



Noticiencia
FORESTAL

Mejoramiento Genético Forestal Convencional



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL CONVENCIONAL: un caso de estudio de cedro rojo (*Cedrela odorata* L) en México.

José Vidal Cob-Uicab. INIFAP, campo experimental Chetumal, Quintana Roo.
Xavier García Cuevas. INIFAP, campo experimental Chetumal, Quintana Roo.
Refugio Ramón Rivera Leyva. INIFAP, campo experimental Mocochoá, Yucatán.
Joaquín Gómez Tejero. INIFAP, campo experimental Edzná, Campeche.
Olga Santiago Trinidad. INIFAP, campo experimental "El Palmar", Veracruz.
José Pastor Parra Piedra. ITSVC, campus Venustiano Carranza, Puebla.
Rolando Ávila Ayala. INIFAP, campo experimental San Luis Potosí.
Roberto Reynoso Santos. INIFAP, campo experimental Centro de Chiapas, Chiapas.
Pablo Amin Ruíz Cruz. INIFAP, campo experimental Rosario Izapa, Chiapas.
Saúl Espinosa Zaragoza. UACH, campus Huehuetan, Chiapas.
Javier López Upton. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Edo. de México.

Introducción

El Mejoramiento Genético Forestal Convencional (MGFC) se fundamenta en la selección de individuos con características fenotípicas deseables y sobresalientes y que forman parte de una determinada población en etapa reproductiva. Para que el proceso de selección sea eficaz, es indispensable la existencia de variación genética dentro de su área de distribución e identificar que el rasgo de interés sea heredable y con un valor socioeconómico. Estas características deben de tener el potencial de incrementar la productividad de los bienes maderables o no maderables (resinas, metabolitos, frutos, etc.) que se obtienen de los recursos forestales o bien, de responder favorablemente a condiciones adversas de estrés biótico o abiótico y, de esta forma, mantener su potencial evolutivo (Zobel y Talbert, 1988).

La identificación, evaluación y selección de individuos fenotípicamente superiores, constituye el inicio y la base fundamental de un Programa de Mejoramiento Genético Forestal (PMGF). Al respecto, la selección de los individuos se realiza con base en la expresión fenotípica de los caracteres de interés y consecuentemente, la manifestación de estos caracteres esta siempre bajo efectos ambientales y genéticos los cuales confunden cuando al seleccionador que difícilmente distingue entre un individuo genéticamente superior de otro que aparenta serlo (Cruz, 2005). Lo anterior, genera dos tipos de errores: I, selección de individuos que realmente no son superiores genéticamente y II, cuando no se seleccionan individuos superiores genéticamente. El efecto ambiental tiene una gran influencia en la expresión fenotípica, a tal grado que la posibilidad de cometer errores tipo I y II, son las que predominan (Vallejos et. al., 2010).

Existen varios métodos de selección de árboles fenotípicamente superiores y por lo general, la elección del método más apropiado depende de la especie, las características de la población y la disponibilidad de recursos económicos. Por otro lado, casi todos los métodos son modificaciones o combinaciones de dos o tres métodos generales; al respecto, un aspecto fundamental es que el proceso de selección sea ejecutado mediante un mismo método, para poder contar con árboles evaluados bajo los mismos criterios. Asimismo, es necesario considerar los factores que controlan el éxito de un **PMGF**, los cuales son: la diversidad genética presente en la especie, intensidad de selección, método de selección, heredabilidad del carácter bajo selección y método de propagación (Zobel y Talbert, 1988).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México, el germoplasma utilizado en los programas de reforestación, restauración y en algunos casos, plantaciones forestales proviene de colectas masivas de árboles fenotípicamente inferiores, sin un sistema de trazabilidad de la procedencia y con nulos niveles de mejoramiento genético. Dichos

programas, ineludiblemente deberán de iniciar con la recolección de semillas de fuentes genéticamente mejoradas como una estrategia clave para mejorar significativamente los porcentajes de supervivencia, productividad y competitividad de las plantaciones. En atención a lo anterior, en el año de 2016 la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del extinto “Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal”, publicaron una convocatoria para presentar proyectos de investigación orientados hacia la producción de germoplasma genéticamente mejorado(a) de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.). En octubre de 2016, se inició con el desarrollo del proyecto denominado: **“Establecimiento de cuatro huertos semilleros asexuales regionales con el establecimiento y evaluación temprana de 12 ensayos de progenies (tres ensayos por cada huerto) de *Cedrela odorata* L.”** el cual, concluyó en octubre de 2021. A continuación, se describen los principales resultados y productos del proyecto.

Selección de árboles superiores de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.)

Durante el proceso de la selección de los árboles superiores, se recomienda iniciar con una apreciación visual de los caracteres cuantitativos y cualitativos sobresalientes. Posteriormente, se sugiere aplicar el método de selección denominado **“Valoración individual”** debido a que las poblaciones de esta especie están conformadas por individuos aislados de diferentes edades. Dicho método consiste en una evaluación individual de los caracteres cuantitativos y cualitativos de acuerdo con un formato de campo (Tabla 1 y Figura 1); con la información de campo reunida,

se debe proceder a generar una ficha de registro denominada: **“Ficha técnica de árboles de *Cedrela odorata* fenotípicamente superiores como fuentes de germoplasma forestal”** en la que se recomienda registrar datos de la georreferenciación/árbol y algunos aspectos del sitio, tales como: tipo de suelo, profundidad, paraje y propietario del árbol, entre otros. En el proyecto, fueron seleccionados un total de 320 árboles con sus respectivas fichas técnicas distribuidos en once estados de México (Figura 2).

| FICHA TÉCNICA DE ÁRBOLES DE <i>Cedrela odorata</i> FENOTÍPICAMENTE SUPERIORES COMO FUENTES DE GERMOPLASMA FORESTAL | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------------|---------|--|---------------|-----------------|----------|------------|------------|----------------|--------|---------|-------|--|
| Datos generales | | | | | | | | | | | | | | |
| Región: | | Estado: | | Población: | | Paraje: | | | | | | | | |
| Género y especie: | <i>Cedrela odorata</i> L. | Predio: | | | | Propietario: | | | | | | | | |
| Fecha: | | Tipo de suelo: | | | | Profundidad: | | | | | | | | |
| Exposición: | | Elevación: | | | | Datum: | | | | | | | | |
| Latitud: | | Longitud: | | | | Recolector: | | | | | | | | |
| Código de identificación | Evaluación de características dasométricas | | | Evaluación de características cualitativas | | | | | | | | Puntaje | Clase | |
| | DN (cm) | AT (m) | AFL (m) | Forma fuste | Bifurcaciones | Inserción ramas | N° ramas | Forma copa | Vigor copa | Posición dosel | Plagas | | | |
| CdroRXGenY | | | | | | | | | | | | | | |
| Evaluación Cualitativa y Calificación | | | | | | | | | | | | | | |
| Forma fuste | Recto (6); Ligeramente torcido (4); Torcido (2); Muy torcido (1). | | | | | | | | | | | | | |
| Bifurcaciones | No bifurcado (6); Bifurcado en 1/3 superior (4); Bifurcado en 1/3 medio (2); Bifurcado en 1/3 inferior (1) | | | | | | | | | | | | | |
| Inserción ramas | Angulo de inserción de 60°-90°(6); Angulo de inserción de 30°-60°(4); Angulo de inserción de 0°-30°(2) | | | | | | | | | | | | | |
| N° Ramas | Pocas y gruesas en 1/3 superior (6); Pocas y delgadas en 2/3 medio (4); Muchas y delgadas desde el 1/3 bajo (2). | | | | | | | | | | | | | |
| Forma copa | Circular (6); Circular irregular (5); Medio circular (4); Menos de medio círculo (3); Pocas ramas (2); Solo rebrotes (1) | | | | | | | | | | | | | |
| Vigor copa | Bueno (6); Regular (4); Malo (2) | | | | | | | | | | | | | |
| Posición dosel | Dominante (6); Codominante (4); Intermedio (2); Suprimido (1) | | | | | | | | | | | | | |
| Plagas | Ninguna (7); Descortezadores (6); Barrenadores (5); Defoliadores (4); Plantas parásitas (3); Hongos (2); Daños físicos (1) | | | | | | | | | | | | | |
| Clase | 1 (33-49 puntos); 2 (25-32 puntos); 3 (<25 puntos) | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 1. Formato de campo utilizado en la evaluación y selección de árboles fenotípicamente superiores de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.).



Figura 1. Medición de variables dasométricas. A. Equipo para la medición de altura, diámetro normal y georreferenciación de los árboles (latitud y longitud); B. Medición del diámetro normal; y C. Ejemplo de un árbol superior de cedro rojo, nótese la rectitud del fuste libre de ramas con un diámetro mínimo de 40 cm y copa balanceada.

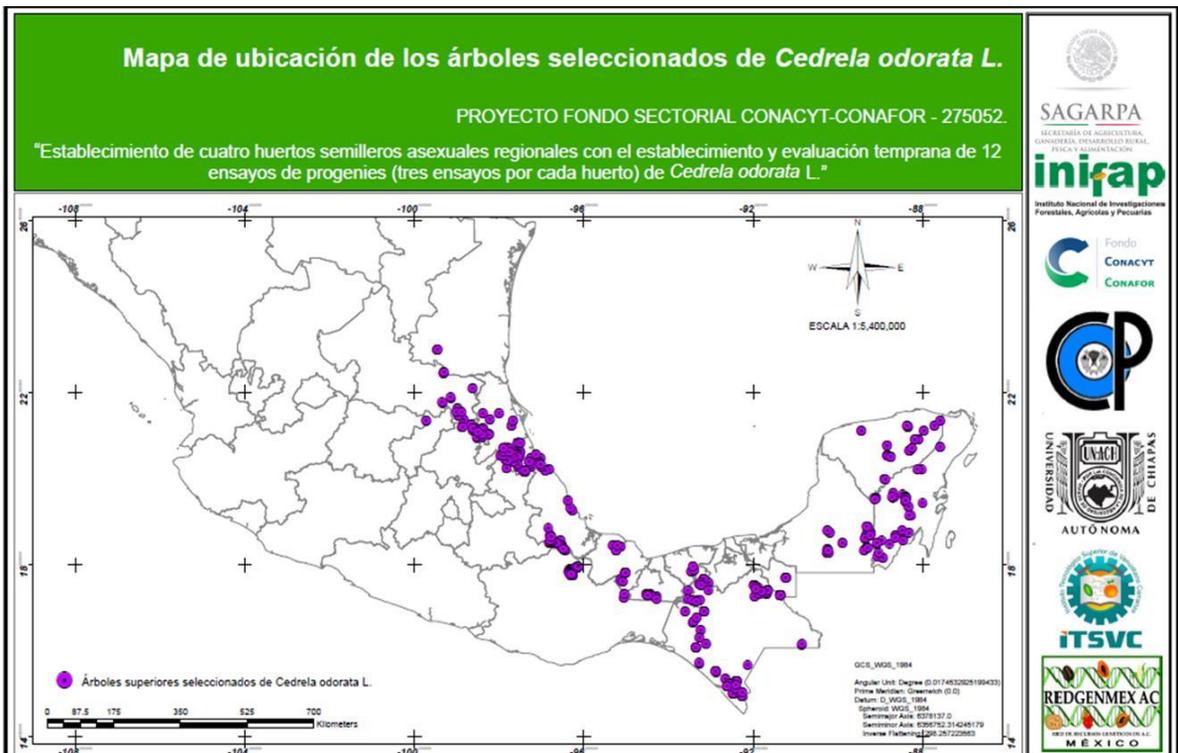


Figura 2. Mapa de ubicación y distribución de los árboles selectos como fuentes de germoplasma de calidad genética superior.

RECOLECCIÓN DEL GERMOPLASMA

En una masa forestal, por lo general, los árboles dominantes producen una mayor cantidad de semilla; no obstante, existen diferencias inherentes entre los árboles durante la floración, fructificación y producción de semillas viables, y en consecuencia, es necesaria una selección cuidadosa por la fecundidad y disposición en la producción de frutos. Una polinización deficiente como consecuencia de la autofecundación, daños por insectos, pájaros y otros animales son algunos de los factores que explican estas diferencias (Niembro, 1988).

Las características fenotípicas de los frutos y semillas fundamentales para considerar al momento de la recolección, son: frutos y semillas sanas, vigorosas, de buen tamaño y una distribución homogénea dentro de la copa del árbol.

Planeación de la recolección

La planeación de la recolección constituye un aspecto esencial debido a las variaciones fenológicas de la especie con relación a su rango de distribución geográfica. Paralelamente, se recomienda realizar una consulta bibliográfica la cual se podrá complementar con observaciones de campo para contar con información suficiente y precisa. En el caso de cedro rojo, se sugiere realizar el trámite del aviso de colecta con fines de investigación científica por proyecto sobre especies en riesgo ante la SEMARNAT.

Dicha licencia deberá incluir información sobre el área de colecta, época de recolección y número de personas involucradas. Asimismo, es primordial mantener informado a los Órganos de Representación Local (comisariados ejidales y de Bienes Comunales, productores forestales y líderes) sobre los recorridos de campo, con la finalidad de monitorear la maduración óptima de los frutos y su recolección.

Al tratarse de árboles fenotípicamente superiores, se recomienda utilizar un kit de equipo de escalamiento. El equipo básico, incluye un arnés de asiento para podadores, una cuerda semiestática de 60 m de longitud, una hondilla de 300 g, tres cascos de seguridad, mosquetones y ganchos de seguridad (Figura 3A). La brigada de recolección deberá de estar conformada por un escalador con experiencia, un técnico de campo y un trabajador local. Una vez que los frutos registren su óptima maduración, se procederá con la recolección de los frutos dentro de la copa de los árboles (Figura 3B y 3C). Inmediatamente, se indica clasificarlos y acopiarlos en sacos de fabricación artesanal a partir de malla sombra, malla poliéster y malla mosquitero (Figura 3E) hasta un sitio con techo y aireado en el cual, se mantendrán en promedio cinco días, con la finalidad de estandarizar el contenido de humedad (Figura 3F).

Control de la identidad

La identidad de un lote de semillas se refiere a la información relacionada con su procedencia geográfica y la evaluación fenotípica del árbol, la cual se resume en un Código Único de Identificación (CUI). Por lo tanto, es sustancial el desarrollo de un sistema estandarizado y de fácil implementación para mantener una identidad única de las accesiones durante las diferentes etapas del proceso, que comprende desde la evaluación y selección de los árboles en campo, hasta el establecimiento de los experimentos genéticos. Al respecto, se propone colocar etiquetas con el CUI escrito con tinta indeleble en cada uno de los sacos, el cual deberá coincidir con el árbol y la ficha técnica (Figura 3D y 3E).



Figura 3. Panorama general de la recolección de frutos y semillas de árboles superiores de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.). A. Equipo básico utilizado para el escalamiento de los árboles; B. Escalador ascendiendo en la copa de un árbol superior; C. Recolectores maniobrando en la copa del árbol; D y E. Control de la identidad de las semillas y acopio de los frutos y F. Aireación y secado de los frutos.

PRODUCCIÓN DE PLANTA PROGENIE EN VIVERO

La progenie es la descendencia de cada árbol seleccionado de origen conocido y producido a partir de semilla botánica, resultado de la combinación de una fuente parental masculina y femenina (Zobel y Talbert, 1988; White *et al.* 2007). Estas constituyen la columna vertebral de los PMGFC al ser evaluados para la valoración genética de los árboles progenitores. La producción de semilla de estas fuentes en vivero, implica lograr progenies saludables y uniformes que aseguren una mayor supervivencia en campo; por esta situación, los atributos genéticos, sanitarios, físicos y fisiológicos del germoplasma, y los factores del ambiente de propagación, influirán notablemente en la calidad de planta, por lo que el conocimiento de estas características deberá ser una prioridad de los agentes involucrados en los programas relacionados con el mejoramiento genético y establecimiento de plantaciones forestales.

La amplia distribución geográfica y la diversidad genética del germoplasma, constituyen los principales factores que sustentan un **PMGF** a largo plazo (Villegas *et al.*, 2016). Los factores genéticos de la especie son parámetros determinantes en la obtención de plántulas de calidad, entendiéndose como tal al conjunto de atributos que garantizan su

capacidad para establecerse y crecer exitosamente en campo (Quiroz *et al.*, 2009). Por lo tanto, la calidad genética del germoplasma se garantiza con la siembra de semilla procedente de árboles fenotípicamente superiores (individuos bien conformados, rectos, dominantes y de origen geográfico conocido).

Sustrato

Como sustrato, se recomienda una mezcla de peat moss (60%), agrolita (20%) y vermiculita (20%). A continuación, se describe el procedimiento de la preparación y mezcla de los sustratos:

- Como mezcla base, se advierte una composición de 1,000 L de sustrato. Al respecto, el procedimiento inicia extendiendo 600 L de peat moss, seguidos de 200 L de agrolita y 200 L de vermiculita.
- Con la ayuda de palas, se realiza la mezcla de los materiales hasta lograr una homogenización lo más completa posible.
- Inmediatamente, se humedece la mezcla con agua; una vez realizado, se toma con el puño una porción del sustrato y se forma una bolita compacta. A continuación, se extiende hasta lograr una capa de 5 cm sobre la cual, se recomienda aplicar un fertilizante granular de liberación lenta denominado Osmocote plus (15-09-12) a razón de 8 kg por cada 1,000 L de mezcla.

Sustrato

- Finalmente, se mezcla el sustrato con el fertilizante hasta lograr una consistencia uniforme (Figura 4A, 4B y C).

Contenedor

Se sugiere utilizar contenedores individuales rígidos (tubetes) de color negro con capacidad de 680 mL y de 1 L de volumen. Los tubetes son llenados manualmente con sustrato, procurando que éstos no queden demasiado compactos para favorecer el crecimiento de la raíz.

Seguidamente, se recomienda apilarlos sobre una carretilla, acomodarlos y distribuirlos sobre las platabandas de producción en sistema aéreo (Figura 4D).

Siembra

Previo a la siembra, se recomienda asperjar el sustrato con una solución de 5 g de captan por cada litro de agua, para prevenir el ataque de hongos y pudrición. La siembra inicia con la limpieza de las semillas con la finalidad de eliminar semillas vanas, dañadas y afectadas por algún patógeno. Posteriormente, se recomienda colocar 2 semillas por tubete a una profundidad de 5 mm para asegurar la germinación de al menos una de las semillas (Figura 4D y 4E); los hoyos se realizan utilizando una vara de madera de 5 mm de grosor con una graduación a los 5 mm. La germinación de las semillas, inicia a los 12 días en promedio y finaliza a los 15 posteriores a la siembra.

Labores culturales

Se refiere al conjunto de actividades relacionadas con el control de malezas, riegos, fertilización y control de plagas y enfermedades (Figura 4F). Lo anterior es esencial, ya que se pretende producir plántulas saludables y uniformes con la finalidad de asegurar el mayor porcentaje de supervivencia en campo una vez plantadas. Por tal situación, se recomienda proporcionar el mismo manejo a las plántulas de un ensayo de progenies como las destinadas al establecimiento de una plantación común, salvo algunas diferencias señaladas a continuación:

- Mantener un estricto control en la identidad de los materiales
- Evitar una mezcla de los genotipos
- Evitar confusiones entre lotes de plantas

Control de la identidad

Para tener un control de la identidad, se sugiere implementar una minuciosa revisión de los códigos asignado a los árboles progenitores y su correlación con sus descendientes (árbol progenitor-progenie-familia) (Figura 4G).



Figura 4. Preparación y mezcla de sustratos para la producción de plantas progenie. A, B y C. Acarreo, acopio y mezcla del sustrato; D y E. Siembra directa de las semillas; F. Aplicación de productos químicos para el control de plagas y enfermedades; G. Aspecto de las plantas progenie, nótese el estricto control de la identidad.

Establecimiento de los experimentos genéticos

Es recomendable que los experimentos genéticos de ensayos de progenie y huertos semilleros se establezcan en sitios representativos de las áreas a reforestar con planta mejorada. Al respecto, fueron establecidos cuatro huertos semilleros asexuales y 12 ensayos de progenies (Figura 5) bajo un diseño experimental de bloques al azar (4X4). En cada bloque, fueron distribuidos

aleatoriamente 64 parcelas (8X8) las cuales, cada una de ellas alojó a una familia/clon. Las dimensiones de los bloques, fueron de 24 m x 24 m manteniéndose constante el tamaño de los bloques y familias/clon por bloque (64).

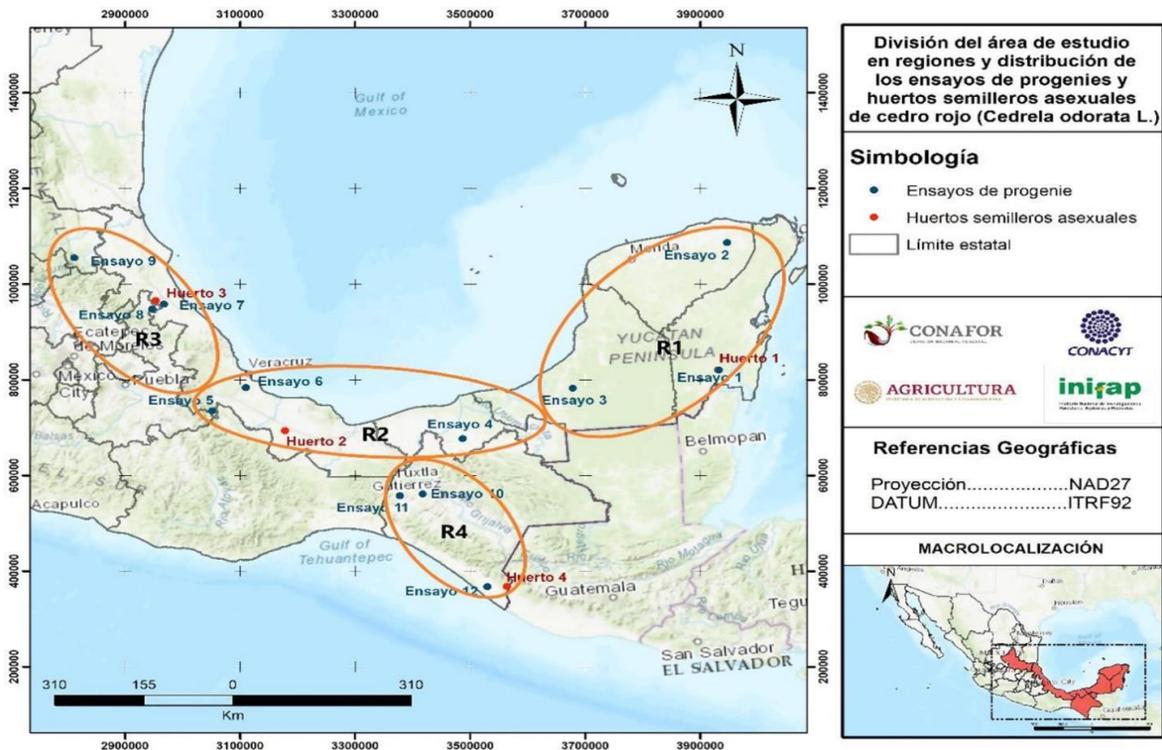


Figura 5. División del área de estudio en regiones y distribución de los ensayos de progenies y huertos semilleros asexuales de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.).

Conclusiones

- Debido a la variación ambiental y diferencias en edades de los árboles progenitores de cedro rojo, la heredabilidad por lo general es baja. Por lo tanto, se recomienda en algunas características cuantitativas no afectadas por la edad, fijar un valor mínimo. En este caso particular, a la variable “fuste limpio” (FL) se le fijó una altura mínima de 6 m (a la primera bifurcación).
- La calidad genética del germoplasma es un aspecto esencial en los PMGF, por tal situación, la mejor forma de su recolección es obteniéndolos directamente del árbol, por lo que es importante ascender hasta la copa de los árboles mediante la utilización de equipo especializado.
- La implementación de una metodología inadecuada en el establecimiento de los ensayos y huertos, dará como resultado experimentos deficientes, sin validez, con nula certeza en la estimación de los parámetros genéticos y con deficiencias en la eficiencia genética.

REFERENCIAS

Cruz, D. 2005. Principios de Genética Cuantitativa. Universidad de Federal de Vicoso. Editora UFV. Vicoso, Minas Gerais, Brasil. 394 p.

Niembro, A. 1988. Semillas de árboles y arbustos: ontogenia y estructura. Limusa, México.

Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P., y Soto, H. 2009. Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. Chile: Infor-Centro Tecnológico de la planta forestal.

Vallejos, J., Y. Badilla, F. Picado y O. Murillo. 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. Agronomía Costarricense 33: 105-119.

Villegas-Jiménez, D., Rodríguez-Ortiz, G., Chávez-Servia, J., Enríquez-Del-Valle, R., y Carrillo-Rodríguez, J. 2016. Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Gayana Botánica, 73(1), 113-123.

White, T. L., W. T., Adams y D. B., Neale. 2007. Forest Genetics. Cambridge, USA. CABI Publishing CAB International. 682 p.

Zobel, B. J. y J. T. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. México, D. F., México. 545 p.

CRÉDITOS

Fotografías Portada e interiores:
Dr. José Vidal Cob Uicab.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Vidal Cob Uicab del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por su valiosa contribución para la elaboración del artículo, y al personal técnico de la Gerencia de Reforestación y Restauración de Cuencas Hidrográficas, así como a la Gerencia de Plantaciones Forestales Comerciales por su apoyo en la revisión del mismo.

El contenido de esta publicación digital fue generado por la Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología de la Unidad de Educación y Desarrollo Tecnológico, en la Coordinación General de Producción y Productividad.