencias tal vez no se ha expresado completamente, se reduce la capacidad del ensayo desde el punto de vista de conservación de genotipos y, si las parcelas están en líneas, se pueden tomar decisiones erróneas sobre procedencias de lento crecimiento inicial.

El diseño compacto es más económico en términos de terreno y plantas de borde que los diseños de forma irregular, y deberá preferirse cuando las condiciones del terreno lo permitan. Lo mismo aplica para la forma de las parcelas individuales; es preferible una parcela de 6x6 que una de 4x9 árboles.

La tendencia en ensayos de procedencias es favorecer un mayor número de bloques a cambio de parcelas más pequeñas. En un diseño de BCA, por ejemplo, es preferible siete bloques y parcelas de 36 árboles que cuatro bloques y parcelas de 64 árboles. El tamaño de parcela más recomendado es de 6x6 árboles, en la cual se evalúan los 16 árboles centrales. Parcelas de un solo árbol no se consideran apropiadas debido a que la competencia puede favorecer las procedencias de crecimiento inicial rápido, que no necesariamente serán las mejores al final del turno. Se han utilizado parcelas de 3x3 y hasta de 10x10 árboles, pero la de 36 representa el mejor equilibrio entre economía de recursos, validez estadística y cumplimiento de los objetivos del ensayo.

### **Manejo del ensayo**

Generalmente hay discusiones acerca del tipo de manejo que se debe brindar a los ensayos. Algunos argumentan que el experimento debería someterse a un sistema de manejo mínimo, dado que por lo general ese será el utilizado posteriormente en plantaciones comerciales. Sin embargo, los ensayos de procedencias no son el lugar para probar la capacidad de los árboles de sobrevivir a condiciones de preparación deficiente de sitio o ante total infestación de malezas; se considera que el manejo debe ser tan completo como sea posible para asegurar la máxima sobrevivencia posible del material. No tiene sentido

utilizar tiempo y recursos para adquirir la semilla, producir las plántulas y establecer el ensayo para luego perder los árboles antes de que puedan expresar su potencial genético. Posteriormente se pueden diseñar ensayos silviculturales y de validación utilizando las mejores procedencias para estudiar sistemas más económicos de establecimiento, respuesta a diferentes tratamientos de control de malezas, etc., acorde con las prácticas normales.

Por otro lado, no se debe confundir manejo completo con manejo irreal. Es común observar ensayos que, con el afán de que luzcan bien, son sometidos a prácticas exageradas tales como limpiezas constantes y fertilizaciones excesivas, que enmascaran el potencial real de las procedencias y llevan a interpretaciones engañosas. La tendencia es favorecer la sobrevivencia del material y su expresión genética sin recurrir a prácticas extremas que se salgan del patrón lógico de manejo de una plantación comercial. En este aspecto, la palabra clave es representatividad.

### **Documentación**

Todas las etapas en la vida de un experimento deben ser documentadas meticulosamente. La carpeta de un experimento debería contener como mínimo: a) una descripción general del ensayo, que incluya información sobre los lotes de semilla, los objetivos del experimento, los sitios experimentales, los mapas del experimento y prescripciones para el manejo y análisis del ensayo; b) formularios de historia del ensayo, donde se anotan todas las actividades realizadas a partir del recibo de la semilla, tratamientos en vivero, establecimiento en el campo, etc. y c) formularios de evaluaciones a nivel de semilla, vivero y campo. Se debe tener presente que la vida de un ensayo generalmente se extiende más allá de la permanencia del personal que lo inició, de manera que la documentación debe ser suficientemente clara para permitir el análisis y utilización de los resultados por parte del personal que continúe los programas. También es aconsejable mantener un duplicado del archivo en otro lugar separado; perder la única copia del mapa experimental por razones de incendio, etc. tendrá el mismo efecto que perder el ensayo mismo por incendio.

### **Evaluaciones**

Existen tres fases en la vida de un ensayo: semilla, vivero y campo, que son bastantes diferentes para fines de evaluación. Con las dos primeras se busca encontrar características que puedan estar correlacionadas con algún

rasgo de importancia económica en el árbol adulto. Hasta la fecha, sin embargo, no ha sido posible prescindir de la etapa de campo, y es en esta donde se pone el mayor esfuerzo. Las evaluaciones pueden continuar por muchos años, al menos hasta la mitad del turno de rotación para la especie. Diferentes especies, objetivos y edades del ensayo afectan el tipo y la intensidad de las evaluaciones.

Las características que se pueden evaluar en un ensayo se ubican dentro de seis categorías diferentes:

- a) características del fuste, que incluye altura, diámetro a la altura del pecho (dap), rectitud, bifurcaciones y algunas otras características como grosor de la corteza, circularidad y grano espiral.
- b) características de las ramas, que incluyen diámetro, ángulo de inserción, número y distribución.
- c) características de la copa, tales como diámetro, forma, simetría y profundidad.
- d) características reproductivas, tales como floración y fructificación.
- e) características de la madera, como densidad básica y dimensiones de las fibras.
- f) otras características, como sobrevivencia (que se obtiene normalmente a partir de las mediciones de altura o dap), producción de resinas, efectos de la sequía, viento u otros factores ambientales, resistencia al ataque de insectos, enfermedades y animales mayores, etc.

Para especies maderables, las características del fuste son de primordial importancia, ya que pueden cambiar las decisiones acerca de la escogencia de una u otra procedencia. En especies destinadas a la producción de madera de aserrío, por ejemplo, una procedencia de alta producción de volumen pero con un alto porcentaje de árboles torcidos y bifurcados podría desecharse a cambio de una menos productiva pero de forma excelente.

El propósito de las evaluaciones es describir eficientemente la variación en rasgos de importancia económica que presenta el árbol, que permitan una selección de los mejores individuos y poblaciones, y dichos rasgos variarán de acuerdo con el producto esperado.

Considerando todas las características mencionadas y otras posibles, y que cada característica difiere en importancia con la edad del árbol, el conjunto de posibles mediciones a lo largo de la vida de un ensayo es enorme. El presupuesto y personal disponible son generalmente limitados, de ahí la importancia de realizar unas pocas evaluaciones oportunas de las características de mayor importancia económica, que proporcionen información realmente relevante. No tiene sentido gastar recursos en evaluaciones que al final no tengan utilidad práctica o que proporcionen datos que no puedan ser analizados.

### **Análisis**

El análisis de la información de un ensayo debería realizarse tan pronto como se colecten los datos, no sólo para evitar la acumulación de trabajo estadístico, sino también porque los resultados pueden sugerir cambios en el manejo del ensayo o el uso inmediato de los resultados. Muchos de estos análisis pueden ser complejos si no se dispone de facilidades de cómputo, pero siempre es posible realizar algunos análisis sencillos, tales como la obtención de las medias, desviaciones estándar y, si es posible, análisis de varianza y de comparaciones entre medias. Lo que se busca es determinar y explicar de manera eficiente las diferencias entre procedencias.

### **Análisis de interacciones genotipo-ambiente (IGA):**

Cuando un experimento se repite en varios sitios, en varios años o bajo tratamientos culturales diferentes, es posible estimar la magnitud de la interacción entre las procedencias y el ambiente. Una interacción se da cuando el sitio no afecta todas las procedencias de la misma manera. Esta interacción implica que el comportamiento relativo de las procedencias difiere en ambientes diferentes, y que la mejor procedencia en un sitio puede no ser la mejor en otros. Este análisis es importante para decidir la estrategia de mejoramiento a seguir con una especie.

### **Uso de los resultados**

Una vez identificadas las procedencias superiores, se usa la información de la siguiente manera:

- a) Se puede recomendar áreas apropiadas para recolectar semilla para su uso operacional en zonas específicas.



- b) Se puede recomendar áreas (procedencias) para establecer rodales semilleros para su uso en zonas específicas.
- c) Se puede establecer plantaciones semilleras de la mejor procedencia para cada zona.
- d) En la selección de árboles plus, frecuentemente es conveniente poner más énfasis en la selección dentro de las mejores procedencias.

En resumen, la información sirve para planear de una mejor manera tanto las estrategias de mejoramiento a seguir para cada especie como los programas de reforestación comercial inmediatos y futuros.

#### REFERENCIAS

- Atta-Krah, A.N. (1987). Research on *Gliricidia* germplasm evaluation and improvement in West Africa. In *Gliricidia sepium* (Jack.) Walp.: management and improvement (Withington, N.; Glover, N. y Brewbaker, J. Eds.). Nitrogen Fixing Tree Association (NFTA) Special Publication 87-01, pp. 146-161.
- Barnes, R.D.; Gibson, G.L. 1984. Experimental design, management and selection traits in provenance trials of tropical pines. Presented at joint meeting of IUFRO Working Parties on provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees. Mutare, Zimbabwe, April 1984.
- Burley, J.; Wood, P.J. 1979. Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los trópicos. Commonwealth Forestry Institute, Oxford. *Tropical Forestry Papers* No. 10 & 10A. 297 p.
- Commonwealth Forestry Institute. 1984. Field assessment in tropical trees. Presented at joint meeting of IUFRO Working Parties on provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees. Mutare, Zimbabwe, April 1984.
- Forest Research Centre. 1984. Layout and establishment. Presented at joint meeting of IUFRO Working Parties on provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees. Mutare, Zimbabwe, April 1984.

- Matheson, A.C. (1990). Designing experiments for MPT genotype evaluations. In *Tree Improvement of Multipurpose Species* (Glover, N. y Adams, N., Eds.). Multipurpose Tree Species Network Technical Series, Vol. 2. pp. 55-66.
- Mesén, F. 1990. Resultados de ensayos de procedencias en Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica. *Serie Técnica, Informe técnico No. 156.* 40 p.
- Styles, B.T. 1979. La población base. In Burley, J. y Wood, P.J. (1979). *Manual Sobre Investigaciones de Especies y Procedencias con Referencia Especial a Los Trópicos.* Commonwealth Forestry Institute, Tropical Forestry Paper No. 10 @ 10A, Department of Forestry, Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford, pp. 15-48.
- Valerio, J. 1986. Evaluación de nueve procedencias de *Gmelina arborea* Roxb. en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 92 p.
- Willan, R.L.; Hughes, C.E.; Lauridsen, E.B. (1990). Seed collection for tree improvement. In *Tree Improvement of Multipurpose Species* (Glover, N. y Adams, N., Eds.). Multipurpose Tree Species Network Technical Series, Vol. 2. pp. 11-37.
- Zobel, B.; Talbert, J. 1984. *Applied forest tree improvement.* John Wiley and Sons, New York, USA, 505 p.