# CAPITULO 3

## ENSAYOS DE PROCEDENCIAS EN ESPECIES FORESTALES: ESTABLECIMIENTO, MANEJO, EVALUACION Y ANALISIS

**Francisco Mesén**

*Proyecto Mejoramiento Genético Forestal,*
*Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,*
*Turrialba, Costa Rica.*

INTRODUCCION ..... 26
DEFINICIONES ..... 26
LA IMPORTANCIA DE LA PROCEDENCIA ..... 27
OBJETIVOS DE LAS PRUEBAS DE PROCEDENCIAS ..... 27
LAS PRUEBAS DE PROCEDENCIAS ..... 28
Las fases de prueba ..... 28
Obtención de semilla para las pruebas de procedencias ..... 28
Consideraciones importantes en la recolección de semilla ..... 29
LA FASE DE VIVERO ..... 30
SELECCION DE SITIOS ..... 31
DISEÑO EXPERIMENTAL ..... 31
El uso de bloques ..... 31
Espaciamiento, forma y tamaño de parcelas ..... 32
MANEJO DEL ENSAYO ..... 33
Establecimiento ..... 33
Podas ..... 34
Raleos ..... 35
Control de plagas y enfermedades ..... 36
Documentación ..... 36
EVALUACIONES ..... 36
Evaluaciones de la semilla ..... 36
Evaluaciones en el vivero ..... 36
Evaluaciones en el campo ..... 37
Procedimiento de evaluación ..... 38
ANALISIS ..... 39
Análisis preliminares ..... 39
*Cálculo de las medias aritméticas ($\bar{x}$)* ..... 39
*Cálculo de la desviación estándar ($\sigma$) y el coeficiente de variación (CV)* ..... 39
Análisis de varianza ..... 39
*Promedios - un sitio* ..... 40
*Valores individuales - un sitio* ..... 40
*Promedios - dos o más sitios* ..... 41
*Valores individuales - dos o más sitios* ..... 41
Pruebas de rango múltiple ..... 42
Análisis de regresión ..... 42
Análisis de correlación ..... 42
Análisis de interacciones genotipo-ambiente ..... 42
USO DE LOS RESULTADOS ..... 43
REFERENCIAS ..... 43

## 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 no más del 2% del costo total de la 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 la fuente de semilla en forestería ha sido demostrada en cientos de ensayos establecidos en todo el mundo, principalmente en los últimos 20 años.

Los ensayos de especies donde cada especie está representada por un único lote de semilla son de utilidad limitada y proporcionan poca información para fines de mejoramiento y reforestación comercial. **No se puede desechar una especie por el comportamiento de una de sus poblaciones.** Por estas razones, si ya existen los recursos para establecer un ensayo de especies, es mejor incluir una buena representación de sus procedencias. En este documento se resumen las fases de planificación, establecimiento, manejo, evaluación y análisis de ensayos de procedencias.

## DEFINICIONES

Existe una gran cantidad de términos relacionados con procedencia que se pueden prestar a confusión, ya que no hay consenso entre los investigadores y cada quien los utiliza según su criterio. Términos como procedencia derivada, procedencia nativa, fuente de semilla, fuente geográfica, fuente exótica, raza geográfica, raza local y origen son sólo algunos de los que usualmente aparecen en textos y artículos, con significados diferentes en muchos casos.

A nivel centroamericano, el Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE 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. Styles (1979) define procedencia como el área geográfica y ambiental donde crecieron los árboles progenitores, dentro de la cual se ha desarrollado su constitución genética. La población de progenitores 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 colecta semilla de un rodal natural de *Cordia alliodora* en La Ceiba, Honduras para establecer una plantación en Turrialba, Costa Rica, dicha plantación se clasificaría como de origen La Ceiba, procedencia La Ceiba. La semilla u otros propágulos producidos por esta plantación de Turrialba se clasificarían como de origen La Ceiba, procedencia derivada Turrialba.

El término "exótico" se refiere a aquella población que crece fuera de su rango natural. No es conveniente utilizar el término "exótico" en relación con 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 se han adaptado por selección natural al ambiente específico donde fueron plantadas.

Una ensayo de procedencias es una plantación de varias procedencias establecidas en tal manera que permite una comparación estadísticamente válida entre ellas en cuanto a productividad y otras características.

## LA IMPORTANCIA DE LA PROCEDENCIA

Dado que, por las razones explicadas en el capítulo 2, las procedencias frecuentemente tienen diferentes constituciones genéticas, no es sorprendente que, cuando se plantan árboles de varias procedencias en un solo lugar, tal como en una prueba de procedencias, pueden darse grandes diferencias en comportamiento entre las procedencias para características de interés económico. De la misma manera, las varias procedencias no necesariamente se comportan igual en ambientes diferentes, fenómeno común denominado interacción genotipo-ambiente, el cual se tratará más ampliamente en el capítulo 4. En ambos casos, las diferencias en comportamiento pueden ser dramáticas, sobre todo en especies de distribución natural muy amplia, de ahí la importancia de las pruebas de procedencias antes de iniciar programas de reforestación o mejoramiento genético. **No tendría sentido pasar años mejorando una población hasta tener niveles que pudieron haberse logrado desde el inicio con la selección de la procedencia correcta.** La selección de procedencias es una etapa básica en el mejoramiento genético forestal, proporcionando el punto de partida para actividades de mejoramiento genético más avanzadas.

## OBJETIVOS DE LAS PRUEBAS 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 los siguientes (Barnes y Gibson, 1984):

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.

Los ensayos de procedencias representan el esfuerzo cooperativo de muchas personas e instituciones. Por lo tanto, deben ser establecidos, manejados y analizados apropiadamente, para que todo ese esfuerzo se traduzca en un mejor planeamiento de los programas de mejoramiento genético y de reforestación comercial. Antes de iniciar una prueba, se debe definir cuáles procedencias se van a incluir, cómo se va a muestrear cada procedencia y dónde se va a plantar el ensayo o los ensayos. Estas y otras consideraciones se tratan a continuación.

## LAS PRUEBAS DE PROCEDENCIAS

### Las fases de prueba

El proceso teórico de selección de procedencias contempla varias fases (Burley y Wood, 1979): una primera fase de prueba con el mayor número posible de procedencias del área natural entera; una segunda fase donde se prueba unas pocas procedencias selectas y una fase de comprobación de procedencias. En la práctica, dada la premura que existe por la obtención de resultados aplicables, las dos primeras fases generalmente se combinan o se conducen en forma simultánea.

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

Hay básicamente dos maneras de conseguir 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 entero 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. Entre las instituciones que coordinan recolecciones de procedencias se pueden citar CAMCORE (recolecciones de coníferas y algunas latifoliadas en México, Centro y Sur América), CSIRO, Australia (colecciones de *Eucalyptus* sp. y *Acacia mangium* entre otras), DANIDA (colecciones de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*) y OFI (colecciones de latifoliadas de zonas secas y coníferas de América Central).

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 como para conocer de antemano los patrones de variación genética que permitan planear mejor la selección de procedencias. El conocer estos patrones es, incluso, uno de los objetivos de los mismos ensayos de procedencia. En la práctica, las recolecciones se realizan con base en la información disponible sobre la variación dentro de la especie, la variación ecológica y los límites prácticos impuestos por las condiciones locales y los recursos disponibles.

El número de procedencias que se deberían incluir en un ensayo depende de la extensión del rango natural de la especie, de la disponibilidad de semilla debidamente identificada, del conocimiento existente sobre la especie y de los recursos locales en cuanto a personal, terreno y presupuesto.

Las procedencias incluidas en el ensayo deberían ser una buena muestra de la variabilidad ecológica del rango de distribución de la especie. También, es importante incluir razas locales o fuentes mejoradas si existen. Como se definió anteriormente, una raza local se refiere a una población exótica que se ha adaptado al ambiente específico donde fue introducida. Al introducir una población nueva en un ambiente exótico, no todos los individuos se adaptarán igualmente al nuevo ambiente. Los que no se adaptan morirán o crecerán pobremente (y posiblemente sean eliminados durante los aclareos), y los más adaptados finalmente ocuparán el sitio. Cuando se toma semilla u otros propágulos de este rodal para establecer una nueva plantación, su comportamiento es generalmente superior al de la introducción original. Una raza local se puede desarrollar después de una sola generación, pero las mejores razas

ocurren después de varias generaciones o turnos de crecimiento y selección en el ambiente nuevo (Zobel y Talbert, 1984). Existen bastantes ejemplos donde las razas locales han superado significativamente el comportamiento de cualquier otra procedencia de introducción reciente (ver por ejemplo Mesén, 1990; Valerio, 1986; Zobel, 1984).

Cuando se establezca una prueba de procedencias, es de suma importancia explorar la zona donde será plantado el ensayo y obtener semilla de plantaciones locales existentes de la especie, lo mismo que tratar de obtener semilla de otras plantaciones establecidas en ambientes similares en otras zonas o países, e incluir estas fuentes dentro del ensayo. 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 la producción de semilla comercial. En Costa Rica, este ha sido el caso, por ejemplo, de la procedencia derivada Manila de *Gmelina arborea* y de la procedencia derivada Juan Viñas de *Eucalyptus saligna* (Mesén, 1990).

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 años diferentes.

Algunos autores (Burley y Wood, 1979) han destacado la importancia de incluir también procedencias de los extremos geográficos o ecológicos del rango natural de la especie, puesto que estas pueden contener alelos que no están presentes en otras partes de la distribución. Dichos complejos de alelos podrían posibilitar el uso de la especie en sitios marginales y hasta extender el rango de sitios disponibles para su uso.

## Consideraciones importantes en la recolección de semilla

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. Esto imposibilita la toma de 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. Por lo tanto, es necesario hacer ciertas suposiciones lógicas basadas en estudios con otras especies.

Para recolecciones de procedencia, se recomienda recolectar de 30 a 50 árboles, separados a un distanciamiento tal que permita incorporar el mayor rango posible de genes y que reduzca en lo posible la inclusión de 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 (Barnes y Gibson, 1984). La selección exclusiva de 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 el potencial de la procedencia como tal.

En las recolecciones de procedencias es vital suministrar información completa sobre la ubicación y características climáticas y edáficas del área de recolección de la semilla. Asímismo, se debe indicar el número, espaciamiento y características de los árboles madre incluidos en la muestra. Se debe recordar que semilla sin información es de poca o ninguna utilidad en un ensayo.

Los objetivos y la metodología de la selección de árboles superiores dentro de procedencias representa otra etapa en el mejoramiento de una especie, y será discutida en el capítulo 7.

En las recolecciones de procedencia, la semilla no se mantiene separada por árbol madre, sino que esta puede mezclarse de forma tal que cada árbol seleccionado esté representado por igual en la muestra de la procedencia. Idealmente, la representación de cada árbol debería decidirse con base en pruebas individuales de germinación, aunque esto raramente es posible.

## LA FASE DE VIVERO

El propósito en la fase de vivero es producir plántulas saludables y uniformes que tengan las mayores posibilidades de sobrevivir una vez plantadas en el campo. La producción de plántulas saludables se logra con prácticas adecuadas de manejo (sustratos adecuados, fertilización, deshierbas, control de plagas y enfermedades, irrigación, inoculaciones de micorriza si es necesario, etc.); la uniformidad puede lograrse ya sea utilizando un diseño experimental en el vivero, o ubicando el material de tal forma que las condiciones ambientales sean las mismas para todas las procedencias. Así se evitan diferencias de origen ambiental en crecimiento en el vivero, las cuales posteriormente pueden interferir con la comparación entre procedencias. El tipo de planta producida (en bolsa, seudoestaca, etc.) debe ser el mismo que se usa en las plantaciones operacionales. De lo contrario, los resultados del ensayo no serán completamente aplicables a estas.

La siembra puede ser en cajas de germinación para su transplante posterior o directamente en recipientes individuales, debidamente identificados. No se recomienda la siembra al voleo en eras por el peligro de que ocurran mezclas de semilla entre lotes adyacentes. A lo largo de la fase de vivero se deben tomar todas las precauciones necesarias para evitar la mezcla de materiales o confusiones entre lotes, lo cual sería fatal para el desarrollo del experimento. Tanto durante la siembra como durante el transplante, se debe trabajar con un lote a la vez, y estos deben quedar debidamente identificados y separados en las eras o en los recipientes.

Una consideración importante a tomar en cuenta es que **no se debe realizar selección de la semilla por tamaño**, 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). Además, el tamaño de la semilla no está necesariamente correlacionado con el comportamiento en el campo.

Por su parte, a la hora de seleccionar las plántulas para el establecimiento del ensayo, debe tomarse una decisión razonable; una selección muy estricta por tamaño puede reducir la variabilidad genética al eliminar plántulas saludables y normales pero de crecimiento inicial más lento (tal vez pertenecientes a una misma familia), mientras que una selección completamente aleatoria puede llevar a la escogencia de plántulas suprimidas, defectuosas o enfermas, que posiblemente no sobrevivirán en el campo. La tendencia es, por lo general, realizar una escogencia aleatoria pero con restricciones, desechando únicamente aquellas plántulas que obviamente tengan poca posibilidad de sobrevivir.

Cada institución deberá diseñar su propio sistema de identificación, de modo que no se preste a errores o confusiones. En el vivero del Proyecto MGF del CATIE los lotes se registran con el número internacional junto con un número de vivero que no se repite. Toda introducción de semilla se registra en una base de datos central, con los números de identificación y los detalles del lote.

Se deben producir suficiente plantas por procedencia considerando las pérdidas en el vivero y en el campo. Si sobra material después de plantar las parcelas útiles, los bordes y realizar el replante del experimento, este puede establecerse en parcelas individuales identificadas por procedencia, que serán de 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.

## SELECCION 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 sub-división para poder estimar los efectos de la interacción procedencia-ambiente. Se debe tener cuidado de no seleccionar micrositios atípicos que proporcionen resultados de poca utilidad para el área global de plantación (Barnes y Gibson, 1984). Asímismo, 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 uso de bloques

En el presente contexto, 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.). En un experimento de campo, cada procedencia está representada por varias parcelas. La configuración del experimento en cuanto al tamaño (número de árboles), forma, número y distribución de las parcelas en el sitio constituye su diseño experimental.

Para cumplir con el objetivo básico de controlar la variación ambiental, el uso de bloques es la forma más simple de evitar que las diferencias genéticas entre procedencias se confundan con las diferencias ambientales dentro del sitio. Un bloque es un conjunto de parcelas de procedencias diferentes, ubicadas en forma contigua. La idea básica es que, dentro de cada bloque, las condiciones ambientales sean similares, y por lo tanto, las diferencias entre las parcelas de un bloque sean el resultado de variaciones en la constitución genética de las procedencias y no de las variaciones ambientales. Típicamente, los sitios experimentales disponibles para investigación forestal son altamente variables; por esta razón se considera que los diseños irrestrictos al azar, es decir sin el uso de bloques, no son apropiados.

Entre los diseños de bloques, el diseño de bloques completos al azar (BCA) es el más utilizado en pruebas de procedencias (Burley y Wood, 1979). Este diseño tiene las ventajas de que es apropiado para una gran variedad de situaciones ambientales, el análisis es simple y fácilmente realizable incluso con calculadora de oficina y es estadísticamente consistente, aún si hay pérdida de una o más parcelas. Tiene como desventaja que se hace menos eficiente al aumentar el número de tratamientos, debido al aumento en la variación ambiental dentro del bloque.

En el diseño de BCA, el área donde se plantará el experimento se divide en bloques de área igual y cada procedencia está representada una vez en cada bloque por una parcela de uno o, preferiblemente, varios árboles. El número mínimo de bloques que se requiere para poder estimar la variación residual es de dos, pero lo recomendable es utilizar cinco o más. La ubicación de las procedencias en cada bloque debe hacerse en forma aleatoria.

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 dichas áreas contengan un bloque completo, aunque en la práctica esto puede ser difícil de realizar con precisión.

Un ejemplo hipotético de un diseño de BCA con cinco bloques (I-V) y cinco procedencias (P1-P5) se ilustra el en diagrama siguiente:

| | | bordes | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | P2 | ** | P4 | P3 | P5 | P1 | |
| B | | | | | | | | |
| L | I | P4 | P3 | P1 | P5 | P2 | | |
| O | | | | | | | | |
| Q | III | P3 | P5 | P2 | P4 | P1 | | |
| U | | | | | | | | |
| E | IV | P1 | P3 | P5 | ** | P4 | P2 | |
| S | | | | | | | | |
| | V | P5 | P1 | P4 | P2 | P3 | | Pendiente |

** sitios atípicos desechados

Figura 3.1. Un ejemplo hipotético de un diseño de bloques completos al azar con cinco bloques y cinco procedencias

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.

Dentro de los diseños de bloques, se han utilizado varios otros tipos de diseños experimentales, tales como bloques incompletos al azar o látices. Por lo general, sin embargo, se considera que el diseño BCA permite cumplir mejor con los requerimientos de un buen diseño experimental.

## Espaciamiento, forma y tamaño de parcela

La distribución en cuadro es el más usual, 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 cuadrado 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. 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 (Barnes y Gibson, 1984). 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. En la mayoría de las especies no se sabe si existen interacciones entre procedencias y sistemas culturales. Es probable que las mejores procedencias bajo cultivo intensivo no sean las mejores bajo prácticas normales. 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.

### Establecimiento

Al planear el establecimiento de un ensayo se debe realizar un levantamiento del sitio seleccionado, indicando claramente las áreas que deben ser evitadas. Posteriormente se ubican los bloques utilizando un papel cuadriculado de escala apropiada, tomando en cuenta la variación dentro del sitio y las áreas atípicas.

Si las plántulas han sido producidas en recipientes, lo ideal sería construir cajas de tamaño tal que contengan el número exacto de plántulas para una parcela. Si el material consiste de seudoestacas, igualmente se deberán formar grupos con el número exacto para cada parcela, siempre debidamente identificadas.

El transporte de las plantas se debe hacer pocos días antes de la plantación, y preferiblemente el día anterior. Si el material debe permanecer por varios días en el campo, se deben tomar las previsiones necesarias para permitir la irrigación de las plántulas en el sitio de plantación. Una práctica que facilita grandemente la distribución de plantas en el campo es cargar y descargar las cajas en secuencia numérica, o bien de acuerdo con la secuencia de plantación en los bloques. Al momento de iniciar el movimiento de las cajas a su posición en el campo, se deberá controlar cuidadosamente el número de los lotes de acuerdo al mapa de campo. Siempre es conveniente hacer la distribución de plántulas y plantar un bloque completo antes de mover las plántulas para el bloque siguiente; si se debe parar el trabajo por alguna razón, las plántulas quedarán agrupadas en sus cajas en un lugar protegido, en vez de quedar distribuidas en los hoyos del bloque siguiente.

El equipo de plantadores deberá organizarse de forma tal que se evite el "sesgo por operario" que vaya a perjudicar la comparación entre procedencias; es decir, no se deberá asignar un solo operario a una sola procedencia, sino que todo el equipo debe participar en el establecimiento de cada parcela. Se han encontrado grandes diferencias en sobrevivencia y crecimiento debidas a este efecto (Forest Research Centre, 1984).

Idealmente el experimento debería ser completado en un solo día, pero en el caso de experimentos muy grandes, al menos se deben plantar bloques completos cada día, para no introducir variabilidad dentro del bloque debida a diferencias climáticas en días diferentes.

El replante de un experimento es aceptable dentro del mismo año de establecimiento (durante la misma época lluviosa), pero inaceptable en la estación siguiente, puesto que la brecha en crecimiento será demasiado grande. Se ha sugerido plantar material adicional entre las líneas del experimento, para utilizarlo para replantes o desecharlo si no se utiliza (Forest Research Centre, 1984); esto es aconsejable aunque generalmente impráctico.

Finalmente, es importante mencionar la necesidad de marcar permanentemente en el campo, con mojones de cemento o cualquier material durable, las parcelas y los bloques, ya que si bien la marcación puede ser clara al momento de la plantación, el crecimiento de malezas y la mortalidad pueden dificultar la ubicación de las parcelas en el futuro, sobre todo para personal que no participó en el establecimiento.

## Podas

Se ha argumentado que en los ensayos de procedencias no se deberían realizar podas, para permitir la evaluación de la capacidad de autopoda de las procedencias. Sin embargo, esto es generalmente impracticable ya que se haría muy difícil, y hasta imposible, la evaluación de otras características, particularmente a edades tempranas. Por otra parte, las podas muy severas podrían perjudicar la expresión de las procedencias. La mejor decisión parece ser podar únicamente las ramas bajas que se vean moribundas y que ya no contribuyen al crecimiento de los árboles (Barnes y Gibson, 1984).

Este sistema tiene las siguientes ventajas: a) no afecta negativamente el incremento en volumen, b) al estar basado en copa viva no favorece ciertas procedencias sobre otras, c) no obstaculiza la ocupación del sitio, d) es flexible y se puede hacer coincidir con las épocas de evaluación, e) mantiene el rodal en óptimas condiciones para fines de evaluación y demostración, f) evita la acumulación excesiva de material inflamable, y g) se aproxima al régimen de poda comercial.

En los pinos, por ejemplo, se recomienda una primera poda a los cinco años, tiempo que coincide con la primera evaluación de las características de ramificación y con la poda que se practica a nivel comercial. A esa edad, los árboles tienen entre seis y nueve metros de altura, el dosel ha cerrado dos o tres años atrás y se ha iniciado la

supresión de las ramas más bajas. Esta poda se realiza también para permitir el acceso al ensayo y se realiza hasta una altura de dos metros, o hasta un tercio de la copa del árbol. Las podas sucesivas se realizan anualmente hasta lograr seis metros de fuste limpio (Commonwealth Forestry Institute, 1984).

## Aclareos

Los ensayos de procedencias pueden ser manejados bajo cuatro métodos diferentes de aclareo (Barnes y Gibson, 1984):

a) Sin aclareo
b) Aclareo sistemático de acuerdo al espaciamiento
c) Aclareo "silvicultural" o selectivo.
d) Aclareo por "diámetro bajo"

Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y desventajas, y no se puede decir que uno sea mejor que los otros en todas las situaciones.

El no ralear no interfiere con el rodal y proporciona información temprana sobre el comportamiento de los árboles bajo competencia severa, pero se puede perder material valioso justamente por efectos de competencia y volcamiento por viento, y no proporciona información a largo plazo.

El método de aclareo sistemático tiene la ventaja de que no afecta la composición genética de la procedencia, pero también se pierde la mitad del material que podría ser valioso para selecciones en el futuro.

En el aclareo "silvicultural" o selectivo, el operario emplea su juicio y experiencia para escoger los mejores árboles en términos del producto final. Si el operario es competente, este método produce la información más precisa en cuanto al potencial de cada procedencia. Sin embargo, en la práctica, este sistema puede introducir inconsistencia y, posiblemente, sesgo. El cuarto método introduce un elemento más objetivo al sistema selectivo en lugar de únicamente el criterio del tecnico forestal. El aclareo es basado estrictamente en el diámetro, removiendo los árboles de diámetro menor al promedio pero con la salvedad de que árboles de las clases mayores que presenten defectos serios también serán removidos. Este método asegura la retención de los individuos más productivos y a la vez rechaza los individuos indeseables de cada procedencia, sin introducir sesgo. Sin embargo, el espaciamiento final puede ser errático. El método de "diámetro bajo" podría ser sustituido por otros, por ejemplo, el índice de densidad del rodal; el punto clave es que el criterio de aclareo debe ser bien definido y, obviamente, relacionado con las características deseadas en el producto final.

Si se pretende continuar con las evaluaciones después de los aclareos, la intensidad de los mismos no debe ser excesiva para no perjudicar las comparaciones futuras y se debe realizar analizando cada parcela por separado y no sobre la base del experimento como un todo.

No se puede recomendar un método único de aclareo. Diferentes objetivos y diseños requerirán decisiones diferentes en cada caso. Por ejemplo, en algunas especies el crecimiento inicial puede ser indicativo de productividad final, en cuyo caso se podrán sacar conclusiones incluso antes de realizar cualquier aclareo. Asímismo, hay que recordar que los ensayos de procedencias pueden convertirse en los últimos remanentes de poblaciones que han desaparecido en su ambiente nativo, y en este caso, la consideración de conservación de alelos será la de mayor peso a la hora de decidir el sistema de aclareo.

### Control de plagas y enfermedades

Es muy normal que un ensayo de procedencias sea atacado en algún momento de su desarrollo por plagas o enfermedades. Si el ataque ocurre en el vivero, generalmente se adoptan medidas de control químico para lograr producir plántulas saludables al final de esta etapa. Esto se justifica porque el control en vivero es usualmente económico y simple, por lo que ha sido una práctica normal en cualquier operación comercial. Sin embargo, cuando el ataque ocurre en el campo la decisión no es tan fácil debido a que, por lo general, no es económicamente factible y pudiera ser de mayor interés evaluar la capacidad de las diferentes procedencias para resistir el ataque. La decisión sólo podrá tomarse ante cada caso en particular, de acuerdo a los objetivos del ensayo, la naturaleza del ataque y del organismo involucrado.

### 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 semila, 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 se debería mantener en otro lugar separado por lo menos una copia del mapa del experimento; 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.

### Evaluaciones de la semilla

A nivel de semilla existe el interés por descubrir si alguna característica de la semilla está correlacionada con características de importancia económica en el árbol adulto. Normalmente se evalúa peso, germinación, dimensiones y otras características como tamaño del embrión, grosor de la cubierta seminal, isoenzimas, etc., pero hasta ahora no se ha informado de ninguna correlación importante que permita predecir el comportamiento del material en el campo.

### Evaluaciones en vivero

A nivel de vivero las características más importantes son altura, características de ramificación y diámetro basal, y otras como longitud del hipocótilo, número y

longitud de los cotiledones, tasa fotosintética, composición química de raíces y tallos, etc. Al igual que con la semilla, hasta ahora no se ha informado de ninguna característica en la plántula que se correlacione con alguna característica de importancia económica del árbol adulto. La medición de altura al final de la fase de vivero es la más usual en los ensayos de procedencias, para corregir los datos de crecimiento en el campo con base en la altura inicial de las plántulas. Sin embargo, tal corrección solamente sería necesaria si se cree que las diferencias de crecimiento entre procedencias se deben a diferencias ambientales en el vivero, lo cual no debería ocurrir si se ha conducido esta fase correctamente.

**Evaluaciones en el campo**

Esta es la fase donde se pone el mayor esfuerzo, y 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 (Commonwealth Forestry Institute, 1984b):

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.

Conforme crecen los árboles, algunas mediciones como la de altura se hacen más difíciles, y llega un momento en que puede ser mejor medir sólo una pequeña muestra, por ejemplo, los árboles dominantes, o limitarse a la medición de diámetros; el dap es fácil y rápido de medir con una simple cinta diamétrica, y está altamente correlacionado con volumen, por lo cual proporciona información adecuada sobre el comportamiento de las procedencias.

Asímismo, las características del fuste son importantes ya que dan una indicación de la calidad del material producido y 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. Entre los métodos para evaluar rectitud está el de evaluación por secciones del fuste (Barnes y Gibson, 1984), que reduce los problemas de subjetividad y de diferencias en apreciación entre evaluadores pero puede ser muy laborioso; los sistemas subjetivos de categorías, desde "fuste sinuoso" hasta "fuste recto", como el utilizado por CAMCORE (Balocchi, 1990); el de grupos y subgrupos como el utilizado por DANIDA (Lauridsen *et al.*, 1987), en el cual se asigna primero una categoría de 1, 2 o 3 (recto, regular, no acceptable), y posteriormente se evalúa según tres categorías dentro de cada categoría principal.

También hay otros métodos como el uso de fotografías (Shelbourne y Namkoong, 1967), que pueden resultar imprácticos. Cada institución deberá utilizar el sistema que más se adapte a sus objetivos y posibilidades, tratando de describir en la forma más eficiente posible las características ideales que debe reunir el árbol.

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. Si el producto fuera madera de aserrío, por ejemplo, el tipo de árbol ideal será aquel con alto volumen, corteza delgada, recto, vertical, circular, sin bifurcaciones, de buena autopoda, de alta densidad de la madera, sin torceduras en espiral, de copa angosta y simétrica, de ramas delgadas y horizontales y libre de daños por enfermedades y plagas.

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.

Para los ensayos internacionales de procedencias de *Pinus spp.* coordinados por el OFI, las evaluaciones sugeridas son al final de la fase de vivero y a los dos, cinco, ocho, quince y treinta años, incluyendo principalmente las características del fuste, las ramas y la madera (Barnes y Gibson, 1984). Para los ensayos internacionales de procedencia/progenie coordinados por CAMCORE, las mediciones sugeridas son sobrevivencia y altura al primer año; sobrevivencia, altura, dap, presencia de bifurcaciones, daños en el fuste y presencia de plagas y enfermedades a los tres años; y sobrevivencia, altura, dap, rectitud, presencia de bifurcaciones, daños en el fuste y presencia de plagas y enfermedades a los cinco y ocho años (Balocchi, 1990). En el caso de las evaluaciones de los ensayos internacionales de procedencias coordinados por DANIDA, las evaluaciones incluyen altura, dap, densidad de la madera, características del eje, rectitud, sanidad y sobrevivencia en el caso de *Gmelina arborea* (Lauridsen *et al.*, 1987) y altura, dap, rectitud, tamaño de las ramas, patrón de ramificación, floración, sanidad y sobrevivencia en el caso de *Tectona grandis* (Keiding *et al.*, 1986).

## Procedimiento de evaluación

El número ideal de personas para llevar a cabo las evaluaciones es de tres; dos profesionales o técnicos calificados y un obrero calificado. El obrero podría tomar los datos cuantitativos más sencillos (altura, dap) y un técnico anotar los datos y controlar el avance de la medición con base en un mapa de campo. El otro técnico podría encargarse de las evaluaciones cualitativas de forma, ramificación, etc. Es muy usual que las evaluaciones se asignen a personal sin experiencia, con resultados poco confiables.

Es importante que el mapa de campo contenga únicamente el número de identificación y no el nombre de las procedencias, ya que es natural que exista favoritismo por una u otra procedencia por parte del personal, lo que puede llevar a evaluaciones sesgadas. También es aconsejable evaluar bloques completos cada día y que la misma persona sea la encargada de evaluar los mismos grupos de características a lo largo de todo el ensayo; con esto se elimina una fuente de error muy importante que es las diferencias de apreciación entre personas diferentes.

Una práctica recomendable después de completar las evaluaciones es comparar los datos con los de evaluaciones pasadas. De esta forma se pueden detectar muchos

errores, sobre todo de ubicación en el campo (típicamente, al encontrar datos para árboles que habían muerto). En estos casos, es necesario volver a la parcela en cuestión para repetir la medición o descubrir la naturaleza del error.

## ANALISIS

El análisis 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 preliminares

#### *Cálculo de las medias aritméticas ($\bar{x}$)*

Este es un procedimiento simple que brinda una primera indicación del desempeño comparativo de las diferentes procedencias. Se obtiene mediante la suma de todos los valores de una variable dividida entre el número de observaciones:

$$\bar{x} = [X_1 + X_2 + \ldots + X_n] / n = \Sigma X_i/n$$

#### *Cálculo de la desviación estándar ($\sigma$) y el coeficiente de variación (CV)*

Es mejor presentar cada media junto con su desviación estándar, parámetro que indica la dispersión de los datos alrededor de la media:

$$\sigma = \sqrt{\Sigma[(\Sigma X_i^2)-((\Sigma X_i)^2/n))]/[n-1]}.$$

Puede ser útil expresar la desviación estándar como un coeficiente de variación, o sea la desvación estándar como proporción de la media:

$$CV = \sigma / \bar{x}$$

El emplear el coeficiente de variación permite la comparación entre grupos, independientemente de su escala o tamaño. Se recomienda su uso particularmente cuando la desviación estándar es proporcional a la media.

### Análisis de varianza

La manera más común de analizar ensayos de procedencias y ensayos genéticos forestales en general es el análisis de varianza (ANDEVA). ANDEVA es una técnica estadística que, mediante el cálculo de la contribución de varios fuentes de variación a la varianza total, permite determinar si existen diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos (procedencias). El análisis se basa en el modelo experimental, el cual expresa en forma explícita la manera en que se postula que cada variable de respuesta observada (altura, dap, etc.) es afectada por cada fuente de

variación. A continuación, se incluye los modelos apropiados para el análisis de varios tipos de ensayo, siempre asumiendo un diseño de BCA.

El modelo es básicamente una conceptualización y declaración explícita de la interpretación que el investigador pone a la variación, y normalmente está implícita en el diseño experimental. El modelo no es verídico por definición: con base en el modelo, se forma una o más hipótesis nulas - típicamente que no hay diferencias significativas entre las procedencias - las cuales se procede a probar a través del análisis de varianza. Sin embargo, aunque no sabemos si todos los factores mencionados en un modelo ejercen un efecto, por definición los factores del modelo son los únicos que influyen en el valor medido, puesto que el error incluye todo factor (desconocido) no explicado por los otros términos.

### *Análisis de varianza de un ensayo en un sitio usando los promedios de las parcelas*

El modelo apropiado sería:

$$y_{ij} = \mu + b_i + p_j + e_{ij},$$

donde:

$y_{ij}$ = el promedio de la procedencia j en el bloque i;
$\mu$ = el promedio general poblacional;
$b_i$ = el efecto del i-ésimo bloque;
$p_j$ = el efecto de la j-ésima procedencia;
$e_{ij}$ = los efectos residuales, genéticos y ambientales, no controlables, actuando en la j-ésima procedencia en el i-ésimo bloque.

Este modelo significa que hay tres factores, llamados fuentes de variación, para que el promedio de una parcela específica ($y_{ij}$) sea diferente del promedio general $\mu$. Puede ser diferente por causa de los factores ambientales del bloque ($b_i$), por ejemplo, al estar ubicada en un bloque con un promedio más bajo o más alto que el promedio general. También podría ser que la parcela contiene árboles de una procedencia superior o inferior al promedio, o podría ser que la respuesta se debe a otros factores, los residuales.

### *Análisis de un ensayo de procedencias en un sitio usando los valores de los árboles individuales*

El modelo apropiado sería:

$$y_{ijk} = \mu + b_i + p_j + bp_{ij} + e_{ijk},$$

donde:

$y_{ijk}$ = el valor (por ejemplo el dap) del árbol k de la procedencia j en el bloque i
$\mu$ = el promedio general poblacional
$b_i$ = el efecto de i-ésimo bloque
$p_j$ = el efecto de la j-ésima procedencia
$bp_{ij}$ = la interacción entre la j-ésima procedencia y el i-ésima bloque,
$e_{ijk}$ = los efectos residuales, genéticos y ambientales, no controlables, actuando en el k-ésimo árbol de la j-ésima procedencia en el i-ésimo bloque.

Este modelo significa que hay cuatro factores para que el valor de un árbol específico ($y_{ijk}$) sea diferente del promedio general $\mu$. Puede ser diferente debido a los factores ambientales del bloque ($b_i$), o que los árboles de la procedencia $p_j$ en general son genéticamente superiores, o que podría ser que por algun razón los árboles de la procedencia $p_j$ se comportan mejor en el bloque $b_i$ de lo que se hubiera esperado (por una interacción entre procedencia $p_j$ y bloque $b_i$ o por error entre parcelas), o podría ser que la respuesta se debe a otros factores, los residuales.

### *Análisis de un ensayo de procedencias en más de un sitio usando los promedios de las parcelas*

El modelo apropiado sería:

$$y_{ijk} = \mu + s_i + b_{i(j)} + p_k + sp_{ik} + e_{ijk}$$

donde:

| | | |
|---|---|---|
| $y_{ijk}$ | = | el promedio de la k-ésima procedencia del j-ésimo bloque del i-ésimo sitio |
| $\mu$ | = | el promedio general poblacional |
| $s_i$ | = | el efecto del i-ésimo sitio |
| $b_{i(j)}$ | = | el efecto del j-ésimo bloque del i-ésimo sitio |
| $p_k$ | = | el efecto de la k-ésima procedencia |
| $sp_{ik}$ | = | la interacción entre la k-ésima procedencia y el i-ésimo sitio |
| $e_{ijk}$ | = | los efectos residuales, genéticos y ambientales, no controlables, actuando en la k-ésima procedencia en el j-ésimo bloque en el i-ésimo sitio. |

En este modelo se postula que hay cinco factores por los cuales el promedio de una parcela en un sitio puede ser diferente del promedio de todas las parcelas sobre todos los sitios: debido a su constitución genética ($p_j$), a los efectos ambientales de bloque o sitio ($b_{i(j)}$, $s_i$), por una interacción entre procedencia y sitio ($sp_{jk}$) o por los efectos ambientales o genéticos no explicados por ninguno de estos.

### *Análisis de un ensayo de procedencias en más de un sitio usando los valores de los árboles individuales*

El modelo apropiado sería:

$$y_{ijkl} = \mu + s_i + b_{i(j)} + p_k + bp_{jk(i)} + sp_{ij} + e_{ijkl},$$

donde:

| | | |
|---|---|---|
| $y_{ijkl}$ | = | el valor (por ejemplo el dap) del l-ésimo árbol de la k-ésima procedencia en el j-ésimo bloque en el i-ésimo sitio |
| $\mu$ | = | el promedio general poblacional |
| $s_i$ | = | el efecto del i-ésimo sitio |
| $b_{i(j)}$ | = | el efecto del j-ésimo bloque del i-ésimo sitio |
| $p_k$ | = | el efecto de la j-ésima procedencia |
| $bp_{jk(i)}$ | = | el efecto de la interacción entre la j-ésima procedencia y el k-ésimo bloque en el i-ésimo sitio y el error de parcela |
| $sp_{ik}$ | = | el efecto de la interacción entre la k-ésima procedencia y el i-ésimo sitio |
| $e_{ijkl}$ | = | los efectos residuales, genéticos y ambientales, no controlables, actuando en el l-ésimo árbol de la k-ésima procedencia en el j-ésimo bloque en el |

i-ésimo sitio.

El modelo postula que el valor de un individuo puede ser diferente del promedio general debido a los efectos ambientales de bloque y de sitio, a las características genéticas de la población, a la interacción entre sus procedencia y el sitio, a la variación en respuesta de procedencia de un bloque a otro causada por la interacción entre su procedencia y el bloque y por la variación ambiental dentro del bloque (error experimental de parcela) o por otros factores ambientales y genéticos no controlados en el experimento.

### Pruebas de rango múltiple

Si el análisis de varianza detecta diferencias significativas entre de procedencias, el siguiente paso es utilizar una prueba de rango múltiple (Prueba de 't', Tukey, Duncan, Scheffé, etc.) para poder determinar los grupos de procedencias dentro de los cuales no hay diferencias estadísticamente significativas.

### Análisis de regresión

Cuando el análisis de varianza detecta diferencias significativas entre procedencias, puede ser de interés explicar la naturaleza de la variación en términos de diferencias entre los sitios de origen de las procedencias. En esto consiste el análisis de regresión, donde los valores de varias características evaluadas se relacionan con varias características climáticas o de otra índole de la procedencia (latitud, altitud, precipitación, temperatura, etc.).

### Análisis de correlación

Además de los análisis anteriores, puede ser interesante conocer la correlación entre pares de características de una misma evaluación o de evaluaciones en años diferentes. Esto permite un refinamiento o reducción de los procedimientos de evaluación y son importantes además para establecer la existencia de correlaciones juvenil-adulto.

### 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 a todos 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. El tema de las interacciones genotipo-ambiente y su análisis se trata en el capítulo 4.

## 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) donde se debe establecer rodales semilleros para su uso en zonas específicas (ver Capítulo 5).
c. Se puede establecer plantaciones semilleras de la mejor procedencia para cada zona (ver Capítulo 5).
d. En la selección de árboles plus, frecuentemente es conveniente poner más énfasis en la selección dentro de las mejores procedencias (ver Capítulo 7).

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

Balocchi, C.E. 1990. CAMCORE Tree Improvement Program. *CAMCORE Bulletin on Tropical Forestry*. No. 7 - March, 1990. 37 p.

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.

Keiding, H.; Wellendorf, H.; Lauridsen, E.B. 1986. Evaluation of an international series of teak provenance trials. Danida Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark, 81 p.

Lauridsen, E.B.; Wellendorf, H.; Keiding, H. 1987. Evaluation of an international series of *Gmelina* provenence trials. Danida Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark, 110 p.

Mesén, F. 1990. Resultados de ensayos de procedencias en Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica. *Serie Técnica, Informe técnico* No. 156. 40 p.

Shelbourne, C.J.A.; Namkoong, G. 1965. Photogrammetric technique for measuring bole straightness. *Proc. 8th South. Conf. on Forest Tree Imp.* 131-136.

Styles, B.T. 1979. La población base. pp. 15-48 *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, xvi + 233 p.

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.

Zobel, B.; Talbert, J. 1984. Applied forest tree improvement. John Wiley and sons, New York, USA, 505 p.