

# MANUAL TÉCNICO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE ENSAYOS DE PROCEDENCIAS Y PROGENIES



**CONAFOR**

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

**MANUAL TÉCNICO PARA  
EL ESTABLECIMIENTO DE  
ENSAYOS DE PROCEDENCIAS  
Y/O PROGENIES**

## **Comisión Nacional Forestal**

Coordinación General de Conservación y Restauración  
Gerencia de Reforestación  
Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico  
Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología  
Periférico Pte. 5360  
Colonia San Juan de Ocotán  
Zapopan, Jalisco C.P. 45019

Tel: 01 800 7370 000 y (33) 3777 7017

[www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx)

[tt@conafor.gob.mx](mailto:tt@conafor.gob.mx)

La información contenida en este manual proviene de los resultados obtenidos en el estudio: “Manual Técnico para el Establecimiento de Ensayos de Procedencia/Progenie”.

### **Autores**

**Celestino Flores Flores.**

Profesor-Investigador del Departamento Forestal.  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

**Javier López Upton.**

Profesor-Investigador del Programa Forestal del Colegio de Postgraduados.

**Salvador Valencia Manzo.**

Profesor-Investigador del Departamento Forestal.  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Impreso en México

Primera edición, 2014.

## CONTENIDO

1 Introducción	4
2 Objetivo de las pruebas de procedencia y/o progenie	8
3 Consideraciones y conceptos	12
4 Procedimiento de selección y admisión del material selecto	26
5 Producción de planta en vivero	42
6 Ensayo de procedencias	50
7 Ensayo de progenies	69
8 Ensayos de procedencias y/o progenies	88
9 Establecimiento de ensayos en campo	95
10 Casos de estudio de <i>Pinus greggii</i>	103
11. Glosario de términos	137
12 Literatura citada	148

# 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad se reconoce ampliamente que el éxito en el establecimiento y productividad de las plantaciones forestales dependen, en gran medida, de la selección correcta, no solo de la especie, sino también de la fuente de la semilla dentro de la especie. De esta manera se aseguran árboles mejor adaptados al sitio de plantación y que presentan crecimientos relevantes para asegurar rentabilidad económica, de otra forma la plantación puede ser un fracaso. Sin embargo, a veces no se sabe cuál es la especie y la procedencia adecuada, las opciones como respuestas son simplemente utilizar una fuente local de semillas o ensayar diversas especies y procedencias. No obstante esta situación está cambiando, cada vez existe mayor sensibilidad acerca de la importancia del origen de la semilla (por ejemplo, en la Figura 1 se presenta información de origen de una procedencia de *Pinus pincea* Gordon en Zacatecas, esta población es una de las más importantes por su tamaño en la distribución natural de la especie).

Una vez que se han elegido las especies y procedencias adecuadas, con lo que se asegura, en buena medida, una sobrevivencia y crecimiento aceptables, se puede pensar en tener ganancias genéticas; esto es, un rendimiento superior a la media de la población normal, gracias al uso de genotipos superiores. Para ello, comúnmente se seleccionan en el bosque natural o en plantaciones, árboles con un fenotipo superior (por ejemplo, para fines maderables son con mayor altura, diámetro, volumen y rectitud que los comunes), con la intención de reproducirlos masivamente en áreas o huertos semilleros. En este sentido, los métodos más usados en el mejoramiento se basan en escoger los individuos con características fenotípicas deseables que se incluirán en el programa. Conviene limitarse a aquellos que manifiesten un potencial en cuanto a su utilidad económica. Los factores a considerar para determinar las características a mejorar son los siguientes:

- Gran valor económico
- Probabilidad de que el valor de la característica se mantenga aunque cambie la demanda de los productos específicos en el futuro
- Gran variabilidad y heredabilidad, que indican un gran potencial de ganancia genética
- Que tengan una correlación positiva o bien sea independiente de otras características deseadas
-

- Interrelación favorable o combinación positiva entre los métodos genéticos por una parte, y por otra, los métodos de manejo y mejora no genética.



Figura 1. Población natural de *Pinus pinceana* Gordon en el Ejido San José Carbonerillas, Mazapil, Zacatecas ( 24° 29'28.9" N, 101° 27'20.6" W, 2211 msnm).

Algunas características son convenientes para todos los productos finales y por lo tanto, deben mantener sus características esenciales por mucho tiempo, como:

- Buena salud
- Crecimiento rápido
- Aspecto vigoroso
- Ausencia de malformación
- Fuste recto
- Ausencia de bifurcaciones bajas
- Gran número de ramas cercanas al recto
- Ramas cortas y finas

Otras características tienen mucho valor para productos específicos, como:

- Propiedades especiales de la madera u otros productos
- Forma de ramificación
- Diámetro de las ramas

El grado de mejoramiento que se puede alcanzar en determinadas características, mediante la selección, depende de tres componentes:

- Variabilidad del carácter
- Heredabilidad
- Proporción de árboles seleccionados (diferencial de selección)

El grado de mejora se expresa como ganancia genética a la que es igual al producto de la heredabilidad por diferencial de selección.

Por esta razón, el principal objetivo práctico de los ensayos de procedencia y/o progenie es localizar, del modo más rápido y económico posible, las procedencias que permiten formar bosques mejor adaptados y más productivos.

De esta forma es importante evaluar la productividad, que no necesariamente indique un crecimiento rápido; sino también criterios importantes como la supervivencia, la resistencia a factores ambientales desfavorables o plagas, la calidad de la madera y la producción de semilla.

Al planificar cualquier ensayo de procedencia y/o progenie es necesario saber que pueden presentarse diferencias entre procedencias para características seleccionadas de interés económico, sin embargo, las procedencias evaluadas no necesariamente se comportan igual en ambientes diferentes. Por esta razón, son importantes las pruebas de procedencias antes de iniciar programas de reforestación o mejoramiento genético (Figura 2). También los ensayos de procedencia y/o progenie apoyarán a definir la zonificación preliminar de zonas semilleras como procedimiento para organizar las actividades del programa de mejoramiento genético forestal.



Figura 2. Ensayo de procedencias y/o progenies de *Pinus greggii* Engelm., establecido en el municipio de Galena, Nuevo León.

Cabe mencionar que, los ensayos de progenie consisten básicamente en producir planta en vivero y establecerlas en campo, para comparar el crecimiento de las progenies de árboles seleccionados bajo un diseño experimental determinado. La aplicación de técnicas estadísticas como el análisis de varianza, permite separar la variación dada por las diferencias genéticas, las ambientales y las que resultan de la interacción entre ambas. Por lo tanto, es posible calificar objetivamente a los progenitores y/o a la progenie misma. Una vez hecha esta evaluación, su progenie puede pasar a formar parte de un huerto semillero, sexual si se propagaron por semilla o asexual si son clonados. La información generada también es útil para realizar aclareos genéticos en huertos ya establecidos. Por lo tanto, los ensayos de progenie son indispensables para desarrollar huertos semilleros (Sáenz y Plancarte, 1991).

Como parte de las líneas de acción estratégicas del Programa Nacional de Mejoramiento Genético Forestal, surge la necesidad de establecer ensayos de procedencia y/o progenie para obtener germoplasma mejorado (comprobado genéticamente), por lo que es preciso contar con un manual técnico que sirva de apoyo a los asesores técnicos que desarrollarán esta actividad.

## 2 OBJETIVO DE LAS PRUEBAS DE PROCEDENCIA Y/O PROGENIE

Es importante considerar que en la introducción de una especie, los estudios comparativos de los climas y demás condiciones ecológicas de la región de origen y de la región de introducción, permiten hacer previsiones generales sobre las posibilidades de éxito, pero solamente los ensayos de las plantaciones permitirán sacar conclusiones válidas sobre el valor ecológico de la especie (Moreno *et al.*, 1986).

La importancia de las introducciones de especies se fundamenta en cuatro aspectos principales (Moreno *et al.*, 1986):

1. Enriquecer la flora local de una región es el resultado de la evolución natural en relación con las variaciones climáticas, a través de tiempos geológicos y de la acción directa e indirecta del hombre.
2. Resistencia a enfermedades y otros factores ambientales desfavorables. Con las condiciones de especies se puede resolver situaciones desfavorables por enfermedades y plagas o factores ambientales adversos (Figura 3).
3. Crecimiento y producción superior. Algunas especies son capaces de dar el mismo volumen de madera en la mitad del tiempo requerido por otras. Además, si el incremento en volumen es grande desde los primeros años, los productos de aclareo permiten reducir enormemente los tiempos de amortización de las inversiones.
4. Calidad de la madera. Otra de las razones que mueve a la introducción de especies exóticas es la de producir maderas locales y ser capaces de suplir las necesidades, de acuerdo con el objetivo de la producción forestal.



Figura 3. Plagas como *Leptoglossus occidentalis* Heidemann son las más dañinas en la producción de semillas de coníferas (Cibrián-Tovar et al., 1986) (chinche semillera en cono de *Pinus johannis* M.-F. Robert).

En síntesis, estas cuatro razones mencionadas que justifican las introducciones, persiguen un objetivo único: encontrar los medios para producir en cada sitio la mayor cantidad de madera, de la calidad solicitada por las industrias y en el plazo más breve posible.

Por otra parte, antes de iniciar programas de reforestación y un programa de mejoramiento genético forestal en sí, es importante desarrollar pruebas de procedencias (Figura 4), ya que las diferentes procedencias no necesariamente se comportan igual en ambientes diferentes, fenómeno común denominado interacción genotipo-ambiente, sobre todo en especies de distribución natural muy amplia (Mesén, 1994a). Los objetivos principales de las pruebas de procedencias implican las siguientes actividades:

- 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.



Figura 4. Ensayo de procedencias y/o progenies de *Pinus johannis* M.-F. Robert en el ejido Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.

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 esfuerzo se traduzca en mejor planeamiento de los programas de mejoramiento genético y de reforestación comercial. Antes de iniciar una prueba, se debe definir las procedencias que se van a incluir, cómo se va a muestrear cada procedencia y donde se va a plantar el ensayo o los ensayos (Mesén, 1994a).

A nivel procedencia se seleccionan árboles de manera fenotípica, en este sentido, implica probar la descendencia, si ésta es superior demuestra que su apariencia superior en el rodal era intrínseca (genética) y no debido a factores externos, estas pruebas se llaman pruebas de progenies, de descendencia o de familias, las cuales se establecen bajo

un diseño experimental adecuado que garantice que las diferencias observadas entre las descendencias sean mayormente genéticas; una vez que se determina cuáles son los padres genéticamente superiores, se convierten en árboles élite y son los que finalmente se utilizan para la producción de semilla mejorada en los huertos clonales (Mesén, 1994b). Por lo tanto los objetivos de las pruebas de progenie implican (Sáenz y Plancarte, 1991):

- a. Promover información para evaluar los padres y realizar aclareos genéticos de los huertos semilleros (Figura 5).
- b. Estimar parámetros genéticos.
- c. Producir una población para la selección de generación avanzada. Esto implica la conversión de una prueba de progenie en huerto semillero sexual o de plántulas una vez concluido el periodo de evaluación (Mesén, 1994b).
- d. Estimar directamente la ganancia genética obtenida.
- e. Producir semilla.



Figura 5. Huerto semillero clonal de *Pinus arizonica* Engelm. El Largo, Madera, Chihuahua. Para el aclareo genético de este huerto se requiere de la prueba de progenies.

## 3 CONSIDERACIONES Y CONCEPTOS

### 3.1 La variación natural en el mejoramiento

La base a partir de la cual se desarrollan los programas de mejoramiento genético, es la gran variación natural existente en los rasgos económicamente importantes de la mayoría de las especies forestales. Esta variación es producto de las diferencias ambientales, las diferencias genéticas y las interacciones entre el ambiente y los genotipos (Moreno *et al.*, 1986; Zobel y Talbert, 1988).

La variación natural ocurre a diferentes niveles: entre especies, entre áreas geográficas o procedencias, entre sitios o rodales, entre árboles individuales e incluso, dentro de un mismo árbol. Para fines de manipular la variación, es necesario cuantificarla en cada nivel, identificando en lo posible, qué proporción es producto de efectos ambientales, genéticos y de interacción entre ambos (Sáenz y Plancarte, 1991).

El mejoramiento genético de una característica en particular, a nivel de poblaciones de una especie, solo es posible si existen diferencias apreciables entre los individuos y si una proporción de esa variación se debe a diferencias genéticas (Figura 6). Si las diferencias entre los individuos son muy pequeñas y/o el origen de éstas es ambiental y no genéticos, los intentos por mejorar genéticamente una característica carece de sentido. Los genetistas forestales trabajan esencialmente con poblaciones silvestres, las cuales contienen usualmente una amplia variación genética que permite desarrollar programas de mejoramiento (Zobel y Talbert, 1988).



Figura 6. Evaluación de la rectitud del fuste en *Pinus arizonica* Engelm. (Ejido El Pinito, Guadalupe y Calvo, Chihuahua) es una característica de interés en el Programa de Mejoramiento Genético Forestal en Chihuahua.

### 3.2 Componentes de la variación fenotípica

La variación total de un carácter, se puede expresar como varianza total o fenotípica; ésta puede dividirse por medios experimentales en un componente de la varianza debidos al ambiente, al genotipo y a la interacción genotipo-ambiente. (Sáenz y Plancarte, 1991).

Entonces:

$$V_t = V_m + V_g + V_{m \times g}$$

En donde:

$V_t$  = Varianza total o fenotípica

$V_m$  = Varianza ambiental

$V_g$  = Varianza genética

$V_{m \times g}$  = Varianza de la interacción genotipo x medio ambiente.

De manera práctica, al evaluar una característica en todos los individuos en una prueba de progenie, todas las diferencias que existen entre ellos, expresadas en términos estadísticos como varianza corresponden a la varianza fenotípica o varianza total.

La varianza genética es la que se debe a efectos genéticos y se divide en dos tipos: varianza aditiva y varianza no aditiva.

$$Vg = Va + Vna$$

En donde:xd

Va = Varianza aditiva

Vna = Varianza no aditiva.

La varianza aditiva surge de las diferencias entre los progenitores, en lo que respecta a su aptitud combinatoria general (ACG), se dice que es la varianza de los valores de cruce de la población. Por otra parte, la varianza no aditiva, resulta de las diferencias a nivel de la aptitud combinatoria específica (ACE).

Los valores genéticos de los progenitores se expresan en términos de aptitudes combinatorias. Los conceptos al respecto son:

- a. Aptitud Combinatoria General (ACG).- es el rendimiento promedio de la progenie de un individuo cuando se cruza con otros individuos de la población. Se expresa, de preferencia, en desviaciones respecto a la media.
- b. Valor de cruce = 2 veces la ACG.
- c. Aptitud Combinatoria Específica (ACE).- es la diferencia del rendimiento promedio de la progenie de una cruce entre dos progenitores específicos respecto de lo que se esperaría exclusivamente sobre la base de sus ACG.

Para el cálculo de la ACE se tiene:

1. Cálculo de la ACG de cada progenitor.
2. Se obtiene el valor anticipado al sumar algebraicamente los valores de ACG de cada progenitor a la media general.
3. Al valor de la cruce de los progenitores se le resta el valor anticipado.

Un ejemplo del cálculo de aptitudes combinatorias generales (ACG) y de la aptitud combinatoria específica (ACE) de una cruce, tomado de Zobel y Talbert (1988), se presenta enseguida. Para ello, considere que se tienen ocho progenitores, cuatro funcionan como machos (1, 2, 3 y 4) y cuatro como hembras (5, 6, 7 y 8). El rendimiento de la cruce de 1x5 es de 9 unidades, de 1x6 es de 10 unidades y así sucesivamente, según se muestra en el siguiente cuadro.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>media</b>	<b>AGC</b>
5	9	17	12	14		
6	10	16	12	10		
7	11	20	10	15		
8	14	15	6	17		
media						
AGC						

De acuerdo con las fórmulas e indicaciones para el cálculo de ACG, éstas se presentan en negritas, lo cual marca la desviación promedio de cada progenitor, respecto a la media general de toda la prueba.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>media</b>	<b>AGC</b>
5	9	17	12	14	13	<b>0</b>
6	10	16	12	10	12	<b>-1</b>
7	11	20	10	15	14	<b>+1</b>
8	14	15	6	17	13	<b>0</b>
media	11	17	10	14	13	
AGC	<b>-2</b>	<b>+4</b>	<b>-3</b>	<b>+1</b>		

Para la cruce de los progenitores 6 y 3 (6x3), los cálculos de su ACE son:

$$ACG_6 = -1$$

$$ACG_3 = -3$$

$$\text{Media general} = 13$$

$$\text{Valor anticipado} = 13 + (-1) + (-3) = 9$$

$$ACE_{6 \times 3} = 12 - 9 = 3$$

Para este caso significa que la cruce de los progenitores 6 y 3 tiene un rendimiento de 3 unidades por encima de lo que se esperaría respecto a sus ACG. De manera semejante se pueden realizar los cálculos correspondientes de la ACE de otra u otras cruces.

Algunos ensayos de progenies, dependiendo del diseño experimental y el grado de parentesco del material utilizado, permiten estimar los componentes mencionados de la varianza genética. La mayoría de las características de importancia económica en las especies forestales, están bajo algún grado de control genético aditivo; los efectos no aditivos con frecuencia son mucho menos relevantes (Zobel y Talbert, 1988).

### **3.3 Programa de mejoramiento genético**

El mejoramiento genético de las especies forestales es la aplicación de los principios genéticos junto con las prácticas silviculturales (Zobel y Talbert, 1988). Su objetivo es establecer árboles genéticamente mejorados para la repoblación (Moreno *et al.*, 1986). La finalidad del mejoramiento en general considera:

- Mayor incremento volumétrico en madera y en otros productos
- Aumento de resistencia de los árboles contra factores adversos
- Mejoramiento de la calidad de la madera u otros productos útiles en relación con su uso, densidad, color y brillo, entre otros

El resultado de un programa de mejoramiento solo puede medirse por la magnitud de la ganancia genética real obtenida al final del turno de mejora, tratándose de árboles forestales, el tiempo necesario, desde que se inicia el programa, hasta que se pueden hacer comparaciones de fuente de semilla mejorada con fuentes no mejoradas, debe ser de alrededor de 30 años, dependiendo de la especie y las técnicas aplicadas, por lo que solo se puede hablar de resultados en sentido figurado (Moreno *et al.*, 1986).

Los programas de selección de especies persiguen un fin económico, mejorar cuantitativamente la producción forestal, es decir, encontrar para cada sitio las especies que sean más productivas de acuerdo con el objetivo de la reforestación (madera aserrable, pulpa, postes, leña, cortinas rompeviento, protección contra la erosión, obtención de resina, taninos), entre otras (Moreno *et al.*, 1986; Zobel y Talbert, 1988).

### 3.4 Zonificación de semillas

Para decidir el movimiento de semillas y plántulas entre el sitio en que se recolecta la semilla y los lugares que se van a reforestar, es indispensable contar con lineamientos que permitan acoplar adecuadamente los genotipos a los ambientes, y con ello disminuir el riesgo de mala adaptación de las plantas a los sitios de plantación. Para ello se requiere delimitar zonas productoras de semillas.

Una zona de producción o recolecta de semillas se define como “un área o grupo de áreas sujetas a condiciones ecológicas suficientemente uniformes, en las cuales se encuentran rodales con características genéticas o fenotípicas uniformes”, y está definida por límites identificables en el campo. Esto se traduce en la práctica en un mapa en donde una región o estado se divide en regiones ecológicamente similares y en donde, en términos generales, la semilla que se recolecta en una zona debe ser utilizada en esa misma zona. Eventualmente, la semilla de una zona puede ser utilizada en zonas adyacentes, bajo lineamientos específicos (Sáenz-Romero, 2004).

La “uniformidad” genética se refiere a la ausencia (o existencia en pequeña escala) de diferencias genéticas entre rodales dentro de una misma zona de producción de semilla, lo cual es demostrable solo si se cuenta con resultados de ensayos de procedencias. En otras palabras, es indispensable conocer el patrón de la diferenciación genética entre poblaciones (Sáenz-Romero, 2004).

Para México, en donde en general existe poca información de resultados de procedencias, es necesario hacer zonificaciones preliminares, al menos para especies prioritarias a nivel estatal, con base en información climática, topográfica, edáfica y de vegetación natural, que sirva de herramienta para planear la asignación de especies y procedencias a los sitios a reforestar; para lo que se requiere determinar, en primer instancia el potencial productivo de especies prioritarias a través del uso de información geográfica, elaborando mapas de cartografía digitales a partir de variables ambientales conocidas para cada especie.

De esta manera se genera un nuevo mapa digital con áreas de diferente productividad. Un ejemplo de potencial productivo de *Pinus pincea* Gordon para el estado de Zacatecas se presenta en la Figura 7 y la metodología se puede consultar en Sierra-Villagrana (2010).

Posteriormente se realiza de manera preliminar la zonificación de semillas, considerando el potencial productivo de la especie, además de variables que influyen en la distribución de la especie, como por ejemplo la altitud o la precipitación, así como información de variación morfológica y de manejo administrativo, que son algunos criterios importantes para establecer las zonas para el movimiento de semillas (Sáenz-Romero, 2004).

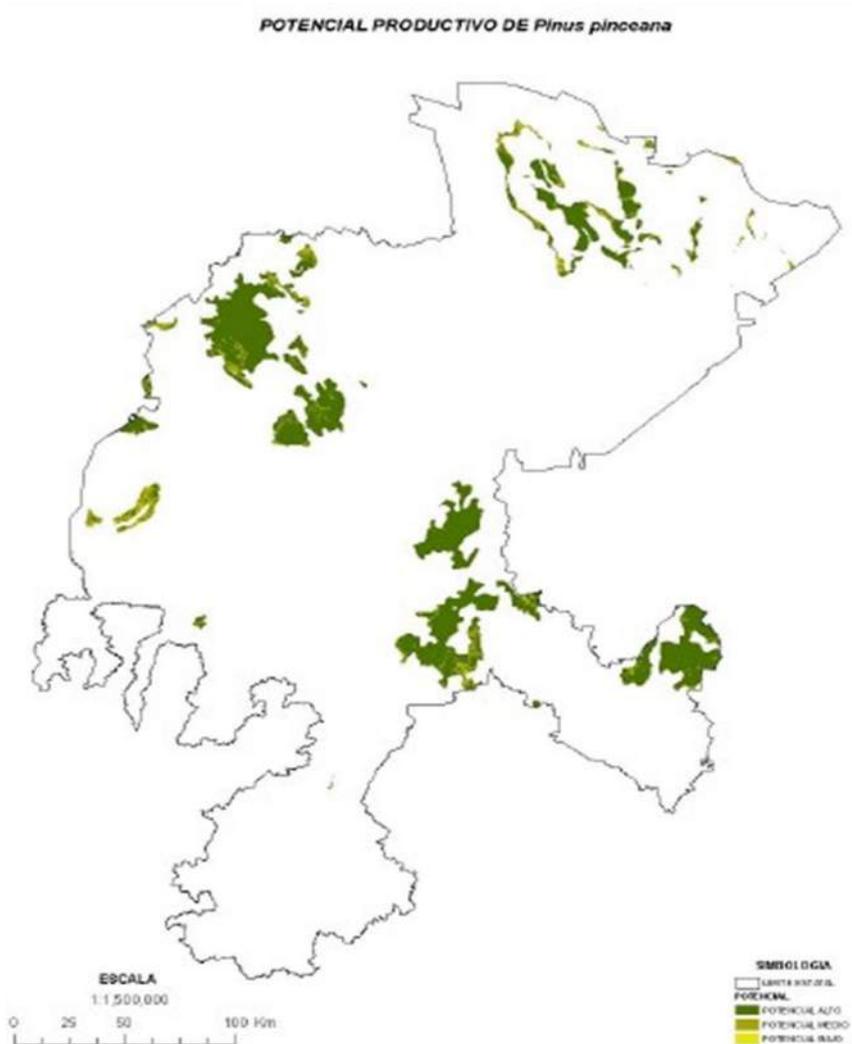


Figura 7. Potencial productivo de *Pinus pincea* Gordon en el estado de Zacatecas (Sierra-Villagrana, 2010).

Para México se han propuesto zonificaciones de semillas. Se han definido grandes regiones, subregiones y zonas para la recolecta y uso de semillas de especies forestales, con base en criterios geológicos, topográficos, precipitación pluvial total y estacional, temperaturas medias y tipos de vegetación. El resultado fue la división del país en nueve regiones, 34 sub-regiones y 64 zonas de semilla (Figura 8). Las tres categorías son jerárquicas; es decir, cada región está subdividida en dos o más sub-regiones, y éstas a su vez en zonas (Conkle, 2004). Ésta es una zonificación sumamente útil a gran escala, sin embargo las zonas provisionales requieren información, al menos a nivel subprovincias fisiográficas y municipios (Figura 9). En este sentido, si se quiere controlar el origen de las procedencias, lo más práctico es utilizar los formatos de la ficha técnica de procedencia del germoplasma forestal citada en los apéndices de la norma NMX-AA-169-SCFI-2014, Establecimiento de Unidades Productoras y Manejo de Germoplasma Forestal - Especificaciones Técnicas (Secretaría de Economía, 2014). Sin embargo, además de detallar subprovincias fisiográficas, se requiere desarrollar de forma más específica una zonificación a nivel estatal, considerando las variables ambientales que influyen en la distribución de la especie o especies prioritarias en estudio.

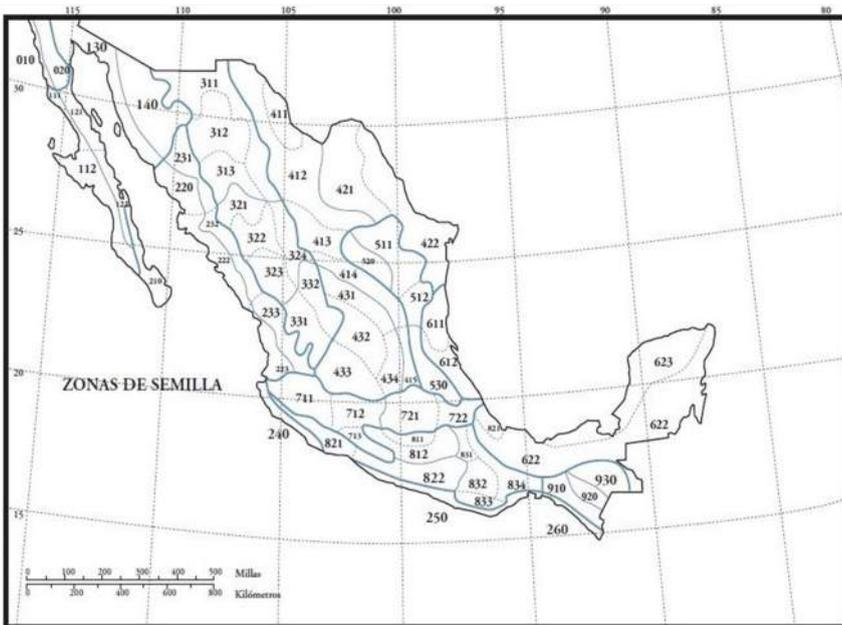


Figura 8. Zonas de semillas para México (Conkle, 2004).

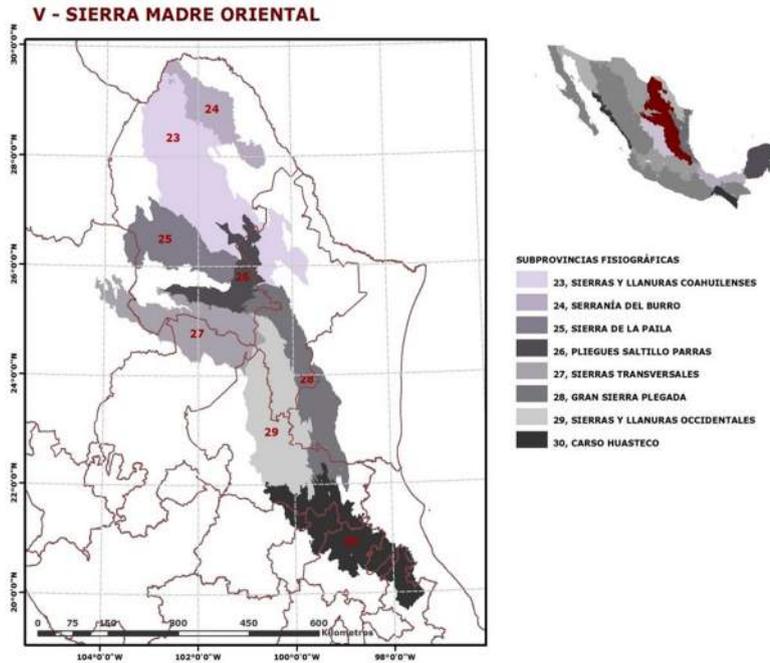


Figura 9. Provincia V Sierra Madre Oriental y subprovincias fisiográficas (Secretaría de Economía, 2014).

Una zonificación provisional de áreas productoras de semillas a nivel estatal ha sido desarrollada para los estados de Durango y Chihuahua, está basada en la precipitación, la latitud y razones administrativas, con el propósito de organizar, tanto las poblaciones de cruzamiento, como los huertos semilleros. Para el estado de Chihuahua se dividió en tres regiones del Norte al Sur, siguiendo un criterio latitudinal y administrativo, estas regiones a su vez, se dividieron en cuatro zonas de semillas, basadas en la precipitación anual total (Nienstaedt *et al.*, 1990):

1. menor de 600 mm
2. de 601 a 800 mm
3. de 801 a 1000 mm
4. mayor de 1000 mm

De esta manera, la zonificación provisional del estado incluye un total de 11 zonas de semillas. Esta zonificación provisional deberá ser

verificada estableciendo y evaluando los ensayos de procedencias de las seis especies involucradas, lo cual permitirá el movimiento de semillas dentro del estado de Chihuahua.

Otra zonificación estatal que es para una planificación más detallada del movimiento de semillas, es la desarrollada por Sáenz-Romero y Clausen (1991) para el caso del Estado de México (Figura 10) y su modificación (Sáenz-Romero, 2004).

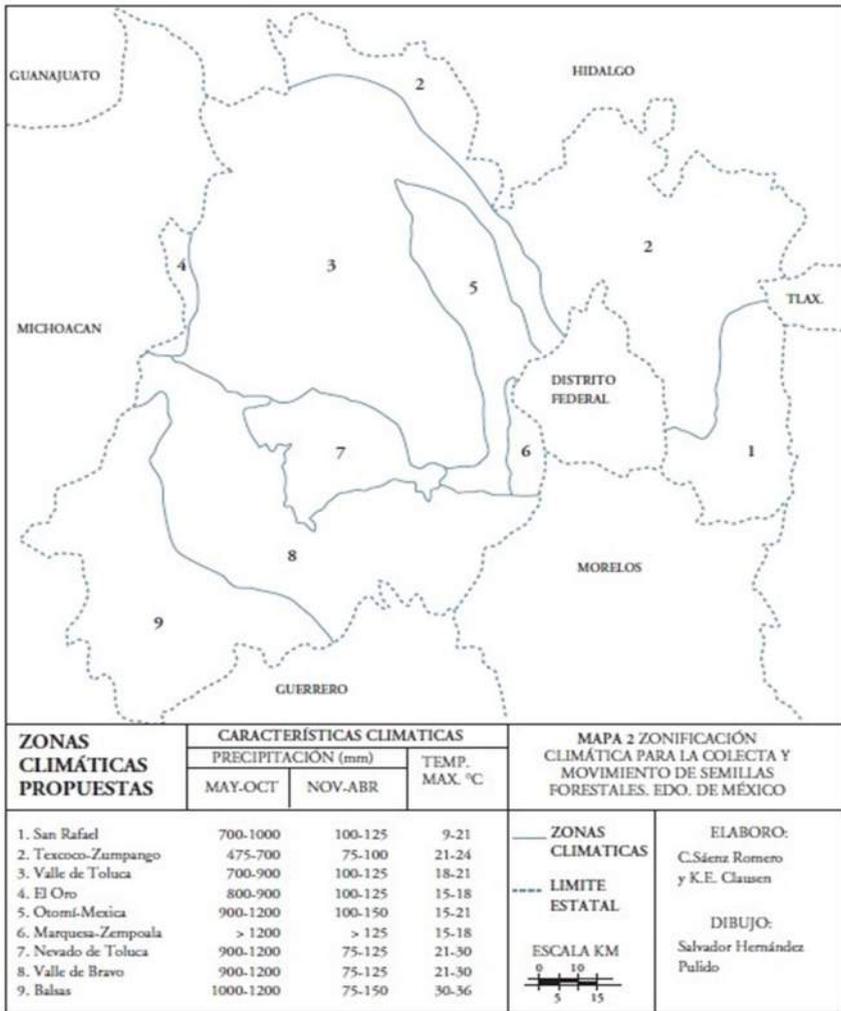


Figura 10. Zonificación para movimiento de semillas forestales en el Estado de México. Modificada (Sáenz-Romero, 2004).

### 3.5 Heredabilidad

La heredabilidad es la medida del grado en el cual un carácter imprime la influencia de la herencia en comparación con el ambiente y se expresa como la proporción entre la varianza genética y la fenotípica (Moreno *et al.*, 1986).

La heredabilidad es la proporción de variación total o fenotípica determinada por efectos genéticos. La heredabilidad en sentido amplio ( $h^2_{sa}$ ), se puede definir como:

$$h^2_{sa} = \frac{V_g}{V_t}$$

En donde:

$$h^2_{sa} = \text{Heredabilidad en sentido amplio}$$

$$V_g = \text{Varianza genética}$$

$$V_t = \text{Varianza total}$$

La heredabilidad en sentido estricto o estrecho ( $h^2_{se}$ ), se define (de acuerdo con Falconer, 1986):

$$h^2_{se} = \frac{V_a}{V_t}$$

En donde:

$$h^2_{se} = \text{Heredabilidad en sentido estricto}$$

$$V_a = \text{Varianza (genética) aditiva}$$

$$V_t = \text{Varianza total.}$$

Tanto para la  $h^2_{sa}$  como para la  $h^2_{se}$ , los valores teóricos van de 0 (nulo control genético), a 1 (control genético total) (Sáenz y Plancarte, 1991).

La heredabilidad puede estimarse básicamente de dos formas, (a) regresión progenie-progenitor, que consiste en la medición y comparación del crecimiento de hijos respecto a los padres y (b) análisis del parentesco de las progenies, el cual se basa únicamente en las progenies, estimando la varianza fenotípica y subdividiéndola en sus distintos componentes, a partir de las diferencias entre y dentro de progenies o familias. En los dos casos, es indispensable conocer

exactamente el grado de parentesco existente entre el material evaluado (Falconer, 1986).

Los valores de heredabilidad estimados son válidos únicamente para la población estudiada y para el tiempo y espacio en que se realizó la evaluación. Los valores pueden cambiar con la edad para la misma población y de una localidad de ensayo a otra (Falconer, 1986).

### **3.6 Selección de caracteres de interés económico**

Se refiere a la selección de individuos idóneos en cada caso, a los cuales se les permite cruzarse y reproducirse para que sus características deseables sean transmitidas a las progenies (Sáenz y Plancarte, 1991). Con la selección artificial se pretende: (a) incrementar la productividad en una población futura; (b) crear la base genética para la siguiente generación de selección, y (c) producir masivamente semilla genéticamente mejorada (Nienstaedt y Kang, 1985; Zobel y Talbert, 1988).

La selección artificial es necesaria porque la selección natural favorece fundamentalmente características que garanticen sobrevivencia y reproducción, y no caracteres o formas de valor económico para el hombre (Sáenz y Plancarte, 1991).

La proporción de individuos que se seleccionan respecto al total original (entiéndase nivel de “exigencia”), se puede expresar como diferencial de selección ( $s$ ), definido como (Zobel y Talbert, 1988):

$$s = m - M$$

O como intensidad de selección ( $i$ ):

$$i = s / \sigma_f$$

En donde:

$s$  = Diferencial de selección

$m$  = Media de los individuos seleccionados

$M$  = Media de la población original

$i$  = Intensidad de selección

$\sigma_f$  = Desviación estándar

### 3.7 Ganancia genética

La valoración de la ganancia es un aspecto de enorme importancia práctica en todo programa de mejoramiento, ya que permite conocer el grado de efectividad del trabajo que se realiza (Moreno *et al.*, 1986). Así como realizar las proyecciones financieras necesarias para valorar si es conveniente o no continuar con un programa de mejoramiento genético.

Se expresa por la fórmula:

$$G = h_{se}^2 \cdot S$$

En donde:

G = Ganancia genética

$h_{se}^2$  = heredabilidad en sentido estricto

S = diferencial de selección

O bien con esta otra fórmula:

$$G = i h^2 \sigma_f$$

En donde:

G = ganancia genética

i = intensidad de selección

$h^2$  = heredabilidad del carácter

$\sigma_f$  = Desviación estándar

Las fórmulas anteriores se usan para proyectar la ganancia genética que se espera obtener para una determinada característica en un programa de mejoramiento genético. Por ejemplo, en un trabajo de investigación se estimó un valor de  $h^2 = 0.35$  para la variable densidad de la madera (DM) a una edad de 15 años. Para la misma fecha, el valor promedio de la DM en la población se registraba en 0.40 g/cc. El 10% de los mejores individuos para esta característica registraba un valor de 0.55 g/cc., si únicamente se deja reproducir a este mejor 10% se tiene un valor del diferencial de selección (S) igual a 0.15 g/cc y una estimación de ganancia genética (G) de la población para la siguiente generación de 0.0525 g/cc, lo que representa una ganancia genética expresada en porcentaje de 13.125% y para la siguiente generación se esperaría un valor promedio de la DM de 0.45 g/cc.

Pero cuando ya se han realizado selecciones y cruces y han crecido las progenies, es posible medir directamente la ganancia obtenida y entonces calcular la heredabilidad real, que es simplemente la ganancia dividida entre la diferencia de selección (Moreno *et al.*, 1986).

$$h^2_{se} = \frac{G}{S}$$

En donde:

$h^2_{se}$  = Heredabilidad en sentido estricto

G = Ganancia genética

S = Diferencial de selección

Esta situación real es menos común, sirve para ver la efectividad de la selección y corroborar lo bien o mal que estuvieron las estimaciones de ganancia genética y de heredabilidad realizadas previamente.

Por lo tanto, la ganancia genética se puede definir como el cambio que ocurre como efecto de la selección en la media de la población. La ganancia genética que se obtiene con la selección artificial de un carácter, depende de la heredabilidad de éste, la cantidad de variación genética presente y la intensidad de selección (y por tanto, del diferencial de selección) (Zobel y Talbert, 1988).

Cuando se seleccionan varios caracteres simultáneamente, la ganancia genética dependerá no solo de la heredabilidad e intensidad de selección, sino también del número de caracteres considerados simultáneamente y de las correlaciones entre estos. La ganancia se incrementa si la variación inicial y la intensidad de selección son elevados; en cambio, disminuye entre mayor sea el número de caracteres considerados simultáneamente y menos correlacionados entre sí (Sáenz y Plancarte, 1991).

Existe una relación inversa entre diferencial de selección y ganancia genética esperada contra número de caracteres incluidos, especialmente cuando estos son independientes entre sí. Por ejemplo, podemos seleccionar el árbol de mayor altura entre mil individuos y el árbol más recto también entre mil; con toda seguridad, serían dos individuos distintos. Si deseamos que un individuo sea simultáneamente tan alto como el primero y tan recto como el segundo, tal vez tendríamos que

buscarlo entre un millón de individuos. Muy probablemente preferiríamos ser menos exigentes y simplemente seleccionaríamos un árbol de cada mil que fuera aceptablemente alto y recto (Sáenz y Plancarte, 1991).

Se han diseñado índices de selección que permiten maximizar la ganancia genética en uno o dos caracteres, manteniendo un nivel aceptable de ganancia en los demás. Estos índices se construyen a partir de la heredabilidad de cada carácter, sus correlaciones genéticas y el nivel de importancia que le asignamos a cada uno de ellos (Zobel y Talbert, 1988).

## 4 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN Y ADMISIÓN DEL MATERIAL SELECTO

### 4.1 Consideraciones preliminares para la selección

Los criterios de selección de árboles para recolectar semilla dependerán del producto a obtenerse en la plantación. Muchos de los criterios establecidos han sido basados en la producción de madera (aserrada y chapeada) y aunque no son los únicos, es conveniente seguir estos criterios, considerando que el mayor valor en el mercado de los árboles es la madera. Por otro lado, aunque existen plantaciones con fines de “restauración” de suelos (de protección), donde las características de adaptación a factores adversos son muy importantes (por ejemplo, resistencia a la sequía y a deficiencias nutricionales), en algún momento el poseedor de recursos podrá aprovechar sus árboles y obtener mayor beneficio económico usando árboles con características adecuadas para aserrío. Por otra parte el transporte de troncos es más rentable con fustes rectos.

Antes de seleccionar árboles para procedencias y/o progenies se deben tener las siguientes consideraciones (Flores-López, 2000b):

- En primer lugar conocer los objetivos, metas y plan detallado del programa de mejoramiento genético forestal (Flores-López, 2000a).
- También se estudian las características taxonómicas y de variación de la especie para diferenciarla de otras similares en campo y con posibilidad de cruzamiento.
- Es necesario obtener información de asociación vegetal, densidad y calidad de sitio, para facilitar la selección de rodales.

- Conocer la situación legal del rodal o áreas forestales seleccionadas. La selección de especies vegetales en áreas de litigio puede traer problemas legales, además de que es común que corten árboles ilegalmente en estas áreas, por lo que este tipo de áreas no se consideran en la selección de árboles.
- Revisar el estatus de la especie a seleccionar en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), para considerar la obtención de permiso de colecta científica especial si se requiere material vegetativo para propagación.

Por otra parte, los rodales donde se buscaron los árboles selectos, son áreas similares a donde se piensa establecer las plantaciones. Lo anterior implica seleccionar en sitios buenos y sitios pobres, considerándose la altitud, clima y suelo (Hughes y Robbins, 1982).

La selección de árboles se debe realizar tanto en rodales coetáneos (Figura 11) como incoetáneos con edades deseables y de preferencia puros, donde el tamaño del rodal puede ser variable, considerando como tamaño mínimo una hectárea (Flores-López, 2000b). Varios autores mencionan que es mejor hacer la selección en rodales coetáneos que en incoetáneos, ya que en estos últimos la selección de árboles es más subjetiva y se prevé mayor variación ambiental (Rudolf *et al.*, 1974).

## **4.2 Propuesta de material de base selecto**

El proceso de selección se inicia con la propuesta, por parte de los propietarios o gestores interesados, considerando las especificaciones técnicas de las unidades productoras de germoplasma forestal en lo referente al establecimiento de huertos semilleros (pruebas de progenies) (Secretaría de Economía, 2014; NMX-AA-169-SCFI-2014) y a las consideraciones de un programa de mejoramiento genético forestal para zonificación de semillas o movimiento de germoplasma.



Figura 11. Rodal coetáneo para selección de árboles, correspondiente al área semillera de *Pinus arizonica* Engelm. establecida y aprobada fenotípicamente en El Cuatro, Madera, Chihuahua.

### 4.3 Preselección

La preselección de árboles se realiza en rodales naturales coetáneos por medio de la comparación de árboles y en rodales naturales incoetáneos se hace con selección individual de árboles (línea base o por méritos propios). Zobel y Talbert (1988) recomiendan dichos métodos para cada tipo de rodal. Al respecto, Ledig (1973 y 1974) señala que no es recomendable utilizar el procedimiento por comparación de árboles debido al bajo valor de la varianza genética aditiva y a la alta varianza ambiental de árbol a árbol y sugiere la selección individual. Sin embargo, los métodos de selección de árboles se pueden clasificar en tres:

- a. Inspección ocular: identificar rápidamente los árboles con buena forma y tamaño, sin llevar a cabo una estimación cuantitativa de las características de interés, es un método simple.
- b. Selección por comparación: comparar el árbol seleccionado con sus vecinos más cercanos o con el valor promedio del rodal. Muy eficiente en plantaciones o en rodales naturales coetáneos.

- c. Sistema de línea base o por méritos propios: seleccionar árboles en función de su eficiencia de crecimiento. Debe determinarse una línea de regresión.

La selección de árboles se realiza de manera uniforme a través de toda la región de interés y considerando la posibilidad de acceso. En cada rodal, la búsqueda de árboles superiores se realiza de manera sistemática para no pasar por alto buenos ejemplares. La distancia mínima entre árboles selectos es de 100 m.

Se determina la calidad del árbol seleccionado en promedio y que sea mejor en cuanto a crecimiento, poda, rectitud u otra característica de interés en comparación con los fenotipos presentes. Este punto es relativo y se debe tener conocimiento de los mismos fenotipos presentes en la región de estudio.

La intensidad de selección es variable en los rodales. En algunos de baja calidad, se selecciona un árbol por rodal, en los de buena calidad y en los de propiedad privada en especial, se seleccionan más árboles por tener rodales más conservados (1 árbol/ha). Robinson (1989) sugiere una baja intensidad de selección de árboles superiores en rodales naturales y el tiempo para seleccionar el árbol no debería exceder al necesario en dar una vuelta al árbol.

De esta manera se obtiene una calificación preliminar (puntaje) de los candidatos a árboles superiores para los ensayos de procedencia y/o progenie.

#### **4.4 Caracterización ecológica**

Es conveniente utilizar entre dos o tres caracteres de los más importantes en la selección de árboles; ya que si se hace una selección muy rigurosa es probable que no se encuentren muchos árboles deseables. Las características ecológicas a considerar en la selección son las siguientes:

- Vigor de árboles. Se sugiere seleccionar árboles vigorosos, de buena talla en cuanto altura y cobertura aérea; descartar aquellos árboles viejos y decadentes, los que se encuentren suprimidos bajo la copa de los árboles más grandes, y los individuos inclinados y caídos.
- Sanidad de árboles. Es conveniente seleccionar árboles sanos, que no tengan problemas por el ataque de plagas, enfermedades o

estén afectados por plantas parásitas como el muérdago. Cuando se hace la selección de árboles sanos en áreas infestadas, esta característica puede ser transmitida a los árboles descendientes y tener esa ganancia genética de resistencia.

- Floración de árboles. Es deseable tener árboles de abundante floración. El criterio de selección de árboles en cuanto a su floración, debe tomarse en cuenta para clasificar árboles pre-seleccionados (Figura 12).

#### 4.5 Caracterización fenotípica

Para la selección de plantas, la CONAFOR señala como procedimiento la definición del criterio de selección, señalando cinco criterios prácticamente fenotípicos a considerar y que se describen a continuación (CONAFOR, 2011):

1. Conservación y/o restauración con un enfoque ecológico: ubicar todas las especies que se encuentren en la NOM-059-SEMARNAT-2010, su objetivo es de conservación o restauración, para ello debemos seleccionar y contabilizar todos los individuos y clasificarlos en función de su estrato de edades o tallas.
2. Conservación y/o restauración de los recursos genéticos forestales: identificar las especies que además de ser fuente de ingresos, de tener una buena adaptación y ser de gran interés para la sociedad; se debe conservar y proteger su diversidad genética de manera *in situ* y *ex situ*.



Figura 12. Árbol de *Picea martinezii* T.F. Patterson con producción de conos, Agua Fría, Aramberri, Nuevo León.

3. Económico: dependiendo de la especie elegida, se establecen los criterios que se requieren para elegir al individuo tipo, se considera lo que se puede aprovechar en algún momento de la especie, como un beneficio extra, por ejemplo madera, frutos, follaje y leña.
4. Social: existen especies que además de ser importantes ecológicamente, pueden tener valor en la comunidad por su uso alimenticio o por sus características ornamentales.
5. Cultural: la población de algunas especies ha sido afectada en forma alarmante, debido a que se han sobre explotado para continuar con algunas costumbres y tradiciones.

En el Cuadro 1 se establecen criterios para varias especies forestales. Una vez definidas las variables a medir de la especie prioritaria, se procede a elegir individuo “tipo”, que servirá de modelo para clasificar individuos presentes en el sitio de muestreo.

**Cuadro 1.** Criterios de selección propuestos para especies forestales.

<b>1 Conservación o restauración (ecológico)</b>					
Especie	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
<i>Pinus pincea</i>	Diámetro de copa	Altura	Edad		
<b>2 Conservación o restauración (Recursos Genéticos Forestales)</b>					
Especie	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
<i>Pinus johannis</i>	Diámetro de copa	Altura	Número de estróbilos (hembra)	Proporción de sexos	
<b>3 Económico - maderable</b>					
Especie	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
<i>Euphorbia antisiphilitica</i>	Altura	Diámetro de cobertura	Número de internudos		
Agave lecheguilla	Altura	Diámetro de roseta más grande	Número de rosetas		
<b>4 Medicinal o social</b>					
Especie	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Fouquieria splendens	Número de tallos	Altura de la planta promedio	Diámetro de cobertura de la planta		

5 Cultural					
Especie	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Prosopis spp.	Diámetro de cobertura	Altura	Diámetro normal	Número y/o peso de frutos	

Para tener una caracterización fenotípica es importante hacer mediciones cuantitativas y evaluaciones cualitativas de los árboles seleccionados, entre las cuales se pueden considerar las siguientes:

**Altura de los árboles.** Se mide de la base del árbol al ras del suelo, hasta la parte más alta de su copa.

**Cobertura de los árboles.** De la copa de los árboles, se mide la longitud del diámetro mayor (de extremo a extremo) y la longitud del otro en forma perpendicular a éste. Con esta información podemos conocer el área de la cobertura aérea y el diámetro promedio de la copa.

**El diámetro normal y área basal de los árboles.** La medición del diámetro normal (1.3 m sobre el nivel del suelo); de esta forma, podemos conocer el área basal de cada árbol.

**Rectitud del fuste y poda de los árboles.** Si se considera de importancia, es conveniente la medición de la longitud del fuste limpio de los árboles, midiendo de la base del tallo, hasta la parte en donde se inicia la ramificación, así como su rectitud.

**Estructura de copa y ramas.** Se aceptan los árboles con ramas cortas y delgadas.

#### 4.6 Criterios y caracteres de selección

Para rodales coetáneos, el procedimiento a utilizar en la selección de árboles superiores se realiza con base en la comparación de árboles testigos (Rudolf *et al.*, 1974; Zobel y Talbert, 1988). A continuación se señalan los pasos:

- a. Se detectan árboles con tres características sobresalientes. Comúnmente se facilita revisar los árboles dominantes y simultáneamente de buena rectitud. En especial que sean dominantes.
- b. Como el incremento en volumen es prioritario, se dirige la selección a aquellos árboles de mayor diámetro con respecto a los adyacentes. De esta manera se obtendrá más puntaje en volumen a una edad encontrada. Para asegurar que realmente cada árbol

seleccionado sea aceptable, resulta necesario compararlo con los testigos, utilizando tablas de volúmenes locales (formato de Figura 13).

- c. No se acepta el árbol atacado por enfermedades o insectos.
- d. Después de haber localizado y decidido evaluar el árbol, se seleccionan cinco árboles para comparación. Estos cinco árboles, al igual que el candidato, son dominantes, creciendo en condiciones de competencia similares a las del árbol candidato. En la práctica, algunas veces es difícil encontrar cinco árboles para comparar, en cuyo caso, para la comparación tres son suficientes, que estén situados a menos de 25 a 50 metros del árbol candidato, de la misma edad o por lo menos no deben excederse a 10 años.

Como ejemplo, se presenta en las Figura 14 y 15 un formato de selección de un árbol superior de *Pinus engelmannii* con clave E706. Los puntajes de las características en este sistema de evaluación se calcularon de acuerdo con el formato de la Figura 13.

En rodales no uniformes o incoetáneos se utiliza la selección individual de árboles, donde el árbol candidato no es comparado con árboles de su misma especie y éste es selecto si excede por una cantidad arbitraria al promedio, resultado de la regresión base, como resultado de la relación que existe entre la altura o el diámetro con la edad (Ledig, 1973). Los pasos a realizar se presentan a continuación.

- a. Se detectan árboles dominantes de mayor diámetro y simultáneamente se revisa la rectitud del fuste.
- b. Se utilizan las curvas promedio de regresión de índice de sitio de los estudios de manejo forestal para la propiedad muestreada, como referencia en la selección individual de los árboles.
- c. Se selecciona el árbol candidato y se toma la altura total, diámetro y edad.
- d. Se coloca la altura y la edad del árbol candidato en la gráfica de índice de sitio, si el árbol quedó arriba de la línea de regresión se acepta como superior, pero si queda debajo de la línea de regresión, se rechaza.

Como ejemplo se presenta un *Pinus herrerae* Martínez en Chihuahua. La selección se realizó por los caminos de mayor acceso correspondientes a las propiedades Ejido San Ignacio, Comunidad Mesa de los Leales, predio particular La Lajita, predio particular Zarupa, Ejido Sorobuena, Ejido

Tenoriba, predio particular Matupares, todos ellos correspondientes al municipio de Morelos, Chihuahua. Se seleccionaron 45 árboles superiores.

### FORMATO PARA SELECCIONAR ÁRBOLES SUPERIORES

#### I.- Datos generales:

Especie \_\_\_\_\_ No. de árbol \_\_\_\_\_  
 Tipo de rodal \_\_\_\_\_ Natural \_\_\_\_\_ Plantación No. de rodal \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_  
 Estado \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_ Poblado \_\_\_\_\_  
 Propiedad \_\_\_\_\_ Paraje \_\_\_\_\_ Empresa \_\_\_\_\_  
 Altitud \_\_\_\_\_ Latitud \_\_\_\_\_ Longitud \_\_\_\_\_  
 Seleccionador \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

#### II.- Evaluación de los árboles: mediciones de los mejores cinco árboles dominantes testigos.

##### Características del árbol candidato

- 1.- Altura (m)..... \_\_\_\_\_
- 2.- D.A.P (cm)..... \_\_\_\_\_
- 3.- Volumen (m<sup>3</sup>)..... \_\_\_\_\_
- 4.- Copa..... \_\_\_\_\_
- 5.- Rectitud del fuste..... \_\_\_\_\_
- 6.- Poda natural..... \_\_\_\_\_
- 7.- Ajuste por edad..... \_\_\_\_\_
- \*Suma de puntaje de 4 a 7 ..... \_\_\_\_\_

Testigos	Altura	D.A.P	Volumen	Edad
1				
2				
3				
4				
5				
Total				
$\bar{x}$				

#### III.- Caracterización de puntajes:

#### IV. Fotografía del árbol candidato.

Carácter	Candidato	Testigo	Puntaje de candidato
Volumen			
Altura			
Peso específico			
Puntaje*			
<b>PUNTAJE TOTAL</b>			

#### V.- Observaciones:

**INSTRUCCIONES PARA OTORGAR EL PUNTAJE AL CANDIDATO**

$$Altura = \left[ \left( \frac{Ac}{At} * 100 \right) - ,100 \right] \quad Ac = \text{Altura del candidato}$$

At = Altura  $\bar{x}$  de los testigos

Con el resultado de esta fórmula se obtiene el puntaje con la siguiente escala de superioridad, sobre el predio de los testigos.

Altura %	Edad (años)		
	< 30	31-50	>51
<5	0	0	0
6 a 8	1	2	3
9 a 11	2	3	4
12 a 13	3	4	5
14 a 16	4	5	6
17 a 19	5	6	7
20 a 22	6	7	8
23 a 25	7	8	9
>26	8	9	10

2.- Diámetro a la altura del pecho. A 1.3 m de nivel de suelo perpendicular a la pendiente.

Vc = Volumen del candidato.

$$3.- \text{Volumen} = \frac{Vc}{Vt}$$

Vt = Volumen  $\bar{x}$  de los testigos.

Se otorga 1 punto al candidato por cada 10% que exceda a los testigos.

4.- Copa. Debe evaluarse comparándola con la de los testigos, considerando su conformación, densidad del follaje, dominancia, radio y longitud; es una estimación subjetiva que va del 0 (para copas malas) al 5 (para las mejores).

5.- Rectitud del fuste. Se evalúa individualmente para cada candidato, sin considerar los testigos. Se califica del cero (para fustes torcidos, curvados o pandos) al 5 (para fustes perfectamente rectos).

6.- Poda natural. Se evalúa comparando al candidato, visualmente con los testigos, considerando, tanto ramas vivas como muertas. El promedio de los testigos vale cero y se otorgan de 1 a 3 puntos por la superioridad del candidato.

7.- Ajuste por edad. Si el candidato es más joven que el promedio de los testigos, recibe un punto por cada año, menos dos. Si la edad del candidato supera con tres años o más de la del promedio de los testigos, recibe un punto negativo por cada año más tres.

**Notas:**

- A) Si en los caracteres de altura, volumen, copa y poda, el candidato es inferior a los testigos, se le restan puntos usando el mismo criterio que cuando es superior. Normalmente si un árbol tiene puntaje negativo en más de un carácter, se rechaza.
- B) El peso específico y la longitud de traqueidas del candidato deberán ser igual o mayor al peso específico y longitud de traqueidas promedio regionales.
- C) Ningún candidato deberá presentar síntomas de ataques de plagas o enfermedades y bifurcaciones, entre otros.
- D) La búsqueda de candidatos deberá realizarse sistemáticamente en todos los mejores rodales que representen las diferentes calidades de estación donde habita la especie de la región donde se utilizará la semilla.
- E) La distancia mínima entre un candidato y otro no deberá ser menor a 100 m en rodales naturales. En plantaciones puede ser menor.

Anexo. Volúmenes de fuste total con corteza (m<sup>3</sup>) para *Pinus cembroides* en el sureste de Coahuila (Navarro *et al.*, 2000).

Diámetro normal (cm)	Altura (m)					
	4	5	6	7	8	9
10	0.02329	0.02828	0.03313	0.03789	0.04255	0.04714
12	0.03198	0.03883	0.04550	0.05202	0.05843	0.06473
14	0.04181	0.05076	0.05948	0.06802	0.07639	0.08463
16	0.05274	0.06403	0.07503	0.08580	0.09636	0.10675
18	0.06473	0.07859	0.09209	0.10530	0.11826	0.13102
20	0.07774	0.09439	0.11061	0.12647	0.14205	0.15736
22	0.09176	0.11141	0.13055	0.14928	0.16765	0.18573
24	0.10675	0.12961	0.15188	0.17366	0.19504	0.21608
26	0.12269	0.14897	0.17456	0.19960	0.22417	0.24835

El modelo de la variable combinada obtenido para *Pinus cembroides* fue el siguiente:

a) En forma lineal:  $\log_{10} \text{Volumen} = -0.417276 + 0.869548 \log_{10} [(DN^2) \cdot (A)]$

b) En forma exponencial:  $\text{Volumen} = 0.3825815 [(DN^2) \cdot (A)]^{0.869548}$

Dónde:  $\log_{10}$  = Logaritmo base 10,  $DN^2$  = Diámetro normal (m), A = Altura total (m)

Figura 13. Formato para seleccionar árboles superiores.

**FORMATO PARA SELECCIONAR ÁRBOLES SUPERIORES**
**I. Datos generales**

Especie *Pinus engelmannii* Número de árbol E706  
 Tipo de rodal Natural  Plantación No. de rodal \_\_\_\_\_  
 Edad 78 años Estado Chihuahua Municipio Balleza Poblado \_\_\_\_\_  
Tecorichi Propiedad Ejidal Tecorichi Paraje Mesa del Durazno Empresa \_\_\_\_\_  
 Silvicultores Unidos de Guachochi, S.C. Altitud 2300 msnm Latitud 26° 44' 2.2"  
 Longitud 106° 42' 4.5" Seleccionador Celestino Flores L., Julián Chávez Bustillos y Marín  
 Pompa García Fecha 24 de junio de 2004.

**II. Caracteres del árbol candidato**

1. Altura (m) ..... 27  
 2. D.a.p. (cm) ..... 45.1  
 3. Volumen (m<sup>3</sup>) ..... 2.4426  
 4. Copa ..... 1.5  
 5. Rectitud del fuste ..... 3.7  
 6. Poda natural ..... 0.5  
 7. Ajuste por edad ..... 23  
 \*Suma de puntaje de  
 4 a 7 ..... 28.7

Vol= exp (-9.73924+1.96797 log (Dn)  
 +0.95167 log (H)

**III. Mediciones de los mejores cinco árboles dominantes testigos**

Testigos	Altura	d.a.p.	Volumen	Edad
1	23.0	45.5	2.1337	99
2	21.0	43.2	1.7668	95
3	20.0	45.2	1.8438	90
4	18.5	42.3	1.5025	115
5	21.0	42.5	1.7109	117
Total	103.5		8.9577	516
Promedio	20.7		1.79154	103.2

**III. Comparación de puntajes:**

Carácter	Candidato	Testigo	Puntaje de candidato
Volumen	2.4426	1.79154	3.6
Altura	27	20.7	10.0
*Suma de puntaje			28.7
Puntaje total			<b>42.3</b>

**IV. Fotografía del árbol selecto**

**Observaciones:**

Coordenadas UTM zona 13 0330801 E, 2958099 N. Rodal con 50% de encino y 50% de *Pinus engelmannii*. 10% de pendiente.

**Ecuación de volumen:**

Figura 14. Árbol selecto de *Pinus engelmannii* Carr. en el estado de Chihuahua

FORMATO PARA SELECCIONAR ÁRBOLES SUPERIORES

I. Datos generales

Especie *Pinus engelmannii* Número de árbol E707  
 Tipo de rodal Natural  Plantación No. de rodal \_\_\_\_\_ Edad 150 años  
 Estado Chihuahua Municipio Balleza Poblado Bajío de Tonachi  
 Propiedad Ejidal Tecorichi Paraje Bajío de Tonachi Empresa Silvicultores Unidos de Guachochi, S.C. Altitud 2420 msnm Latitud UTM 2956065 N Longitud 0332723 E  
 Seleccionador Celestino Flores L., Julián Chávez Bustillos y Marín Pompa García Fecha 24 de junio de 2004.

II. Caracteres del árbol candidato

1. Altura (m) ..... 20
2. D.a.p. (cm) ..... 53.0
3. Volumen (m<sup>3</sup>) ..... 2.5221
4. Copa ..... 2.0
5. Rectitud del fuste ..... 3.0
6. Poda natural ..... 1.5
7. Ajuste por edad ..... -29
- \*Suma de puntaje de  
4 a 7 ..... -22.5

III. Mediciones de los mejores cinco árboles dominantes testigos

Testigos	Altura	d.a.p.	Volumen	Edad
1	18	49.5	1.9945	140
2	18.5	57.9	2.7869	95
3	18	50.5	2.0745	120
4				
5				
Total	54.5		6.8559	355
Promedio	18.1		2.2853	118.3

III. Comparación de puntajes:

Carácter	Candidato	Testigo	Puntaje de candidato
Volumen	2.5221	2.2853	1.0
Altura	20	18.1	4
*Suma de puntaje			-22.5
Puntaje total			<b>-17.5</b>

**ESTE ÁRBOL SE RECHAZA**

Observaciones:

Rodal con 100% de *Pinus engelmannii*. 5% de pendiente.

Ecuación de volumen:

$$\text{Vol} = \exp(-9.73924 + 1.96797 \log(\text{Dn}) + 0.95167 \log(\text{H}))$$

IV. Fotografía del árbol selecto



Figura 15. Árbol selecto de *Pinus engelmannii* Carr. rechazado.

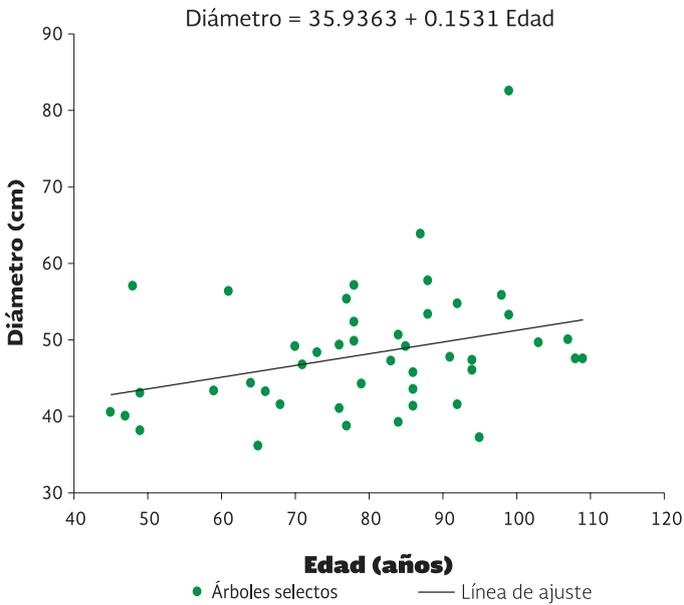


Figura 16. Relación edad-diámetro de 45 árboles de *Pinus herrerae* Martínez.

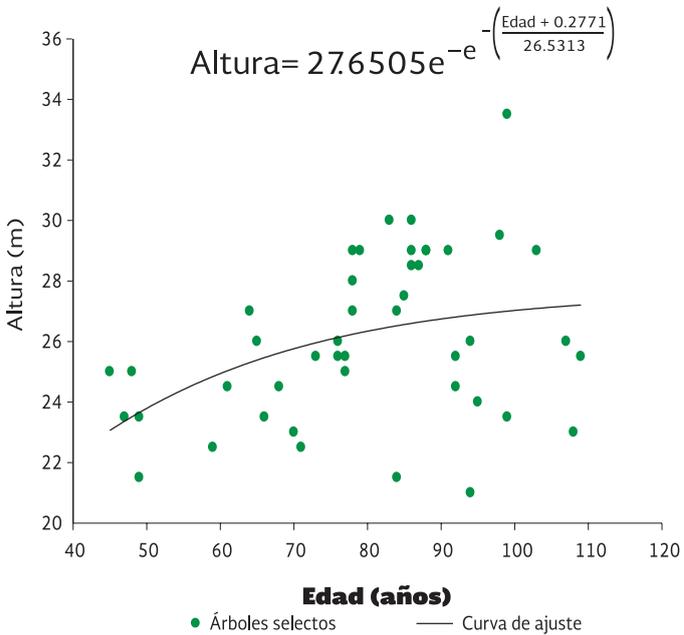


Figura 17. Relación edad-altura de 45 árboles de *Pinus herrerae* Martínez.

Al momento de hacer la selección se tomaron como criterios las siguientes características fenotípicas:

- a. **Crecimiento en altura y diámetro.** Esta relación es importante cuando se utiliza la selección por méritos propios, o sin testigos (Ledig, 1973), ya que es necesario establecer una curva guía para definir si el árbol candidato es superior. La relación edad-altura dominante es una medida de índice de sitio y sirve como referencia principal en la selección de árboles (Zobel y Talbert, 1988). Las Figuras 16 y 17 muestran las relaciones edad-diámetro y edad-altura de los árboles selectos de *Pinus herrerae*, mostrando las curvas de ajuste. En selecciones futuras, el árbol candidato puede ser seleccionado utilizando como referencia los valores por encima de la curva de ajuste, tanto en diámetro –lo que es más práctico–, como en altura.
- b. **Resistencia a agentes dañinos.** Los árboles se rechazaron cuando presentaban daños por plagas o enfermedades, o daños por nieve y viento, excepto si los daños se pudieron atribuir a la acción del fuego.
- c. **Producción de semilla.** La presencia de conos en ramas, así como de regeneración natural alrededor del árbol fueron utilizados como indicadores de árboles con una buena capacidad de producción de semilla.
- d. **Rectitud del fuste y poda.** La rectitud se evaluó en las cuatro caras del árbol, promediando el valor con base en una escala de 0 a 5 puntos. El valor promedio de rectitud del fuste obtenido en los 45 árboles de *P. herrerae* fue de  $3.6 \pm 0.5$  puntos. Esta especie presenta además buena poda natural, por lo que el criterio fue considerar que, al menos dos terceras partes de la altura total del árbol estuvieran libres de ramas.
- e. **Estructura de copa y ramas.** Se aceptaron los árboles con ramas cortas y delgadas, y con un ángulo de  $90^\circ$  con respecto al fuste.

#### **4.7 Admisión del material selecto**

El sistema de selección de árboles testigos por comparación tiene restricciones cuando los rodales son incoetáneos, sin embargo, obliga a quien hace la selección a observar críticamente las características del árbol y la variación ambiental decrece (Zobel y Talbert, 1988).

Por otra parte, el método de selección individual es más práctico y económico, pero se requiere de una ecuación de regresión base de índice de sitio para cada localidad, que definirá la selección o el rechazo del árbol candidato.

La admisión del material selecto para rodales coetáneos realizado por el sistema de comparación, se basa en el puntaje obtenido para cada árbol candidato superior con puntaje positivo y superior a cero, de otra forma el árbol se rechaza (Figura 15). Después de obtener una cantidad de 100 árboles selectos, la selección de los árboles a considerar en las pruebas de procedencia y/o progenie, va a depender de la cantidad de familias previamente definidas, de esta manera se seleccionan los mejores puntajes, eliminando los valores bajos.

En el caso del método de selección individual o de méritos propios, además de no aceptar árboles con características fenotípicas previamente establecidas al momento de la selección, el procedimiento de regresión rechazará a los individuos con valores inferiores a la línea de ajuste (Figuras 16 y 17).

## 5 PRODUCCIÓN DE PLANTA EN VIVERO

### 5.1 Recolección y beneficio de semillas

Todo programa de recolección debe cubrir los siguientes aspectos:

- Cantidad y tipo de equipo requerido (ganchos, escaleras, cuerdas, tijeras y sacos, entre otros).
- Número de recolectores, tamaño de las brigadas y número de supervisores.
- Duración de la recolección en cada zona o área.
- Cantidad de vehículos y su distribución.
- Infraestructura de almacenamiento.
- Calendario de actividades y presupuesto requerido.

El equipo para la recolección debe revisarse con mucha anticipación, antes de utilizarlo, para reparar cualquier defecto o sustituirlo. De manera especial se debe tener cuidado con la revisión del equipo de escalamiento (como cuerdas, espuelas, bandolas, cascos y botiquines).

Es importante considerar, antes de la colecta de semilla, que la fenología de una especie varía de un año a otro, debido a las fluctuaciones climáticas, por esto se recomienda un monitoreo periódico de las poblaciones (Figura 18). Durante las salidas a terreno, los recolectores deben realizar recorridos para ubicar las áreas tentativas de trabajo, identificar la o las especies, estimar la fecha de maduración y tomar otros datos de la población (Figura 19). Al mismo tiempo, se puede tomar ejemplares de herbario de las especies que no presenten material vegetativo o reproductivo adecuado en el momento de la recolección. Por otro lado, el contacto regular con lugareños puede facilitar información sobre la fenología de las especies de interés.



Figura 18. Estado maduro de estróbilo femenino (cono) de *Pinus culminicola* Andresen & Beaman (13 de octubre de 2012).



Figura 19. Estado inmaduro de cápsulas de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.).

Una vez que se han seleccionado los árboles que funcionarán como progenitores en los ensayos de progenie, la recolecta de semillas debe realizarse cuando éstas alcancen la madurez. Una recolecta prematura de semillas puede resultar en una baja viabilidad y por tanto, en problemas para el establecimiento de las pruebas de progenie (Sáenz y Plancarte, 1991).

El beneficio de la semilla debe hacerse lo más pronto posible después de la recolecta. Demoras en este proceso reducen la calidad de la semilla, puesto que el manejo y los cambios climáticos pueden dañarla. Se debe tener cuidado durante el beneficio de mantener separados los lotes de acuerdo con su fuente parental.

Un aspecto importante en los programas de reforestación es el almacenamiento de semillas y la duración de almacenamiento dependerá del uso que se le quiera dar. Para realizar el almacenamiento de semillas se deben conocer dos factores ambientales importantes que son la humedad y la temperatura, considerando al primero como el más crítico. De acuerdo con los requerimientos de humedad, las semillas se clasifican como ortodoxas y recalcitrantes (Bonner, 1981). Bonner *et al.* (1994) presenta una clasificación más detallada, dividiendo las ortodoxas y las recalcitrantes e incluye el período de almacenamiento (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Condiciones de almacenamiento para cuatro categorías de semillas de árboles.

Tipos de semillas	Período de almacenamiento (años)	Humedad de la semilla (%)	Temperatura (° C)	Tipo de Contenedor
Ortodoxas verdaderas	<5	6-10	0-5	Cerrado
	>5	6-10	-18	Cerrado
Subortodoxas	<5	6-10	0-5	Cerrado
	>5	6-10	-18	Cerrado
Templadas recalcitrantes	<3	30-45	-1 a -3	Plástico (0.025 mm), sin sellar
Tropical recalcitrantes	<1	30-45	12 a 20	Plástico (0.025 mm), sin sellar

En ensayos de procedencias y/o progenies deben considerarse dos aspectos (Sáenz y Plancarte, 1991):

- a. El costo de la recolección de semillas para un ensayo de progenies es mucho más elevado que una recolección a granel, debido al trabajo adicional que implica mantener la identidad exacta de la fuente parental. En el caso de nuestro país, la colecta se encarece si es de árboles superiores en rodales naturales, debido a la topografía accidentada, pocos caminos rurales y mal estado de éstos. En el caso de ensayos de pedigrí completo, habrá que añadir el costo de las cruces controladas. Por todo ello, es importante evitar errores en la colecta y beneficio de las semillas que pudieran ocasionar una disminución en la cantidad y calidad de las mismas.
- b. Mantener la identidad de la semilla, desde su recolecta hasta la emergencia de la planta en vivero, es un aspecto vital. En esto no se deben escatimar gastos para etiquetar los lotes adecuadamente.

## **5.2 Producción de planta en 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 (Figura 20). La producción de plántulas saludables se logra con prácticas adecuadas de manejo (sustratos adecuados, fertilización, deshierbes, 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 debe ser el mismo que se usa en las plantaciones operacionales, de lo contrario, los resultados del ensayo no serán completamente aplicables a éstas (Mesén, 1994a).



Figura 20. Producción de plántulas saludables y uniformes de *Pinus durangensis* Ehren y *Pinus engelmannii* Carr. en el vivero de los Silvicultores Unidos de Guachochi, Chihuahua.

Las técnicas utilizadas en la producción de planta en vivero para ensayos de progenies, usualmente son las mismas que las empleadas en la producción de planta para el establecimiento de plantaciones (con la salvedad de que hay un estricto control de la identidad). Es importante disminuir costos y que las plantas de un ensayo experimenten el mismo manejo que las destinadas a una plantación común; de lo contrario, no sabríamos si parte del desarrollo en campo de las primeras se debe a que fueron favorecidas en el vivero. También debe darse un cuidado intensivo a las plantas, incluyendo el uso de invernaderos, fertilizantes, control de plagas enfermedades y competencia, con la finalidad de acortar el tiempo de las pruebas y por consiguiente, obtener la mayor cantidad de información en el menor tiempo posible. En cualquiera de los dos casos, es fundamental evitar que el manejo en vivero induzca diferencias entre familias en el crecimiento. Lo que hace una gran diferencia entre los cuidados de las plantas para estos ensayos y una plantación común, es cuando en el primer caso, las plantas se hacen crecer bajo un diseño experimental en vivero, con la finalidad de realizar una evaluación temprana de las progenies (Sáenz y Plancarte, 1991).

Las pruebas de germinación son un paso obligado en todo vivero, puesto que la densidad de plántulas en la cama de crecimiento depende del porcentaje de germinación y de la densidad de siembra. En algunos casos, es conveniente aplicar estratificación a las semillas antes de la siembra para homogenizar la germinación (Figura 21).

La siembra puede hacerse en cajas de germinación para su trasplante posterior o directamente en recipientes individuales, debidamente identificados. No se recomienda la siembra al voleo, debido al riesgo 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 trasplante, se debe trabajar con un lote a la vez, y estos deben quedar debidamente identificados y separados en los recipientes (Mesén, 1994a).

En el caso de producción de planta a raíz desnuda, una densidad de 65 a 130 plántulas por  $m^2$  es aceptable, en cuyo caso es recomendable sembrar de 130 a 260 semillas viables por  $m^2$ . El sustrato debe ser ligeramente ácido, con un pH de 6 a 6.8, no se acostumbra la poda de raíz o de punta. Si se seleccionan para la siembra definitiva las plantas más saludables y vigorosas de cada familia, se reducen las diferencias dentro de familias atribuibles a efectos de vivero (Sáenz y Plancarte, 1991).

La producción en envase puede variar desde formas simples en viveros tradicionales hasta invernaderos modernos con ambientes completamente controlados. Cuando se utiliza envase, el punto clave para tener una producción de planta de calidad radica en lograr un adecuado desarrollo de la raíz, a pesar del reducido espacio que tiene ésta para crecer. Para ello, es fundamental encontrar un sustrato ideal, que retenga humedad, provea nutrientes, aireación y no deforme o dañe a la raíz.

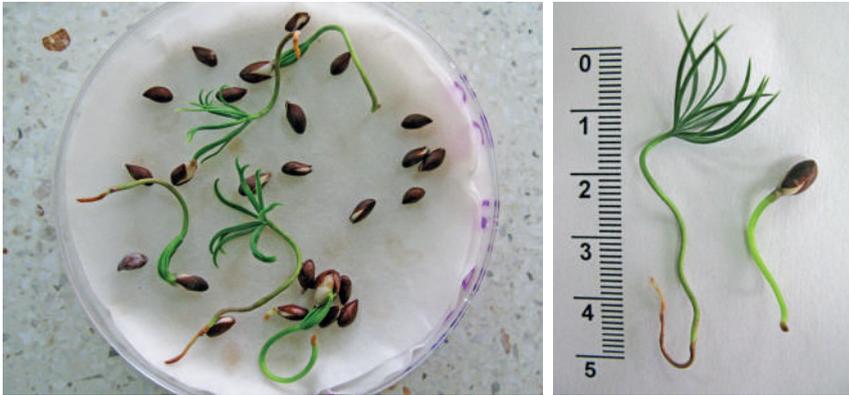


Figura 21. Evaluación de germinación de *Picea martinezii* T.F. Patterson después de la estratificación en frío para un ensayo de procedencias, se eliminaron las plántulas anormales.

Dos aspectos más en los que se debe poner especial atención son: (a) El control de plagas y enfermedades, las cuales se ven favorecidas por la elevada temperatura y humedad excesiva de los invernaderos, y (b) Evitar el abuso de fertilizantes, ya que los sustratos de textura ligera que usualmente se utilizan son malos amortiguadores.

Se deben producir suficientes plantas por procedencia, considerando las pérdidas en el vivero y en el campo. Si sobra material después de plantar las parcelas útiles y los bordes, además de realizar en el replante del experimento, se puede establecer en parcelas individuales identificadas por procedencia, que serán de utilidad para seleccionar 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 (Mesén, 1994a).

### 5.3 Selección temprana en vivero

En cuanto a selección, las tendencias modernas están enfocadas a reducir al máximo los períodos de ensayo. Esto ha conducido a realizar selecciones tempranas de progenies creciendo en un diseño experimental en invernadero, bajo condiciones óptimas para favorecer crecimiento y floración precoz, utilizando fitohormonas, fertilizantes y plaguicidas, entre otros. (Sáenz y Plancarte, 1991).

Es recomendable realizar las selecciones tempranas de progenies, ya que diferentes estudios han demostrado que las ganancias genéticas estimadas en edades jóvenes, están altamente correlacionadas con las ganancias obtenidas a la edad de los turnos estimados. Como por ejemplo para *Pinus ayacahuite* (Farfán *et al.*, 2002), donde los resultados del estudio mostraron que la selección temprana para altura y diámetro del árbol (3 años) fueron relativamente eficientes, considerando que el ciclo de mejoramiento genéticos es de 13 años cuando fue realizada la evaluación; entonces al reducir el periodo de evaluación se tendrían ahorros económicos importantes en los costos de mantenimiento y medición de los ensayos de campo.

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. Además el tamaño de la semilla no está necesariamente correlacionado con el comportamiento en el campo (Mesén, 1994a).

Se han buscado correlaciones entre una gran cantidad de variables de las plántulas y brinzales en invernadero con el comportamiento de las progenies en campo. Contrario a la suposición generalizada de que la altura es buen indicador, la variable que permitió predecir eficientemente el comportamiento posterior de las plántulas en campo fue el peso seco de la parte aérea (Van Buijtenen, 1986).

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 con crecimiento inicial más lento (tal vez pertenecen a una misma familia), mientras que una selección completamente aleatoria, puede llevar a la selección de plántulas suprimidas, defectuosas o enfermas, que posiblemente no sobrevivirán en el campo. La tendencia es por lo general, realizar una selección aleatoria pero con restricciones, desechando únicamente aquellas plántulas que obviamente tengan poca posibilidad de sobrevivir (Mesén, 1994a).

## 6 ENSAYO DE PROCEDENCIAS

El ensayo de procedencias es una herramienta esencial para estimar el grado de variación que existe dentro de una especie (Pedersen *et al.*, 1993). En él se prueban muchas fuentes de semilla de una especie promisoría. Para especies de distribución amplia, la selección de procedencias puede seguir las siguientes etapas o fases: muestreo de procedencias de rango amplio, muestreo de procedencias de rango restringido y fase de validación de procedencias.

### 6.1 Muestreo de procedencias de rango amplio

Al iniciar la primera etapa, frecuentemente se conoce muy poco sobre los patrones de variación de la especie. Por este motivo, la decisión sobre cuales procedencias incluir se hace con base en factores ambientales y geográficos de la distribución natural de la especie. Se sugiere incluir de diez a 30 procedencias, las cuales se evalúan durante 1/4 o 1/2 del ciclo de rotación.

Tal como se mencionó antes, se deben incluir procedencias del área donde la especie muestra una respuesta óptima, así como de ambientes extremos u ocurrencias insulares. Se deben también incluir muestras (procedencias) adicionales cuando existe variación fenotípica obvia e inusual.

En áreas grandes y homogéneas, se deben establecer límites artificiales para definir procedencias. Es recomendable usar como límites los caminos, ríos y otros aspectos relevantes y permanentes del paisaje. También puede ser útil dividir el área en una cuadrícula y tomar una muestra sistemática de cada cuadro o de cada cierto número fijo de cuadros. El muestreo sistemático puede revelar la dirección y la magnitud de posibles tendencias de variación existentes que no son observables en el campo (Pedersen *et al.*, 1993).

Generalmente se recomienda recolectar semilla de 25 a 30 árboles no emparentados por procedencia, para obtener una muestra representativa de la composición genética de la misma. El número de árboles recomendado por diferentes autores varía de 10 a 50 (Pedersen *et al.*, 1993).

Para evitar que la variación incluida en la muestra sea reducida como consecuencia de seleccionar árboles muy relacionados genéticamente (o de árboles que tengan una incidencia de autopolinización anormalmente alta), se recomienda que la distancia mínima entre árboles seleccionados en rodales naturales, sea de 100 a 300 m. En plantaciones, los árboles adyacentes generalmente no están emparentados debido a que la semilla se mezcla durante la recolección y procesamiento y, por lo tanto, no se necesita una distancia mínima entre árboles seleccionados (al menos por este motivo) (Pedersen *et al.*, 1993).

Se recomienda con frecuencia seleccionar árboles dominantes a codominantes "iguales" o "no inferiores al promedio" en rodales "promedio".

<sup>1</sup> Si es posible, se pueden incluir criterios "estándar" a nivel nacional para que las nuevas fuentes puedan ser comparadas con fuentes bien conocidas o reconocidas. Las razas locales de especies exóticas también se deben incluir, ya que a menudo tienen mejor respuesta que las nuevas introducciones (Pedersen *et al.*, 1993).

## **6.2 Muestreo de procedencias de rango restringido**

Para el muestreo de procedencias de rango restringido y en especial de especies en esta condición, se requiere muestrear el mayor número de procedencias y un tamaño de muestra dentro de la procedencia mayor de 30 árboles. Hay que recordar que estas poblaciones tienen problemas de reproducción por ser poblaciones pequeñas (Figura 22).

---

<sup>1</sup>Más información sobre los criterios para seleccionar árboles se puede encontrar en Willan (1980).



Figura 22. Población de *Pinus culminicola* Andresen & Beaman en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, una de las cuatro poblaciones en la Sierra Madre Oriental.

### **6.3 Fase de validación de procedencias**

Las diferentes fases de los ensayos de especies y procedencias frecuentemente se desarrollan en forma más o menos concurrente, de manera que los resultados puedan ser usados para establecer ensayos adicionales en la medida en que están disponibles.

### **6.4 Sitios experimentales**

Cada sitio debe ser lo más uniforme posible. Los sitios deben ser representativos del área de plantación para ayudar a la validez de los resultados de los experimentos (Pedersen *et al.*, 1993).

Los ensayos de campo cubren áreas grandes, por lo que inevitablemente se incluye variación sistemática en factores como suelo, microclima, topografía, aspecto y uso anterior, entre otros. El método más simple para evitar que las diferencias entre poblaciones se confundan con variación sistemática ambiental es mediante el bloqueo. El área experimental se divide en bloques de manera que cada uno corresponda a las subdivisiones ambientales más importantes, manteniendo al mismo tiempo homogeneidad dentro de cada bloque, (Figuras 23 y 24). En la mayoría de los diseños, los bloques son de tamaño similar, conteniendo

cada uno igual número de parcelas experimentales (Pedersen *et al.*, 1993).

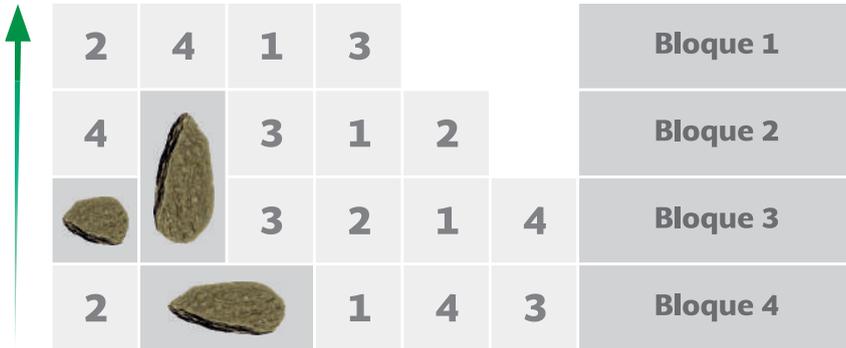


Figura 23. Ejemplo de distribución de bloques. El sitio varía sistemáticamente en la dirección de la flecha y existen algunos afloramientos rocosos (Burley y Wood, 1976).

El número de repeticiones debe ser "adecuado", teóricamente, la precisión de la comparación entre medias poblacionales es proporcional a la raíz cuadrada del número de repeticiones. Sin embargo, en la práctica, existe un factor importante que reduce la ganancia en precisión. Para cualquier tamaño de parcela y número de poblaciones, el aumento en el número de repeticiones significa un experimento más grande, y consecuentemente, una mayor probabilidad de encontrar heterogeneidad en el sitio. Es común establecer de tres a cuatro bloques, cada uno con hasta 25 parcelas (Pedersen *et al.*, 1993).

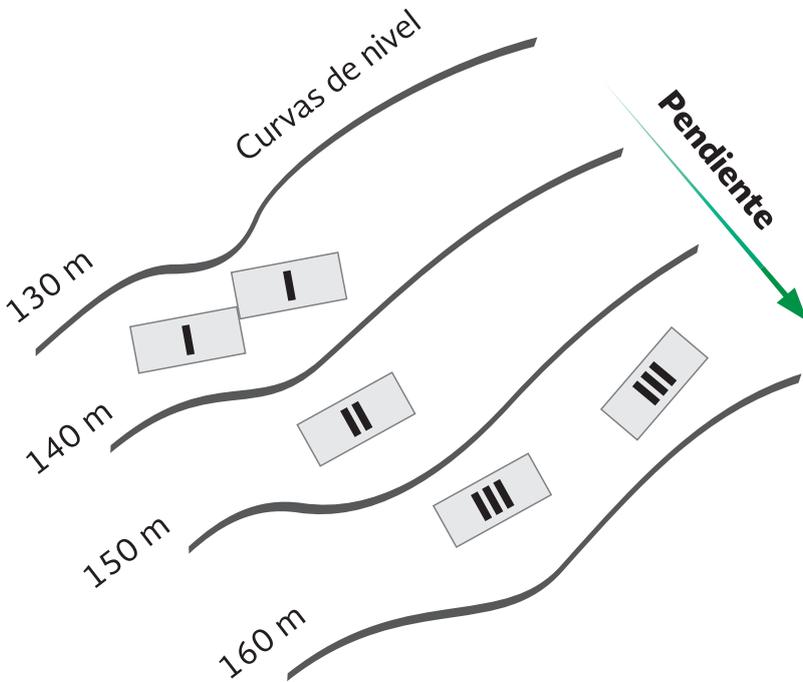


Figura 24. Ejemplo de distribución de bloques en las cimas de colinas (Burley y Wood, 1976).

La asignación aleatoria de cada especie o procedencia a las parcelas es la mejor forma de evitar sesgos en la estimación de las diferencias entre poblaciones (evitando que las parcelas de una población sean ubicadas solamente en sitios "buenos" o en sitios "malos"). Cuando aumenta el número de poblaciones, los diseños más simples se vuelven menos eficientes, debido a que la variación aleatoria o sistemática dentro de las repeticiones tiende a crecer. Este problema se enfrenta de dos maneras: (a) las parcelas se arreglan en bloques más pequeños (bloques incompletos) o (b) se reduce el tamaño de la parcela (Pedersen *et al.*, 1993).

### 6.5 Esquema para los ensayos de procedencias

El lugar donde se debe establecer un ensayo de procedencias debe ser un sitio representativo de una gran superficie o territorio con potencial para realizar plantaciones forestales. De esta manera, los resultados que se obtengan de un ensayo de este tipo, tienen aplicación en ese territorio.

Se ha señalado que el diseño en campo depende principalmente de la cantidad de procedencias a evaluar y de las condiciones del terreno. Por ejemplo, para el establecimiento de un ensayo, donde se tiene un sitio o terreno uniforme y se desea probar diez procedencias con ocho repeticiones y parcelas de 16 plantas cada una, se genera un total de 80 parcelas, con un total de 1,280 plantas de experimento, más las plantas de borde.

El arreglo en campo de estas 80 parcelas es totalmente aleatorio. En la Figura 25 se ilustra como ejemplo el lugar en que la procedencia “J” queda distribuida con sus ocho repeticiones.

<b>J1</b>	B1	H1	F1	C1	I1	D1	G1	E1	<b>J2</b>
D2	H2	E2	I2	A1	B2	E3	<b>J3</b>	A2	F2
<b>J4</b>	B3	C2	H3	C3	H4	I3	G2	B4	<b>J5</b>
C4	E4	A3	F3	A4	D3	D4	F4	H5	G3
I4	G4	F5	<b>J6</b>	C5	<b>J7</b>	B5	A5	E5	B6
G5	C6	E6	B7	A6	C7	F6	<b>J8</b>	D5	H6
G6	F7	H7	D6	I5	D7	B8	F8	G7	I6
I7	I8	E7	C8	D8	A7	G8	H8	E8	A8

A, B, C,..., J = procedencias  
1, 2, 3,..., 8 = repeticiones

Figura 25. Representación de aleatorización en un arreglo completamente al azar de un ensayo de diez procedencias con ocho repeticiones.

A su vez, cada parcela estaría compuesta por 16 plantas, las cuales podrían estar distribuidas en un cuadrado de cuatro filas y cuatro columnas y a la distancia que la especie acostumbre en cada región. En la Figura 26 se presenta la misma distribución aleatoria de las procedencias, pero ahora se representa con una “x” la distribución de las plantas de la procedencia “J” dentro de cada parcela, el resto de las procedencias estaría en una distribución semejante y podría representarse cada procedencia con un símbolo diferente.

En campo, los diseños experimentales más frecuentes son el arreglo en bloques completos al azar, debido a que la mayoría de los terrenos forestales tiene algún factor que afecta en forma diferente el crecimiento de los árboles. El caso más común que se puede considerar

es la pendiente, de manera que las plantas que crecen en la parte superior del terreno tienen condiciones diferentes a las que crecen en la parte baja del mismo, pero también podría ser algún otro factor como un área quemada, o con una condición de suelo diferente. En cualquiera de estos casos, habrá que establecer bloques y dentro de cada uno de ellos distribuir de manera aleatoria las procedencias. Por ejemplo, para el establecimiento de un ensayo, donde se desea probar diez procedencias con ocho bloques (repeticiones) y parcelas de 16 plantas cada una, se genera un total de 80 parcelas, con un total de 1,280 plantas de experimento, más las plantas de borde (Figura 26).

El arreglo en campo de estas 80 parcelas consiste en distribuir de manera aleatoria las procedencias dentro de cada bloque, es decir, para el ejemplo que se trata de ilustrar, distribuir las diez procedencias en forma aleatoria en cada uno de los ocho bloques, de manera que si las condiciones de un bloque son buenas, le afectan de manera positiva a todas las procedencias y si son malas, también le afectan a todas las procedencias, con ello se pretende eliminar un efecto que pudiera malinterpretar los resultados.

En la Figura 27 se presenta el arreglo de la distribución de las diez procedencias, allí se puede observar que ninguna procedencia se repite dentro del bloque, en particular se marca la procedencia “J” para visualizar su distribución en cada bloque. El arreglo o diseño en campo es el que determinará el modelo estadístico a emplear para los análisis de datos.

En la Figura 28 se presenta la misma distribución aleatoria de las procedencias en el arreglo de bloques completos al azar, pero ahora se representa con una “x” la distribución de las plantas de la procedencia “J” dentro de cada parcela, el resto de las procedencias estaría en una distribución semejante y para el caso podría representarse cada procedencia con un símbolo diferente.

XXXX XXXX XXXX XXXX	B1	H1	F1	C1	I1	D1	G1	E1	XXXX XXXX XXXX XXXX
D2	H2	E2	I2	A1	B2	E3	XXXX XXXX XXXX XXXX	A2	F2
XXXX XXXX XXXX XXXX	B3	C2	H3	C3	H4	I3	G2	B4	XXXX XXXX XXXX XXXX
C4	E4	A3	F3	A4	D3	D4	F4	H5	G3
I4	G4	F5	XXXX XXXX XXXX XXXX	C5	XXXX XXXX XXXX XXXX	B5	A5	E5	B6
G5	C6	E6	B7	A6	C7	F6	XXXX XXXX XXXX XXXX	D5	H6
G6	F7	H7	D6	I5	D7	B8	F8	G7	I6
I7	I8	E7	C8	D8	A7	G8	H8	E8	A8

A, B, C, ..., J = procedencias  
1, 2, 3, ..., 8 = repeticiones

Figura 26. Representación de plantas dentro de las parcelas de una procedencia de un ensayo de diez procedencias, con ocho repeticiones en un diseño completamente al azar.

D	G	A	C	H	J	B	E	I	F	b-I
A	C	J	G	D	H	B	I	E	F	b-II
D	A	B	C	F	I	H	E	J	G	b-III
C	E	G	A	D	B	J	I	F	H	b-IV
G	C	A	D	B	H	F	J	E	I	b-V
B	J	E	F	C	D	I	H	G	A	b-VI
E	C	F	J	B	G	I	A	D	H	b-VII
A	H	B	D	G	C	J	F	I	E	b-VIII

A, B, C, ..., J = procedencias

b-I, b-II, b-III, ..., b-VIII = bloques

Figura 27. Representación de aleatorización en un arreglo de bloques completos al azar, de un ensayo de diez procedencias con ocho repeticiones.

Una vez establecido en campo el ensayo de procedencias, se debe tener un registro del mismo, de preferencia en más de un lugar. Se recomienda evaluar al año la supervivencia, al tercer año incluir la variable altura de las plantas y a partir del quinto año incluir evaluación del diámetro en la base. Sin embargo, esta situación no debe generalizarse, ya que dependerá de la velocidad de crecimiento de cada especie, así como del objetivo e interés particular que se tenga sobre dicho ensayo.

## 6.6 Análisis estadístico

Posterior a la evaluación, procede el análisis de los datos de cada una de las evaluaciones. Con los sistemas de cómputo, la forma más sencilla de registrar los datos de campo es a través de una hoja de cálculo electrónica como Excel, pero también se puede recurrir a otros sistemas o software. En los siguientes apartados se presenta en una forma sencilla el procedimiento para realizar dichos análisis.

D	G	A	C	H	XXXX XXXX XXXX XXXX	B	E	I	F	b-I
A	C	XXXX XXXX XXXX XXXX	G	D	H	B	I	E	F	b-II
D	A	B	C	F	I	H	E	XXXX XXXX XXXX XXXX	G	b-III
C	E	G	A	D	B	XXXX XXXX XXXX XXXX	I	F	H	b-IV
G	C	A	D	B	H	F	XXXX XXXX XXXX XXXX	E	I	b-I
B	XXXX XXXX XXXX XXXX	E	F	C	D	I	H	G	A	b-II
E	C	F	XXXX XXXX XXXX XXXX	B	G	I	A	D	H	b-III
A	H	B	D	G	C	XXXX XXXX XXXX XXXX	F	I	E	b-I

A, B, C,..., J = procedencias  
 b-I, b-II, b-III,..., b-VIII = bloques

Figura 28. Representación de plantas dentro de las parcelas de una procedencia de un ensayo de diez procedencias con ocho repeticiones en un diseño de bloques completos al azar.

En la Figura 29 se presenta una forma en que se podría registrar en una hoja de Excel la base de datos, considerando datos a nivel de planta.

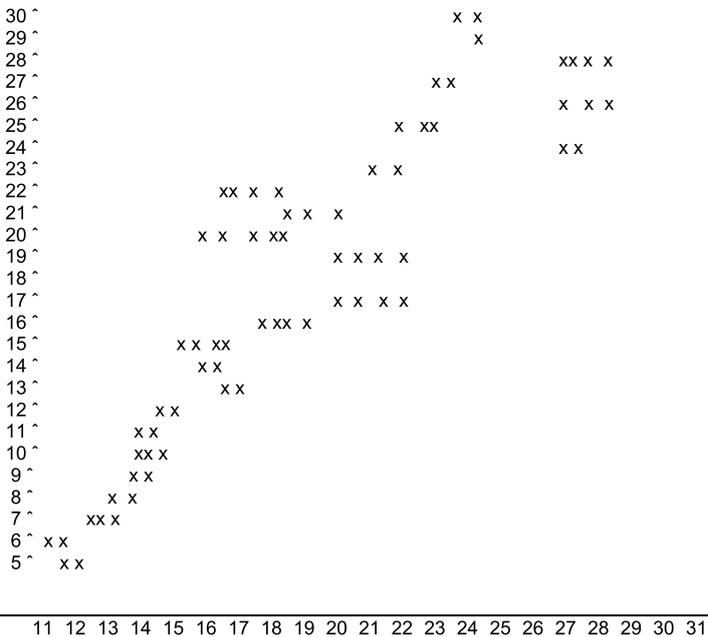
Observación	Procedencia	Bloque o repetición	Número de planta	Supervivencia	Altura (cm)	Diámetro a la base (mm)
1	A	1	1	1	85	74
2	A	1	2	1	88	76
3	A	1	3	1	76	70
4	A	1	4	1	80	73
5	A	1	5	1	78	75
6	A	1	6	0	.	.
7	A	1	7	1	84	70
8	A	1	8	1	68	50
9	A	1	9	1	75	66
10	A	1	10	1	89	90
11	A	1	11	1	78	65
12	A	1	12	1	69	53
13	A	1	13	1	84	78
14	A	1	14	1	74	70
15	A	1	15	1	78	73
16	A	1	16	1	80	79
17	B	1	1	1	77	65
18	B	1	2	1	65	53
19	B	1	3	0	.	.
20	B	1	4	1	64	55

Figura 29. Forma de registro en una hoja de cálculo electrónica (Excel) para datos a nivel de individuo.

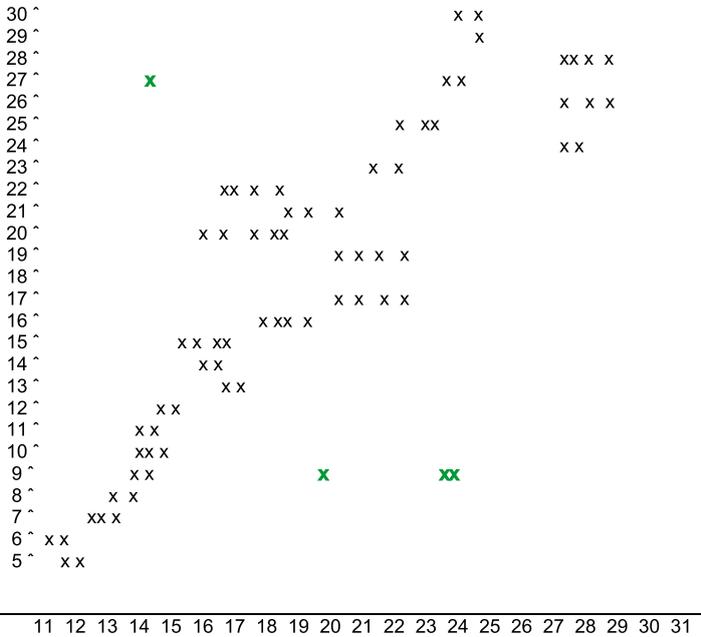
### 6.6.1 Revisión, cálculo de promedios y análisis de datos

Antes de proceder al análisis estadístico, es necesario hacer una revisión de la base de datos, para lo cual es conveniente identificar los valores mínimos y máximos y asegurarse de que dichos valores son ciertos, ya que con frecuencia se cometen errores en la captura o registro de datos en las computadoras.

También se puede recurrir a elaborar gráficas de dispersión de pares de variables, por ejemplo altura y diámetro. En dichas gráficas es posible visualizar datos que no siguen la tendencia general de la distribución de los puntos y que por lo tanto, pudieran ser datos no reales, o bien que siendo datos reales, son datos que no son representativos del fenómeno de estudio (Figura 30). Por lo tanto, dichos datos deben identificarse, para ser eliminados de la base de datos.



a) Datos con una buena distribución de puntos.



b) Datos con cuatro puntos no representativos.

Figura 30. Distribución de puntos de dos variables.

Una vez que se ha verificado la base de datos, se procede a obtener valores promedio por parcela. En el ejemplo que se ha indicado anteriormente, de un ensayo de diez procedencias con ocho repeticiones o bloques, y con 16 plantas por parcela, que genera un total de 1,280 plantas, al obtener el promedio por parcela se generará una base de datos de 80 observaciones, que corresponde a las 80 parcelas. Es decir, se obtiene un promedio de parcela, esto es de cada 16 plantas, en caso de que todas las plantas estén vivas, y en caso de que algunas plantas estén muertas, se genera el promedio de las plantas vivas, para el caso de variables como altura y diámetro. En el caso de la variable supervivencia, se obtiene el porcentaje de plantas vivas por parcela (Figura 31).

Observación	Procedencia	Bloque o repetición	Superficie	Altura (cm)	Diámetro a la base (mm)
1	A	1	100	85	74
2	A	2	100	88	76
3	A	3	100	76	70
4	A	4	100	80	73
5	A	5	100	78	75
6	A	6	94	77	69
7	A	7	100	84	70
8	A	8	100	68	50
9	B	1	100	75	66
10	B	2	100	89	90
11	B	3	100	78	65
12	B	4	100	69	53
13	B	5	100	84	78
14	B	6	100	74	70
15	B	7	100	78	73

Figura 31. Forma de registro en una hoja de cálculo electrónica (Excel) para datos a nivel de parcela.

### 6.6.2 Modelo estadístico

El modelo estadístico es una representación matemática que incluye un elemento de error aleatorio, el cual sirve para realizar los análisis estadísticos correspondientes al diseño en que se estableció el experimento en campo, en el caso que nos ocupa el ensayo de procedencias.

Para un diseño completamente al azar, el modelo estadístico es:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + \epsilon_{ij}$$

En donde:  $Y_{ij}$  es el valor de la observación de la  $i$ -ésima procedencia de la  $j$ -ésima repetición;  $\mu$  es el efecto de la media general;  $P_i$  es el efecto de la  $i$ -ésima procedencia;  $\epsilon_{ij}$  es el efecto de la interacción entre la  $i$ -ésima procedencia de la  $j$ -ésima repetición (error experimental).

Por otra parte, para un diseño de bloques completos al azar, el modelo estadístico es:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + P_j + \epsilon_{ij}$$

En donde:  $Y_{ij}$  es el valor de la observación del  $i$ -ésimo bloque de la  $j$ -ésima procedencia;  $\mu$  es el efecto de la media general;  $\beta_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo bloque;  $P_j$  es el efecto de la  $j$ -ésima procedencia;  $\epsilon_{ij}$  es el efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo bloque de la  $j$ -ésima procedencia (error experimental).

Considerando el ejemplo anteriormente señalado de diez procedencias con ocho bloques (repeticiones), para cualquiera de los dos diseños se tendría la base de datos de 80 observaciones, las cuales son motivo del análisis estadístico, de acuerdo con el modelo experimental que se tenga en campo.

En el Cuadro 3 se presenta la forma en que a través del programa o software Statistical Analysis System (SAS) se realiza el análisis de varianza para cada uno de los diseños, el diseño completamente al azar y el diseño de bloques completos al azar. La palabra reservada “data” se refiere a una tarea SAS; la palabra reservada “input” indica el orden en que se registran o capturan las variables de la base de datos, en este caso “proce” se refiere a la procedencia, se agrega el símbolo “\$” para indicar que se trata de una variable alfanumérica, después “rep” se refiere al número de repetición o bloque, “d” se refiere a la variable diámetro y “h” se refiere a la variable altura; la palabra reservada “cards” indica que enseguida se anotarán los datos.

### 6.6.3 Verificación de los supuestos del modelo y correcciones

Los supuestos del análisis de varianza son:

- Debe existir independencia de observaciones, también se dice que los grupos o tratamientos deben ser independientes entre sí.
- La distribución de los residuos debe ser normal.
- La varianza de cada una de las distribuciones o poblaciones debe ser similar (homocedasticidad).

Cuadro 3. Representación de la forma en que, a través del software SAS se realiza el análisis de varianza para el diseño completamente al azar y el diseño de bloques completos al azar.

	Diseño completamente al azar (DCA)	Diseño de bloques completos al azar (DBCA)
Modelo estadístico	$Y_{ij} = \mu + \pi_i + \epsilon_{ij}$	$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \pi_j + \epsilon_{ij}$
Forma en que se inicia el programa para registro de datos en SAS.	<b>data</b> a; <b>input</b> proce \$ rep d h; <b>cards</b> ;	<b>data</b> a; <b>input</b> proce \$ rep d h; <b>cards</b> ;
Forma de registro de la base de datos en SAS.	A 1 6 12 A 2 7 13 A 3 8 11 A 4 10 15 A 5 12 16 A 6 11 15 A 7 14 18 A 8 15 17 B 1 22 19 B 2 20 18 B 3 21 22 B 4 23 26 B 5 23 27 B 6 25 28 B 7 30 30 B 8 30 32 ... (Hasta completar el total de observaciones. Para este ejemplo 80).	A 1 6 12 A 2 7 13 A 3 8 11 A 4 10 15 A 5 12 16 A 6 11 15 A 7 14 18 A 8 15 17 B 1 22 19 B 2 20 18 B 3 21 22 B 4 23 26 B 5 23 27 B 6 25 28 B 7 30 30 B 8 30 32 ... (Hasta completar el total de observaciones. Para este ejemplo 80).

<p>Programa en SAS para el análisis de varianza y la prueba de separación de medias</p>	<p><b>procanova;</b> <b>classproce rep;</b> <b>model d h = proce;</b> <b>meansproce/tukey;</b> <b>run;</b></p>	<p><b>procanova;</b> <b>classproce rep;</b> <b>model d h = proce;</b> <b>meansproce/tukey;</b> <b>run;</b></p>
---	--	--

Los especialistas en estadística señalan que se debe corroborar estos supuestos y en caso de no cumplirse hacer las transformaciones o correcciones correspondientes, de manera que los resultados del análisis de varianza sean válidos.

En los ensayos de procedencias, el primer supuesto se cumple al momento de distribuir de forma aleatoria las procedencias, ya sea en el diseño completamente al azar, como en el diseño de bloques completos al azar.

Para el segundo supuesto, en la práctica, esto implica un problema sólo si se considera que las poblaciones tienen distribuciones marcadamente asimétricas y en direcciones opuestas. En general, la falta de normalidad de los residuos no tiene gran efecto en el nivel de significancia de la prueba de “F” del análisis de varianza (se dice que la prueba F es estadísticamente robusta). Por lo general se usa la variable respuesta en vez de los residuos. Se verifica la normalidad haciendo gráficos y verificando que la distribución de la variable siga una tendencia semejante a la distribución de una campana llamada distribución normal. Las pruebas estadísticas que se emplean para verificar este supuesto, cuando así se desea, son la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de Shapiro-Wilk.

El tercer supuesto es conveniente probarlo cuando se sospeche que hay diferente variabilidad entre las procedencias, lo cual podría deberse a varias razones, por ejemplo: por daños en alguna parte del experimento, por uso del material experimental menos homogéneo en algunas repeticiones, o por no tener cuidado en el control durante la ejecución o desarrollo del experimento, entre otras causas.

De sospecharse esta situación, la forma de verificar este supuesto es recurrir a alguna de las pruebas que marca la literatura, una de las más sencillas es la prueba de Bartlett.

Es conveniente señalar que la supervivencia expresada en porcentaje es una variable que tradicionalmente se recomienda transformar para que cumpla con los supuestos principalmente de normalidad y algunas veces de homocedasticidad. Una de las formas de transformar esta variable es dividir entre 100 el porcentaje de la supervivencia, sacarle la raíz cuadrada y obtener el arco seno (inversa de seno), en una fórmula sería:

Supervivencia transformada =  $\arcsen(X/100)^{0.5}$

En donde:

X = supervivencia en porcentaje

$\arcsen$  = arco seno = inversa de la función seno

Una vez que se han verificado los supuestos, o que al menos se considera que se cumplen, se procede a realizar los análisis de varianza. Para ello existen varias alternativas, desde los procedimientos totalmente manuales, siguiendo una serie de fórmulas, hasta el uso de software como es el SAS, pasando por el caso de las hojas de cálculo electrónica (Excel).

En el Cuadro 3 se presenta un programa en el software SAS donde se indica la forma de solicitar el análisis de varianza en el diseño completamente al azar y en el diseño de bloques completos al azar. Las palabras reservadas “procanova” se refieren a la indicación de realizar el procedimiento de un análisis de varianza; la palabra reservada “class” sirve para indicar de toda la base de datos indicada en el “input” qué columnas no son variables de estudio, sino fuentes de clasificación, en este caso “proce” que se refiere a las procedencias y “rep” que se refiere a las repeticiones o bloques; la palabra reservada “model” indica la forma del modelo estadístico, se indica la o las variables de respuesta seguido del símbolo igual y enseguida alguna(s) fuente de variación indicada en la clasificación (“class”), para el ejemplo las variables respuesta son “d” y “h” (con estas letras se denominó al diámetro y a la altura, respectivamente), para el diseño completamente al azar, la fuente de variación es únicamente procedencias (denominado con la palabra “proce”) y para el caso del diseño bloques completos al azar, las fuentes de variación son las procedencias y los bloques (denominados con las palabras “proce” y “rep”, respectivamente).

#### **6.6.4 Pruebas de diferencias**

Si los resultados del análisis de varianza muestran que existen diferencias significativas entre procedencias, entonces se realiza la prueba Tukey o alguna otra prueba de separación de medias como la prueba Duncan o la prueba Scheffe, las cuales permiten separar y distinguir a la o las procedencias con mayor o menor valor. En el Cuadro 3 la palabra reservada “means” indica que se realizará la prueba de separación de medias; “proce” indica que utilizando la fuente de variación procedencias y la palabra reservada “tukey” indica que se realizará dicha prueba de separación de medias a través de la prueba o procedimiento Tukey.

#### **6.6.5 Utilización e interpretación de los resultados de los ensayos**

Cuando en el análisis de varianza se obtienen diferencias estadísticas en alguna variable, significa que al menos una procedencia es diferente para esa variable. Por lo que la prueba de separación de medias, por ejemplo la prueba Tukey, indicará cual o cuales procedencias son estadísticamente diferentes entre ellas.

Un ejemplo de este tipo de resultados se presenta en el Cuadro 4. En este caso, la interpretación es que las procedencias con letra diferente, son estadísticamente diferentes. Así para el ejemplo, las procedencias El Potrillo, La Cerca y Jalisquillo, no son diferentes estadísticamente entre ellas. A su vez las procedencias El Potrillo y La Cerca son de mayor crecimiento y estadísticamente diferentes al resto de las procedencias (excepto Jalisquillo), que en la columna de la agrupación Tukey no tienen letra “A”.

De esta manera, la procedencia a recomendar es la de mayor valor en crecimiento (EL Potrillo), pero se debe tener presente que dado que no siempre existe suficiente semilla, las procedencias que quedaron agrupadas con la letra “A” (El Potrillo, La Cerca y Jalisquillo) pueden recomendarse y emplearse, dado que entre ellas no existe diferencia estadística.

Cuadro 4. Ejemplo de un resultado de la prueba de separación de medias.

Procedencia	Media de altura de planta (m)	n	Agrupación Tukey
El Potrillo	5.44	12	A
La Cerca	5.36	12	A
Jalisquillo	5.25	12	A B
Topate	5.14	12	B
El Cuatro	4.80	12	B C
El Machete	4.55	12	C
La Camelia	4.02	12	D

## 7 ENSAYO DE PROGENIES

### 7.1 Diseños de cruzamiento y modelos estadísticos

Los diseños de cruzamiento o apareamiento constituyen un aspecto central de las pruebas de progenie, ya que permiten evaluar a los progenitores, estimar parámetros genéticos y generar material disponible para etapas más avanzadas de un programa de mejoramiento (White *et al.*, 2007).

Existen dos tipos generales de apareamiento:

- a. De pedigrí incompleto. Se conoce únicamente la fuente materna; la progenie resultante es de medios hermanos. Los diseños comunes son: polinización libre y polimezcla.
- b. De pedigrí completo. Se conoce la fuente materna y paterna; la progenie resultante es de hermanos completos. Los diseños básicos son anidado, factorial y dialélico.

A continuación se describen los principales diseños de apareamiento. Es conveniente aclarar que cuando se menciona a progenitores paternos o masculinos, o bien progenitores maternos o femeninos, en el caso de especies monoicas, se está haciendo referencia a un sexo asignado; es decir, que en la cruce controlada se utilizara únicamente las flores masculinas o las femeninas, aunque ambas están presentes en el mismo individuo.

### **7.1.1 Polinización libre**

Se permite la cruce completamente libre y se recolecta la semilla de los árboles previamente seleccionados. Estos pueden ser árboles superiores de rodales naturales o plantaciones, o bien árboles de huertos semilleros. Es la forma más fácil y de menor costo para desarrollar un ensayo de progenies.

Con este diseño se puede estimar la varianza aditiva y la aptitud combinatoria general para la única fuente conocida: la materna. Tiene una gran aplicación en las etapas iniciales del mejoramiento (Zobel y Talbert, 1988). Su principal desventaja es que la ganancia genética es baja al no haber selección de la fuente paterna (White *et al.*, 2007). Otro inconveniente es que puede haber cierto nivel de autocruzamiento, además de que las fuentes paternas no tienen la misma probabilidad de cruzarse con cada hembra, particularmente si se trata de árboles en rodales naturales (Sáenz y Plancarte, 1991).

### **7.1.2 Polimezcla**

Cada progenitor femenino se cruza con una mezcla de polen proveniente de varios progenitores masculinos. Es un diseño muy semejante al anterior que permite estimar los mismos parámetros. Su ventaja consiste en que se puede eliminar la posibilidad de autocruza, se conoce la calidad promedio de los progenitores masculinos y cada uno de estos tiene la misma probabilidad de cruzamiento con los femeninos (Zobel y Talbert, 1988; White *et al.*, 2007).

### **7.1.3 Anidado o jerárquico**

Es también conocido como North Carolina I en referencia a su uso en la universidad de ese estado. En este diseño, cada progenitor paterno se cruza con un grupo distinto de progenitores maternos. La progenie resultante es de pequeñas familias de hermanos completos, que simultáneamente forman familias grandes de medios hermanos, sólo respecto a la fuente paterna (Zobel y Talbert, 1988).

Este diseño permite estimar para las fuentes paternas, las varianzas genéticas aditiva y no aditiva, la heredabilidad en sentido amplio y estricto, y la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE). La principal desventaja de este diseño es que la aptitud combinatoria general no puede ser estimada para las fuentes maternas, ya que estas se utilizan en una sola cruce. Puede ser recomendable si se utiliza como diseño complementario a uno de policruza (Van Buijtenen y Bridgwater, 1986; Zobel y Talbert, 1988).

#### **7.1.4 Factorial**

También conocido como probador o North Carolina II. Un grupo de progenitores paternos se cruza en todas combinaciones con un grupo de progenitores maternos, es un diseño muy útil, puesto que permite estimar los valores de ACG y ACE, para todos los individuos de la prueba (Zobel y Talbert, 1988).

Una desventaja de este diseño es el elevado número de familias emparentadas que resultan en la siguiente generación. Este problema se puede disminuir dividiendo la población bajo prueba en pequeños grupos de progenitores paternos y maternos, realizando todas las cruzas posibles dentro de cada grupo; a esto se le llama factorial desconectado (Van Buijtenen, 1986; Van Buijtenen y Bridgwater, 1986; Zobel y Talbert, 1988).

#### **7.1.5 Dialélico**

Consiste en que cada progenitor, funcionando simultáneamente como paterno y materno, se cruza con todos los demás en cualquier combinación, generalmente excluyendo la autocruza. Es el diseño más completo que genera la mayor cantidad de información. Además permite estimar la aptitud combinatoria general y específica de todos los progenitores, las varianzas aditiva y no aditiva, además de producir el máximo número de familias no emparentadas para futuras selecciones (Van Buijtenen, 1986; Zobel y Talbert, 1988).

Parece el diseño ideal, sin embargo su principal desventaja radica en el gran número de cruzas requeridas (el número de progenitores al cuadrado), lo que lo hace muy costoso, e incluso impracticable por falta de un número suficiente de flores femeninas o estróbilos en cada individuo. No es aplicable en especies dioicas, debido al requisito de los dos sexos en la misma planta (Zobel y Talbert, 1988).

Una solución a estos problemas es no realizar todas las cruzas posibles. Por ejemplo, el diseño mitad-dialélico, utiliza solo la mitad de las cruzas posibles, eliminando las cruzas recíprocas. Una modificación todavía más económica de este último diseño, es el medio-dialélico desconectado, en el que la cruce se realiza por grupos pequeños, evitando las recíprocas; además, permite estimar razonablemente la ACG y ACE (Zobel y Talbert, 1988).

## 7.2 Diseño experimental

El objetivo básico de los diseños experimentales es proveer un estimado preciso de las diferencias genéticas entre las procedencias o progenies, tratando de minimizar los efectos de la variación ambiental dentro del sitio experimental (ej. variaciones en drenaje, fertilidad, etc.). 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 (Mesén, 1994a).

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 y/o progenies se confundan con las diferencias ambientales dentro del sitio. Un bloque es un conjunto de parcelas de procedencias o progenies 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 parcelas de un bloque sean el resultado de variaciones en la constitución genética de las procedencias o familias, y no de las variaciones ambientales.

Típicamente, los sitios experimentales disponibles para la 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 (Mesén, 1994a).

Entre los diseños de bloques completos al azar (BCA), el área donde se plantará el experimento se divide en bloques de área igual y cada procedencia o familia está representada una vez en cada bloque por parcela de uno o varios árboles. El número mínimo de bloques que se requiere para poder estimar la variación residual es mayor a diez. La ubicación de las progenies en cada bloque debe hacerse en forma aleatoria (Mesén, 1994a).

Frecuentemente, la variación ambiental dentro del sitio toma la forma de gradientes ambientales, por ejemplo de pendiente. Cuando la variación se da en parches, por ejemplo áreas que varían en fertilidad y drenaje, los bloques se deben ubicar de tal manera que dichas áreas contengan un bloque completo, aunque en la práctica esto puede ser difícil de realizar con precisión.

Se busca uniformidad dentro de los bloques. La uniformidad entre los 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, o caminos antiguos. Sin embargo, se debe procurar que el experimento sea lo más compacto posible (Mesén, 1994a; Vargas y López 2004).

Dentro de los diseños de bloques, se han utilizado 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 (Mesén, 1994a).

### **7.2.1 Número de localidades**

Depende de la magnitud de la interacción genotipo x ambiente y del tipo de árbol que se desea desarrollar, que puede ser con adaptación de rango amplio o estrecho. Si la interacción genotipo x medio ambiente se presume como no significativa, basta ensayar en un solo sitio. En cambio, si la interacción se predice significativa y elevada, hay dos posibilidades: (a) ensayar pocos árboles en muchos sitios, si se desea un árbol de amplio espectro de adaptación, o (b) ensayar muchos árboles en pocos sitios, si se desea árboles adaptados a sitios específicos. De cualquier forma, es recomendable ensayar en más de una localidad, con el fin de separar la varianza debida a la interacción familia x localidad, para no sobreestimar la heredabilidad por familia (White *et al.*, 2007).

### **7.2.2 Tamaño de la prueba y del bloque**

El tamaño de la prueba en sí mismo no es relevante, pero sí lo es el tamaño del bloque. Entre más pequeño sea, es mejor para mantener la uniformidad del terreno dentro del bloque. Se sugieren bloques de 0.1 a 0.2 ha. El número de bloques depende de la precisión deseada (a más bloques, mayor precisión), y del tamaño de la parcela (entre más grande es la parcela, es más difícil tener muchos bloques, puesto que al aumentar el número de las parcelas, el tamaño de la prueba aumenta excesivamente).

Una prueba típica tiene aproximadamente 50 familias, que a un espaciamiento de 3 x 3 m representa 450 m<sup>2</sup> plantados en parcelas de un árbol, si se realizarán pruebas de parcelas de cuatro árboles, el tamaño del bloque a 1,800 m<sup>2</sup>. Si se realizan en el primer arreglo, 20

bloques o cinco bloques en la segunda opción, serán un experimento de 0.9 ha. Si se considera una o dos hileras de borde (ver más adelante) se tendría un experimento de 1 ha aproximadamente. Se ha probado que un espaciamiento de 3 x 3 m es adecuado en estas pruebas para probar un aclareo temprano, pero similar a los realizados comercialmente.

### **7.2.3 Número de familias**

El número de familias que se pueden incluir en una prueba depende de las ganancias genéticas que se quieran obtener y a veces estará limitado por el tamaño del bloque y la parcela. Hay una relación inversamente proporcional entre número de familias y tamaño de parcela, si se desea mantener constante el tamaño del bloque (que es lo recomendable). Al menos 40 familias deben incluirse en una prueba, pero es recomendable fijarse en evaluar 50 o más familias.

### **7.2.4 Número de bloques**

Para esto tampoco hay reglas, pero un tamaño chico de parcelas debe compensarse con más bloques si se quiere conservar la precisión. A manera de ejemplo y como se realizaba anteriormente, seis bloques con cuatro árboles por parcela son insuficientes, mientras que diez bloques y diez árboles por parcela son más de los necesarios (Sáenz y Plancarte, 1991). Ahora los bloques de un individuo por parcela repetido 20 veces se considera adecuado para la estimación de parámetro genético (Vargas y López, 2004).

### **7.2.5 Número de árboles por parcela**

Las parcelas de un solo árbol son estadísticamente aceptables y más eficientes, pero difíciles de establecer y mantener. Además, es más difícil hacer la selección de mejores individuos dentro de mejores familias, pero se puede subsanar haciendo ajuste por el efecto de los bloques, esto es, ajustar los datos por la calidad de la repetición. Parcelas cuadradas pequeñas de cuatro a seis árboles y un número suficiente de bloques, dan una precisión aceptable y son fáciles de manejar. Este tipo de arreglo es más común hacerlo cuando se evalúan especies o procedencias. Otra opción son las parcelas discontinuas de varios individuos, en las que los individuos están separados y ubicados aleatoriamente dentro del bloque (Zobel y Talbert, 1988).

### 7.2.6 Espaciamiento inicial

Los espaciamientos más comunes son los mismos que se utilizan para plantaciones comerciales: 2.0 x 2.0 m, 2.5 x 2.5, 2.5 x 3.0 o 3 x 3 m. Éste último más recomendable. Después del aclareo genético, para pasar del ensayo de progenies al huerto semillero, el espaciamiento final podría ser de 6.0 x 6.0 m. aproximadamente (Figura 32).



Figura 32. Espaciamiento entre progenies en un ensayo de *Pinus greggii* Engelm. en Arteaga, Coahuila (arriba) y de *Pinus patula* Schl. & Cham en Chignahuapan, Puebla (abajo).

### 7.2.7 Ubicación de bloques

Un terreno plano y relativamente uniforme, como los que se utilizan en la experimentación agrícola, es casi imposible obtener con vocación forestal. La forma y ubicación de los bloques y de las parcelas dentro de los bloques, es una de las decisiones más trascendentales del investigador (Figura 33). Su éxito depende de una cuidadosa observación del sitio y de la experiencia del investigador. Idealmente sería recomendable establecer previo al ensayo, una plantación agrícola a fin de medir la variación del terreno con base a la altura de las plantas u otro parámetro que dependa principalmente del sitio, y con base en esto, decidir la ubicación y forma de los bloques. Esto no siempre es posible, sobre todo porque implica retrasar el inicio del experimento un año (Sáenz y Plancarte, 1991; Vargas y López, 2004).

Sin embargo, es posible dar algunas sugerencias básicas:

- a. Pendiente. Es una de las fuentes naturales de variación que más comúnmente se controlan bloqueando. Los bloques deben ser rectangulares, siguiendo el contorno altitudinal del suelo. Esto, con el fin de tener la mayor homogeneidad posible dentro de bloques y dejar la mayor cantidad posible de variación entre bloques. Para lograrlo, se requiere que cada parcela registre la

máxima variación existente dentro del bloque, lo que permitirá una mayor homogeneidad entre parcelas dentro de bloques. Por ello se acostumbra poner parcelas en el sentido de la pendiente y perpendiculares al sentido del bloque. Siguiendo el mismo criterio, si se hicieron surcos en el terreno, las parcelas deben ser perpendiculares a los surcos y los bloques paralelos a éstos.

- b. Desniveles bruscos en el terreno, manchones de barro. Es preferible que irregularidades del terreno no se localicen dentro de los bloques, aun cuando se requiera que queden separados. También se puede modificar la forma de algunos bloques, si esto evita irregularidades en los mismos. Otra alternativa es incluir las irregularidades, pero procurando establecer en ellas árboles de “relleno” que no sean medidos.
- c. Distintos tipos de suelo. Cuando se presentan, se debe tratar que cada bloque quede en un solo tipo de suelo, evitando que haya dos tipos de suelo en un bloque. También en este caso, una solución es separar los bloques. Otras condiciones como pedregosidad del terreno y gradiente de retención de humedad se controlan de una manera similar a lo expuesto con anterioridad.

### **7.2.8 Efecto de orilla**

Los árboles que se encuentran en las parcelas de las orillas del experimento, pueden verse favorecidos por una mayor insolación o desfavorecidos por exceso de viento, con respecto a los árboles de las parcelas anteriores. A este fenómeno se le llama efecto de orilla o de borde, y se puede evitar rodeando al experimento de al menos dos hileras de árboles de las mismas familias ensayadas, pero que no serán medidos. A esta franja se le llama faja de protección (Figura 33). En los casos donde se haya separado los bloques o modificado su forma para evitar irregularidades, se deben cubrir todas las orillas con fajas de protección. (Sáenz y Plancarte, 1991; Vargas y López, 2004).

### **7.2.9 Parcela**

Es la unidad experimental, usualmente compuesta por uno o varios individuos miembros de una familia (ya sean hermanos completos o medios hermanos entre sí). Puede ser continua (un pequeño grupo de árboles en hilera o cuadrado), o discontinua (los árboles están repartidos individualmente dentro del bloque) o parcelas de un solo árbol (Saenz y Plancarte, 1991; Vargas y López, 2004).



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

Cada familia, evaluada en varias parcelas, se distribuye aleatoriamente por toda el área de prueba. Es el diseño más sencillo y fácil de analizar, pero supone homogeneidad del terreno, lo cual casi nunca se cumple en los experimentos forestales (Zobel y Talbert, 1988).

### **7.2.1.1 Bloques completos al azar**

Un conjunto de parcelas (cada una de ellas representando a una familia), son agrupadas en una supra-unidad experimental denominada bloque o repetición. Este diseño se denomina bloques completos porque todas las familias están representadas en cada uno de los bloques (Figura 33); al azar porque las parcelas están distribuidas aleatoriamente dentro de cada bloque (Sáenz y Plancarte, 1991).

Generalmente, el objetivo de crear bloques es controlar el efecto de la variación del terreno, especialmente cuando ésta es en una sola dirección, como por ejemplo la pendiente. La intención es que las familias que conforman un bloque estén sometidas al mismo tipo y magnitud de variación. Indudablemente, este diseño es el más usual en el mejoramiento genético forestal (Zobel y Talbert, 1988).

### **7.2.1.2 Otros diseños**

#### **7.2.1.2.1 Diseño de bloques incompletos al azar**

Es el diseño de bloques incompletos al azar o en látices, cada bloque no contiene a todas las familias ensayadas; esto se hace usualmente con la finalidad de disminuir el tamaño de los bloques, particularmente cuando se ensayan muchas familias y hacer bloques completos los haría muy grandes, lo que dificulta el control de la variación del terreno (Sáenz y Plancarte, 1991).

#### **7.2.1.2.2 Diseño de parcelas divididas**

El diseño de parcelas divididas (Figura 34) se utiliza cuando además de ensayar familias, se desea probar tratamientos de otros factores, por ejemplo fertilización (Zobel y Talbert, 1988). En este caso, existen parcelas “grandes” (con los tratamientos del factor principal), divididas en parcelas “chicas” (con los tratamientos de los factores adicionales) (Vargas y López, 2004).

### 7.3 Evaluación de los ensayos

Todas las etapas en la vida de un experimento deben ser documentadas meticulosamente. La carpeta de un experimento debería contener como mínimo, 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 (Mesén, 1994a). Primeramente debe contener un listado de control de las familias en prueba (Figura 35).

PEU	PEE X PCH	PEE X FIH	PEE X FIH	PEU	PTA
PEE	PTA	PEE X PTA	PEE X PTA	PEE X PCB	PEE
PEE X PCB	PEE	PEE X PTA	PEE X PCH	PEE	PEE X PCH
PEE X PCH	PEE X PCB	PEE X FIH	PEE X PTA	PTA	PEE X FIH
PEU	PTA	PEE	PEE X PCB	PEU	PEE X PCB
PEE X FIH	PEE X PCH	PEE X PTA	PEE X PCH	PTA	PEE
PEU	PEE X PCB	PTA	PEE X FIH	PEU	PEE X PTA

Figura 34. Ejemplo de diseños en parcelas divididas. La izquierda puede ser para probar riego y la derecha sin riego.

<i>Pinus greggii</i> var. <i>australis</i>		
Procedencia	Almacén en Colpos	Códigos en campo
Cebada, Hgo.	2	1
Cebada, Hgo.	4	2
Cebada, Hgo.	7	3
Cebada, Hgo.	10	4
Cebada, Hgo.	12	5
Cebada, Hgo.	15	6
Cebada, Hgo.	17	7
Cebada, Hgo.	19	8
Cebada, Hgo.	20	9
Cebada, Hgo.	23	10
El Cobre, Hgo.	2	11
El Cobre, Hgo.	4	12
El Cobre, Hgo.	7	13
El Cobre, Hgo.	10	14
El Cobre, Hgo.	17	16
El Cobre, Hgo.	18	17
El Cobre, Hgo.	15	18
El Cobre, Hgo.	19	19
El Piñón, Hgo.	2	20

Figura 35. Relación de familias y sus procedencias utilizadas en un ensayo, se indica los códigos en campo para control experimental.

Se debe tener presente que la vida de un ensayo, generalmente se extiende más allá de la persona 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, tendría el mismo efecto que perder el mismo ensayo por incendio (Mesén, 1994a).

Existen tres fases en la vida de un ensayo: semilla, vivero y campo, que son bastante diferentes para fines de evaluación (Mesén, 1994a). 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 e isoenzimas, pero hasta ahora no se ha informado de ninguna correlación importante que permita predecir el comportamiento del material en el campo (White *et al.*, 2007).

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. Al igual que con la semilla, hasta ahora no se ha informado de ninguna característica del árbol adulto (White *et al.*, 2007).

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.

El campo es la fase donde se pone mayor esfuerzo y las evaluaciones pueden continuar por muchos años, al menos hasta un cuarto o 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.

### **7.3.1 Medición de variables**

Las variables que comúnmente se miden en etapa de vivero o invernadero son:

Etapa de plántula:

- a. Porcentaje de germinación, número de cotiledones y altura total de plántula.

Etapa de brinzal:

- b. Altura de planta, número de ramas, diámetro, longitud y número de raíces, y peso seco. Las variables más comunes en campo son: altura total de planta, diámetro (basal o normal), número de verticilos y ancho de copa (Sáenz y Plancarte, 1991).

Para trabajos más elaborados podrían considerarse más variables: ángulo de inserción de ramas, número de ramas por verticilo, longitud de ramas, fenología de yemas vegetativas y florales, floración y producción de semilla, además de considerar la conformación en árboles, esto es la rectitud y sinuosidad de los árboles (Vargas y López, 2004) (ver formato en Figura 36).

Para variables continuas, las unidades de medición pueden ajustarse en función del rango de variación de cada variable, de forma que se garantice precisión, a la vez que se ahorra trabajo. Por ejemplo, medir alturas de individuos de varios metros con precisión al centímetro, es un exceso de gasto; en un caso contrario, sería incorrecto medir en centímetros diámetros pequeños, digamos de menos de 10 cm. Conforme el árbol aumenta, se disminuye la precisión, aumentando los intervalos de medición. Se recomienda que cuando los árboles midan menos de 2 m puede usarse una precisión de 2 cm, cerca de 5 m se puede dejar a 5 cm y más de esta altura hasta de 10 m de precisión. El diámetro, por su parte, se puede medir con una precisión de 1 mm con el vernier (Figura 37).

Como en cualquier investigación, es importante planear con anticipación qué variables se van a medir y con qué periodicidad. Esto debe estar en función de los objetivos específicos de la prueba y los criterios de selección que se usarán para el aclareo genético. No tiene sentido medir variables a las que no se les dará utilidad.

Matlahuacales, Pue.														
No. De	2009				2010		2011		2012			Ene-13		
Control	Hilera	Planta	Repeti	Familia	Edo.	FAM	Altura	Edo.	Altura	Edo.	Ø	Alt	Edo.	
1	1	1	1	521	3	520	35	0	80	0	13	185	0	
2	1	2	1	813	3	813	27	0	90	0	9	165	0	
3	1	3	1	427	0	427	63	0	120	0	13	210	0	
4	1	4	1	618	3	620	56	0	.	3	.	.	.	
5	1	5	1	717	0	717	70	0	135	0	14	220	0	
6	1	6	6	410	0	410	62	0	100	0	15	205	0	
7	1	7	6	424	3	708	40	0	100	0	9	160	0	
8	1	8	6	720	0	720	52	0	75	0	.	95	0	
9	1	9	6	809	0	809	47	0	130	0	18	270	0	
10	1	10	6	612	0	612	61	0	135	0	22	240	0	
11	1	11	11	501	0	501	64	0	130	0	19	235	0	
12	1	12	11	713	0	713	100	0	155	0	24	230	0	
13	1	13	11	806	0	807	75	0	115	0	18	230	0	
14	1	14	11	427	3	528	25	1	55	0	10	155	0	
15	1	15	11	618	3	701	.	3	.	.	.	.	.	
16	2	15	11	612	0	612	46	0	95	0	18	220	0	
17	2	14	11	429	3	429	35	0	75	0	7	140	0	
18	2	13	11	805	0	805	60	0	105	0	16	195	0	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
N	n	1	20	4	0	70	9	0	140	0	29	285	0	

Figura 36. Ejemplo de formato de captura de datos de un ensayo de progenies considerando cinco años de seguimiento. Edo=estado, 0 sano, 3 muerto. Primera columna una hilera de números consecutivos para control.

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

- a. Características del fuste, que incluye altura, diámetro normal (DN), rectitud, bifurcaciones y algunas otras características de menor importancia como el 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.



Figura 37. Evaluación de árboles de pino en ensayo de progenies. Estadales graduados cada 5 cm para determinación de altura y vernier para el diámetro del fuste a la altura de 1.3 m (derecha), y forcípula cuando los diámetros son mayores a 5 cm (izquierda).

### 7.3.2 Captura de información

Las formas de campo que se utilizan para el levantamiento de la información pueden tener varias columnas para codificar datos para captura en computadora (Figura 36). Deben permitir la consulta de las mediciones anteriores para identificar posición, registrar mortalidad reciente y confirmar la validez de los nuevos datos (Sáenz y Plancarte, 1991).

Recientemente se están desarrollando grabadoras de datos electrónicas portátiles, que permitan una sencilla captura en campo, previa programación. Estas unidades pueden transmitir los datos capturados vía telefónica a una computadora central distante.

### 7.3.3 Procesamiento de los datos

En la actualidad existen software que facilita el procesamiento de los datos, la tabla Excel es esencial en la captura de información y como procesadores estadísticos están el paquete estadístico SAS y el SSPS (Statistical Package for the Social Sciences).

### 7.3.4 Análisis estadístico de los datos

Los objetivos centrales del análisis estadístico pueden ser (White *et al.*, 2007; White, 1996):

- a. Establecer si existen diferencias significativas de crecimiento entre familias y cuáles son las mejores progenies o los mejores progenitores.
- b. Estimar parámetros genéticos, tales como la heredabilidad, a partir de la estimación de las varianzas genéticas (aditivas y no aditivas), ambientales, la interacción de ambas y el error aleatorio. Con estos datos se puede estimar las ganancias genéticas, a partir de los parámetros genéticos y el diferencial de selección.

Para establecer las diferencias entre familias, el nivel básico de análisis es la estimación de medias por familia. El análisis más sencillo se puede lograr graficando las medias por familia.

Si se cuenta con un paquete de cómputo para análisis estadístico avanzado, como el Statistical Analysis System (SAS), con él se pueden realizar los análisis necesarios. Las medidas se pueden obtener rápidamente con el PROC MEANS de SAS, pero ahora se estiman a través del uso del PROC MIXED con la opción LSMEANS que entrega medias insesgadas para cada tratamiento, en este caso el valor de la familia (Vargas y López, 2004).

Sin embargo, el núcleo del análisis, usualmente es el análisis de la varianza. Éste se puede realizar utilizando los modelos indicados en la sección de MODELOS ESTADÍSTICOS. Con el paquete SAS, para el análisis de la varianza se sugiere usar al PROC MIXED si los datos están desbalanceados y en el PROCANOVA si están balanceados (Vargas y López, 2004).

Los datos desbalanceados se refieren a utilizar un diseño de bloques completos, pero con árboles muertos. De hecho, los análisis con datos completamente balanceados son bastante raros, puesto que

es prácticamente imposible tener una mortalidad de cero. Cuando los datos están perfectamente balanceados, los resultados son los mismos si se realizan con los procedimientos GLM o ANOVA de SAS, la diferencia es que el primero es más costoso por ocupar más tiempo de cómputo.

Una vez terminado, si hay diferencias significativas entre familias, con una prueba de diferencia múltiple de medida, por ejemplo usando la opción de LSMEANS, se puede saber qué grupos de familias son estadísticamente diferentes o similares entre sí. Esta prueba, de uso muy común, se puede hacer con calculadora de bolsillo o como una opción dentro de los procedimientos GLM, MIXED (MIXTO) y ANOVA de SAS.

La estimación de los componentes de la varianza se puede obtener aritméticamente, a partir de los resultados del análisis de la varianza realizado con calculadora o por el PROC GLM o MIXED de SAS, o estimarse directamente mediante el PROC VARCOMP de SAS. Se recomienda el uso del PROC MIXED ya que considera adecuadamente los efectos fijos como fijos y los aleatorios como tales, y usa un algoritmo adecuado para la estimación de los componentes de varianza.

En la Figura 38 se presenta un ejemplo del programa SAS para analizar un ensayo de parcelas de solo árboles (sin considerar procedencias), usando el volumen a 12 años de edad.

En dicho ejemplo, primero se obtiene el volumen a partir de la altura y el diámetro y luego se obtienen las medias del bloque para ajustar los valores de los árboles por efectos de las repeticiones (R). Análisis de varianza usando el PROC MIXED primero para la estimación de los componentes de varianza (útiles para calcular la heredabilidad) y al final la estimación de los valores medios insesgados de las familias en prueba. Si se usará procedencias, entonces se debe incluir en el modelo el efecto de procedencias que debe como efecto fijo, y la familia anidada dentro de procedencia (se escribiría como FAM (POB), es decir que familia está anidada en procedencia, pero antes debe indicarse en el programa cuáles familias componen una población o procedencia.

```

OPTIONS LS=130 PS=60 NODATE;

DATA A;
INFILE'D:\Análisis13\Acaxoch.dat';
input control rep hil arb Fam edo5 edo6 DN12 ALT12 confor vert edo12;
RUN;
DATA B; set A;
DROP EDO5 EDO6;
if fam=99 then delete;
IF EDO12=5 OR EDO12=10 OR EDO12=11 THEN DELETE;
D12=DN12/10; H12=ALT12/100; A12=ALT12/10;
VOL12= (EXP (-9.7688))*(D12**2*H12)**0.9451)*1000; * VOL EN DM3 CUBICOS;
DATA C; SET B; * para obtener valor medios por bloque*
PROC SORT; BY REP;
proc MEANS NOPRINT MEAN; BY REP;
VAR VOL12; OUTPUT OUT= D MEAN= VOL12;
RUN;
PROC PRINT;
RUN;
*/ para ajuste por efectos de diferencias entre bloques, variable volumen*/;
DATA D; SET B;
IF REP=1 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -39.3422;
IF REP=2 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -36.7236;
IF REP=3 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -41.6315;
IF REP=4 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -44.8167;
IF REP=5 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -38.0054;
IF REP=6 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -33.4002;
IF REP=7 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -31.3034;
IF REP=8 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -37.8123;
IF REP=9 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -37.4515;
IF REP=10 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -36.4573;
IF REP=11 THEN VOL12T=VOL12+37.9157 -38.6800;
PROC SORT; by FAM;
proc MEANS NOPRINT MEAN; by FAM;
VAR VOL12T;
OUTPUT OUT= F
MEAN= VOL12T;
PROC PRINT;
RUN;
*para calcular heredabilidad;
DATA E; SET D;
PROC SORT; BY REP FAM;
PROC MIXED; CLASS REP FAM;
MODEL VOL12= REP;
RANDOM FAM;
RUN;
*para medias de familias;
DATA E; SET C;
PROC SORT; BY REP FAM;
PROC MIXED; CLASS REP FAM;
MODEL VOL= FAM;
RANDOM REP;
LSMEANS FAM/PDIFF;
RUN;

```

Figura 38. Ejemplo del programa de SAS para analizar un ensayo de parcelas de un solo árbol (sin considerar procedencias).

## 8 ENSAYOS DE PROCEDENCIAS Y/O PROGENIES

Un ensayo de este tipo es la combinación de dos tipos de experimentos: el ensayo de procedencias y la prueba o ensayo de progenies. Si bien ya se han descrito en capítulos previos estos ensayos o pruebas, es necesario tener presente a qué se refiere cada uno y el propósito u objetivo de los mismos para valorar la conveniencia o no de realizar dicha combinación de experimentos.

El primero, el ensayo de procedencias, es una plantación experimental donde se establecen parcelas de varias procedencias (también conocidas como orígenes geográficos) bajo un determinado diseño experimental con el propósito de identificar las diferencias entre las procedencias de una misma especie para seleccionar aquella o aquellas más convenientes a una determinada área o región con potencial a realizar plantaciones forestales.

El ensayo o prueba de progenies, es una plantación experimental donde se establecen parcelas de varias familias (llamadas progenies) bajo un determinado diseño experimental con alguno de los siguientes propósitos (Figura 39 y 40):

- a. Valorar a los árboles progenitores que fueron seleccionados fenotípicamente en campo para usarse en un programa de mejoramiento genético vía selección y cruzamiento, a través de la respuesta de su progenie o familia.
- b. Estimar parámetros genéticos, como la heredabilidad, la varianza genética o las correlaciones genéticas, entre otras.
- c. Establecer una población base para las siguientes generaciones de mejoramiento genético.
- d. Demostración de ganancia genética.

### 8.1 Esquemas de los ensayos de procedencias y/o progenies

Pedersen *et al.* (1993) establecen una serie de indicaciones básicas para varios tipos de ensayos, no solo de procedencias y/o progenies, sino incluso desde los ensayos de eliminación de especies.

Enseguida se presentan estas indicaciones básicas que ayudarán a tener de manera más clara un esquema para la combinación del tipo de ensayos que interesa describir.



Figura 39. Panorámica de ensayo de procedencias y/o progenies de *Pinus johannis* M.-F. Robert en Ejido Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.

Ensayos de eliminación de especies: 20 a 40 especies posibles; dos a tres procedencias de cada especie; duración de 1/10 a 1/5 de la rotación; parcela mínima de cinco árboles en línea; parcela "máxima" de 25 árboles (5x5); dos repeticiones (bloques).

Ensayos de especies: cinco a diez especies promisorias; tres a cinco procedencias por especie; duración de 1/4 a 1/2 de la rotación; tamaño de parcela de 16 a 25 árboles (4x4 o 5x5) más una o dos líneas de borde; tres a cuatro repeticiones.

Plantaciones piloto de especies: tres a cinco de las mejores especies; una a dos procedencias por especie; duración de una rotación; parcela "mínima" de 100 árboles (10x10) más dos líneas de borde; parcela máxima; rodal de tamaño normal para uso en plantaciones.



Figura 40. Producción de estróbilos femeninos (planta hembra, izquierda) y de estróbilos masculinos (planta macho, derecha) en ensayo de procedencias y/o progenies de *Pinus johannis* M.-F. Robert en Ejido Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.

Ensayos de procedencias de rango amplio: diez a 30 procedencias; duración de 1/4 a 1/2 de la rotación; tamaño de parcela (por ejemplo) de 25 árboles (5x5) más una línea de borde; tres a cuatro repeticiones.

Ensayos de procedencias de rango restringido: tres a cinco procedencias; duración de media a una rotación; tamaño de parcela (por ejemplo) de 100 árboles (10x10) más una línea de borde; tres a cuatro repeticiones (Figura 41).

Plantaciones piloto de procedencias: una a dos procedencias; hasta una rotación y con un tamaño de rodal normal.

Número de árboles semilleros: generalmente se recomienda 25 a 30 árboles no emparentados por procedencia.

Cantidad de semilla para cada muestra de procedencia: semilla suficiente para aproximadamente 12,000 plantas, lo que cubre el número total de ensayos, desde eliminación de especies hasta plantaciones piloto de procedencias (estas últimas de una hectárea).



Figura 41. Ensayos de procedencias de rango restringido de *Pinus greggii* Engelm. en el Campo Experimental Sierra de Arteaga, Coahuila.

De lo anterior se desprende que al combinar en una sola plantación experimental el ensayo de procedencias y la prueba de progenies, se deberá establecer un diseño con diez a 30 procedencias para especies de rango amplio y de tres a cinco procedencias para especies de rango restringido. Para el caso de la prueba de progenie se recomienda de 20 a 50 familias o progenies a evaluar. El problema principal se encuentra en la cantidad de árboles seleccionados que se tenga en cada procedencia. Así en algunos casos, se puede tener una buena cantidad de familias o progenies de una sola procedencia, pero no necesariamente provenientes de un estricto proceso de selección fenotípica, ya que cuando así es el número de árboles seleccionados por procedencia, generalmente es pequeño.

A manera de ejemplo, en un ensayo de diez procedencias con siete familias (progenies) por procedencia se generará un total de 70 progenies, multiplicado por el número de repeticiones que podría ser de ocho, produce un total de 560 parcelas. Si cada parcela de progenies es de tres plantas, se requiere un total de 1,680 plantas útiles del experimento, más las plantas de borde del mismo. En este caso se tendrían parcelas a nivel de procedencias de 21 plantas (resultado de siete familias por procedencia, cada una con tres plantas por familia).

Una representación de la distribución aleatoria de las procedencias y de las familias dentro de una procedencia en uno solo de los bloques, bajo un diseño de bloques completos al azar, se muestra en la Figura 42.

I	P3	P9	P8	P4	P10	P2	P5	P6	P1	P7
II	P1	P5	P2	P10	P3	P4	P9	P7	P8	P6
III	P8	P7	P1	P4	P5	P6	P2	P10	P9	P3
IV	P10	P5	P9	P2	P6	P3	P4	P1	P7	P8
V	P4	P3	P1	P8	P10	P7	P9	P6	P5	P2
VI	P7	P10	P8	P3	P1	P2	P6	P5	P9	P4
VII	P5	P1	P9	P2	P7	P8	P6	P3	P4	P10
VIII	P2	P10	P9	P7	P4	P3	P5	P8	P1	P6

F2	F7	F1	F5	F4	F3	F6
----	----	----	----	----	----	----

Figura 42. Representación de la distribución aleatoria de las procedencias en un ensayo de procedencias y de las progenies de una procedencia, en uno de los bloques bajo un diseño de bloques completos al azar.

## 8.2 Análisis estadístico

### 8.2.1 Diseños experimentales

La manera más común de analizar ensayos de procedencias y ensayos genéticos forestales en general, es el análisis de varianza (ANVA). El ANVA es una técnica estadística que, mediante el cálculo de la contribución de varias 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 (como altura, DN u otra) es afectada por cada fuente de variación. A continuación, se incluye los modelos apropiados para el análisis de varianza, asumiendo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) (Mesén, 1994a).

Primeramente se presenta el modelo estadístico que permite realizar el análisis de varianza a nivel de procedencias:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + P_j + \epsilon_{ij}$$

En donde:

$Y_{ij}$  = valor de la observación del i-ésimo bloque de la j-ésima procedencia

$\mu$  = valor del efecto presente respecto a la media general

$\beta_i$  = efecto del i-ésimo bloque

$P_j$  = efecto de la j-ésima procedencia

$\epsilon_{ij}$  = efecto de la interacción entre la  $i$ -ésimo bloque y la  $j$ -ésima procedencia (error experimental considerado).

Para el ejemplo que se ha comentado de un ensayo con diez procedencias, con siete familias (progenies) y ocho bloques, puede notarse que el efecto de familias o progenies no se toma en cuenta y se tendrían los siguientes valores:

$i = I, II, \dots, VIII$  (bloques)

$j = 1, 2, \dots, 10$  (procedencias)

El modelo estadístico que permite realizar el análisis de varianza a nivel de progenies es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + P_j + \epsilon_{ij}$$

En donde:

$Y_{ij}$  = l valor de la observación del  $i$ -ésimo bloque de la  $j$ -ésima progenie

$\mu$  = efecto de la media general

$\beta_i$  = efecto del  $i$ -ésimo bloque

$P_j$  = efecto de la  $j$ -ésima progenie

$\epsilon_{ij}$  = efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo bloque de la  $j$ -ésima progenie (error experimental).

Para el mismo ejemplo que se ha comentado de un ensayo con diez procedencias, con siete familias (progenies) y ocho bloques, en este caso el efecto de procedencias no se toma en cuenta y se tendrían los siguientes valores únicamente para las 70 familias (progenies) que se generaron:

$i = I, II, \dots, VIII$  (bloques)

$j = 1, 2, \dots, 70$  (progenies)

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 se sabe 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 (Mesén, 1994a).

### **8.2.2 Utilización e interpretación de los resultados de los ensayos**

Los programas de mejoramiento forestal toman bastante tiempo. Sin embargo, no es necesario esperar muchos años para que se disponga del mejor material. Mientras el programa se desarrolla, se debe usar la mejor fuente de semilla o material de plantación disponible en cada momento, según lo vayan indicando los resultados preliminares de los ensayos (Pedersen *et al.*, 1993)

Se deben generar las recomendaciones sobre especies y procedencias tan pronto como los resultados de los ensayos vayan estando disponibles. En los ensayos de especies y procedencias generalmente se identifican las especies y procedencias indeseables, mientras que las deseables se pueden usar inmediatamente para plantaciones o para incluirlas en programas adicionales de mejoramiento a nivel de especies y procedencias, y más tarde, a nivel familiar e individual (Pedersen *et al.*, 1993).

Se deben establecer nuevos rodales que sirvan como futuras fuentes de semilla de las procedencias superiores identificadas en los ensayos. Estos se deben plantar en sitios aislados de otros rodales o árboles de la misma especie (o de especies afines), para evitar contaminación con polen de fuentes inferiores. Los sitios también deben ser seguros para garantizar la permanencia de la fuente y para que sirvan además como rodales de conservación (Pedersen *et al.*, 1993).

El mejoramiento forestal es generalmente un proceso que no termina, en el cual nuevas especies y procedencias se evalúan para lograr aún mejores resultados en las plantaciones del futuro.

## 9 ESTABLECIMIENTO DE ENSAYOS EN CAMPO

### 9.1 Elección del terreno para plantación

Las pruebas deben establecerse en sitios que sean representativos de las áreas que se desean reforestar con planta mejorada (Figura 43). Por ejemplo, si la gran mayoría de las tierras a plantar son de un tipo de suelo mineral, no sería prudente plantar los ensayos sobre un suelo con exceso de materia orgánica; deben evitarse sitios y ambientes poco comunes (Sáenz y Plancarte, 1991; Zobel y Talbert, 1988).



Figura 43. Ensayo de procedencias de Schl. & Cham, en Pueblo Viejo, Zacualpan, Veracruz.

Las pruebas genéticas para cada familia deben establecerse preferentemente, al menos en dos localidades representativas del área donde se establecerán plantaciones a gran escala. Idealmente, los sitios representativos de toda el área a plantar deberían escogerse aleatoriamente.

En la medida que los experimentos se establecen en terrenos representativos de las áreas que requieren de reforestación, se da validez externa a los resultados para su extrapolación a otras áreas con iguales condiciones. Con la repetición de las pruebas genéticas en tiempo, se controlan las posibles variaciones en los factores ambientales que pudieran causar efectos de interacción con las familias en el año de establecimiento, los cuales pudieran perdurar por varios años después de establecidos los ensayos.

Por otro lado, el establecer dos o más ensayos permite determinar con mayor precisión los parámetros genéticos, las medias reales de las familias en prueba, y determinar si existe interacción genotipo x ambiente (White *et al.*, 2007). Con estas medidas, la utilidad de los resultados para uso a futuro tendrá mayor validez (Steel y Torrie, 1985).

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 regiones.

Idealmente, el área potencial de plantación se debería dividir de acuerdo con características ecológicas (clima, suelo, factores bióticos), establecer repeticiones completas del ensayo en cada sub-división para poder estimar los efectos de la interacción genotipo ambiente. Se debe tener cuidado de no seleccionar micro sitios atípicos que proporcionen resultados de poca utilidad para el área global de plantación (Barnes y Gibson, 1984). 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 (Mesén, 1994a).

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 cuadrícula a 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 la parcela. Si el material consiste de pseudoestacas, igualmente se deberán formar grupos con el número exacto para cada parcela, siempre debidamente identificadas (Mesén, 1994a). Si la producción es en tubetes, el diseño se puede ajustar al tamaño de la rejilla porta-tubetes.

Por ejemplo, si es de 6 x 9 se pueden usar para colocar un bloque que tendría 54 familias. Si se quisiera establecer 90 familias, se pudiera utilizar esa misma rejilla y la mitad de la siguiente para acomodar el bloque completo, así la mitad de la segunda rejilla servirá para colocar parte de la siguiente repetición (Figura 44).

Cada contenedor debe tener el número de familia al que pertenece, ya que en el transporte del vivero al terreno o en el mismo transporte en la rejilla o caja, pueden confundirse las familias, lo que afectará los resultados del trabajo. El transporte de las plantas se debe hacer pocos días antes de la plantación y preferentemente el día anterior. Si el material debe permanecer por varios días en el campo, se deben tomar las provisiones necesarias para permitir la irrigación de las plántulas en el sitio de plantación. Una práctica que facilita la distribución de plántulas en el campo es cargar y descargar las cajas o rejillas en secuencia numérica, o bien de acuerdo con la secuencia de plantación en los bloques al controlar cuidadosamente el número de los lotes de acuerdo con el mapa de campo (Mesén, 1994a). Una persona debe estar encargada de dirigir la distribución de las plantas en campo y tener al menos dos copias completas del arreglo, en una tabla de campo. Las hojas pueden protegerse con acetatos por si lloviera.

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.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	49	91	90	13	69	64	70	28	42	
2	32	24	61	92	23	60	18	56	50	Rejilla
3	36	25	53	40	44	16	33	62	75	1
4	81	30	34	1	14	27	21	65	25	
5	85	12	11	80	8	22	15	66	47	Repetición
6	58	68	55	38	63	77	9	72	71	1
7	78	35	19	10	26	73	7	51	74	
8	20	67	97	4	87	48	3	6	46	
9	86	2	31	45	5	29	17	51	x	Rejilla
1	17	73	28	18	55	30	48	25	62	2
2	12	35	61	69	85	58	50	21	86	
3	87	22	1	36	29	67	77	63	81	Repetición
4	78	51	19	72	32	93	13	65	70	2
5	71	46	48	9	42	66	74	92	56	
6	27	11	64	34	80	8	2	24	60	Rejilla
7	5	31	97	91	7	20	16	75	68	3
8	90	38	14	45	26	33	53	47	4	
9	54	25	10	15	3	44	40	3	x	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Figura 44. Ejemplo de acomodo aleatorio de 89 familias, más una de relleno, utilizando el diseño de parcelas de una sola planta por parcela. Se usaron tubetes y rejillas de 6 x 9 tubetes, así en la primera rejilla se acomodan 60 familias y en la segunda las 29 más la de relleno. Así en la rejilla 2 se inicia con la repetición 2, que se completa con la rejilla 3.

El equipo de plantadores deberá organizarse de forma tal que se evite el “sesgo por operario” que pueda perjudicar la comparación entre procedencias o familias, así todo el equipo debe participar en el establecimiento de cada planta, haciéndolo lo más homogéneo entre ellos, es decir fijar entre ellos la profundidad y ancho de las cepas, así como la preparación final del cajete. Se han encontrado grandes diferencias en supervivencia y crecimiento debidas a este efecto (Mesén, 1994a).

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 no es adecuado 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; esto es aconsejable aunque generalmente impráctico (Mesén, 1994a).

## **9.2 Preparación del sitio**

Las técnicas de preparación del sitio para las pruebas genéticas variarán de acuerdo con las características edáficas y topográficas del sitio y del equipo y recursos con los que se cuenta para la plantación de la prueba. La preparación del sitio debe utilizar las mejores técnicas, a fin de garantizar en lo posible, el adecuado establecimiento y crecimiento de las plantas. Sin embargo, existe otra corriente de opinión que sugiere no aplicar mejores técnicas que las utilizadas en programas de plantaciones comerciales, a fin de identificar los genotipos que responden mejor a condiciones estándar de preparación de sitio. Lo que no debe perderse de vista es que la preparación del sitio debe reducir las adversidades ambientales, lo suficiente como para que los individuos puedan expresar su potencial genético (Zobel y Talbert, 1988).

## **9.3 Control y mapeo en el establecimiento de ensayos**

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 procedencia u otra (o familias) por parte del personal, lo que puede llevar a evaluaciones sesgadas (Figura 45). También es aconsejable evaluar los mismos grupos de características a lo largo de todo el ensayo; con esto se elimina una fuente de error muy importante que son las diferencias de apreciación entre personas (Mesén, 1994a).



Figura 45. Control y mapeo en el establecimiento de un ensayo de *Pinus greggii* Engelm. en el Campo Experimental Sierra de Arteaga, Coahuila.

#### 9.4 Mantenimiento de los ensayos

Se ha argumentado que en los ensayos de procedencias no se deberían realizar podas, para permitir la evaluación de la capacidad de auto poda 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, como es el determinar el diámetro normal (Mesén, 1994a).

Por otra parte, las podas muy severas podrían perjudicar la expresión de los árboles. La mejor decisión parece ser podar únicamente las ramas bajas que se vean moribundas y que no contribuyen al crecimiento de los árboles.

Este sistema tiene las siguientes ventajas:

- a. No afecta negativamente el incremento en volumen
- b. Al estar basado en copa viva no favorece ciertas progenies sobre otras
- c. No obstaculiza la ocupación del sitio

- d. Es flexible y se puede hacer coincidir con fines de evaluación y demostración
- e. Evita la acumulación excesiva de material inflamable
- f. Mantiene el rodal en óptimas condiciones para fines de evaluación y demostración
- 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 ramas más bajas. Esta poda se realiza para permitir el acceso al ensayo y se realiza a una altura de un metro, o hasta un tercio de la copa del árbol. Las podas sucesivas se realizan anualmente hasta lograr seis metros de fuste limpio (Mesén, 1994a).

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

- a. Aclareo sistemático de acuerdo con el espaciamiento
- b. Aclareo silvicultural o selectivo
- c. 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 aclarear 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 proporcionar información a largo plazo (Mesén, 1994a).

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 seleccionarse 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 técnico forestal.

El aclareo se basa estrictamente en el diámetro, removiendo árboles de diámetro menor al promedio, pero con la salvedad de que los 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 es 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. Asimismo, 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.

En el caso de los ensayos de progenies, no deben realizarse aclareos hasta el momento en que se determinen las mejores familias e individuos en el ensayo, lo que puede ocurrir a  $\frac{1}{4}$  del turno.

Es 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 o familias para resistir el ataque. La decisión solo podrá tomarse ante cada caso en particular, de acuerdo con los objetivos del ensayo, la naturaleza del ataque y del organismo involucrado.

## 10 CASOS DE ESTUDIO DE *PINUS GREGGII*

### 10.1 Caso de estudio I. Ensayo de procedencias de *Pinus greggii*

Se presenta como caso de estudio un ensayo de 13 procedencias de *Pinus greggii* establecido en dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca y evaluado a dos años y medio de realizada la plantación. El ensayo fue parte de un proyecto del INIFAP que tuvo como objetivo seleccionar especies para restaurar áreas degradadas de esta región de Oaxaca, utilizando material mejorado genéticamente.

La información se presentó por Mario Valerio Velasco García en 2001 como tesis profesional en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con la dirección y asesoría de Salvador Valencia. Después se publicó como artículo científico en la Revista Fitotecnia Mexicana en 2006. Enseguida se señalan las dos citas a que se hace referencia.

Velasco G., M. V. 2001. Ensayo de 13 procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. 75 p.

Valencia M., S., M. V. Velasco G., M. Gómez C., M. Ruíz M. y M. A. Capó A. 2006. Ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 29 (1): 27-32.

#### 10.1.1 Objetivos

En el artículo se establece el siguiente objetivo: “Determinar las diferencias en crecimiento en altura y diámetro basal, así como en diámetro de copa, número de ciclos de crecimiento y supervivencia de individuos jóvenes de 13 procedencias de *Pinus greggii*, establecidas en dos localidades de la Mixteca Alta Oaxaqueña”

De manera más explícita puede notarse que se trata de una evaluación de 13 procedencias de la distribución de la especie, que se plantaron en dos sitios o localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca. Las cinco variables evaluadas fueron:

- Altura total
- Diámetro basal
- Diámetro de copa
- Número de ciclos de crecimiento
- Supervivencia

También debe señalarse que la evaluación corresponde a dos y medio años de realizada la plantación.

### 10.1.2 Selección y admisión del material selecto

En la tesis se señala:

“Las procedencias de *P. greggii* que se utilizaron en ambas localidades corresponden a 13 puntos geográficos comprendidos dentro del área de distribución natural de la especie; cinco procedencias de Coahuila y una procedencia de Nuevo León que corresponden a las poblaciones del norte del país, dos procedencias de Querétaro y cinco procedencias de Hidalgo que corresponden a las poblaciones del centro del país (Cuadro 5).”

En el artículo no se escribe con precisión lo referente a la recolecta de material. Es necesario señalar que el trabajo fue parte de un proyecto del INIFAP que tenía como objetivo buscar especies para restaurar áreas degradadas de esta región de Oaxaca. Con la colaboración de otras instituciones se realizaron recolectas de semilla de 13 procedencias de la distribución de *Pinus greggii*, seis de la variedad *greggii* y siete de la variedad *australis*. En cada procedencia se debió recolectar semilla de al menos diez árboles de cada localidad, procurando que los árboles de recolecta no se encontraran cercanos entre sí; lo primero para asegurar representatividad de la procedencia y lo segundo para evitar, en la medida de lo posible, el parentesco entre los árboles de colecta.

Cuadro 5. Localización y características ambientales de los sitios de prueba y de las 13 procedencias de *Pinus greggii* Engelm. evaluadas en la Mixteca Alta, Oaxaca.

Localidad	Latitud N	Longitud O	Altitud (m)	Temp. † (°C)	Pp <sup>††</sup> (mm)	pH del suelo <sup>†††</sup>
1) Puerto Los Conejos, Coah.	25° 28'	100° 34'	2,450	16	600	6.0
2) Santa Anita, Coah.	25° 27'	100° 34'	2,500	16	600	6.8
3) Puerto San Juan, Coah.	25° 25'	100° 33'	2,650	16	600	6.1
4) Los Lirios, Coah.	25° 23'	100° 34'	2,400	16	600	7.4
5) Jamé, Coah.	25° 21'	100° 36'	2,450	16	600	7.2
6) Placetas, N.L.	24° 56'	100° 10'	2,100	15	650	7.1
7) El Madroño, Qro.	21° 16'	99° 10'	1,650	17	737	4.5

8) Tres Lagunas, Qro.	18° 30'	99° 11'	1,900	nd	nd	nd
9) El Piñón, Hgo.	20° 56'	99° 12'	1,830	17	700	6.2
10) Laguna Atezca, Hgo.	20° 49'	98° 46'	1,330	20	1,438	4.5
11) Molango, Hgo.	20° 49'	98° 46'	1,200	17	1,750	4.4
12) Xochicoatlán, Hgo.	20° 47'	98° 40'	1,700	17	1,625	4.5
13) Comunidad Durango, Hgo.	20° 46'	99° 23'	1,850	17	1,100	6.0

† Temp. = Temperatura media anual; ††Pp = Precipitación media anual; †††= pH en agua, relación suelo-solución 1:2; ¶¶Procedencias 1-6 *P. greggii* var. *greggii*, 7-13 var. *australis*; nd = no disponibles.

### 10.1.3 Establecimiento de los ensayos

En el artículo se señala lo siguiente:

“El ensayo se hizo en dos localidades de la región Mixteca Alta Oaxaqueña: una en Tlacotepec Plumas y la otra en Magdalena Zahuatlán. Para caracterizar las condiciones del suelo se tomaron dos muestras en cada localidad, a las que en laboratorio se les determinó pH, contenido de materia orgánica y nitrógeno total.

Los dos sitios presentaron un suelo con pH alcalino, pero Magdalena Zahuatlán presentó mayores valores de pH (8.1 vs 7.8), menor contenido de materia orgánica (2.5 vs 3.0%) y de nitrógeno total (0.10 vs 0.18%) que en Tlacotepec Plumas. Esto indica condiciones de suelo más desfavorables en Magdalena Zahuatlán.

El material experimental utilizado en ambas localidades incluyó a 13 procedencias de *P. greggii*, seis de la variedad *greggii* (noroeste) y siete de la variedad *australis* (centro) (Donahue y López, 1999) (Cuadro 5). En ambos sitios, la plantación se hizo en junio de 1997, con el sistema de plantación de cepa común de 40 x 40 x 40 m, con distribución en arreglo tresbolillo, a una separación de 3 x 3 m. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con 12 bloques (repeticiones) y nueve plantas por unidad experimental, para un total de 1,404 plantas experimentales en cada sitio. En los sitios se incluyeron plantas de borde en el perímetro del experimento.

En el momento de la plantación se midió altura y diámetro a la base del tallo de los árboles. Después de 2.5 años de la plantación (en diciembre de 1999) se midió nuevamente la altura y el diámetro basal del tallo, además del diámetro de copa número de ciclos de crecimiento (equivalente al número de verticilos) y supervivencia.”

#### **10.1.4 Análisis de los datos**

En el artículo se señala:

“Con las mediciones se determinaron los parámetros correspondientes a la altura total, el diámetro basal, el diámetro de copa, el número de ciclos de crecimiento y la supervivencia. Con los valores promedio por parcela se hizo un análisis de varianza para cada variable, con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + \beta_j(i) + P_k + LP_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

En donde:  $Y_{ijk}$  es el valor de la observación de la  $i$ -ésima localidad, en el  $j$ -ésimo bloque de la  $k$ -ésima procedencia;  $\mu$  es el efecto de la media general;  $L_i$  es el efecto de la  $i$ -ésima localidad;  $\beta_j(i)$  es el efecto del  $j$ -ésimo bloque dentro de la  $i$ -ésima localidad;  $P_k$  es el efecto de la  $k$ -ésima procedencia;  $LP_{ik}$  es el efecto de la interacción entre la  $i$ -ésima localidad y la  $k$ -ésima procedencia;  $\epsilon_{ijk}$  es el efecto de la interacción entre el  $j$ -ésimo bloque de la  $i$ -ésima localidad y la  $k$ -ésima procedencia (error experimental).

Cuando hubo diferencias significativas entre procedencias, se hizo la prueba Tukey de comparación de medias, en cada localidad por separado. La variable supervivencia se evaluó en porcentaje, por lo que para fines del análisis estadístico se transformó con la expresión  $\arcsen=(X/100)^{1/2}$ , donde  $X$  = porcentaje en supervivencia (Cochran y Cox, 1965). Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 6.04.”

#### **10.1.5 Resultados**

Con el propósito de facilitar el entendimiento de los resultados, en el artículo se presentan tres apartados: el primero es para tratar las diferencias entre localidades, el segundo para tratar las diferencias entre procedencias y el tercero para tratar la interacción genotipo x ambiente.

## Diferencias entre localidades

“A dos años y seis meses de la plantación, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre localidades en todas las variables ( $P < 0.04$ ), excepto para supervivencia. En Tlacotepec Plumas la supervivencia promedio fue de 95.8% con valores entre procedencias de 92.6 a 99.1%, mientras que en Magdalena Zahuatlán el promedio fue de 94.1% con valores entre procedencias de 90.7 a 99.1%. En Tlacotepec Plumas, los promedios de crecimiento fueron de 129 cm para altura, 39 mm en diámetro basal, 73 cm en diámetro de copa y nueve ciclos de crecimiento. En cambio, en la localidad Magdalena Zahuatlán, el promedio en altura fue de 107 cm, el de diámetro basal fue de 30 mm, el de diámetro de copa de 62 cm y tuvo ocho ciclos de crecimiento.”

En los análisis de varianza, para el efecto de localidad tener una probabilidad  $P < 0.04$  significa que se puede declarar que existen diferencias entre ambas localidades con una probabilidad de equivocarse de 4%. En la mayoría de este tipo de experimentos se maneja una probabilidad de error hasta de 5%.

En el artículo se continúa con una discusión de dichos resultados, para lo cual se hacen comparaciones con los resultados obtenidos en otros trabajos y se establece la probable explicación de los mismos, como se señala enseguida:

“Las diferencias encontradas entre Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán en todas las variables de crecimiento se atribuyen a las diferencias del suelo. Tlacotepec Plumas presentó menores valores de pH (7.8 vs 8.1), mayores porcentajes de materia orgánica (3.0 vs 2.5%) y mayores valores de nitrógeno total (0.18 vs 0.10%) que en Magdalena Zahuatlán. No obstante, no se encontraron diferencias entre localidades en la supervivencia, lo cual es una evidencia de que el pH, la materia orgánica y el nitrógeno total de los suelos no influyeron en forma determinante sobre esta variable, o que la especie tiene alta capacidad de adaptación a las condiciones de estos sitios, ya que en ambos se presentó una supervivencia elevada. De hecho, *P. gregii* se ha utilizado en ambientes marginales en el sur de África, Colombia y Brasil (Dvorak *et al.*, 1995). El menor valor de pH en Tlacotepec Plumas favorece a la especie, ya que a menores valores de pH manifiesta mayor crecimiento (López *et al.*, 2000).”

## Diferencias entre procedencias

“El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas entre procedencias en ambas localidades y en todas las variables de crecimiento ( $P < 0.01$ ), excepto en supervivencia. En ambas localidades se distinguen en general dos grupos de procedencias con respecto al crecimiento de las plantas, las de la var. *australis* (Qro. e Hgo.) con los mayores valores, y las de la var. *greggii* (Coah. y N.L.) con los menores (Cuadro 6), excepto la de Puerto San Juan, Coah., que presentó valores estadísticamente iguales a algunas procedencias del centro del país en ambas localidades, y la de Santa Anita, Coah., en Magdalena Zahuatlán (Cuadros 7 y 8). El número de ciclos de crecimiento y la supervivencia no permitieron la separación de los dos grupos de procedencias en ninguno de los sitios (Cuadro 5).”

Cuadro 6. Valores mínimos y máximos de las características de crecimiento en las dos variedades de *Pinus greggii* Engelm. en cada uno de los sitios de evaluación (Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán, Oaxaca).

Característica	Tlacotepec Plumas		Magdalena Zahuatlán	
	Var. <i>australis</i>	Var. <i>greggii</i>	Var. <i>australis</i>	Var. <i>greggii</i>
Altura (cm)	146.3 - 176.0	78.4 - 133.2	115.8 - 142.8	78.4 - 102.1
Diámetro de basal (mm)	43.0 - 48.2	27.7 - 41.5	28.8 - 38.5	22.6 - 28.0
Diámetro de copa (cm)	72.5 - 96.2	46.9 - 74.9	65.9 - 80.7	43.0 - 57.5
Ciclos de crecimiento	9 - 10	8 - 9	8 - 10	8 - 9

Cuadro 7. Comparación de medias para las variables altura y diámetro basal a 2.5 años de plantación en un ensayo de *Pinus greggii* Engelm. establecido en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca.

Procedencia	Altura (cm)		Diámetro (mm)	
	Tlacotepec	Magdalena	Tlacotepec	Magdalena
Puerto Los Conejos, Coah.	90.38 d	79.30 d	29.2 b	22.7 c
Santa Anita, Coah.	88.04 d	102.06 b c d	27.7 b	26.7 bc
Puerto San Juan, Coah.	133.25 c	97.50 bc d	41.5 a	27.9 bc
Los Lirios, Coah.	86.69 d	78.18 d	29.3 b	23.4 c
Jamé, Coah.	88.24 d	80.32 c d	28.6 b	22.6 c
Placetas, N. L.	78.31 d	78.39 d	28.3 b	23.5 c
El Madroño, Qro.	175.80 a	134.6 a b	46.5 a	33.6 a b
Tres Lagunas, Qro.	160.82 a b	115.67 a b c d	43.2 a	28.7 a b c
El Piñón, Hgo.	162.21 a b	121.96 a b	48.1 a	35.5 a b
Laguna Atezca, Hgo.	146.31 b c	123.98 a b	43.0 a	34.8 a b
Molango, Hgo.	156.12 a b c	119.49 a b c	45.6 a	34.3 a b
Xichicotlan, Hgo.	152.35 a b c	120.11 a b	43.2 a	31.8 a b c
Com. Durango, Hgo.	162.75 a b	142.77 a	48.3 a	38.3 a
Promedio	129.33	107.26	38.7	29.5
DHS ( $\alpha = 0.05$ )	26.41	39.24	7.7	10.0

Valores en una misma columna seguidos de letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $\alpha=0.05$ )

Cuadro 8. Comparación de medias para las variables diámetro de copa y ciclos de crecimiento a 2.5 años de plantación, en un ensayo de *Pinus greggii* Engelm., establecido en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca.

Procedencia	Diámetro de copa (cm)		Ciclos de crecimiento	
	Tlacotepec	Magdalena	Tlacotepec	Magdalena
Puerto Los Conejos, Coah.	53.20 d	45.43 e	7.0 b c d	6.2 a
Santa Anita, Coah.	51.00 d	53.38 c d e	6.5 c d	6.9 a
Puerto San Juan, Coah.	74.99 c b	57.43 b c d e	7.3 a b c	6.2 a
Los Lirios, Coah.	50.18 d	43.19 e	6.5 c d	6.0 a
Jamé, Coah.	51.82 d	46.38 e	6.6 c d	6.1 a
Placetas, N. L.	47.19 d	48.09 d e	6.4 d	6.3 a
El Madroño, Qro.	96.10 d	73.63 a b	7.2 b c d	6.9 a
Tres Lagunas, Qro.	86.24 a b	66.02 a b c d	6.9 b c d	6.1 a
El Piñón, Hgo.	90.77 a	76.17 a	7.6 a b	6.8 a
Laguna Atezca, Hgo.	72.54 c	65.91 a b c d	7.3 a b c	6.9 a
Molango, Hgo.	90.24 a	76.32 a	8.1 a	7.1 a
Xichicotlan, Hgo.	86.06 a b	70.67 a b c	7.2 a b c d	6.8 a
Com. Durango, Hgo.	93.58	80.68 a	7.7 a b	7.0 a
Promedio	72.6	61.8	7.1	6.6
DHS ( $\alpha = 0.05$ )	13.39	18.96	0.9	1.9

Valores en una misma columna seguidos de letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $\alpha=0.05$ )

De la misma manera, en el artículo se continúa con una discusión de dichos resultados, para lo cual se hacen comparaciones con los resultados obtenidos en otros trabajos y se establece la probable explicación de los mismos, para terminar con algunos aspectos prácticos y algunas consideraciones, como se muestra enseguida.

“De acuerdo con los resultados a esta edad, cualquiera de las procedencias del centro del país puede seleccionarse para plantación en ambas localidades y obtener buenos resultados. En cambio, de las

procedencias del norte, en Tlacotepec Plumas se seleccionaría la de Puerto San Juan, Coah. y en Magdalena Zahuatlán se seleccionarían las de Puerto San Juan y Santa Anita, Coah., debido a que estas procedencias fueron iguales a la mayoría de las del centro, podría ser más conveniente seleccionar las primeras por ser su mayor tolerancia a sequía, por haber evolucionado en ambientes de baja precipitación y suelos pobres. Con la edad los árboles tendrán mayores requerimientos y pudiera ser que algunas procedencias que actualmente muestran buenos resultados, después tengan crecimientos deficientes, y otras podrían mostrar mejores resultados por ser más aptas a las condiciones climáticas adversas que se pudieran presentar.”

### **Interacción genotipo x ambiente**

“El análisis de varianza mostró que existe interacción genotipo x ambiente en todas las características evaluadas ( $P < 0.01$ ), excepto en número de ciclos de crecimiento y en supervivencia. La mayoría de las procedencias tienen el mismo patrón de crecimiento en ambas localidades, pero en Tlacotepec Plumas presentaron mayores valores que en Magdalena Zahuatlán. Sin embargo, las procedencias de Santa Anita, Coah., Puerto San Juan, Coah. y Placetas, N. L., no siguen la misma tendencia, lo que da lugar a la interacción genotipo x ambiente.”

### **10.1.6 Conclusiones y recomendaciones**

El artículo concluye de la siguiente manera:

“A 2.5 años de plantado, *Pinus greggii* presentó una alta supervivencia a pesar de los suelos pobres de las dos localidades donde se estableció el ensayo. La variedad australis presentó un mayor crecimiento que la variedad *greggii*, en altura, diámetro basal y diámetro de copa, pero no en ciclos de crecimiento. Las mejores condiciones del sitio de Tlacotepec se reflejaron en mayor crecimiento en todas las procedencias evaluadas. En las dos variedades es posible seleccionar la procedencia con mayor tasa de crecimiento para cada sitio de plantación. La procedencia El Madroño de la var. australis fue la de mayor crecimiento en altura y diámetro basal en Tlacotepec, mientras que la procedencia Comunidad Durango lo fue en Magdalena. De la variedad *greggii* la procedencia Puerto San Juan destacó en ambas localidades.”

En la tesis se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Seguir realizando evaluaciones periódicas en ambos ensayos, para observar su respuesta de las procedencias en ambas localidades a

- través del tiempo.
2. En posteriores evaluaciones realizar correlaciones de factores geográficos, climáticos y de suelo de las procedencias con las de las localidades, para observar el efecto de éstas en la productividad de las procedencias.
  3. Evaluar en ambos ensayos, además de las variables aquí evaluadas, otras como distancia entre verticilos, número de ramas entre verticilos, densidad de la madera y longitud de traqueidas.
  4. Evaluar en los sitios experimentales la influencia de la plantación en la infiltración, regeneración de especies herbáceas y acumulación de materia orgánica en las mismas.
  5. Establecer otros ensayos de estas procedencias en otras localidades, que permita definir las fuentes de semilla para localidades específicas.
  6. Para posibles reforestaciones, se podrá utilizar cualquiera de las procedencias del centro del país en sitios que presenten condiciones de suelos y climas similares a las de ambas localidades. De las procedencias del Norte, en los sitios que presenten condiciones de suelos y climas similares a la localidad Tlacotepec Plumas, se podrá utilizar la procedencia Puerto San Juan Coah., y en sitios donde estas condiciones sean similares a las de la localidad Magdalena Zahuatlán, se podrán utilizar las procedencias Puerto san Juan Coah. y Santa Anita Coah.

## **10.2 Caso de estudio II. Ensayo de procedencias y/o progenies de *Pinus greggii***

Se presenta como caso de estudio un ensayo de procedencias y/o progenies de *Pinus greggii* establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA). Se incluyen cinco procedencias con siete familias (progenies) cada procedencia, lo que genera un total de 35 progenies en evaluación.

Es este caso, es importante señalar que se estableció el ensayo en campo en 2005. En una primera evaluación en 2006 para la variable altura de planta, no se encontraron diferencias significativas entre procedencias ni entre progenies. Por lo que en 2007 y 2008 se realizó una evaluación del crecimiento del brote terminal, empleando únicamente tres de las cinco procedencias, y tres de siete familias por procedencia, eligiendo las más contrastantes en altura, de acuerdo con la evaluación realizada en diciembre de 2006.

Enseguida se presenta la forma en que se evaluó el ensayo de procedencias y progenies y los resultados a nivel de procedencias del crecimiento del brote terminal de tres procedencias de este ensayo.

La información fue tomada de:

Playas R., I. 2010. Crecimiento del brote terminal en un ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Saltillo, Coah. México. 43 p.

### 10.2.1 Objetivos

En el ensayo de procedencias y/o progenies se pueden establecer varios objetivos.

Como ensayo de procedencias, el objetivo principal es:

- Determinar las diferencias entre procedencias para un conjunto de variables de interés económico, por ejemplo: crecimiento en altura y diámetro basal, diámetro de copa, número de ciclos de crecimiento, rectitud del fuste, número de ramas por verticilo y supervivencia.
- Como ensayo o prueba de progenie los objetivos pueden ser:
- Estimar el valor genético de los progenitores en función de la respuesta de sus progenies o familias.
- Estimar parámetros genéticos, tales como componentes de varianza, heredabilidades y correlaciones genéticas y fenotípicas, de las variables de interés.

### 10.2.2 Selección y admisión del material selecto

Con semilla proporcionada por personal del Programa Forestal del Colegio de Postgraduados de México y por la Cooperativa de Recursos de Coníferas de Centro América y México (CAMCORE) proveniente de colectas de semilla identificadas por árbol en cinco procedencias de *Pinus greggii* (Cuadro 9), se produjo un lote de plantas de familias de medios hermanos de cinco procedencias.

Cuadro 9. Localización geográfica de las cinco procedencias de *Pinus greggii* Engelm., de la Sierra de Arteaga, Coah.

Procedencia	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)
Pto. Conejo, Coah.	25° 29'	100° 35'	2,520
Sta. Anita, Coah.	25° 27'	100° 34'	2,560

El Tarillal, Coah.*	25° 27'	100° 31'	2,500
Los Lirios, Coah.	25° 23'	100° 30'	2,420
Jamé, Coah.	25° 21'	100° 35'	2,552

\*Datos tomados en la carta topográfica del INEGI 1992 con clave G14C35. San Antonio de las Alazanas, Coah. Esc. 1:50000

Debido a que una de las procedencias contaba únicamente con plantas de siete familias, se decidió elegir para el resto de las procedencias siete familias, para establecer un ensayo de cinco procedencias con 35 progenies de esta especie.

### 10.2.3 Establecimiento del ensayo

El ensayo de procedencias y/o progenies de *Pinus greggii* se estableció en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (25° 23' N, 100° 36' O, 2280 msnm) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Los Lirios, Arteaga, Coah., ubicado a aproximadamente 45 km de la ciudad de Saltillo, Coah.

La plantación se realizó en agosto de 2005, con el sistema de plantación de cepa común, con distribución en marco real, a una separación de 2 x 2 m. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con 13 bloques (repeticiones), en cada bloque están representadas las cinco procedencias de forma aleatoria, y en cada procedencia están presentes siete familias también en forma aleatoria, la parcela de cada familia tiene dos plantas, por lo que la parcela a nivel de procedencia tiene 14 plantas, generando un total de 910 plantas en el experimento. Al momento de la plantación, no se colocaron plantas en el perímetro del experimento.

### 10.2.4 Análisis de los datos

#### Para analizar los datos a nivel de ensayo de procedencias

Primeramente se debe obtener para cada variable de evaluación la media de cada parcela a nivel de procedencia, es decir un lote de 14 plantas por bloque que corresponde a las siete familias de dicha procedencia presentes en ese bloque. Así se tendría un total de 65 parcelas para ser analizadas en un diseño de bloques completos al azar, bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + P_j + \epsilon_{ij}$$

En donde:  $Y_{ij}$  es el valor de la observación del  $i$ -ésimo bloque de la  $j$ -ésima procedencia;  $\mu$  es el efecto de la media general;  $\beta_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo bloque;  $P_j$  es el efecto de la  $j$ -ésima procedencia;  $\epsilon_{ij}$  es el efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo bloque de la  $j$ -ésima procedencia (error experimental).

Si los resultados del análisis de varianza muestran que existen diferencias significativas entre procedencias, entonces se realiza la prueba Tukey de separación de medias para distinguir a las procedencias con mayor o menor valor, según la variable de interés.

### **Para analizar los datos a nivel de ensayo de progenies**

Primeramente se debe obtener para cada variable de evaluación, la media de cada parcela a nivel de progenie o familia, es decir, un lote de dos plantas por bloque que corresponde a las familias, sin importar la procedencia en ese bloque. De manera que se tendría un total de 455 parcelas para ser analizadas en un diseño de bloques completos al azar, bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + P_j + \epsilon_{ij}$$

En donde:  $Y_{ij}$  es el valor de la observación del  $i$ -ésimo bloque de la  $j$ -ésima progenie;  $\mu$  es el efecto de la media general;  $\beta_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo bloque;  $P_j$  es el efecto de la  $j$ -ésima progenie;  $\epsilon_{ij}$  es el efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo bloque de la  $j$ -ésima progenie (error experimental).

En este caso, si los resultados del análisis de varianza muestran que existen diferencias significativas entre progenies, entonces se puede realizar lo siguiente:

1. Prueba Tukey de separación de medias para distinguir a las progenies con mayor o menor valor, según la variable de interés y de esta manera valorar a los progenitores seleccionados fenotípicamente en campo.
2. Realizar un análisis de componentes de varianza, que permiten obtener la descomposición de los cuadrados medios esperados y con ello estimar la varianza del error, la varianza de los bloques, la varianza de las familias o progenies, y con ello posteriormente

estimar parámetros genéticos como heredabilidad, varianza aditiva, varianza fenotípica y correlaciones genéticas, entre otros.

Para este ensayo en una primera evaluación en 2006 para la variable altura de planta no se encontraron diferencias significativas entre procedencias ni entre progenies.

Nota:

En 2007 y 2008 se realizó una evaluación del crecimiento del brote terminal, empleando únicamente tres de las cinco procedencias, y tres de siete familias por procedencia, eligiendo las más contrastantes en altura, de acuerdo con la evaluación realizada en diciembre de 2006. Estas procedencias son: Puerto Conejos, Coah., El Tarillal, N.L. y Los Lirios, Coah.

Enseguida se presenta la metodología, los resultados, conclusiones y recomendaciones de dicho trabajo.

#### **10.2.4.1 Metodología**

Para este estudio solo se evaluaron tres procedencias (Puerto Conejos, Coah., Los Lirios, Coah. y El Tarillal, N. L.). El criterio de evaluar solo tres procedencias es que se eligieron las más contrastantes en cuanto a crecimientos en altura, de acuerdo con una evaluación previa, realizada en el ensayo en diciembre de 2006, antes comenzar con este estudio. Las procedencias empleadas son Puerto Conejos, El Tarillal y Los Lirios.

Para la obtención de los crecimientos en altura, cada una de las plantas seleccionadas se marcaron con pintura diluida en agua. El 3 de marzo de 2007 se marcaron en la base del tallo de las plantas, esa fue tomada como la medida cero y a partir de ella se comenzó con el registro de datos de campo con diferencias entre cada medida de una a dos semanas hasta el día 13 de septiembre de 2009 fecha de la última medición de ese año.

El 26 de enero de 2008 se marcaron las plantas en la parte superior de la yema de crecimiento, esa fue tomada como la medida cero, a partir de ahí se realizó la medida semanalmente, con lapsos no mayores a dos semanas entre una y otra medición, hasta el último registro de datos de campo realizado el día 22 de noviembre de 2008. Las lecturas se tomaron en días julianos, los cuales se definen como una cuenta

continua de días a partir de un periodo u origen inicial (Wikipedia, 2010), para este estudio los periodos iniciales fueron a partir del 1 de enero, día juliano 1 hasta el 31 de diciembre día juliano 365 y 366, en el año 2007 y 2008, respectivamente.

Para la realización de las mediciones se utilizó una regla graduada en cm, con aproximación al mm, obteniendo incrementos en mm, resultado de las mediciones que se hicieron semanalmente o con lapsos no mayores a dos semanas.

Se elaboró una base de datos en el programa de Excel con la información de campo. Los incrementos acumulados se obtuvieron sumando las diferencias desde la medida cero hasta la última medición realizada. Los incrementos parciales son la diferencia en cm entre un incremento respecto a la medición anterior o siguiente, así con esto se pudo observar el crecimiento de las plantas de una medición a la siguiente.

Para realizar las gráficas se utilizó el programa Sigma Plot (versión 10.0). Y en el programa de SAS (versión 9.1) se realizaron análisis estadísticos para obtener la media y medidas de dispersión como la varianza, valores mínimos, máximos, coeficiente de variación y error estándar de los incrementos parciales y acumulados.

Además, para cada procedencia se realizaron correlaciones simples (correlaciones de Pearson) entre el crecimiento (parcial y acumulado) y las variables ambientales: temperatura mínima, máxima, media, precipitación y fotoperiodo. Debido a que los valores de temperatura y precipitación obtenidos de la estación meteorológica de San Antonio de las Alazanas para los años 2007 y 2008 se reportan como promedio para cada mes, fue necesario obtener los crecimientos acumulados y parciales lo más cercano a cada mes, para hacer las correlaciones. En el caso del fotoperiodo, el valor de cada mes que se usó fue el correspondiente a un día intermedio de cada mes, para la latitud del CAESA.

Asimismo se realizaron análisis de varianza para determinar si existían o no diferencias estadísticas entre las procedencias en cada fecha de evaluación. En aquellos tratamientos que presentaron diferencias estadísticamente significativas en el ANVA, se realizó la comparación de medias por el procedimiento de Tukey.

Los análisis de varianza se realizaron usando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

En donde:

$Y_{ij}$  = Valor de la observación en la  $i$ -ésima procedencia, en el  $j$ -ésimo bloque

$\mu$  = Valor del efecto presente respecto a la media general.

$P_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima procedencia.

$B_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque.

$\epsilon_{ij}$  = Efecto de la interacción entre la  $i$ -ésima procedencia y el  $j$ -ésimo bloque (error experimental considerado).

#### **10.2.4.2 Resultados**

De forma general se puede señalar lo siguiente:

Los periodos de mayor crecimiento en las tres procedencias se presentaron de junio a principios de agosto con aproximadamente un 54% del total del crecimiento en 2007 y de finales de mayo a julio con un 72.5% del total de crecimiento en 2008. Las mayores tasas de crecimiento fueron entre 0.27 cm día<sup>-1</sup> y 0.28 cm día<sup>-1</sup> en mayo de 2007 y entre 0.32 cm día<sup>-1</sup> y 0.33 cm día<sup>-1</sup> en junio de 2008. Los factores ambientales que mejor se asociaron con la tasa de crecimiento en las diferentes fechas de evaluación fueron la temperatura mínima y media; promedio mensual junto con el fotoperiodo. Se encontraron diferencias estadísticas entre procedencias para el crecimiento acumulado, únicamente en ocho fechas de evaluación de 2007. Para el resto de las fechas de evaluación de ese año y en 2008 no se presentaron diferencias estadísticas en el crecimiento acumulado ni en el crecimiento parcial.

Los periodos de mayor crecimiento en las tres procedencias se presentaron de junio a principios de agosto con aproximadamente un 54% del total del crecimiento en 2007 y de finales de mayo a julio con un 72.5% del total de crecimiento en 2008. Las mayores tasas de crecimiento fueron entre 0.27 cm día<sup>-1</sup> y 0.28 cm día<sup>-1</sup> en mayo de 2007 y entre 0.32 cm día<sup>-1</sup> y 0.33 cm día<sup>-1</sup> en junio de 2008. Los factores ambientales que mejor se asociaron con la tasa de crecimiento en las diferentes fechas de evaluación fueron la temperatura mínima y media; promedio mensual junto con el fotoperiodo. Se encontraron diferencias estadísticas entre procedencias para el crecimiento

acumulado, únicamente en ocho fechas de evaluación de 2007. Para el resto de las fechas de evaluación de ese año y en 2008 no se presentaron diferencias estadísticas en el crecimiento acumulado ni en el crecimiento parcial.

De manera más explícita se tiene lo siguiente:

### Crecimiento del brote terminal durante el año

La elongación del brote terminal en 2007 (Figura 46) comenzó su crecimiento alrededor del 15 de abril (día juliano 105) en las tres procedencias. Al inicio del crecimiento (día juliano 96) se puede apreciar, que la procedencia Puerto Conejos tiene mayor crecimiento, seguida de Los Lirios, mientras que El Tarillal tiene el menor crecimiento. Al final del período de evaluación (día juliano 256) la procedencia

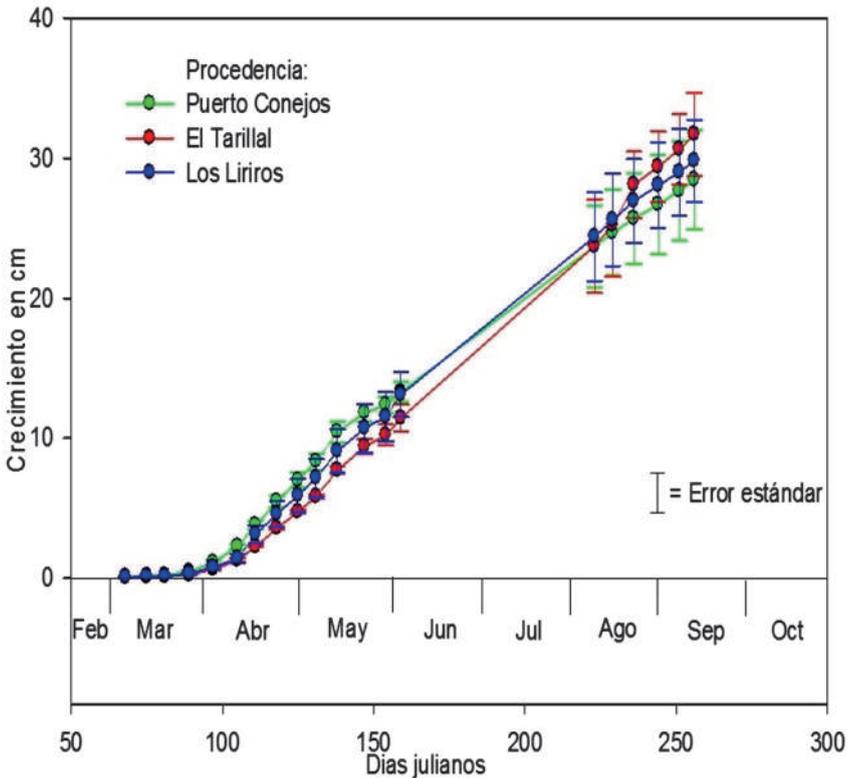


Figura 46. Crecimiento en altura durante 2007 de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. con sus respectivos errores estándar, evaluadas en una plantación experimental en el CAESA, Arteaga, Coah.

El Tarillal se sitúa sobre las demás procedencias, con el mayor crecimiento, por encima de Los Lirios y Puerto Conejos. Los registros muestran que hasta el 13 septiembre seguía creciendo, lo que corresponde a un período de 131 días. Sin embargo, durante 2007 no se continuó la evaluación después de septiembre, por lo que no se tiene certeza del tiempo preciso de la finalización en ese año.

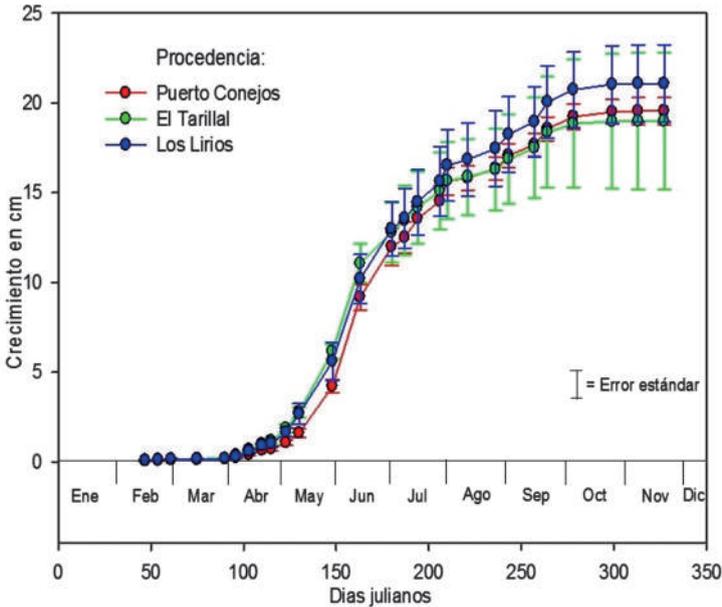


Figura 47. Crecimiento en altura durante 2008 de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. con sus respectivos errores estándar, evaluadas en una plantación experimental en el CASA, Arteaga, Coah.

Mientras que para el crecimiento anual de las tres procedencias para 2008 (Figura 47) se observa cómo el brote terminal comienza su crecimiento alrededor del 5 de abril (día juliano 96) en las tres procedencias. El inicio del crecimiento en las tres procedencias es casi igual, por lo cual no se observa una procedencia que destaque respecto a las otras. Al inicio del crecimiento (día juliano 96) la procedencia de Los Lirios tiene mayor crecimiento seguido de El Tarillal mientras que Puerto Conejos se puede apreciar por debajo de las dos anteriores con el menor crecimiento. Al final del periodo de evaluación, el 22 de noviembre (día juliano 327), la procedencia el Tarillal se sitúa sobre las demás procedencias, con el mayor crecimiento, por encima de Puerto

Conejos y Los Lirios, debido a que El Tarillal presentó mayor tasa de crecimiento (mayor pendiente). Para 2008 se tiene la certeza de que las procedencias dejaron de crecer hasta el día 25 de octubre (día juliano 299), lo que corresponde a un periodo de crecimiento de 203 días de crecimiento.

### Variación entre procedencias

Para 2007 los análisis de varianza mostraron que existen diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre las tres procedencias evaluadas para ocho fechas de evaluación (días julianos 89, 97, 105, 111, 118, 125, 131 y 138). Mientras que para el año 2008 no se presentaron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre las tres procedencias en ninguna de las fechas evaluadas.

Es probable que el no encontrar diferencias se deba al alto valor del error estándar (Figuras 46 y 47) lo cual se ve reflejado en el alto coeficiente de variación de los análisis de varianza de cada fecha, los cuales presentaron valores superiores al 30%.

De los resultados obtenidos se puede observar que la procedencia de Puerto Conejos se mantiene como la procedencia con valores superiores respecto a por lo menos una de las otras dos procedencias evaluadas. Las procedencias El Tarillal y Los Lirios cambian de posición en las diferentes fechas, por ejemplo, en el día juliano 89 El Tarillal es la procedencia con menor crecimiento, mientras que en el día juliano 111 esta misma procedencia es la de crecimiento intermedio y Los Lirios es la de menor crecimiento (Cuadro 10).

Cuadro 10. Prueba de comparación de medias de Tukey para el crecimiento anual en altura de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. evaluadas en 2007, en una plantación experimental en el CAESA, Arteaga, Coah.

Procedencia	Fechas de evaluación en días julianos							
	89	105	111	118	125	131	138	147
	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media
Pto. Conejos	0.48 a	2.27 a	3.79 a	5.48 a	6.99 a	8.33 a	10.45 a	11.81 a
El Tarillal	0.25 b	1.29 b	2.30 b	3.60 b	4.75 ab	5.86 b	7.73 b	9.47 b
Los Lirios	0.31ab	1.44 b	3.10 c	4.53 ab	5.91 b	7.06 ab	8.92 b	10.50 b

Medidas con la misma letra no son significativamente diferentes ( $p = 0.05$ ) de acuerdo con la prueba Tukey.

Para 2008 no se presenta un cuadro de separación de medias, debido a que no se encontraron diferencias significativas en los análisis de varianza, como se mencionó anteriormente.

En el crecimiento de la procedencia local (Los Lirios) para 2007 se observó que no sobresalió en ningún momento por arriba de las otras dos procedencias evaluadas (Puerto Conejos y El Tarillal) ya que en las fechas en que se presentaron diferencias estadísticas en algunos casos fue igual que El Tarillal (días julianos 89, 118 y 131), en otros fue inferior al Tarillal (días julianos 105, 138 y 147) y en otras fechas fue la de menor crecimiento (días julianos 111 y 125). Al final del año no hubo diferencias estadísticas entre las tres procedencias. Y en 2008 en ninguna fecha de evaluación se presentaron diferencias estadísticas.

### **Variación dentro de procedencias**

Existen diferentes formas de evaluar la variación, entre los recursos estadísticos más empleados se encuentra la desviación estándar, el error estándar y el coeficiente de variación (Morice, 1975). El error estándar es uno de los más empleados, pues permite hacer una mejor interpretación de la información, ya que este valor incluye a la desviación estándar y el número de muestras (Chávez *et al.*, 2001), o el número de parcelas utilizadas en este caso de estudio. Sin embargo, en ciertas situaciones, el coeficiente de variación puede ser también de utilidad, dado que permite comparar la desviación estándar, pero en relación con la media (Sánchez, 1996).

Se encontró que la variación dentro de las procedencias fue mayor en 2008, en comparación con 2007, ya que para 2007 el C.V. en las diferentes fechas estuvo entre 8 y 42%, mientras que para 2008 estuvo entre 6 y 118% (Cuadro 11), lo que indica que familias de la misma procedencia presentaron diferentes tasas de crecimiento, como también se mostró con el error estándar a través del tiempo (Figuras 46 y 47).

Cuadro 11. Valores mínimos y máximos del coeficiente de variación encontrado para los dos años de evaluación en las tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. evaluadas en una plantación experimental en el CAESA, Arteaga, Coah.

Procedencia	2007		2008	
	Mínimo%	Máximo%	Mínimo%	Máximo%
Puerto Conejos	8	37	6	118
El Tarillal	4	42	17	115
Los Lirios	10	37	14	67

El encontrar respuestas diferentes en dos años de evaluación, permite reconocer que para este tipo de estudios se requiere repetir por varios años y buscar asociar la respuesta con el mayor número de variables ambientales, para encontrar la mejor explicación del fenómeno del crecimiento a través del año.

Para 2007 se obtuvieron medidas de dispersión para cada procedencia durante las diferentes fechas de evaluación del crecimiento en 2007. A la última fecha de evaluación de ese año (13 de septiembre de 2007) que corresponde al día juliano 256, se puede notar que la procedencia Puerto Conejos presenta la mayor variabilidad, en cuanto al error estándar. Por su parte, la procedencia Los Lirios presenta la menor variabilidad en el mismo estadístico aun cuando su coeficiente de variación se presenta como un valor intermedio (Cuadro 12).

Cuadro 12. Valores promedio y medidas de dispersión del crecimiento en altura en la fecha 13 de septiembre (día juliano 256), de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. evaluadas en una plantación experimental en el CAESA, Arteaga, Coah.

Procedencia	Media (cm)	E.E (cm)	C.V. (%)	Mín. (cm)	Máx. (cm)	Rango (cm)
Pto. Conejos	28.45	3.53	21.48	23.74	35.35	11.61
El Tarillal	31.69	2.99	16.36	26.80	37.12	10.32
Los Lirios	29.80	2.95	17.12	25.20	35.29	10.09

E. E= Error estándar; D.E.= Desviación estándar; C.V.= Coeficiente de variación; Mín.= Mínimo; Máx.= Máximo

De igual forma se obtuvieron las medidas de dispersión para cada procedencia del crecimiento en 2008. A última fecha de evaluación de ese año (22 de noviembre de 2008) que corresponde al día juliano 327, se puede notar que la procedencia de Los Lirios presenta la mayor variabilidad, con un error estándar (E.E.) de 3.82 cm, mientras que la menor variabilidad la presenta Puerto Conejos con un error estándar (E.E.) de 0.76 cm (Cuadro 13).

Cuadro 13. Valores promedio y medidas de dispersión en la fecha 22 de noviembre (día juliano 327), de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. evaluadas en una plantación experimental en el CAESA, Arteaga, Coah.

Procedencia	Media (cm)	E.E (cm)	C.V. (%)	Mín. (cm)	Máx. (cm)	Rango (cm)
Pto. Conejos	19.53	0.76	6.780	18.06	20.62	2.56
El Tarillal	21.06	2.16	17.83	16.84	24.03	7.19
Los Lirios	18.98	3.82	34.88	13.07	26.14	13.07

E. E= Error estándar D.E.= Desviación estándar C.V.= Coeficiente de variación  
Mín.= Mínimo Máx.= Máximo

### 10.2.4.3 Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones:

- El inicio y la terminación del crecimiento están fuertemente influenciados por factores ambientales, las variables que más se asociaron en el presente estudio fueron la temperatura media, la temperatura mínima y el fotoperiodo.
- Entre los días 145 y 197 se presenta alrededor del 90% del crecimiento total para 2007 y 2008 respectivamente, éste ocurre en condiciones favorables de temperatura y fotoperiodo que se presentan en el verano.
- Existen diferencias entre procedencias en el crecimiento del brote terminal que solo se detectaron en algunas fechas de evaluación de 2007.
- No se detectó un patrón en la variación dentro de procedencias a través del tiempo ni entre los años evaluados.

Recomendaciones:

- Continuar este estudio y elevar el tamaño de muestra, ya que se considera como posible causa de que se den errores estándar tan altos y por lo tanto, no se encuentren diferencias estadísticas entre las procedencias.
- Diseñar una mejor metodología de medición, para ver si de esta forma se disminuyen los errores estándar y se favorece a la disminución de los altos valores de los errores estándar encontrados en los análisis de varianza.
- Llevar a cabo este estudio a nivel de familias, para identificar las posibles diferencias en crecimiento que no se pueden observar a nivel procedencia.

### **10.3 Caso de estudio III. Ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *australis***

*Pinus greggii* Engelm ex Parl. var. *australis* Donahue & López es de las especies más plantadas en México, y usada en aspectos de restauración y comerciales. Sin embargo, no hay programas de mejoramiento de la especie, ni producción de semilla de calidad genética superior para los viveros, en particular de la región de confluencia de los estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala.

Este proyecto pretendió establecer varios huertos semilleros para tener un abasto suficiente y continuo de germoplasma de calidad genética superior de *P. greggii*. Para lo cual se recolectó semillas de árboles superiores de este pino y se produjo planta en vivero para establecer una serie de plantaciones productoras de germoplasma. Primeramente se establecieron ensayos de procedencias-progenies, examinando la supervivencia, crecimiento, resistencia a heladas y sequía y el patrón de biología floral y vegetativa. Los datos se analizaron para determinar las diferencias entre y dentro de poblaciones de este pino. A los ocho años de edad se determinaron las mejores familias e individuos, para realizar las depuraciones genéticas y crear huertos semilleros de material superior.

#### **10.3.1 Objetivos**

El objetivo fue evaluar el desarrollo de árboles de varios ensayos de progenies, cuyo fin es la selección de las familias e individuos superiores para dejarlo que se entrecruzen en un huerto semillero.

Determinar algunos parámetros genéticos, como son la heredabilidad de caracteres de importancia adaptativa y de crecimiento y la interacción genotipo ambiente, con el fin de detectar las mejores progenies.

### 10.3.2 Selección y admisión del material selecto

Durante los años 1993 y 2004 se hicieron recorridos exhaustivos en el área natural de distribución de *P. greggii* var. *australis*. La semilla se estableció en el banco de germoplasma del postgrado Forestal del Colegio de Postgraduados. En febrero de 2004 se seleccionaron varios lotes de semilla de varias procedencias (Cuadro 14), cada una con 100 semillas, la que se desinfectó con una solución de cloro al 10% y después en una solución de agua oxigenada al 20% por 5 minutos, luego de lavarse con agua corriente, se dejó remojando en agua destilada una noche. Al día siguiente fueron separadas las semillas vanas o de embrión subdesarrollado que fueron las que flotaron en agua.

Inmediatamente se realizó la siembra en contenedores de 330 cc, que contenían un sustrato desinfectado por medio de baño María (por 4 horas), que estuvo compuesto por una mezcla de corteza y aserrín composteado por cinco meses (50%), turba (25%), agrolita (12.5%) y vermiculita (12.5%). Se utilizó un fertilizante de liberación lenta (15-9-12, Osmocote Plus) de ocho a nueve meses. Se colocaron dos semillas por contenedor, que al germinar se eliminó la plántula de emergencia más tardía, las que fueron trasplantadas a otros tubetes para ser utilizadas como repuesto o bien bordos experimentales.

Cuadro 14. Relación de familias de *Pinus greggii* var. *australis* establecidas en Cuatzetzengo, Hgo. y Toluca de Guadalupe, Tlax. indicando la procedencias de origen, número de lote de semilla en almacenamiento y número de control en campo.

Procedencia	Estado	No. en almacén C.P.	No. en Campo
Cebada	Hidalgo	2	1
Cebada	Hidalgo	4	2
Cebada	Hidalgo	7	3
Cebada	Hidalgo	10	4

Cebada	Hidalgo	12	5
Cebada	Hidalgo	15	6
Cebada	Hidalgo	17	7
Cebada	Hidalgo	19	8
Cebada	Hidalgo	20	9
Cobre	Hidalgo	4	12
Cobre	Hidalgo	10	14
Cobre	Hidalgo	17	16
Cobre	Hidalgo	18	17
Cobre	Hidalgo	15	18
Cobre	Hidalgo	19	19
Piñón	Hidalgo	2	21
Piñón	Hidalgo	4	22
Piñón	Hidalgo	11	25
Piñón	Hidalgo	15	26
Piñón	Hidalgo	17	27
Piñón	Hidalgo	19	28
Piñón	Hidalgo	21	29
Piñón	Hidalgo	26	30
Zacualpan	Veracruz	243	31
Zacualpan	Veracruz	244	32
Zacualpan	Veracruz	2	33
Zacualpan	Veracruz	5	34
Zacualpan	Veracruz	7	35
Zacualpan	Veracruz	11	36
Zacualpan	Veracruz	16	38
Xochicoatlán	Hidalgo	1	39
Xochicoatlán	Hidalgo	7	40
Xochicoatlán	Hidalgo	9	41
Xochicoatlán	Hidalgo	15	42
Xochicoatlán	Hidalgo	20	44
Xochicoatlán	Hidalgo	21	45
Xochicoatlán	Hidalgo	27	46

San Joaquín	Querétaro	8	49
San Joaquín	Querétaro	198	50
San Joaquín	Querétaro	13	51
San Joaquín	Querétaro	18	52
San Joaquín	Querétaro	27	53
San Joaquín	Querétaro	28	54
Valle Verde	Querétaro	4	55
Valle Verde	Querétaro	7	56
Valle Verde	Querétaro	9	57
Valle Verde	Querétaro	29	61
Valle Verde	Querétaro	30	62
Villa Hermosa	Hidalgo	2	63
Villa Hermosa	Hidalgo	3	64
Villa Hermosa	Hidalgo	4	65
Villa Hermosa	Hidalgo	7	68
Villa Hermosa	Hidalgo	9	69
Villa Hermosa	Hidalgo	11	70
Villa Hermosa	Hidalgo	13	71
Villa Hermosa	Hidalgo	14	72
Palma	Hidalgo	1	73
Palma	Hidalgo	4	75
Palma	Hidalgo	6	76
Palma	Hidalgo	9	77
Palma	Hidalgo	14	79
Palma	Hidalgo	15	80
Palma	Hidalgo	17	81

### 10.3.3 Establecimiento de los ensayos

La producción de planta fue dentro de un invernadero, dándose riegos frecuentes con agua de ph 6.7, o bien de la recolectada al inicio de la época de lluvias. Se aplicaron fungicidas preventivos para evitar daños por fusarium y se aplicó durante el primer mes, cada semana captan a razón de 2.5 gr por litro para prevenir Damping-off. Además se utilizó

la rutina de fertilización con fertilizantes solubles (Peters), iniciador (9-45-15), desarrollo (20-20-20) y finalizador (4-25-35).

Al inicio de lluvias se visitaron dos predios forestales, uno en el Coatzetzingo, Cuauhtepic de Hinojosa y el otro en Toluca de Guadalupe, Terrenate, Tlax. (Cuadro 15) (Figura 48). Se determinó en uno hacer un surcado con tractor, con un subsoleo de 40 cm de profundidad para mejorar infiltración de agua.

Antes de la plantación se elaboró un inventario de las plantas supervivientes en el vivero. Se marcó cada tubete con un marcador permanente color plateado con el número de la familia (Cuadro 15). Se procedió a realizar la aleatorización de las familias, se elaboró el diseño con 18 bloques en papel. Con este esquema en el vivero se procedió a seleccionar las mejores plantas de cada familia. Estas se colocaron en la posición correspondiente, según el esquema en la parte de la rejilla. Cada rejilla se marca con el número del bloque y así fue transportada a los sitios de plantación. Previamente las plantas se dejaron a luz plena por 15 días para endurecerlas.

Cuadro 15. Características de los dos ensayos de *Pinus greggii* en evaluación.

Especie	Fecha de plantación	Lugar	Altitud msnm	Tipo de ensayo	Diseño
<i>P. greggii</i>	24 Jun-04	Toluca de Guadalupe, Terrenate, Tlax.	2,660	Progenies 60 familias	18 Bloques en 6 terrazas
<i>P. greggii</i>	28-Jul-04	Coatzetzingo, Cuauhtepic de Hinojosa, Hgo.	2,740	Progenies 62 familias.	18 bloques en 36 terrazas

En cada ensayo se plantaron de 60 a 62 familias, en 18 bloques al azar, utilizando parcelas de un solo árbol. Las plantaciones fueron establecidas en espaciamiento de 3 x 3 m en área de hasta 1 ha. Este tipo de parcelas permite reducir la variación ambiental dentro el bloque, haciendo posible una mejor estimación de los parámetros estadísticos como medias (ajustadas por efectos de bloques) y las varianzas. Además, permite que una vez eliminadas las familias inferiores queden mejor distribuidos los árboles sobresalientes de las mejores familias dentro del huerto

semillero (sexual). Se hicieron cepas de 40 x 40 x 40 cm, y cajeteo. Cada año se realizaron aporques y deshierbes alrededor de las plantas. Durante el segundo año se repusieron plantas muertas para fomentar la competencia completa entre los árboles experimentales y se realizó una aplicación de fertilizante Nitrofosca complex (12+12+17, +2+8, N, P, K, Mg, S, B, Zn) a razón de 50 g por árbol.



Figura 48. Ensayos de progenies en Coatzetzengo, Cuautepec de Hinojosa, Hidalgo (a) y en Toluca de Guadalupe, Terrenate, Tlaxcala (b).

### 10.3.4 Análisis de los datos

A los árboles de cada uno de los ensayos se les evaluó su altura, diámetro del fuste a 1.3 m, rectitud del fuste, número de ramas y presencia de plagas. Los datos de evaluación se hicieron en los meses de enero y febrero, que es cuando los árboles están en reposo. La medición final fue durante el mes enero de 2013, a la edad de nueve años. Los datos de cada ensayo se capturaron en formatos electrónicos para ser analizados con el paquete estadístico SAS y procedimiento mixto (mixed) que utiliza el algoritmo REML (Máxima Probabilidad Restringida). Se usó BLUP para estimar parámetros insesgados de varianzas y determinar así heredabilidad individual y de medias de familias (SAS Institute, 2002). El procedimiento Mixto considera adecuadamente los efectos fijos como fijos y los aleatorios como tales. Se hicieron análisis de varianza en conjunto (ambos sitios) y por separado por sitio con el procedimiento MIXED de SAS, para el análisis en conjunto se utilizó el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + \beta_{j(i)} + P_k + SP_{ik} + \beta_{Pj(i)k} + F_{l(k)} + SF_{il(k)} + e_{ijkl}$$

En donde:  $Y_{ijkl}$  es el valor observado en el individuo de la  $l$ -ésima familia, dentro del  $k$ -ésima procedencia, en el  $j$ -ésimo bloque anidado en el  $i$ -ésimo sitio,  $\mu$  es la media poblacional,  $S_i$  es el efecto fijo del  $i$ -ésimo sitio,  $\beta_{j(i)}$  es el efecto aleatorio de bloque anidado en sitio  $\sim NID(0, \sigma_{b(s)}^2)$ ;  $P_k$  es el efecto fijo del  $k$ -ésima procedencia;  $SP_{ik}$  es el efecto fijo de la interacción sitio por procedencia;  $\beta_{Pj(i)k}$  es el efecto aleatorio de la interacción bloque por procedencia  $\sim NID(0, \sigma_{bp}^2)$ ;  $F_{l(k)}$  es el efecto aleatorio de la  $l$ -ésima familia anidada en procedencia  $\sim NID(0, \sigma_{f(p)}^2)$ ;  $SF_{il(k)}$  es el efecto aleatorio de la interacción sitio por familia anidada en procedencia  $\sim NID(0, \sigma_{sf8p9}^2)$ ; y  $e_{ijkl}$  es el error asociado a dichos efectos  $\sim NID(0, \sigma_e^2)$ ;  $i =$  Coatzacoatz y Toluca;  $j = 1, 2, \dots, 17$  o 6 bloques;  $k =$  procedencias; y  $l = 1, 2, \dots, 62$  familias.

Para el análisis de cada sitio se utilizó el mismo modelo general, eliminando los términos donde aparece el efecto de sitios:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + P_j + BP_{ij} + F_{k(j)} + e_{ijk}$$

En donde:  $Y_{ijk}$  es el valor de la observación del árbol de la familia  $k$  perteneciente a la  $j$  procedencia en el bloque  $i$ ,  $B_i$  es el efecto fijo del bloque,  $P_j$  es el efecto fijo de la procedencia,  $BP_{ij}$  es el efecto fijo de

la interacción bloque por procedencia,  $F_{k(j)}$  es el efecto aleatorio de la familia  $k$  anidada en la procedencia  $j$  y  $e_{ijk}$  es el efecto aleatorio error asociado a familias + bloques.

De esta forma la heredabilidad individual se calcula como  $h^2_i = 3 * \sigma^2_{f(p)} / (\sigma^2_{f(p)} + \sigma^2_e)$ , donde  $\sigma^2_{f(p)}$  es la varianza debida a familias anida en procedencia y  $\sigma^2_e$  es la varianza debida al error experimental.

Para definir los mejores árboles en el ensayo se utilizaron valores ajustados por los efectos del bloque. Entonces cada valor de cada árbol se ajustó positiva o negativamente por el valor de su bloque y la media general, con el procedimiento:

$$Y_{ijk \text{ adj}} = Y_{ijk} - B_i + \mu,$$

Valores antes descritos.

Teniendo los valores ajustados por efectos del bloque se obtuvieron los valores medios de las familias establecidas en cada ensayo. Así, para seleccionar los mejores árboles se utilizó el volumen del fuste y se usó un índice de selección que incluye la heredabilidad individual, la heredabilidad de medias de familias, el valor medio de la familia (con su valor ajustado) en particular y el valor del individuo selecto. Previo a esto, los árboles que fueron calificados como plagas, enfermos o mal conformados se eliminaron independientemente de su volumen ajustado.

### 10.3.5 Resultados

A nueve años de plantación en promedio la supervivencia, DN, ALT y Vol fue de 60.8%, 12.1 cm, 6 m y 28.5 dc<sup>3</sup> en Coatzacoatzengo y de 40.2%, 8.7 cm, 6.1 m 16.8 dc<sup>3</sup> para Toluca de Guadalupe, respectivamente; en todas las variables se detectaron diferencias significativas entre procedencias y familias en ambos sitios. En Coatzacoatzengo, la procedencia Valle Verde, Qro. fue la mejor para las tres características evaluadas (DN=13.33 cm, ALT=6.63 m, y VOL=37.6 dc<sup>3</sup>), mientras que Zacualpan, Ver Cuadro 16. fue la de menor desempeño (DN=8.89 cm, ALT=4.94 m, VOL=14.0 dc<sup>3</sup>).

Cuadro 16. Valores promedio y separación de medias de las procedencias evaluadas, usando las tres variables determinadas a nueve años de edad en el ensayo de Procedencias y/o progenies de *Pinus greggii* var. australis establecido en Coatzacoatzengo, Hgo.

Procedencias	Diámetro (mm)	Altura (m)	Volúmen (dc <sup>3</sup> )
Valle Verde	13.37±0.49 <sup>a</sup>	6.63±0.15 <sup>a</sup>	37.55±2.65 <sup>a</sup>
Piñón	12.74±0.39 <sup>ab</sup>	6.17±0.12 <sup>bc</sup>	32.37±2.08 <sup>ab</sup>
Cobre	12.44±0.45 <sup>abc</sup>	6.28±0.13 <sup>b</sup>	30.89±2.43 <sup>bc</sup>
Villahermosa	12.31±0.43 <sup>abc</sup>	6.19±0.13 <sup>bc</sup>	30.43±2.29 <sup>bc</sup>
Cebada	11.89±0.39 <sup>bc</sup>	5.96±0.12 <sup>cd</sup>	27.38±2.09 <sup>cd</sup>
Joaquín	11.76±0.49 <sup>bc</sup>	6.15±0.15 <sup>bcd</sup>	26.68±2.64 <sup>cd</sup>
Palma	11.72±0.41 <sup>c</sup>	5.88±0.12 <sup>d</sup>	25.39±2.18 <sup>d</sup>
Xochicoatlán	11.46±0.43 <sup>c</sup>	5.84±0.13 <sup>d</sup>	25.31±2.30 <sup>d</sup>
Zacualpan	8.89±0.47 <sup>d</sup>	4.94±0.14 <sup>e</sup>	14.03±2.53 <sup>e</sup>
Promedio	12.02±0.10	6.04±0.03	28.51±0.57

Cuadro 17. Valores promedio y separación de medias de las procedencias evaluadas, usando las tres variables determinadas a nueve años de edad en el ensayo de procedencias y/o progenies de *Pinus greggii* var. australis establecido en Toluca de Guadalupe, Tlax.

Procedencias	Diámetro (mm)	Altura (m)	Volúmen (dc <sup>3</sup> )
Valle Verde	9.65±0.4 <sup>a</sup>	6.63±0.16 <sup>a</sup>	20.81±1.64 <sup>a</sup>
Piñón	9.29±0.32 <sup>ab</sup>	6.32±0.12 <sup>ab</sup>	18.64.37±1.25 <sup>ab</sup>
Cobre	8.67±0.45 <sup>b</sup>	6.34±0.17 <sup>ab</sup>	15.83±1.66 <sup>b</sup>
Cebada	8.70±0.36 <sup>b</sup>	6.09±0.14 <sup>b</sup>	16.30±1.45 <sup>b</sup>
Joaquín	8.62±0.41 <sup>b</sup>	6.22±0.16 <sup>ab</sup>	16.48±1.63 <sup>b</sup>
Xochicoatlán	8.77±0.41 <sup>ab</sup>	6.07±0.16 <sup>b</sup>	15.67±1.61 <sup>b</sup>
Zacualpan	6.88±0.38 <sup>c</sup>	5.01±0.14 <sup>c</sup>	9.03±1.48 <sup>c</sup>
Promedio	8.66±0.13	6.08±0.06	28.51±0.57

En Toluca de Guadalupe, igualmente la procedencia de Valle Verde, Qro. fue la mejor (DN=9.65 cm, ALT=6.63 m, y VOL=20.8 dc<sup>3</sup>), y la de Zacualpan, Ver. la de menor desempeño (DN=6.88 cm, ALT=5.01 m, y VOL=9.0 dc<sup>3</sup>, Cuadro 17).

Los resultados evidencian la importancia de considerar la procedencia durante el establecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en plantaciones en el centro del país. Las heredabilidades individuales para las tres variables evaluadas son mayores en el sitio Coatzetzengo en comparación con Toluca de Guadalupe (ALT=0.19 y 0.12, DN=0.28 y 0.23, y volumen=0.26 y 0.17 dc<sup>3</sup>), (Cuadro 18 y 19).

Cuadro 18. Valores de varianza para los efectos aleatorios y valor de heredabilidad para las tres variables evaluadas en el ensayo de progenies-procedencias de *Pinus greggii* var. *australis* a los 9 años, Coatzetzengo Hgo.

Variable	Efecto	Valor estimado de la varianza	h <sup>2</sup>
Diámetro	Fam (Pob)	8.511	0.23
	Residual	81.62	
Altura	Fam (Pob)	5.138	0.12
	Residual	74.1	
Volumen	Fam (Pob)	7.959	0.17
	Residual	83.18	

El análisis conjunto, con los datos de los dos sitios, no muestra diferencias significativas entre sitios de evaluación, ni interacción de sitio x población, lo que indica que las mejores procedencias son las mismas en ambos sitios (Cuadro 19, Cuadro 16 y 17 para observar medias de las procedencias).

Solo se encontró diferencias significativas en la interacción de sitio x familias en la variable de diámetro (p=0.0384), asimismo, utilizando las familias en común, para volumen y altura a 9 años, se encuentra una moderada interacción en diámetro (r=0.59). No hay interacción genotipo ambiente para la altura y el volumen de los árboles con valores de r<sub>B</sub> de 1.0 y 0.80. Esto indica que para el volumen del fuste, las mejores familias en un sitio serán las mejores en ambos sitios (en general) y

las de menor crecimiento en Coatzacoatzengo, Hgo. lo son en Toluca de Guadalupe, Tlaxcala, en un sitio ubicado a 150 km separados. Esto es importante, implica que las familias superiores pueden ser utilizadas en una amplia región al convertir ambos ensayos a huertos semilleros (Cuadro 18). La heredabilidad inesgada para volumen resultó ligeramente superior que para la altura y el diámetro.

Cuadro 19. Valores de varianza para los efectos aleatorios y valor de heredabilidad para las tres variables evaluadas en el ensayo de progenies-procedencias de *Pinus greggii* var. australis a los 9 años, Toluca de Guadalupe, Tlax.

	Efecto	Valor de P	Varianza (para efectos aleatorios)	h <sup>2</sup>	r <sup>B</sup>
Diámetro	sitio	0.6815		0.1385	0.5869
	pob	<.0001			
	sitio*pob	0.7416			
	fam	<.0001	0.0397		
	sitio*fam	0.0384	0.02794		
	error		0.7924		
Altura	sitio	0.3758		0.1300	1.0000
	pob	<.0001			
	sitio*pob	0.9515			
	fam	0.0015	0.03076		
	sitio*fam	0.4489	0		
	error		0.679		
Volumen	sitio	0.4238		0.1531	0.7965
	pob	<.0001			
	sitio*pob	0.7434			
	fam	0.0002	0.04368		
	sitio*fam	0.1435	0.01116		
	error		0.8008		

Entre familias, las medias variaron en volumen de 8 a 43 dc3 en Coatzacoatzengo y de 3 a 46 dc3 en Toluca de Guadalupe, por lo que al seleccionar los mejores individuos de las mejores familias se obtendrá un diferencial de selección muy amplio, lo que permitirá obtener una ganancia genética amplia para la siguiente generación, cuando se obtenga germoplasma de estas plantaciones, una vez eliminados los individuos inferiores de los ensayos y se dejen pasar 2.5 años para formar los conos.

### **10.3.6 Conclusiones y recomendaciones**

Los resultados evidencian la importancia de considerar la procedencia durante el establecimiento de *Pinus greggii* var. australis en plantaciones en el centro del país, siendo mejor la de Valle Verde, la población más grande de esta especie, lo que puede estar relacionado con su diversidad genética. La peor resultó la de la procedencia de menor elevación y alta precipitación, que probablemente está mal adaptada a sitios de alta elevación y menor precipitación.

Se determinaron diferencias significativas entre familias y procedencias, pero no entre sitios de evaluación. No hay interacción genotipo ambiente para altura y volumen, aunque sí para el diámetro. Para volumen las mejores familias en un sitio lo son en el otro sitio. Las heredabilidades son moderadas y ligeramente mayores para el volumen.

Se recomendó eliminar los árboles inferiores y convertir el ensayo en un huerto semillero sexual, al utilizar los datos ajustados por bloques con base en el volumen del fuste.

## 11. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Este glosario está tomado de Ipinza *et al.* (1998), FAO (2003) y Secretaría de Economía (2013).

**Acervo genético.** La suma total de toda la variación genética en la población de mejoramiento de una especie y especies estrechamente relacionadas, capaces de cruzarse con ella.

**Análisis de varianza.** Corresponde a un análisis estadístico que estima valores F (cocientes de varianza), para determinar la probabilidad de que las diferencias entre poblaciones o tratamientos son demasiado grandes como para ser debidas al azar.

**Árbol candidato.** Un árbol que ha sido tentativamente seleccionado para ser incluido en un programa de mejoramiento, pero aún no ha sido evaluado (Ver árbol plus y árbol élite).

**Árbol élite.** Un árbol que ha demostrado a través de las pruebas de progenie que produce descendencia superior (Ver árbol plus y árbol candidato).

**Árbol plus.** Un árbol fenotípicamente superior, pero que no ha sido probado genéticamente (Ver árbol élite y árbol candidato).

**Área productora de semilla.** Un rodal no plantado especialmente para producir semilla, pero depurado de árboles inferiores y manejados para producir grandes cantidades de semilla. Normalmente el rodal es de un origen conocido o de un lote de semilla seleccionado.

**Autopolinización.** Polinización natural o artificial de una flor femenina con polen del mismo genotipo (Ver endogamia).

**Banco clonal.** Es un plantío de árboles seleccionados, propagados clonalmente y normalmente diseñado para facilitar el trabajo de mejoramiento.

**Banco de genes.** Una colección de germoplasma (semillas, polen, plantas completas, extracto de ADN) colectado y mantenido así como una muestra de la variabilidad genética en una población. (Ver conservación de germoplasma).

**Biodiversidad.** Diversidad biológica. La variedad y variabilidad (tanto en número y frecuencia) de los organismos, la variabilidad genética dentro de cada especie, así como la variedad de procesos y funciones en un ecosistema.

**Bloque.** En un estudio de campo arreglado en un diseño en bloques aleatorizados, un bloque es una unidad de terreno que posee al menos una parcela de todas las unidades genéticas (familias, clones, procedencias) plantadas. En este caso, repetición y bloque son sinónimos.

**Carácter o rasgo.** Un distintivo, pero no necesariamente un factor invariable, exhibido por todos los individuos de un grupo y capaz de ser descrito y medido; por ejemplo: color, tamaño y desempeño. Un carácter de un individuo tendrá un cierto fenotipo, determinado por su genotipo individual y por el ambiente.

**Cline.** Una gradiente ambiental (temperatura, lluvia, pH del suelo...) y una correspondiente gradiente fenotípica en una población de plantas o animales. Cuando estos han sido evaluados mediante pruebas de procedencias, se ha encontrado que tienen una base genética.

**Clon.** Un grupo de plantas producidas desde estacas, tocones o brotes radiculares, cultivo de tejido o algunos otros métodos que producen descendencia genéticamente idéntica a la planta original. También como grupo de individuos genéticamente idénticos, reproducidos asexualmente de un ancestro común (Ver ortet y rameto).

**Conillos, piñita.** Un cono femenino inmaduro en coníferas (estróbilo).

**Conservación de germoplasma *ex-situ*.** Mantención la variabilidad genética de una población en un ambiente o localización geográfica diferente a donde evolucionó. Por ejemplo: plantaciones de especies exóticas, bancos clonales, almacenamiento en frío de semilla o polen (Ver banco clonal).

**Conservación de germoplasma *in situ*.** Mantenimiento de la variabilidad de una población en aproximadamente las mismas condiciones geográficas y ecológicas bajo las cuales evoluciona (Esta debe ser siempre la primera elección).

**Conservación de germoplasma.** Mantención de la variabilidad genética de una población. El término es usado en vez de preservación de germoplasma para reflejar la naturaleza cambiante de las poblaciones vivas.

**Cruza controlada.** Colectar polen desde un árbol y polinizar un segundo árbol. Progenie de un cruzamiento controlado.

**Depresión endogámica.** La reducción del vigor observada en la progenie de cruzamiento entre parientes cercanos. La depresión endogámica es debida a la expresión de alelos recesivos perjudiciales y es severa en especies exogámicas de polinización abierta.

**Depuración.** Remoción de los árboles que tienen un fenotipo indeseable, o que ha sido demostrado a través de pruebas de progenie, que presentan genotipos menos deseables. La depuración puede realizarse en un huerto semillero, área de producción de semilla o en invernaderos.

**Desbalanceado.** En un diseño experimental, se refiere a un experimento o conjunto de datos en que todos los tratamientos o combinaciones de tratamientos no tienen igual representación. La causa más común de experimentos desbalanceados, es la mortalidad desigual entre unidades genéticas en una prueba o ensayo.

**Dialelo completo.** Es el diseño de cruzamiento y subsecuente prueba de progenie resultante del cruce de "n" progenitores en todas las posibles "n<sup>2</sup>" combinaciones, incluyendo la autofertilización y los recíprocos. Debido a la severa depresión endogámica de la autofertilización, estos cruces son frecuentemente saltados y la prueba se denomina de dialelo completo.

**Dialelo incompleto o parcial.** Un muestreo parcial. Algunas familias individuales o tipos de familia pueden ser omitidas del diseño de cruzamiento. Tanto en los dialelos completos como en los incompletos, la identidad del progenitor de semilla y polen es mantenida para cada familia.

**Diferencial de selección.** Es la diferencia fenotípica entre un árbol, familia o clon seleccionado y el promedio de la población de la cual fue colectado.

**Diseño en bloques completamente al azar.** Es el diseño experimental más común utilizado en pruebas de campo de progenie, procedencia y clonales. Cada grupo genético en la prueba es repetido una vez en cada bloque. Todos los grupos genéticos son arreglados aleatoriamente dentro de un bloque y un nuevo patrón de aleatorización es usado para el siguiente bloque (Ver repetición, bloque y parcela).

**Disgenia.** Una acción o proceso que es perjudicial a la calidad genética de una población. Usualmente aplicado a las acciones humanas, tales como el "floreo" y en algunos casos la tala rasa, que pueden reducir el acervo genético local de una población natural.

**Diversidad genética.** Concepto general: la cantidad de variabilidad genotípica en una población (Ver acervo genético).

**Dominancia.** En genética mendeliana clásica, es el enmascaramiento de la acción de un alelo por otro. Si un individuo de flores rojas es cruzado con un individuo de flores blancas y toda la progenie tiene flores rojas, el alelo para el pigmento rojo es completamente dominante sobre el alelo para las flores blancas.

**Ecotipo.** Es una población de una especie que ocurre en un ambiente particular bien definido. Usualmente muestra mejor adaptación a ese ambiente que la especie como un todo.

**Endémico.** Una especie o subespecie de planta o animal, nativo de una pequeña región y que no está presente en otro lugar.

**Endogamia.** Cruzamiento entre individuos emparentados. En especies de polinización abierta la endogamia provoca una pobre producción de semilla, baja germinación y una severa reducción del crecimiento.

**Ensayo clonal.** Plantación establecida con el propósito de estimar el valor genético relativo de uno o más clones, comparando el desarrollo que presentan en campo sus rametos (plantas obtenidas asexualmente de los clones).

**Ensayo o prueba de progenie.** Plantación establecida con el propósito de estimar el valor genético de los individuos selectos de donde se recolectó la semilla (progenitores), comparando su desarrollo en campo.

**Exótico.** Definición amplia: Una población no nativa, introducida artificialmente en una área nueva.

**F1.** Primera generación filial de un cruzamiento. Normalmente la progenie de un cruzamiento (F1), será fenotípicamente más uniforme.

**F2.** La segunda generación filial de un cruzamiento, producido por entrecruzamiento individual desde la generación F1. La progenie de un cruzamiento F2 será más variable fenotípicamente que la F1.

**Familia.** Conjunto de individuos originados a partir de germoplasma proveniente de uno o más progenitores comunes.

**Fenotipo.** Apariencia física o conjunto de características visibles de un individuo. Es la expresión del genotipo.

**Fertilización.** Unión de los núcleos y otros constituyentes celulares de un gameto masculino (espermio) con un huevo, para formar un cigoto. En algunas especies, la fertilización puede producirse meses después de la polinización.

**Flor.** Estructura reproductiva de las angiospermas que porta pistilo, estambres o ambos y en muchos casos, también sépalos y pétalos. Las llamadas flores de las coníferas son los estróbilos masculinos y femeninos, antes y durante la polinización.

**Flujo de genes.** El movimiento de alelos específicos entre diferentes poblaciones de una especie o entre especies relacionadas.

**Fuente de semilla.** Es la localización donde un lote de semilla fue colectado. Si diferentes lotes de semillas de una especie exótica son colectas y probadas, la prueba se denomina prueba de fuentes de semilla para distinguirla de las pruebas de procedencias.

**Fuente.** Origen específico de donde se obtuvo el germoplasma, pudiendo ser nativo o no.

**Ganancias genéticas.** El cambio genotípico originado por la selección artificial en un rasgo específico. La ganancia es expresada en términos de cambios por generación o cambios por año. La ganancia está determinada por la intensidad de selección, la variación de los progenitores, y la heredabilidad de un rasgo dado.

**Gen.** Unidad básica de la herencia.

**Genética forestal.** Es el estudio de la heredabilidad en los árboles forestales.

**Genética.** La genética es la ciencia básica relacionada con ese estudio de las causas de la semejanza y diferencias entre organismos, relacionada a través de la descendencia. Ésta toma en cuenta los efectos de los genes y el ambiente.

**Genotipo.** Conjunto de genes que posee un individuo, incluyendo los expresados y los no expresados en su fenotipo.

**Genotipo.** Es el conjunto de genes que posee individuos, los expresados y los recesivos.

**Germinación.** Inicio del crecimiento del embrión de la semilla, que bajo condiciones ambientales apropiadas dará origen a una nueva planta.

**Germoplasma forestal.** Nombre genérico de recursos genéticos forestales.

**Grupos de cruzamiento (GC).** Son los individuos que forman un conjunto de progenitores. Un GC dialelo es uno en que los cruzamientos controlados son realizados entre cada par de progenitores en el grupo, pero los cruzamientos con progenitores fuera del grupo son excluidos. Un GC factorial es uno en que un número limitado de progenitores es usado como probadores masculinos en el cruzamiento controlado, con un número ilimitado de progenitores femeninos. Un GC de polinización abierta es uno en que todos los progenitores en una población de mejoramiento son incluidos en una prueba de progenie o series de prueba en que puede ser utilizado para reforestación con material genéticamente mejorado.

**Guía de transferencia de semilla.** Un conjunto de reglas para colectar semilla y hacer plantaciones de forma tal que los genotipos no se coloquen en microclimas o suelos inapropiados. Comúnmente las guías de transferencia de semilla describen el movimiento máximo desde un punto de colecta en kilómetros al este, oeste, norte y sur como también en metros sobre el nivel del mar (Ver zona de semilla).

**Heredabilidad en sentido amplio.** Es la proporción de la variabilidad fenotípica total que es responsabilidad de causas genéticas.

**Heredabilidad en sentido estricto.** Es la proporción de la variabilidad fenotípica total que es debida a la variabilidad genética aditiva.

**Heredabilidad.** Concepto general: El grado en que una progenie se asemeja a sus progenitores.

**Hermano.** Un término que indica hermano o hermana. Hermanos completos tiene ambos progenitores en común, medios hermanos tienen un progenitor en común.

**Híbrido.** Progenie de un cruzamiento entre genotipos distintos. En silvicultura, el término es comúnmente utilizado para cruzamientos entre especies, pero también es válido para referirse a cruzamientos entre procedencias, ecotipos, poblaciones o líneas puras.

**Huerto semillero clonal.** Un huerto semillero establecido mediante árboles propagados vegetativamente, normalmente injertos. Los huertos semilleros clonales son establecidos en un árbol, una parcela con diferentes rametos de cada clon localizado tan aparte como sea posible para reducir la autopolinización.

**Huerto semillero de semillas o plántulas.** Un huerto semillero establecido a partir de plántulas (no de injertos). Normalmente las plántulas del huerto semillero son establecidas en parcelas de varios árboles por familias, de tal forma que se puede hacer primero una selección entre familias y luego entre individuos dentro de cada parcela familiar, reduciendo cada parcela al árbol de mejor calidad.

**Huerto semillero.** Una plantación establecida especialmente para la producción de semillas.

**Ideotipo.** Es el tipo ideal o espécimen perfecto. Es una descripción o ilustración de cuál es la meta final del mejoramiento genético para una especie. El ideotipo es la expresión de los rasgos individuales sin relacionarlo con la heredabilidad. Este no es intento de ser una guía práctica para la selección de árboles plus, si no que es el punto de partida para la selección de campo.

**Índice de selección.** Elección de progenitores con base en un puntaje ponderado que combina valores económicos y heredabilidad de varios rasgos de interés y/o información familiar.

**Individuo superior; individuo plus; individuo selecto.** Individuo seleccionado por su fenotipo o apariencia superior, respecto a los demás existentes de la misma especie en un sitio determinado, con edades iguales o promedio. La selección puede incluir una o más características físicas deseables como: velocidad de crecimiento, forma del tronco y copa, forma y posición de las ramas, producción de resina, resistencia a plagas y enfermedades, producción temprana de frutos, adaptación a suelos perturbados y calidad de la madera, entre otras.

**Interacción genotipo ambiente.** Cambios en jerarquía o niveles de desempeño entre individuos cuando se prueba en diferentes ambientes. (Ver prueba de progenie).

**Introgresión.** Es el movimiento de genes de una población a otra a través de la hibridación seguida por el retrocruzamiento. Comúnmente se refiere al movimiento de genes desde una especie a otra o entre subespecies que están aisladas geográficamente (Ver flujo de genes).

**Manejo *ex situ*.** Manejo de rodales de árboles plantados para su protección y asegurar su supervivencia, crecimiento e identidad. Es la conservación o preservación de árboles mediante semillas, polen o cultivo de tejidos. (Ver conservación de germoplasma, *ex-situ*).

**Mejoramiento de árboles forestales.** La aplicación de principios genéticos al mejoramiento y manejo de los árboles forestales.

**Mutación.** Un cambio repentino en el genotipo, causado por un pequeño cambio en la secuencia de ADN en los cromosomas. Las mutaciones pueden ser causadas por cambios en el número de cromosomas, ruptura de cromosomas individuales o cambios en las secuencias de los nucleótidos en el ADN.

**Origen.** Es el área geográfica original (en el bosque nativo) donde crecieron los árboles progenitores.

**Ortet.** La planta original desde la cual un clon es obtenido a través de estacas enraizadas, injertos, cultivo de tejido u otro medio de propagación vegetativa. El árbol plus original utilizado para iniciar la injertación de un clon –para su inclusión en un huerto de semilla– es el ortet. (Ver rameto y clon).

- Parcela.** En un estudio de campo, un grupo de árboles, todos perteneciente al mismo grupo genético (familia, clon, procedencia,...).
- Patrón.** Una planta enraizada, comúnmente propagada de semilla, sobre la cual se injertan púas o yemas.
- Población.** El conjunto de individuos de una especie silvestre que comparten el mismo hábitat. Se considera la unidad básica de manejo de las especies silvestres en vida libre.
- Población.** Es un grupo de árboles, entre los cuales normalmente hay intercambio de alelos (apareamiento).
- Población.** Un grupo de árboles individuales que tiene alguna característica en común, tanto de localidad, ancestro familiar o uso deliberado.
- Polinización abierta.** Polinización con ayuda del viento o insectos (Ver hermanos).
- Polinización anemófila.** Polinización mediante polen portado por el viento.
- Polinización controlada.** Es una polinización dirigida de las flores femeninas de un árbol, usando polen de una fuente conocida, usualmente de un árbol específico. Las flores se protegen del polen indeseable, cubiertas con una bolsa de polinización antes de que se tornen receptivas. Cuando se tornan receptivas dentro de la bolsa, se les agrega el polen. Mediante este método se obtienen familias de hermanos completos.
- Polinización cruzada.** Polinización mediante polen de plantas genéticamente diferentes.
- Polinización.** Llegada de polen a la parte receptiva de la flor femenina.
- Procedencia.** Es un término útil que significa simplemente el lugar donde un lote de semilla ha sido colectado. O también como la fuente geográfica original de semillas, de polen o de propágulos. En sí, es una simple “ubicación geográfica” sin implicación biológica. Sin embargo, a veces hay diferencias genéticas importantes entre procedencias de una misma especie. También es descrito como el lugar geográfico dentro de la distribución natural de una especie que representa el sitio de origen del germoplasma.
- Propagación clonal.** Propagar una planta asexualmente por injerto, estacas enraizadas, cultivo de tejido o semillas apomicticas. Generar una planta completa a partir de una simple célula. (Esto se utiliza en investigación de cultivo de tejido).

- Propagación vegetativa.** Propagación de una planta por medios asexuales, como gemación, injertos o enraizamiento (Ver clon).
- Propágulo.** Algún tipo de material que será usado para la reproducción. El material puede ser una plántula, estaca enraizada o no enraizada, un injerto o un explante de cultivo de tejido.
- Prueba de policruzamiento.** Una prueba de progenie para estimar la aptitud combinatoria general desde cruzamientos entre progenitores selectos. La identidad solo puede ser mantenida por el progenitor que produce la semilla. Una mezcla de polen es artificialmente aplicada a cada progenitor femenino.
- Prueba de procedencia.** Una prueba para comparar árboles que crecen de semilla o estacas colectadas en muchas partes dentro del rango de una especie.
- Prueba de progenie.** Una prueba para comparar la descendencia de diferentes progenitores. Progenie es la descendencia de un árbol determinado o de una combinación de dos árboles (femenino y masculino).
- Pruebas clonales.** Es una plantación que tiene un número variable de plantas propagadas vegetativamente. Estas pruebas proporcionan estimaciones del desempeño relativo de diferentes genotipos, pero no necesariamente aportan información sobre su conducta genética.
- Púa.** Una ramita, yema u otra porción vegetativa que será injertada sobre otra planta (o sistema radicular).
- Rameto.** Réplica de una planta reproducida vegetativamente. Cada rameto tendrá el mismo genotipo del progenitor original, conocido como orteto.
- Rameto.** Una copia de una planta reproducida vegetativamente. Cada rameto tendrá el mismo genotipo del árbol progenitor original, conocido como ortet.
- Raza local.** Se refiere normalmente a una población de una especie exótica, que se ha adaptado por selección natural al ambiente específico donde fue plantada.
- Repetición.** En una prueba genética, una repetición contiene una parcela para cada grupo genético. (Ver diseño en bloques completamente al azar).

**Resiliencia.** Es la habilidad de una población de persistir en un ambiente dado, a pesar del disturbio o la reducción del tamaño poblacional. La resiliencia de una población se basa en (1) la habilidad de los individuos dentro de la población para sobrevivir (aptitud) y reproducirse (fecundidad) en un ambiente cambiante y (2) la variabilidad genética de la población que permite la producción de nuevos genotipos.

**Selección combinada.** Es la selección de los mejores individuos dentro de las mejores familias.

**Selección en tandas.** Selección de dos o más rasgos en forma consecutiva, más que simultáneamente. La técnica es útil cuando un rasgo puede ser evaluado tempranamente y un segundo rasgo solo después de algunos años o cuando un rasgo es mucho más caro de medir que lo común.

**Selección familiar.** Es la selección de las mejores familias de acuerdo con su aptitud combinatoria general.

**Selección hacia adelante.** Elección de los mejores individuos de una prueba de progenie para usar en huertos semilleros o generaciones subsecuentes de mejoramiento. (Ver selección hacia atrás.)

**Selección hacia atrás.** Selección de los árboles progenitores con base en los resultados de una prueba de progenie. (Ver selección hacia adelante).

**Selección masal.** Selección fenotípica. Elección de árboles solo con base en su fenotipo o apariencia.

**Selección masiva.** Es la selección para un rasgo en particular. Es frecuentemente usada para referirse a la aplicación de un tratamiento específico de una enfermedad o un herbicida y luego observar cuáles son los individuos resistentes. Normalmente implica checar un gran número de individuos a la vez.

**Selección recurrente.** Selección de individuos, realización de cruzamientos, prueba de la progenie, selección de individuos sobre la prueba de progenie. El proceso es comúnmente repetido muchas veces. Muchos de los programas de mejoramiento de árboles están basados en la selección recurrente.

**Selección.** Escoger árboles individuales o poblaciones con características deseables para obtener mejoramiento genético.

- Valor de mejora o valor genético.** El valor genético de un individuo determinado por el valor medio de su progenie. Puede ser sobre la base de un rasgo individual o un índice de selección.
- Variabilidad.** Desviaciones del valor promedio. Ausencia de uniformidad. Comúnmente indica ausencia de uniformidad genética en una población.
- Variación geográfica.** Diferencias fenotípicas entre árboles nativos creciendo en diferentes porciones del rango de una especie. Si las diferencias son más genéticas que ambientales, la variación es especificada como racial, ecotípica o clinal.
- Varianza.** Una medida estadística de variabilidad.
- Variedad.** Es un término que prácticamente no se utiliza en el sector forestal. Normalmente, las fuentes mejoradas son altamente variables (sus promedios son altos, pero retiene variación genética) y no tiene suficiente uniformidad como para registrarse como variedades (cultivares). Existen variedades taxonómicas de algunas especies (ej. *Pinus greggii* var. *australis*).
- Vecindad.** Poblaciones en que se produce cruzamiento al azar. Generalmente, dentro de una población pequeña se puede esperar que los individuos estén estrechamente emparentados. La vecindad puede ser creada por barreras al movimiento de polen y semilla o por otros factores de aislamiento.
- Zona de semilla.** Es un área dentro de la cual las semillas pueden ser colectadas desde un rodal natural y plantadas en un nuevo sitio sin problemas de inadaptación.

## 12 LITERATURA CITADA

- Barnes, R.D. and G.L.Gibson. 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.
- Bonner, F. T. 1981. Principios de almacenamiento para semillas de árboles tropicales. *En: Reunión sobre Problemas en Semillas Forestales Tropicales. Tomo I. Publicación Especial No. 35. INIF, Subsecretaría Forestal. México, D.F. p: 223-233.*
- Bonner, F. T., J. A. Vozzo, W. W. Elam and S. B. Land, Jr. 1994. Tree seed technology training course. Instructor's manual. General Technical Report SO-106. New Orleans, LA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 160 p.
- Burley, J. and Wood, P.J. (eds). 1979. A manual of species and provenance research with particular reference to the tropics. Tropical Forestry Paper No. 10 & 10A. Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford, UK. 297p.
- Chávez R., A., D. Cobarrubias M., H. Galán H., N. López S., J. Méndez M., E. Menéndez A. 2001. Estadística. Serie textos de bachillerato. 2da Edición. UAG Chilpancingo, Guerrero, México. 178 p.
- Cibrián-Tovar, D., B. H. Ebel, H. O. Yates III; J. T. Méndez-Montiel. 1986. Insectos de conos y semillas de las coníferas de México/Cone and seed insects of the Mexican conifers. Universidad Autónoma Chapingo, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México/U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Spanish and English texts. Gen. Tech. Rep. SE-40. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 110 p.
- Cochran W. G. and G. M. Cox. 1965. Diseños Experimentales. 1 ed. en español. Editorial Trillas S.A. México, D.F. 661 p.
- CONAFOR, 2011. Manual para la identificación y establecimiento de Unidades Productoras de Germoplasma Forestal. CONAFOR, SEMARNAT, Gobierno Federal. 61 p.
- Conkle, M. T. 2004. Zonificación de Semillas en México. *En: Manejo de Recursos Genéticos Forestales. En: J.J. Vargas H., B. Bermejo V., F.T. Ledig (Eds.). Manejo de Recursos Genéticos Forestales. Segunda edición. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. De México y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco. pp. 58-71.*

- Donahue, J.K. y J. López-Upton. 1999. A new variety of *Pinus greggii* (PINACEAE) in Mexico. SIDA. Contribution to Botany 18(4):1083-1093.
- Dvorak, W. S., J. E. Kietzka y J. K. Donahue. 1995. Three – year survival and growth of provenances of *Pinus greggii* Engelm. in the tropics and subtropics. Forest Ecology and Management. 83: 123-131.
- Falconer, D.S. 1986. Introducción a la genética cuantitativa. 2nd Ed. Longman Inc. New York. 430 p.
- FAO. 2003. Glosario sobre recursos genéticos forestales (Versión española). Basandose en el trabajo de Renate Prüller. Forest Genetic Resources Working Papers, Working Paper FGR/39E, Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome, Italy. 48 p.
- Farfán V. E.G., J. Jasso M., J. López U., J. J. Vargas H. y C. Ramírez H. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren. Var. *ayacahuite* Rev. Fitotecnia Mexicana 25 (3): 239 – 246.
- Flores-López, C. 2000a. Análisis y perspectivas del mejoramiento genético en los bosques del estado de Chihuahua. Gaceta de la Red No. 5, agosto-octubre. REMGEFOR. SEMARNAP-PRONARE. México, D. F. pp. 81-88.
- Flores-López, C. 2000b. Selección de árboles superiores en el Estado de Chihuahua. 1er Congreso Nacional de Reforestación. 8-10 noviembre. SEMARNAP-PRONARE, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. [s. p.].
- Hughes, C. E. and A. M. J. Robbins. 1982. Seed stand establishment procedures for *Pinus oocarpa* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in the natural forests of Central America. Commonwealth Forestry Review. 61(2): 107-113.
- Ipinza C., R., B. Gutiérrez C. y V. Emhart S. 1998. Curso Mejora Genética Forestal Operativa. 16-21 noviembre de 1998. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 417 p.
- Ledig, F. T. 1973. The application of mass selection in tree improvement. In: Proceedings of 20<sup>th</sup> Northeastern Forest Tree Improvement Conference, University of New Hampshire, Durham, New Hampshire. July 31-August 2, 1972. New Hampshire. pp. 69-84.
- Ledig, F. T. 1974. An analysis of methods for the selection of trees from wild stands. Forest Science. 20:2-16.

- López U., J., A. J. Mendoza H., J. Jasso M., J. J. Vargas H. y A. Gómez G. 2000. Variación morfológica de plántulas e influencia del pH del agua de riego en doce poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. Madera y Bosques. 6(78): 81-94.
- Mesén, F. 1994a. Selección de especies y procedencias forestales. *En*: Curso nacional sobre identificación, selección y manejo e rodales semilleros. Memorias. Agosto 1 al 5 de 1994. PROFESOR, CATIE/Danida. Baja Verapaz, Guatemala. p. 11-28.
- Mesén, F. 1994b. Introducción al mejoramiento genético forestal. *En*: Curso nacional sobre identificación, selección y manejo e rodales semilleros. Memorias. Agosto 1 al 5 de 1994. PROFESOR, CATIE/Danida. Baja Verapaz, Guatemala. p. 29-44
- Moreno V., A. Mercadet., y M. Anton. 1986. Principios del mejoramiento genético forestal. *En*: Genética y mejoramiento arbóreo. Colectivo de autores. Noda J., A. L. V. Moreno. A. Gonzales R. A. Álvarez B. A. Mercadet. M. Anton. y M. Pérez S. (eds.). Centro universitario de Pinar del Río. Ministerio de educación superior. Enpes. La Habana, República de Cuba. 297 p.
- Morice, E. 1975. Diccionario de estadística. España-Continental. España. 219 p.
- Navarro M., S. A., L. M. Torres E., A. Cano P., S. Valencia M. Y E. H. Cornejo O. 2000. Predicción de volúmenes de fuste para *Pinus cembroides* Zucc., en el Sureste de Coahuila. Foresta-AN. Nota Técnica No. 3 UAAAN. Saltillo, coahuila. 16 p.
- Nienstaedt, H., H. Kang. 1985. Breeding strategies for forest trees. Forestry Sciences Lab., Rhinelander, WI, USA; North American Forestry Commission. Working Party on Forest Genetics, Mexico City (Mexico), 5 Jul 1985, 20 p.
- Nienstaedt, H., K. E. Clausen y T. Eguiluz P. 1990. La primera zonificación de semillas en México: caso Durango y Chihuahua. Nota Técnica No. 6. Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, Méx. 6 p.
- Pedersen, A.P., Kirsten Olesen and Lars Graudal. 1993. Identification, establishment and management of seed sources. Lecture Note D-3. Danida Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark. 11 p.
- Playas R., I. 2010. Crecimiento del brote terminal en un ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Saltillo, Coah. México. 43 p.
- Robinson, T. L. 1989. Plus-tree selection in hardwoods: a waste of time? *In*: Proceedings of Thirty-first Northeastern Forest Tree Improvement Conference and the Sixth Northcentral Tree Improvement Association. Pennsylvania State University, University Park, PA. July 7-8, 1988. Pennsylvania. pp. 109-120.

- Rudolf, P. O., K. W. Dorman, R. G. Hitt y A. P. Plummer. 1974. Production of genetically improved seed. *In*: Seeds of the woody plants in the United States. Agriculture Handbook No. 450. USDA, Forest Service. Washington, D. C. pp. 53- 74.
- Sáenz R., C y A. Plancarte B. 1991. Metodología para el establecimiento y evaluación de ensayos de progenies en especies forestales. Serie de apoyo académico No. 46. División de Ciencias Forestales. Chapingo. México. 47 p.
- Sáenz-Romero, C. 2004. Zonificación estatal y altitudinal para la colecta y movimiento de semillas de coníferas en México. *En*: J.J. Vargas H., B. Bermejo V., F.T. Ledig (Eds.). Manejo de Recursos Genéticos Forestales. Segunda edición. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco. pp: 72-86.
- Sáenz-Romero, C. y K.E. Clausen, 1991. Zonas Provisionales de producción de semillas de especies forestales en el Estado de México. Nota Técnica 7. Centro de Genética Forestal, A. C., Chapingo, México. 8 p.
- Sánchez O. 1996. Probabilidad y Estadística. Ed. Mc Graw Hill. México. 150 p.
- SAS (Statistical Analysis System) Institute. 2002. SAS/STAT Computer Software. Release 9.00. SAS Institute Inc. Cary.
- Secretaría de Economía. 2014. Norma mexicana NMX-AA-169-SCFI-2014, Establecimiento de Unidades Productoras y Manejo de Germoplasma Forestal - Especificaciones Técnicas. México, D.F. 122 p.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental – especies nativas de México de flora y fauna silvestre – categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección. 30 de diciembre de 2010. México. 78 p.
- Sierra-Villagrana, A. E. 2010. Potencial productivo de especies prioritarias en el estado de Zacatecas. SEMARNAT-CONAFOR, Subgerencia operativa Zacatecas. Zacatecas, Zacatecas. 35 p.
- Steel, R. G. D y J. H. Torrie. 1985. Bioestadística. Principios y Procedimientos. 2nd Edición. Mc Graw Hill. 622 p.
- Valencia M., S., M. V. Velasco G., M. Gómez C., M. Ruíz M. y M. A. Capó A. 2006. Ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca, México Revista Fitotecnia Mexicana. 29 (1): 27-32.

- Van Buijtenen, J. P. and Bridgwater, F.E. 1986 Mating and genetics test designs. Southern Cooperative Series Bull. N. 309, Louisiana St. Univ., 5-10.
- Van Buijtenen, J.P. 1986. Genetic improvement for short rotation forestry of some fast growing pines. In: Proceedings; Uppsater och Resultat - Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen foer Skogsteknik (Sweden), no. 49 ; Joint IEA/Forestry Energy Programme and FAO/Cooperative Network on Rural Energy Forest Energy Conference and Workshops on: Research in Forestry for Energy, Rungstedgaard (Denmark), 28-30 Oct. 1985 Mitchell, C.P. (ed.) Nilsson, P.O. (ed.) Zsuffa, L. (ed.) / Garpenberg (Sweden), Swedish Univ. of Agricultural Sciences, Dept. of Operational Efficiency, p. 202-211.
- Vargas Hernández, J.J. y J. López Upton. 2004. Diseños genéticos y métodos estadísticos en la evaluación de germoplasma de especies forestales. En: J.J. Vargas H., B. Bermejo V., F.T. Ledig (Eds.). Manejo de Recursos Genéticos Forestales. Segunda edición. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco. pp: 128-145.
- Velasco G., M. V. 2001. Ensayo de 13 procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. 75 p.
- White, T. L. 1996. Genetic parameter estimates and breeding value predictions: issues and implications in tree improvement programs. S. M. Dieters, A. C. Matheson, D. G. Nikles, C. E Harwood and S. M. Walker, Caloundra, Queensland, Australia. Tree Improvement for Sustainable Tropical Forestry. Proc. QFRI-IUFRO. pp: 110-117.
- White, T. L., T. W. Adams and D. B. Neale. 2007. Forest Genetics. CAB International, Oxford. 682 p.
- Wikipedia. 2010. Días julianos. [http://es.wikipedia.org/wiki/Fecha\\_juliana](http://es.wikipedia.org/wiki/Fecha_juliana) (20 de enero de 2010).
- Willan, R. L. 1980. Ensayos de especies y procedencias. En: FAO. Mejora genética de árboles forestales. Estudio FAO: Montes 20. Roma. Pp. 141-153.
- Zobel, B. J., y J. T. Talbert. 1988. Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Limusa. México, D. F. 545 p.



SEMARNAT

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES

[www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx)

01 800 73 70 000