



Instituto Nacional de Bosques
Más bosques. Más vida

Paquete Tecnológico Forestal

Pino Candelillo
Pinus maximinoi H. E. Moore

Con el apoyo de:



Serie Técnica
DT-017 (2018)

Publicación del Instituto Nacional de Bosques (INAB)
7a avenida 12-90 zona 13
Guatemala, Guatemala, Centro América
ww.inab.gob.gt

Dirección de Desarrollo Forestal
7a avenida 6-80 zona 13
Guatemala, Guatemala, Centro América
Teléfono: 2321-4600 y 2321-4608

Departamento de Investigación Forestal
7a avenida 6-80 zona 13
Guatemala, Guatemala, Centro América
Teléfono: 2321-4600 y 2321-4608

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta publicación para fines educativos o sin intenciones de lucro, sin ningún otro permiso especial del titular de los derechos, con la condición de que se cite la fuente de donde proviene.

Citar este documento como:

Instituto Nacional de Bosques. 2019. Paquete Tecnológico Forestal para Pino Candelillo *Pinus maximinoi* H.E. Moore versión 1.0. Guatemala, Departamento de Investigación Forestal. 78 p. (Serie técnica DT-17-2018).

EABORADO POR:

Departamento de Investigación Forestal del Instituto Nacional de Bosques (INAB), con la redacción preliminar del Ing. Edwin Enrique Cano Morales (consultor), e incorporaciones y sistematización de experiencias (2018) por José Israel Cojóm Pac (consultor) y Joel Nicolás Eliézer Cutzal Chavajay (Departamento de Investigación Forestal del INAB). Se agradece Edwin Oliva Hurtarte (Departamento de Gobernanza Forestal del INAB), por la revisión del presente documento.

Este documento ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT), a través del proyecto PD 495/08 Rev. 4(F)"Sistema de información sobre la productividad de los bosques de Guatemala", y cuyos donantes son los gobiernos de Japón y Estados Unidos de América.



1. Presentación

El Instituto Nacional de Bosques -INAB- es el órgano de dirección y autoridad competente del Sector Público Agrícola, en materia forestal; una de las principales atribuciones del Instituto consiste en impulsar la investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal a través de programas ejecutados por universidades y otros entes de investigación.

En atención a su mandato, el INAB, con apoyo de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales -OIMT- presenta el paquete tecnológico forestal, donde las áreas temáticas relevantes que conforman el contenido son: aspectos introductorios, selección de sitio, producción de plántulas y genética, establecimiento de plantaciones, silvicultura de plantaciones, manejo de plagas y enfermedades, incrementos y existencias en plantaciones, contribuyendo así con proporcionar información de base para orientar actuales y potenciales reforestadores y silvicultores para la planificación del manejo de plantaciones.

El paquete tecnológico forestal de pino candelillo *Pinus maximinoi* H.E. Moore está conformado por los principales resultados de investigaciones, documentos científicos y experiencias documentadas que aportan conocimientos novedosos para ciertas etapas del cultivo o bien, que confirman la importancia de realizar actividades mínimas que favorezcan la productividad esperada y permitan alcanzar los objetivos y metas de un proyecto forestal, ofreciendo también insumos a próximos reforestadores para la toma de decisiones, a fin de que se planifiquen actividades que conlleven a una plantación forestal, cuyos productos de calidad satisfagan los requerimientos de los mercados nacionales e internacionales.

En este documento se pone a disposición del sector forestal, datos e información para la planificación de actividades dentro del ciclo del cultivo, desde la colecta de frutos, cosecha de semillas, métodos de propagación, selección adecuada de los sitios para el establecimiento de plantaciones, manejo silvicultural de plantaciones, ejemplos de buena y mala elección de sitios, diagnóstico y manejo de plagas y enfermedades, registro de las existencias de plantaciones a nivel nacional y simulación de la productividad de las plantaciones en busca de la maximización de productos forestales a partir de modelos de crecimiento. La serie de Paquetes tecnológicos forestales publicada por el INAB, pretende propiciar el aumento de la rentabilidad y productividad de las plantaciones forestales de especies consideradas prioritarias, brindando insumos que estimulen la competitividad de las plantaciones forestales en un país de vocación forestal.

Ing. Rony Estuardo Granados Mérida
Gerente INAB

2. Junta Directiva del Instituto Nacional de Bosques

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación

- Mario Méndez Montenegro
- José Felipe Orellana Mejía

Ministerio de Finanzas Públicas

- Claudia Larissa Rodas Illescas de Ávila
- Julio Rene Alarcón Aquino

Asociación Nacional de Municipalidades

- Eduar Amarildo Chún Champet
- Carlos Alexander Simaj Chán

Escuela Nacional Central de Agricultura

- Edvin Francisco Orellana Ortiz
- Tomás Antonio Padilla Cámbara

Cámara de Industria, Gremial Forestal

- Roberto Andrés Bosch Figueredo
- Fernando Alcides Enríquez Flores

ASOREMA

- Candido Abimael Reinozo López
- Miriam Elena Monterroso Bonilla

Universidades

- Raúl Estuardo Maas Ibarra
- Mirna Lucrecia Vela Armas

Instituto Nacional de Bosques

- Gerente del INAB y Secretario de la Junta Directiva: Rony Estuardo Granados Mérida
- Subgerente del INAB: Bruno Enrique Arias Rivas

3. Tabla de contenido

1. Presentación	iii
2. Junta Directiva del Instituto Nacional de Bosques.....	iv
4. Introducción.....	1
Nombre científico y notas taxonómicas	1
Nombres comunes	1
Descripción morfológica.....	1
Distribución geográfica de la especie	2
Importancia de la especie en el país	3
Aptitud forestal – agroforestal	5
Plantaciones puras	5
Plantaciones mixtas.....	6
Sistemas agroforestales	7
Usos	9
Estado de protección legal de la especie en el país	9
5. Selección de sitio	9
Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie.....	9
Clima.....	9
Fisiografía	9
Suelo.....	10
Distribución potencial de la especie en Guatemala.....	10
Recomendaciones para una correcta elección de sitio para la especie.....	12
Ejemplos de buena o mala elección.....	12
6. Producción de plántulas y genética.....	14
Diversidad genética y procedencia	14
Rodales semilleros	15
Semilla.....	15
Descripción.....	15
Colecta	15
Acondicionamiento	16
Conservación y viabilidad	16
Tratamientos pre-germinativos	16
Producción de plantas.....	17

Métodos sexuales o por semilla	17
Métodos asexuales	18
7. Establecimiento de plantaciones	20
Comportamiento ecológico de la especie	20
Instalación	20
8. Silvicultura de plantaciones.....	26
Control de malezas	26
Poda	29
Raleo.....	31
Introducción en sistemas agroforestales	37
Aprovechamiento final	37
9. Manejo de plagas y enfermedades	38
Plagas y enfermedades en viveros.....	39
<i>Phytophthora spp.</i>	39
Plagas y enfermedades en plantaciones.....	40
Tizón de la banda de la hoja: <i>Dothistroma septosporum</i>	40
Tizón foliar: <i>Lophodendrium spp.</i>	40
Zompopo: <i>Atta spp.</i>	40
Gallina ciega: <i>Phyllophaga spp.</i>	41
Ardilla: <i>Sciurus vulgaris</i>	42
Descortezador menor: <i>Ips spp.</i>	43
Roya del Pino: <i>Cronartium spp.</i>	43
Mosca sierra: <i>Neodiprion spp.</i>	44
Generalidades del género <i>Dendroctonus</i> (gorgojo del pino).....	44
Ciclo de vida del género <i>Dendroctonus</i>	45
Proceso de infestación de la plaga	45
Síntomas del ataque	46
Manejo de insectos descortezadores... ..	47
Características de <i>Dendroctonus valens</i>	48
Características de <i>Dendroctonus frontalis</i>	49
Características de <i>Dendroctonus adjunctus</i>	49
Características de <i>Dendroctonus parallelocolis</i>	50
Características de <i>Dendroctonus vitei</i>	50
10. Crecimiento y productividad de plantaciones	50

Metodología de seguimiento y evaluación del crecimiento en Guatemala.....	50
Crecimiento e incrementos.....	52
11. Existencias.....	59
Herramientas.....	59
Análisis y proyección del inventario de producción de pino candelillo	67
12. Conclusiones.....	71
13. Recomendaciones.....	72
14. Bibliografía.....	74

Lista de tablas

Tabla 1. Distribución natural de <i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore en Guatemala.....	2
Tabla 2. Condiciones de sitio que determinan el crecimiento y productividad para la especie <i>Pinus maximinoi</i> en Guatemala.....	11
Tabla 3. Listado de fuentes semilleras inscritas ante el Registro Nacional Forestal del INAB, activas e inactivas registrados a nivel nacional.....	15
Tabla 4. Agentes causales dañinos del pino candelillo (<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore) reportados en Guatemala.	38
Tabla 5. Número de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF) e individuos evaluados en plantaciones de <i>Pinus maximinoi</i> por edad de las plantaciones, número de mediciones y grado de mezcla - G_{mezcla} - (proporción de pino versus otras especies).....	51
Tabla 6. Número de parcelas permanentes de medición forestal (PPMF) e individuos controlados por el INAB en plantaciones de <i>Pinus maximinoi</i> , por grado de mezcla inicial, con especies asociadas en plantaciones.....	52
Tabla 7. Familia de modelos de crecimiento para pino candelillo <i>Pinus maximinoi</i> en Guatemala..	53
Tabla 8. Categorías de sitio para pino candelillo <i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore en Guatemala.....	53
Tabla 9. Aptitud para el crecimiento de <i>Pinus maximinoi</i> en sitios de Guatemala, con PPMF de la especie instaladas en plantaciones puras.....	54
Tabla 10. Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para <i>Pinus maximinoi</i> en Guatemala, según categorías de sitio (IS determinado a una edad base de 10 años).....	55

Tabla 11. Áreas plantadas en el período 2000 – 2018, por departamento y municipio, con <i>Pinus maximinoi</i> incentivadas por los Programas de Incentivos Forestales PINFOR, PINPEP y PROBOSQUE, en Guatemala.	60
Tabla 12. Áreas plantadas con <i>Pinus maximinoi</i> beneficiadas con los programas de incentivos forestales, por año de plantación y edad en Guatemala (al año 2018).	63
Tabla 13. Detalle de productividad actual de proyectos de pino candelillo incentivados en Guatemala.	64
Tabla 14. Detalle de productividad actual de volumen del primero, segundo y tercer raleo en plantaciones de pino candelillo incentivadas en Guatemala.	66
Tabla 15. Proyección de principales variables y volumen de corta final para las plantaciones de pino candelillo, para el periodo 2022-2040.	68
Tabla 16. Proyección del volumen por año (m ³) de raleo para pino candelillo, periodo 2019-2025..	69

Lista de figuras

Figura 1. Tendencia de las reforestaciones con la especie pino candelillo, mediante el programa de incentivos PINFOR y PROBOSQUE desde el año 2000 al 2018 en Guatemala.	3
Figura 2. Tendencia de las reforestaciones con la especie pino candelillo, mediante el programa de incentivos PINPEP, desde el año 2006 al 2017 en Guatemala.	4
Figura 3. Tendencia de las reforestaciones en sistemas agroforestales con la especie Pino Candelillo, mediante el programa de incentivos PINPEP, desde 2006 al 2017 en Guatemala.	4
Figura 4. Plantación pura de pino candelillo <i>Pinus maximinoi</i> de 4 años de edad, en la finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.	5
Figura 5. Esquema del arreglo mixto de la especie Ciprés Común y Pino Candelillo en la finca Papal Abaj, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Guatemala.	6
Figura 6. Sistema agroforestal de pino candelillo <i>Pinus maximinoi</i> con Café, finca Samac, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.	7
Figura 7. Mapa de distribución potencial de <i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore en Guatemala y la ubicación de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF) bajo monitoreo, hasta el año 2015.	10

Figura 8. Plantación de pino candelillo de 5 años con dos limpiezas regulares al año, Finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.....	27
Figura 9. Plantación de pino candelillo de 3 años con primera poda de formación, finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.....	30
Figura 10. Plantación de pino candelillo de 10 años con tercera poda de formación, finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.....	31
Figura 11. Diagrama de la forma generalizada de marcar el raleo en una plantación forestal.....	34
Figura 12. Plantación de pino candelillo de 5 años con alta ocupación, finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.	35
Figura 13. Relación de edad-dap (cm) como ejemplo de aplicación de tres intensidades de raleo en plantaciones de pino candelillo, utilizando la ecuación de proyección del dap (cm).	36
Figura 14. Relación de edad-dap (cm) como ejemplo de la ausencia de raleos en una plantación forestal de pino candelillo, utilizando la ecuación de proyección del dap (cm).	36
Figura 15. Esquema de la aplicación y posición del producto químico en el agujero donde se llevará a cabo la reforestación, para el control de gallina ciega en la finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala.	42
Figura 16. Familia de curvas de crecimiento en altura dominante [m] para plantaciones de <i>Pinus maximinoi</i> en Guatemala.....	56
Figura 17. Familia de curvas de crecimiento en dap [cm] para plantaciones de <i>Pinus maximinoi</i> en Guatemala.	57
Figura 18. Familia de curvas de crecimiento en área basal [m ² /ha] para plantaciones de <i>Pinus maximinoi</i> en Guatemala.....	57
Figura 19. Familia de curvas de crecimiento en volumen total [m ³ /ha] para plantaciones de <i>Pinus maximinoi</i> en Guatemala.....	58
Figura 20. Áreas plantadas por departamento y municipio con <i>Pinus maximinoi</i> en el período 2000 – 2018, con los programas de incentivos forestales (%), resumido por departamento en Guatemala.....	62
Figura 21. Distribución de área de proyectos de incentivos forestales por año de plantación, para la especie <i>Pinus maximinoi</i> en Guatemala.	64

Figura 22. Distribución del Volumen Total actual de proyectos de incentivos forestales (%) por departamento, para la especie de *Pinus maximinoi* en Guatemala.....65

Figura 23. Distribución del Volumen Total de producción actual de raleos en proyectos de incentivos forestales, para la especie de pino candelillo en Guatemala.....67

Figura 24. Distribución del volumen total proyectado en proyectos de incentivos forestales, para la especie de pino candelillo en Guatemala.68

Figura 25. Distribución del Volumen Total de raleos, proveniente de proyectos de incentivos forestales, para la especie de pino candelillo en Guatemala.69

4. Introducción

Nombre científico y notas taxonómicas

Pinus maximinoi H.E. Moore

SINÓNIMOS: *Pinus douglasiana* var. *Maximinoi* (H.E. Moore) Silba, *Pinus escandoniana* Roezl, *Pinus hoseriana* Roezl, *Pinus pseudostrobus* var. *Tenuifolia* (Benth.) Shaw, *Pinus tenuifolia* Benth y *Pinus tzompoliana* Roezl.

Nota: la jerarquía anterior se basa en Tropicos.org¹ y coincide con el criterio que aparece en ITIS-World Plants².

Nombres comunes

En Guatemala, el árbol recibe el nombre de Pino candelillo, Pino rojo o Pino hembra (Véliz y otros 2007).

Descripción morfológica

Basado en Veliz y otros 2007, INAB e IARNA 2012, Aguilar 1961, Valdez 2005, Dvorak y otros 2000, Mittak y otros 1979

PORTE NATURAL DEL ÁRBOL: Es un árbol que crece hasta 35 m de altura, aunque se han reportado de hasta 50 m de altura en el área de San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala. El fuste mide de 40 hasta 90 cm de diámetro a la altura del pecho (dap). La copa es densa, en forma de domo, ramas gruesas y la mayoría con una apertura con un ángulo de 90° (principal característica que la distingue del Pino triste *Pinus pseudostrobus* Lindl.), simulando un crecimiento verticilado (segmentos de varias ramas a una misma altura en el fuste).

CORTEZA: La corteza en la base del árbol es de color gris oscuro en donde se forman fisuras como acanaladuras profundas e irregulares. Mientras se acerca a la copa, la corteza adopta un color grisáceo-café. Cuanto más joven es el árbol, la corteza es más delgada y suave y, más gruesa y dura en especímenes maduros.

HOJAS: Presenta 5 hojas o agujas por fascículo, de 20 a 35 cm de largo. Posee vaina en la base del fascículo, de color verde a café de 15 a 25 mm de largo.

ESTRÓBILOS: Consiste en los conos o "frutos", botánicamente llamados estróbilos, son pequeños en comparación a otras especies y en forma de huevo; de 5 a 9 centímetros de largo y de 4 a 7 centímetros de ancho. Las escamas del estróbilo son suaves a medida que maduran (en comparación a otras especies), también se caracteriza porque los mismos no persisten en las ramas una vez han liberado las semillas.

¹ Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 28 May 2016 <<http://www.tropicos.org/Name/24900854>>

² ITIS-World Plants. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life: 2015 Annual Checklist / base de datos. Synonymic Checklists of the Vascular Plants of the World. Species 2000 Secretariat, Leiden (NL). 28 May 2016 <<http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2015/>>

Distribución geográfica de la especie

Basado en Cordero y Boshier 2003, Véliz y otros 2007, INAB e IARNA 2012, Valdez 2005, Dvorak y Donahue 1988, Dvorak y otros 2000 y, Tropicos.org

DISTRIBUCIÓN NATURAL: La especie puede ser encontrada desde la latitud 25° Norte, a lo largo de 2,600 km desde Sinaloa, México, pasando por Guatemala, El Salvador, y Honduras, hasta la latitud 12° Norte en departamento de Matagalpa, Nicaragua. En Guatemala, se encuentra presente en los departamentos de Guatemala, Baja Verapaz, Alta Verapaz, Quiché, Huehuetenango, Sololá, Sacatepéquez, Santa Rosa, El Progreso, Jutiapa y Jalapa.

Tabla 1. Distribución natural de *Pinus maximinoi* H.E. Moore en Guatemala

Departamento donde se reporta	Autores
Alta Verapaz, Baja Verapaz, Chimaltenango, Chiquimula, El Progreso, Guatemala, Huehuetenango, Jalapa, Quetzaltenango, Quiché, Sacatepéquez, Sololá, Zacapa	Schwerdtfeger (1953), Standley y Steyermark (1958), Aguilar (1961), Gutierrez (1977), Farjon y Styles (1997)

Fuente: Tomado y adaptado de Dvorak y Donahue, 1988

LUGARES DE INTRODUCCION: Fuera de su rango de distribución natural, la especie ha sido evaluada realizando pruebas de procedencia por CAMCORE³ en Brasil, Colombia Honduras, México, Sur África, Venezuela y Zimbabue.

De acuerdo con la base de datos del PINPEP (Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal o Agroforestal), del PINFOR (Programa de Incentivos Forestales) y del PROBOSQUE (Programa de incentivos para el establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala), los lugares donde existe presencia o existencias de dicha especie en plantaciones forestales de Guatemala son: Cobán, Lanquín, Panzós, San Cristóbal Verapaz, San Juan Chamelco, San Miguel Tucurú, San Pedro Carchá, Santa Cruz Verapaz, Senahú, Tactic, Tamahú (todos del Departamento de Alta Verapaz); Cubulco, Granados, Purulhá, Salamá, Rabinal, San Jerónimo y Santa Cruz El Chol (todos del Departamento de Baja Verapaz); Acatenango, Zaragoza, Chimaltenango, Patzún, Santa Apolonia, San Andrés Itzapa, San Juan Comalapa, San Martín Jilotepeque, San Miguel Pochuta, San Pedro Yepocapa y Tecpán Guatemala (todos del Departamento de Chimaltenango); Morazán, San Agustín Acasaguastlán, Guastatoya y Sansare (todos del Departamento de El Progreso); Santa Lucía Cotzumalguapa (Escuintla), Amatitlán, Chinautla, Fraijanes, Guatemala, Mixco, Palencia, San José Pinula, San Juan Sacatepéquez, San Pedro Sacatepéquez, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva (todos del Departamento de Guatemala); Nentón, Unión Cantinil, San Pedro Necta, San Mateo Ixtatán, Petatán, Jacaltenango, Concepción Huista y Chiantla (todos del Departamento de Huehuetenango); Olinstepeque, Zunil, El Palmar y Colomba Costa Cuca (todos del Departamento de Quetzaltenango); Mataquesuintla, Jalapa y San Pedro Pinula (todos del Departamento de Jalapa); Chajúl, Chicamán, Chiché, Nebaj, Cunén, San Juan Cotzal, Chichicastenango, San Pedro Jocopilas,

³CAMCORE: es una cooperativa formada en 1980 y conformada por la Universidad de Carolina del Norte, Industrias Forestales Privadas, Agencias de Gobierno y personas individuales con participación en Estados Unidos, México, Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Argentina, Chile, Colombia, Venezuela, Nueva Zelanda, República de Sur África e Indonesia, para la conservación de materiales genéticos de alto valor de especies forestales.

Santa Cruz Del Quiché, Chiníque, San Bartolomé Jocotenango y Uspantán (todos del Departamento de Quiché); San Felipe (Retalhuleu); San Juan Alotenango, Sumpango, Pastores, Santo Domingo Xenacoj, San Miguel Dueñas y Jocotenango (todos del Departamento de Sacatepéquez); Zacapa, La Unión, Gualán y Usumatlán (todos del Departamento de Zacapa); San Rafael Pie De La Cuesta y Tacaná (del Departamento de San Marcos); Barberena y Casillas (del Departamento de Santa Rosa); Panajachel, Santiago Atilán y San Andrés Semetabaj (todos del Departamento de Sololá); Momostenango (Tonicapán); San Francisco Zapotitlán (Suchitepéquez).

Importancia de la especie en el país

Basado en Estadísticas PINFOR 1998 a 2018 y Estadísticas PINPEP 2007 a 2017

Se constituye como la especie que más área reforestada reporta mediante los programas de incentivos forestales en Guatemala, junto con Pino colorado *Pinus oocarpa* y Pino del caribe *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, es una de las especies más utilizadas en la industria forestal, así como en materia de aserrío, debido a la existencia y características de trabajabilidad. El Pino candelillo es de especial interés en Guatemala y forma parte del listado de especies prioritarias de los programas de incentivos forestales impulsados por el INAB que, hasta el año 2018 registraba 23,455.01 hectáreas reforestadas en el territorio nacional, de las cuales 21,629.43 ha se han reforestado mediante los programas PINFOR y PROBOSQUE y, 1,917.58 ha mediante el programa PINPEP; cuyo objetivo principal ha sido la producción de madera y satisfacer la demanda de la industria.

Las existencias de plantaciones actuales la ubican en el lugar No. 1 en cuanto preferencia para la reforestación mediante programas de incentivos forestales, esto ha permitido que las reforestaciones se registren en 14 departamentos de Guatemala; de todos los lugares reportados, la mayor concentración ha sido en el departamento de Alta Verapaz, con 18,445.57 hectáreas reforestadas hasta el año 2018, equivalentes al 78.34% del área total reforestada con dicha especie en el país.

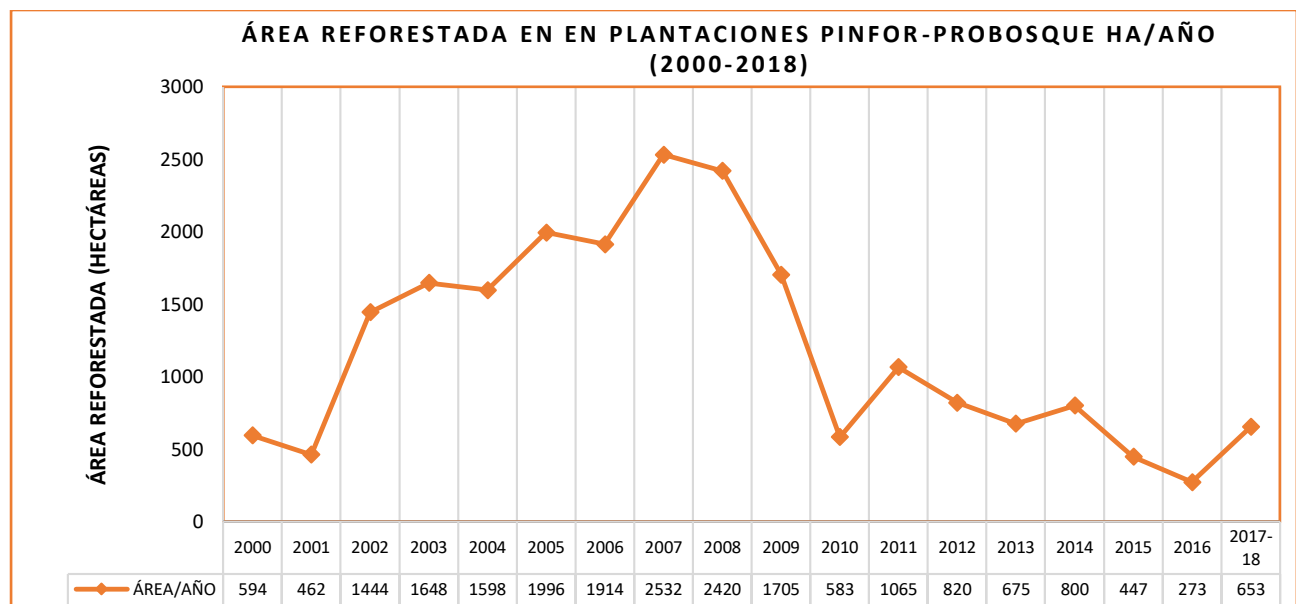


Figura 1. Tendencia de las reforestaciones con la especie pino candelillo, mediante el programa de incentivos PINFOR y PROBOSQUE desde el año 2000 al 2018 en Guatemala.

En la Figura 1, las reforestaciones del año 2017 y 2018 se expresan en una sola casilla de la fila de la tabla de datos (columna No. 18), estas corresponden a reforestaciones derivadas del programa PROBOSQUE; en la gráfica puede observarse que los años 2007 y 2008 se tuvo un mayor auge en las reforestaciones de pino candelillo, con más de 4,952 ha reforestadas en dos años.



Figura 2. Tendencia de las reforestaciones con la especie pino candelillo, mediante el programa de incentivos PINPEP, desde el año 2006 al 2017 en Guatemala.

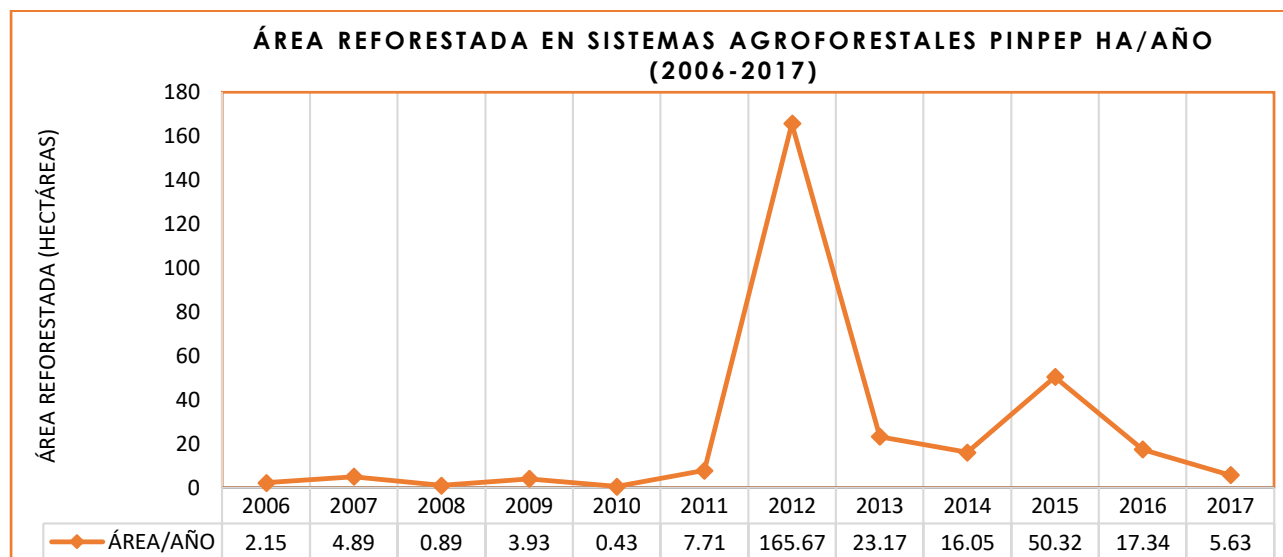


Figura 3. Tendencia de las reforestaciones en sistemas agroforestales con la especie Pino Candelillo, mediante el programa de incentivos PINPEP, desde 2006 al 2017 en Guatemala.

Las reforestaciones mediante el programa PINPEP aumentaron su tendencia a partir del 2012 (Figura 2) y se ha mantenido con más de 200 ha anuales; los sistemas agroforestales aún no tienen una tendencia clara en el aumento de área incentivada (Figura 3), aunque en el año 2012 hubo un comportamiento atípico de reforestación con respecto a la tendencia (165.67 ha reforestadas).

Aptitud forestal – agroforestal

Basado en INAB e IARNA 2012, INAB 2016, Ligoría 2015, INAB (sistematización de experiencias 2018).

Plantaciones puras

De forma natural, el pino candelillo, como la mayoría de las especies del género *Pinus* es común encontrarlo predominando el dosel⁴ superior de bosques completos o parches homogéneos dentro de los mismos, pocas veces se mezclan con especies asociadas a los ecosistemas con Pinabete *Abies guatemalensis* Rehder y con especies de la misma familia de los pinos.

La condición de predominante proporciona al pino candelillo una aptitud extraordinaria para el establecimiento en plantaciones puras, donde se ha observado que la competencia intraespecífica favorece a muchos individuos (dominantes) que superan a otros (codominantes y suprimidos) y esta diferenciación facilita la toma de decisiones respecto al manejo y silvicultura de la especie.



Figura 4. Plantación pura de pino candelillo *Pinus maximinoi* de 4 años de edad, en la finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.

En la Figura 4 se observan árboles de diferentes diámetros aun cuando todos los árboles fueron plantados en la misma fecha, esto es muy común dentro de plantaciones puras, lo cual demuestra que la competencia intraespecífica es aprovechada por varios árboles que dominan sobre el resto y seguro facilitarían la selección de los candidatos que llegaran a la cosecha final, resultando una ventaja importante para la especie.

⁴ El dosel es la capa de ramas y hojas formada por las copas de árboles vecinos, los cuales típicamente se encuentran cubriendo grandes áreas

Plantaciones mixtas

Los arreglos mixtos han sido una alternativa para diversificar ingresos y dar valor a la plantación, utilizando especies arbóreas dentro de las que sobresalen las siguientes: Pinabete (*Abies guatemalensis*), Mundani o Cedro Rosado de la India (*Acrocarpus fraxinifolius*), Aliso o llamo (*Alnus spp.*), Araucaria (*Araucaria excelsa* y *Araucaria heterophylla*), Casuarina (*Casuarina equisetifolia*), Cedro Rojo (*Cedrela odorata*), Ciprés común (*Cupressus lusitánica*), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), (*Eucalyptus citriodora*), (*Eucalyptus torquata*), (*Ficus spp.*), Gravilea (*Grevillea robusta*), Cushin (*Inga vera*), Caoba de la India (*Khaya senegalensis*), Liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*), Aguacate (*Persea americana*), otros Pinos (*Pinus chiapensis*, *Pinus montezumae*, *Pinus oocarpa*, *Pinus tecumumanii*), *Psidium guajava*, Encino (*Quercus skinneri*), Palo Blanco (*Tabebuia rosea*) y Teca (*Tectona grandis*).

De forma general, la especie ha demostrado ser apta para su asocio con otras especies forestales, sin embargo, el éxito ha sido evidenciado cuando se encuentra en una calidad de sitio buena y excelente, en ese sentido, los resultados no han sido alentadores para pino candelillo cuando se asocia con cedro rojo o rosado, caoba, especies de eucaliptos, entre otros.

En finca Papal Abaj, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Guatemala, existen arreglos mixtos que combinan pino *Pinus maximinoi* con ciprés *Cupressus lusitánica* en tres arreglos distintos: (1) un surco de pino y dos de ciprés, (2) dos surcos de pino y dos de ciprés y (3) tres surcos de pino y tres de ciprés. Como lo comentó el sr. Edgar Guevara⁵, el objeto de los arreglos mixtos es diversificar el tipo de producto forestal a cosechar al final del turno, reducir la susceptibilidad de la especie de género *Pinus* ante la incidencia de gorgojo del pino *Dendroctonus spp.*, al incrementar la diversidad del ecosistema, por ende, reducir el riesgo de perder toda la inversión; el propietario expresó su preferencia en el arreglo No. 3, debido a la facilidad de toma de decisiones al momento de realizar raleos, ya que, en pequeños bloques definidos por cada especie resulta mejor definir un criterio de selección sin recurrir a la preferencia de una u otra especie desde el raleo (mantener la diversidad).

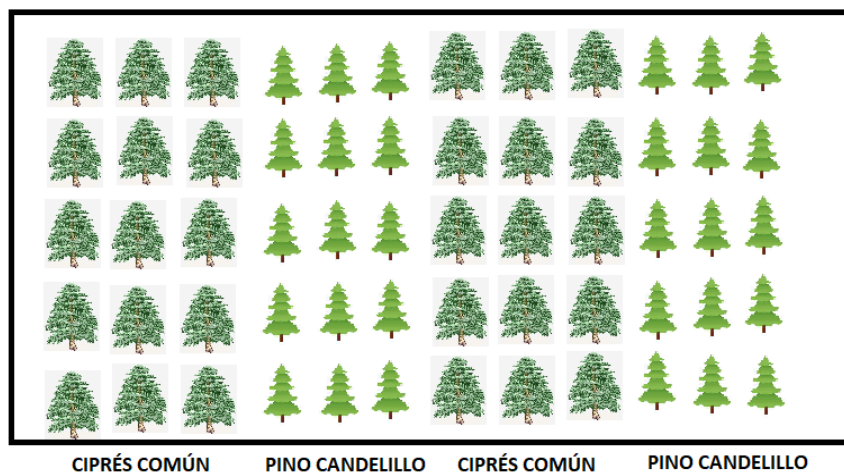


Figura 5. Esquema del arreglo mixto de la especie Ciprés Común y Pino Candelillo en la finca Papal Abaj, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Guatemala.

⁵ Sr. Edgar Guevara. 24 ene. 2019. Criterios para el establecimiento de plantaciones mixtas de Pino-Ciprés. (Entrevista). Finca Papal Abaj, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Guatemala.

Al momento de la visita de campo, se evaluó plantación de 5 años de edad, cuyo dap promedio de la especie pino candelillo era 18.98 cm (IMA en dap de 3.79 cm) y una altura promedio de 11.5 m (IMA en altura de 2.3 m); en comparación del dap promedio de la especie ciprés común, el cual era de 16.86 cm (IMA en dap de 3.37 cm) y una altura promedio de 11 m (IMA en altura 2.2 m). En esas condiciones, ambas especie se categorizan en una calidad de sitio "excelente" y tal como lo expresan los datos dasométricos anteriormente descritos, la especie pino candelillo supera el crecimiento de la especie acompañante. Es acá donde cobra relevancia el arreglo combinatorio de las especies acompañantes, ya que, el arreglo mixto en franjas de tres surcos de pino y tres de ciprés, simplifica la toma de decisiones al aplicar raleo, permitiendo que ambas especies presenten similares densidades aún después del primer raleo; ese escenario permite respaldar el objetivo del propietario en cuanto a la diversificación de especies al final del turno y a la reducción del riesgo económico por pérdidas de producción ante un riesgoso ataque del gorgojo del pino.

Sistemas agroforestales

Manteniendo el objetivo de aprovechar el terreno y generar un flujo de ingresos en un menor plazo que los raleos comerciales y la corta final del Pino, distintos propietarios han implementado sistemas agroforestales, entre los que se encuentra el asocio con café *Coffea arabica*, como el caso que se muestra en la Figura 6, el cual se identificó durante la visita de sistematización de experiencias en la Finca Samac, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.



Figura 6. Sistema agroforestal de pino candelillo *Pinus maximinoi* con Café, finca Samac, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.

El modelo agroforestal observado cuenta con una trayectoria interesante, ya que, desde el inicio de la plantación, se han introducido cultivos agrícolas como el maíz *Zea mays* (sistema Taungya⁶) hasta el cuarto año, posteriormente se sembró arveja china *Pisum sativum* y seguidamente café, aunque previo a introducir este último, se realizó un raleo con una intensidad aproximada del 50 % y una poda de los árboles remanentes para regular la sombra en función de los requerimientos del cultivo de café, que genera una producción estimada de 16 quintales al año, convirtiendo dicho asocio en una alternativa de diversificación para aquellas plantaciones puras después de haber sido intervenidas por medio de raleos, y tengan una densidad aproximada de 420 árboles/hectárea.

Es común encontrar asocio del cultivo de maíz con pino, especialmente en los primeros años de la plantación (0 hasta 3 años), inclusive algunos propietarios modifican el distanciamiento de siembra convencional de 3 m * 3 m (1,111 arb/ha) a 4 m * 2.25 m (1,111 arb/ha) con el objeto de tener un mayor espaciamiento entre surcos y así ampliar el tiempo o los ciclos de asocio maíz-pino.

En la actualidad, en Guatemala se evalúa la pertinencia de dar continuidad a los asocio entre maíz y pino después de algunas actividades de preparación previas, tal como el estudio denominado "efecto del asocio con maíz en el crecimiento y costos de mantenimiento de una plantación de pino candelillo en la finca El Palmar, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala. El estudio consistió en evaluar una plantación forestal de 16 hectáreas a los 7 años de edad. Con fines de evaluación, el área se dividió en dos escenarios de 8 ha cada uno, estableciendo 6 parcelas temporales en cada escenario con el objeto de recabar datos y dar respuesta a las variables evaluadas. Uno de los escenarios (8 ha) había gozado de asocio maíz-pino los primeros tres años de la plantación y el otro bloque o escenario (8 ha) no había gozado de ningún arreglo agroforestal hasta el momento de la evaluación (Ligorria 2015).

Los resultados de la investigación indican que existe diferencia significativa en las variables de altura (m) y diámetro a la altura del pecho -dap- (cm) entre la plantación con asocio versus la plantación sin asocio, donde el dap promedio de las parcelas evaluadas en la plantación con asocio superan en 1.85 cm el promedio de dap de las plantaciones sin asocio; así mismo, la altura promedio también se ve superada en 1.03 metros. Con respecto a los costos, la investigación concluyó que los costos de establecimiento y mantenimiento por hectárea son 30% más elevados en la plantación pura en comparación con el sistema agroforestal maíz-pino, con una diferencia de Q. 3,600/ha entre ambos. Por lo tanto, se recomienda implementar el asocio de maíz durante los primeros tres años de la plantación, para reducir costos de establecimiento y mantenimiento, además de obtener una ganancia en el incremento de los atributos de dap y altura de los árboles (Ligorria, 2015).

En un sistema agroforestal existe una mejor utilización del espacio vertical y mayor aprovechamiento de la radiación solar entre los diferentes estratos vegetales del sistema, microclima moderado, mayor protección contra erosión por viento y agua, mantiene la estructura y fertilidad del suelo (aportes en materia orgánica), mayor actividad biológica, reducción de la acidez y mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo. En conclusión, se mejora la productividad de los sitios y se aprovecha de una mejor manera los recursos (Mendieta y Rocha, 2007; citado por Ligorria, 2015).

⁶ Taungya: Sistema agroforestal en el que se intercalan cultivos agrícolas y plantas forestales durante 2 o 3 años hasta que los árboles o su follaje impiden el adecuado crecimiento y desarrollo de los cultivos agrícolas

Usos

Basado en INAB e IARNA, 2012 y Ramírez, 2003

La madera es ampliamente utilizada para la fabricación de postes, artesanías, bancos, artículos torneados, cajones acústicos, canales, carpintería en general, construcciones livianas, cortinas, ebanistería, embalajes, jaulas, juguetes, madera aserrada, mesas, molduras, muebles, palillos, plataformas, puertas, revestimiento, sillas, sistemas estructurales tejamanil⁷, resina y leña.

Estado de protección legal de la especie en el país

Basado en CONAP, 2009

Carece de protección especial por ser una especie ampliamente distribuida en el país, donde la disminución de sus poblaciones naturales no es alta, ni representa una pérdida significativa de su hábitat. Además, la especie posee adecuadas características de producción y calidad de semillas, regeneración natural adecuada y facilidad en el establecimiento de plantaciones; asimismo, en la actualidad no se encuentra en la Lista de Especies Amenazadas -LEA- del CONAP, ni dentro del listado de especies amenazadas de la Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre -CITES-.

5. Selección de sitio

Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie

Basado en INAB 2012, 2015 y 2016 y; Zamora, 2003

Clima

TEMPERATURA: En un rango entre 18° a 22° Celsius como temperatura media mensual se reportan los mejores rendimientos.

PLUVIOMETRÍA: La especie requiere de precipitaciones arriba de 2,000 milímetros como promedio anual.

ZONA DE VIDA: La especie no es representativa o indicadora de ninguna zona de vida en particular, sin embargo, se encuentra presente en forma natural en las zonas de vida Bosque muy húmedo Subtropical frío (bmh-S (f)) y Bosque húmedo Subtropical templado (bh-S (t)).

Fisiografía

ALTITUD: Los mejores rendimientos para Pino candelillo han sido reportados entre los 900 a 1500 msnm, aunque se registra su adaptabilidad en plantaciones desde 851 msnm hasta 2400 msnm.

PENDIENTE DEL TERRENO: Los sitios que muestran crecimientos altos se encuentran en pendientes menores a 30%, con pendientes mayores decrece la productividad.

⁷ Tejamanil: astillas de madera o madera trabajada en cortes delgados, usada para cubrir objetos o cobertizos o para la elaboración de cajas para el transporte de frutas y verduras

POSICIÓN EN EL PAISAJE: La posición topográfica, pedregosidad superficial y ocurrencia de vientos no representan factores que adversen el crecimiento.

Suelo

TEXTURA: no se ha registrado diferencia en el rendimiento debido a una clase textural en específico, pH relativamente ácido, entre 4 hasta 4.7 favorecen el crecimiento.

FACTORES LIMITANTES: no tolera inundaciones prolongadas o que ocurran más de dos veces por año, la saturación de bases debe estar entre 5% a 40% debido a la preferencia de acidez y una Capacidad de Intercambio Catiónico -CIC- entre 20 y 30 meq/100 gramos de suelo.

Distribución potencial de la especie en Guatemala

El Departamento de Investigación Forestal del INAB, en coordinación con el Departamento de Sistemas de Información Forestal de la misma institución, ha elaborado el mapa de la distribución potencial de pino candelillo, basado en información fisiográfica y climática obtenida mediante revisión bibliográfica y disponibilidad de variables ambientales en la cartografía (Hurtado, 2016).

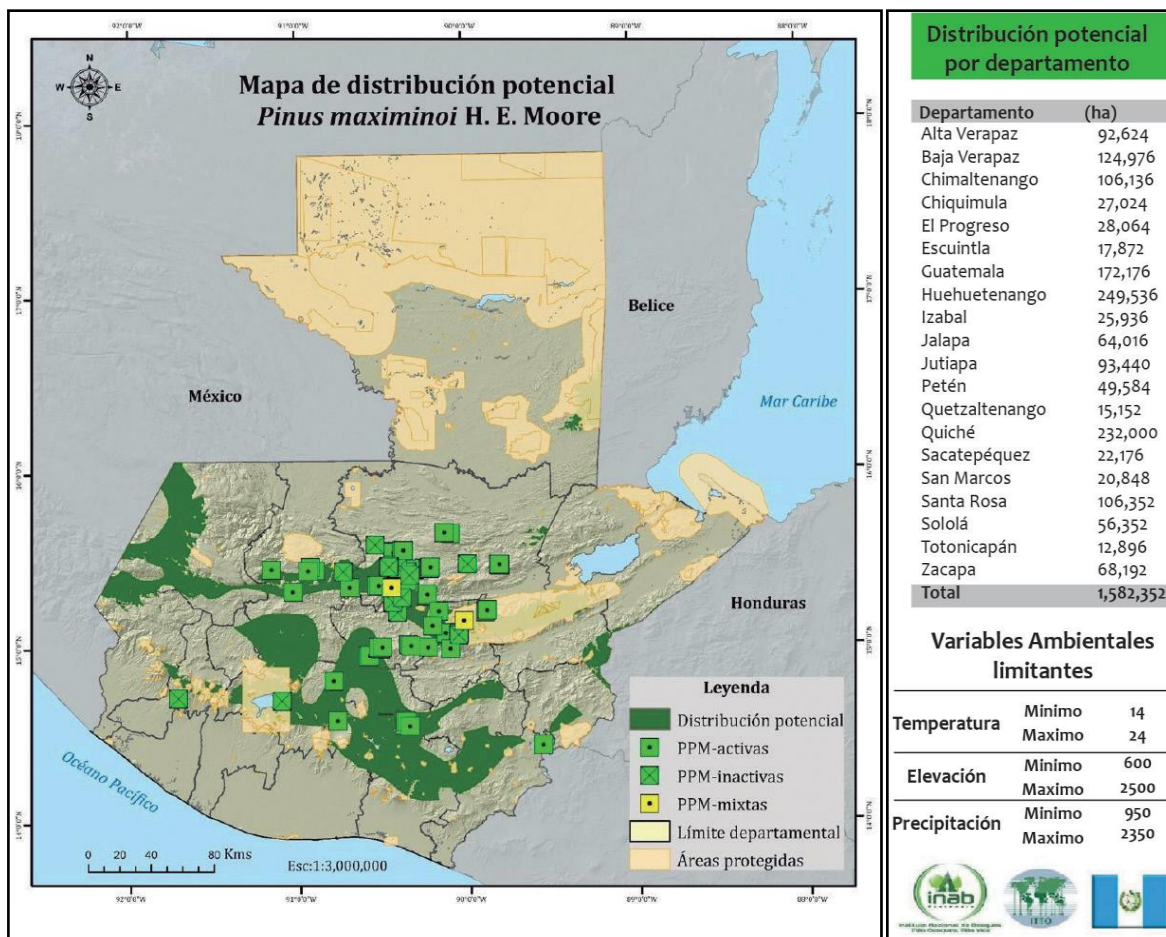


Figura 7. Mapa de distribución potencial de *Pinus maximinoi* H.E. Moore en Guatemala y la ubicación de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF) bajo monitoreo, hasta el año 2015.

Como se observa en el mapa de distribución potencial (Figura 7), las condiciones óptimas para el desarrollo de pino candelillo incluyen: altitudes que van desde los 600 hasta los 2,500 msnm, temperaturas entre 14° y 24° Celsius y, precipitaciones entre 950 a 2,350 mm. Los Departamentos con mayor área para la distribución potencial de la especie son: Quiché, Huehuetenango, Guatemala, Baja Verapaz, Santa Rosa, Chimaltenango, Alta Verapaz y Jutiapa; teniendo áreas menores en 12 departamentos más. En general, la distribución potencial para la especie es de 1,582,352 ha en todo el país.

El mapa muestra, además, la ubicación de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF), tema que será tratado más adelante en el acápite "Metodología de seguimiento y evaluación de crecimiento en Guatemala"; sin embargo, es de interés destacar aquí mismo que el crecimiento que muestran algunas de las PPMF que están ubicadas fuera del área de distribución potencial, se encuentran dentro de los mejores desarrollos observados, resultado que sugiere la necesidad de incorporar la información de la descripción de sitio de estas PPMF para ajustar los polígonos de área de distribución potencial de la especie.

A nivel nacional, solamente el uno punto cuarenta y ocho por ciento (1.48%, equivalente a 23547.01 ha) del área potencial ha sido aprovechado para introducir la especie. A nivel departamental, Alta Verapaz es el departamento con mayor uso del área potencial (19.91%) aún sin estar dentro de los primeros cinco departamentos con mayor aptitud de crecimiento. Los departamentos que presentan mayor potencial para el crecimiento de la especie son: Huehuetenango (15.76%), Quiché (14.66%), Guatemala (10.88%), Baja Verapaz (7.89%) y Santa Rosa (6.72%).

Tabla 2. Condiciones de sitio que determinan el crecimiento y productividad para la especie *Pinus maximinoi* en Guatemala.

Aspecto	Variable	Descripción
Fisiográficas	Elevación	De 900 a 1,500 msnm
	Pendiente	Menor a 43 %
	Pedregosidad superficial	No determinante en la productividad
	Inundación	No tolera inundación por períodos largos
Climáticas	Temperatura	18 a 22 °C promedio anual
	Precipitación	> 2,000 mm promedio anual
Suelo	Compactación	Poca o ninguna
	Profundidad efectiva	> 0.50 metros
	Saturación de bases	5 a 40 %
	pH	< a 6.7
	CIC	20 - 30 meq/100gr
	Fósforo	< 1.25 ppm
	Potasio	1.40 ppm
	Calcio	< 10.5 meq/100ml
	Cobre	< 1ppm en el suelo
	Hierro	< 13 ppm
	Manganeso	< 28 ppm

Fuente: Vaides, 2009

Recomendaciones para una correcta elección de sitio para la especie.

Fuente: Vaides López, E. E. 2009 (Inédito); Zamora, 2003 e INAB, 2017

Se determinó que las variables que determinan el desarrollo inicial de la plantación y se relacionan estrechamente con el Incremento Medio Anual (IMA) son: i) profundidad efectiva de suelo, ii) precipitación y iii) altura sobre el nivel del mar (INAB, 2012; INAB, 2015 y Zamora, 2003).

De acuerdo con el estudio efectuado y recopilado por Vaides López, E. E., 2009 (Inédito), en una muestra de plantaciones distribuida a nivel nacional con esta especie, se determinaron las condiciones que favorecen el crecimiento de la especie y su productividad, las cuales se presentan en el Cuadro 2.

El registro de las 32 PPMF de la especie Pino candelillo que reportan un índice de sitio "excelente" en todo el territorio de Guatemala, indica que las plantaciones están distribuidas en rangos altitudinales desde 994 msnm hasta 2,200 msnm. Es importante mencionar que aunque el rango altitudinal es amplio, existen 14 (44%) de las 32 PPMF con sitio "excelente" que se concentran en un rango altitudinal de 944 a 1,100 msnm (rango que concuerda con las recomendaciones realizadas por Vaides, 2009).

Zamora (2003), mediante la investigación denominada "Caracterización de las plantaciones forestales de *Pinus maximinoi* y *Pinus caribaea* establecidas en el programa de incentivos forestales", determinó que las dos variables más relacionadas al crecimiento inicial (primeros cinco años de crecimiento) en altura de la especie de pino candelillo son: (1) Precipitación: proyectos con precipitaciones arriba de los 2000 mm anuales expresan un incremento medio anual (IMA) en dap > a 0.72 cm ($r^2=0.68$ como coeficiente de correlación), aunque el efecto de la distribución de la precipitación a lo largo del año no tuvo efecto significativo; (2) La profundidad efectiva del suelo en rangos de 50 cm a 70 cm produce incrementos iniciales de 0.59 a 0.72 m de IMA en altura; rangos de profundidad efectiva > a 75 cm se relaciona con incrementos mayores de 0.72 m de IMA en altura. ($r^2= 0.57$ como coeficiente de correlación).

Los suelos que caracterizan las 32 PPMF bajo análisis, son variaciones del grupo "franco" (franco-arcilloso, franco-arenoso y franco-limoso). Es importante recalcar que mientras más se acercan los suelos a una textura "franca" (textura ideal), las características del suelo tienden a una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla; esto supone un equilibrio entre permeabilidad al agua, retención de agua y retención de nutrientes. Por lo descrito con anterioridad, nos permite interpretar que la textura del suelo "franco" condiciona un drenaje adecuado y una buena aireación del suelo, el aspecto textura es determinante en la productividad de las plantaciones.

Ejemplos de buena o mala elección

BUENA ELECCIÓN: El primer ejemplo de una correcta elección de sitio, que ha promovido que la plantación forestal exprese un índice de sitio "excelente", es el caso de la finca Sotzimaqj, Senahú, Alta Verapaz, Guatemala, la cual se estableció en un sitio con altitud promedio de 1,006 msnm, en un suelo con textura tipo "franco" y "franco-arcilloso", donde ocurren periodos secos menores de 4 meses y periodos lluviosos mayores a 8 meses, en sitios con pendiente promedio de 37%, con un drenaje superficial "bueno", con pedregosidad superficial "libre o ligeramente pedregoso" (menos del 5%), ubicado en la zona de vida "Bosque Pluvial Subtropical".

La plantación forestal en mención fue establecida con una densidad inicial de 1,111 árboles/hectárea, a un distanciamiento de 3 m * 3 m. Hasta su último registro de medición (año 2015) la plantación expresa un índice de sitio "excelente", con una altura dominante de 19.4 metros de altura a una edad de 8.8 años, con una densidad de 567 árboles/hectárea, habiendo aplicado un raleo a una intensidad de 40 a 50% a los 5 años de edad. Con las características de sitio y las prácticas de manejo realizadas, presenta un incremento medio anual (IMA) de 2.9 cm de dap, 1.9 m de IMA en altura, 3.21 m²/ha de IMA en área basal y 25.3 m³/ha de IMA en volumen; considerando que la plantación expresa un adecuado estado fitosanitario.

El segundo ejemplo, es el caso de la finca Seabas, ubicada en San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala, cuya plantación forestal expresa un índice de sitio "excelente". Algunas de las características que describen el sitio son: altitud promedio de 1,050 msnm, en un suelo con textura tipo "franco" a "franco-arcilloso", donde no se marcan periodos de meses secos, sino existe presencia de precipitación durante los 12 meses; la pendiente promedio es de 28%, ubicada en la zona de vida "Bosque Muy Húmedo Subtropical (frío) (Bmh-S [f]).

La plantación forestal en mención, fue establecida a una densidad inicial de 1,111 árboles/hectárea, a un distanciamiento de 3 m * 3 m. Hasta su último registro de medición con base a PPMF (edad de 13.3 años), con una densidad de 560 árboles/hectárea a los 13.3 años de edad, habiendo aplicado una práctica de raleo en la plantación, a una intensidad aproximada de 40% a los 5 años de edad. Con las características de sitio y las prácticas de manejo realizadas, presenta un incremento medio anual (IMA) de 1.9 cm de dap, 1.6 m de IMA en altura, 2.02 m²/ha de IMA en área basal y 20.2 m³/ha de IMA en volumen; considerando que la plantación expresa un adecuado estado fitosanitario.

El tercer ejemplo es el caso de la Cooperativa San Vicente, ubicada en San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala, cuya plantación forestal expresa un índice de sitio "excelente". Algunas características que describen el sitio son: altitud promedio de 1,053 msnm, en un suelo con textura tipo "limo-arcilloso", en el sitio se registran periodos con presencia de lluvia mayor a 9 meses, la pendiente promedio es de 43%, con un drenaje superficial "bueno", con pedregosidad superficial "moderadamente pedregoso (de 6 a 20%)", ubicada en la zona de vida "Bosque Muy Húmedo Subtropical (Cálido)" (Bmh-s [c]).

La plantación forestal en mención fue establecida a una densidad inicial de 1,111 árboles/hectárea, a un distanciamiento de 3 m * 3 m. Hasta su último registro de medición con base a PPMF (edad de 13.3 años), con una densidad de 640 árboles/hectárea, habiendo aplicado una práctica de raleo a una intensidad aproximada del 35%, aunque no se cuenta con el registro de la edad en que se realizó. Con las características de sitio y las prácticas de manejo realizadas, presenta un incremento medio anual (IMA) de 2.0 cm de dap, 2.0 m de IMA en altura, 2.79 m²/ha de IMA en área basal y 33.2 m³/ha de IMA en volumen; considerando que la plantación expresa un adecuado estado fitosanitario.

La correcta selección del sitio, el estudio de la ecología de las especies y las prácticas de manejo adecuadas, han permitido a los inversionistas forestales visualizar el aprovechamiento final de la plantación en ciclos menores a 20 años, inclusive, en ciclos de 14 años en sitios "excelentes" tal como se amplía en el tema "aprovechamiento final".

MALA ELECCIÓN: Terrenos con pendiente arriba de 55%, anegables y profundidad efectiva de suelo menor a 50 cm.

En una área del municipio de Granados, Baja Verapaz, Guatemala, se estableció una plantación forestal de pino candelillo a una altitud de 2500 msnm (fuera del rango altitudinal recomendado), en suelos arcillosos, la plantación fue establecida con una densidad inicial de 1500 árboles/ha, se aplicó un primer raleo a los 15 años de edad a una intensidad del 33% cuando los árboles contaban con un dap de 20.2 cm y una altura de 10.5 m.

Con las características de sitio y las prácticas de manejo realizadas (tardías), a una edad de 18.3 años, la plantación presenta un IMA de 1.3 cm de dap, 0.7 m de IMA en altura, 1.96 m²/ha de IMA en área basal y 11.5 m³/ha de IMA en volumen. Es importante mencionar que un factor determinante que pudo haber influido en que la plantación expresara atributos que la categorizara en un índice de sitio pésimo, es la ausencia de más intervenciones mediante raleos (además del sitio), ya que, hasta los 18.3 años de edad, la plantación únicamente se intervino mediante un raleo hasta los 15 años a una intensidad de 33%.

6. Producción de plántulas y genética

Diversidad genética y procedencia

Basado en Dvorak y otros, 2000

ESTADO DE LA CONSERVACIÓN GENÉTICA: basado en las evaluaciones de la Cooperativa Internacional para la Conservación y Domesticación de los Recursos Forestales en Centro América y México (CAMCORE), el estado de la conservación de Pino candelillo en el noroeste, centro y suroeste de México es de bajo riesgo. Aún existen poblaciones con una extensión mayor a 1,000 ha en esas regiones del país. En Chiapas, Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua, el estado de la conservación se encuentra clasificada como vulnerable a críticamente amenazada. El tamaño de las poblaciones varía de 2 a 20 ha en la región central y este de Guatemala, el norte de El Salvador y Nicaragua.

ENSAYOS: CAMCORE ha muestreado 26 procedencias y 856 árboles madre de en el sur de México (Estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas), Guatemala, Honduras y Nicaragua y, a través de miembros del programa, se han establecido 47 ensayos de procedencia y bancos de conservación en Brasil, Colombia, Honduras, México, Sur África, Venezuela y Zimbabue.

El Instituto Nacional de Bosques (INAB) realiza acciones para la conservación ex situ y la especie es priorizada para identificar áreas de distribución natural, selección de individuos, colecta y beneficia de frutos, almacenamiento a mediano plazo y establecer ensayos de procedencia-progenie.

PROCEDENCIAS: Los resultados de CAMCORE en plantaciones de 5 y 8 años indican que las procedencias más productivas establecidas en Brasil, Colombia y Sur África son las de "La Cañada" (Chiapas, México) y "San Jerónimo" (Guatemala). Por otro lado, las de "San Jerónimo" (Chiapas, México), "Cobán" (Guatemala) y, "Dulce Nombre de Copán" y "Tatumbula" (Honduras), también mostraron un buen desempeño en al menos uno de los países en donde fueron establecidas.

Rodales semilleros

A la fecha de la consulta (20 de enero de 2019) se determinó que, en Guatemala, 15 fuentes semilleras han sido registradas, de las cuales 3 están catalogadas como activas; en consecuencia, las áreas que pueden suministrar semillas certificadas para la producción de plántulas para futuros proyectos de reforestación son: Finca Nacional San Jerónimo (FS-1065), Finca San José La Colonia (FS-1049) y Finca Chisiram (FS-1153). Es importante recalcar que la calidad de la procedencia de la semilla debe ser verificada por los reforestadores, es importante que conozcan las fuentes semilleras de donde proviene la semilla, ya que es un factor que determina el éxito inicial de las plantaciones.

Tabla 3. Listado de fuentes semilleras inscritas ante el Registro Nacional Forestal del INAB, activas e inactivas registrados a nivel nacional.

REGISTRO	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	FINCA	ÁREA (ha)	ESTADO
FS-1026	ALTA VERAPAZ	SANTA CRUZ VERAPAZ	Las Conchas	3.33	Inactivo
FS-1028	CHIMQUIMULA	CAMOTAN	Dulce Nombre	3.00	Inactivo
FS-1046	GUATEMALA	SAN RAYMUNDO	Santa Isabel	17.86	Inactivo
FS-1103	BAJA VERAPAZ	SAN JERONIMO	Los Ramones	8.20	Inactivo
FS-1051	ALTA VERAPAZ	COBAN	Boquicar	2.66	Inactivo
FS-1065	BAJA VERAPAZ	SAN JERONIMO	Finca Nacional San Jerónimo	5.00	Activo
FS-1064	ZACAPA	USUMATLAN	Esmeralda Alta	2.65	Inactivo
FS-1071	CHIMALTENANGO	SAN JUAN COMALAPA	Paquisiya	5.00	Inactivo
FS-1092	SACATEPEQUEZ	PASTORES	Siguampar	1.37	Inactivo
FS-1093	ALTA VERAPAZ	SAN CRISTOBAL VERAPAZ	San Lorenzo	3.27	Inactivo
FS-1115	BAJA VERAPAZ	PURULHA	Jalaute	2.55	Inactivo
FS-1121	GUATEMALA	SAN RAYMUNDO	El Concepción	13.00	Inactivo
FS-1126	ALTA VERAPAZ	SAN CRISTOBAL VERAPAZ	Cañada Del Naranja	6.58	Inactivo
FS-1049	ALTA VERAPAZ	COBAN	San José La Colonia	9.84	Activo
FS-1153	ALTA VERAPAZ	SAN CRISTOBAL VERAPAZ	Chisiram	1.00	Activo

Fuente: Registro Nacional Forestal del INAB, 2019. Consultado el 20 de enero de 2019

Semilla

Descripción

Basado en Dvorak y otros, 2000; Veliz y otros 2007; INAB 2000 y 2012; Valdez, 2005 y CATIE, 2000.

Las semillas poseen un ala de color café claro que mide de 16 a 20 mm de largo, la función de esta ala es ayudar a su dispersión, posee de 6 a 8 cotiledones.

Colecta

Basado en Dvorak y otros, 2000; Veliz y otros, 2007; INAB, 2000 y 2012; Valdez, 2005; Hernández, 2004.

En el éxito de los proyectos de reforestación, influye significativamente la elección del buen material genético, por lo que se hace necesario obtener la semilla de fuentes certificadas, con el fin de garantizar buenos productos en el largo plazo.

CALENDARIO DE RECOLECCIÓN: La maduración de los conos es de diciembre a marzo, por lo que posterior a esta fecha se debe de efectuar la cosecha, preferiblemente entre el 10 y 30 de abril.

EVALUACIÓN PREVIA A COLECTAR ESTRÓBILOS: Generalmente se colectan en su área de distribución natural, tales como Las Verapaces (en el norte del país), San Juan Sacatepéquez, San Pedro Sacatepéquez y San Raymundo (en la región central del país). Se recomienda recolectar semillas principalmente de árboles vigorosos, sanos y bien conformados, que deben de estar aislados de otros de mala forma.

Es necesario observar registros de fechas de colecta para cada sitio en particular, ya que la variación se debe enteramente a factores atmosféricos. Se recomienda observar y realizar pruebas de corte en frutos y semillas. El color de los estróbilos cuando ha secado es café claro y cuando inicia la maduración es verde amarillento, negro y café. Otro factor para observar es que los estróbilos tengan una consistencia dura y textura rugosa, la presencia de espinas en las brácteas. Adicionalmente, puede hacerse una prueba de corte de la semilla, deberá observarse un color gris en el endospermo y de consistencia lechosa, será indicador de que el estróbilo es apto para colecta, ya que la semilla ha madurado.

PRÁCTICA DE RECOLECCIÓN: Los frutos se colectan directamente del árbol, el cual debe ser escalado con equipo apropiado como espolones, cinturón de escalada, casco, etc. El escalador corta los estróbilos cuando aún están cerrados, teniendo cuidado de no dañar las ramas.

RENDIMIENTO: Una persona puede colectar 0.38 sacos/día.

Acondicionamiento

BENEFICIADO: Una vez recolectados los estróbilos en campo, se transportan en sacos de brin o pita a un lugar techado donde pueden extenderse sobre lonas, para permitir que concluya el proceso de maduración y los estróbilos se abran lentamente. Luego son puestos al sol sobre mallas, por períodos de 4 horas, durante tres a cuatro días. La semilla se extrae manualmente, pasada por una desaladora y luego la mezcla de semillas, alas y basura pasan a una limpiadora con el objeto de eliminar las impurezas. Finalmente se homogeniza el lote y se expone al sol para reducir el contenido de humedad y almacenarla. Se necesitan 258 horas para concluir el proceso de beneficiado.

RENDIMIENTO: Existen de 50,000 a 100,000 semillas/kg, con promedio de 40 semillas por estróbilo y alrededor de 120 estróbilos/árbol. El porcentaje de germinación es de 84% a 95% según las condiciones de almacenaje, la pureza va de 90 a 99%; en promedio, se requieren 109 kg de frutos para 1 kg de semilla limpia.

Conservación y viabilidad

Las semillas son de tipo ortodoxo y pueden ser almacenadas por períodos de cinco a 10 años sin que pierda su viabilidad de una forma significativa, manteniéndola a temperatura entre 3° y 4° Celsius y contenidos de humedad de 6% a 8%, en bolsas de plástico herméticamente selladas. En condiciones ambientales pierde su viabilidad en menos de dos meses.

Tratamientos pre-germinativos

Se recomienda el remojo en agua, a temperatura ambiente, de 12 a 18 horas, previo a la siembra. La germinación inicia a los 7 días de haber sembrado la semilla y finaliza a los 24 días en promedio.

Producción de plantas

Basado en CATIE, 2000; Castillo, 2004; Ramírez, 2009; Paiz, 2014; Enríquez 2003

A nivel de coníferas, las tecnologías de producción de plantas pueden aplicarse indistintamente de la especie y poseen muy pocas variaciones en su implementación.

Métodos sexuales o por semilla

El pino candelillo se reproduce básicamente por semilla, para lo cual se requiere la implementación o establecimiento de viveros, teniendo diferentes modalidades de producción.

PLANTAS EN BOLSAS PLÁSTICAS: Las semillas pueden sembrarse directamente en bolsas plásticas de medida 3 pulgadas * 3 pulgadas con dos a tres semillas por bolsa, o en cajas germinadoras. El proceso de germinación tarda de 15 a 17 días. La planta estará lista para ser llevada a campo definitivo cuando alcancen de 25 a 30 cm de altura, lo que tarda de 5 a 6 meses dependiendo de la región, manejo del vivero y necesidades del tamaño de planta.

Durante el tiempo que la planta permanece en el vivero, en etapa de desarrollo pueden realizarse 4 fertilizaciones, la primera 30 días posteriores a la germinación; para dicha labor existen fertilizantes especializados en la producción de coníferas.

Se recomienda pasar la tierra por un tamiz o malla metálica con abertura de ¼ x ¼ de pulgada, para eliminar piedras y raíces y deshacer terrones. Posteriormente, mezclar 70% de tierra negra y 30% de arena pómez, la cual ayuda a mejorar la estructura del sustrato, mejorando la absorción de agua, anclaje de la raíz y disminuir la presencia de musgos en la parte superior de la bolsa.

El tiempo promedio de llenado de la bolsa es de 25 segundos y una persona puede llenar entre 1000 a 1500 bolsas por día. Las bolsas se colocan en bancales o tablonces de no más de 1 metro de ancho por el largo que se les desee dar y se le calza agregando tierra a los lados para evitar que las bolsas se caigan y mejorar la conservación de la humedad en el bloque.

Según experiencias observadas, se necesita un espacio físico de 650 m² para producir 100,000 plantas; 29.06 m³ de sustrato para llenar las 100,000 bolsas, de los cuales el 70% corresponde a tierra negra y el 30% restante a arena pómez. En un jornal se llena y coloca en tablón 1,000 bolsas por día.

PLANTAS EN CONTENEDORES PLÁSTICOS: Son bandejas plásticas hechas de polietileno de color negro que contienen cavidades para depositar el sustrato y raíces de la planta. A estas cavidades se les denomina tubete, éstos tienen entre 4 a 6 aletas o acanaladuras que sirven para orientar las raíces, con cavidades de 100 cm³ por tubete.

Los sustratos pueden variar en función de la disponibilidad y precios de los materiales. Las bandejas pueden ser llenadas a mano o utilizando una máquina especial. Lo más importante de esta actividad es asegurarse que toda la cavidad esté bien llena con el sustrato, para que no existan espacios de aire. Para asegurar una buena densidad del sustrato, la bandeja plástica se golpea moderadamente, entre 1 a 2 veces en el suelo. La calidad de esta operación está en la verificación de la densidad del sustrato, por medio de una adecuada supervisión.

Cuando las bandejas son usadas por primera vez, deben lavarse con agua limpia y enseguida se procede a la desinfección de los contenedores, donde se realiza una inmersión en agua caliente (80° Celsius por 10 minutos) o son lavadas con cloro u otros productos desinfectantes.

Las semillas de la especie forestal son colocadas al centro de la cavidad. El número de semillas a colocar por agujero dependerá del porcentaje de germinación del lote de semillas, lo cual solamente puede determinarse al comprar semilla certificada. Esta actividad se realiza manualmente. Luego se procede a cubrir la semilla con arena o piedra pómez para protegerla de los efectos dañinos que pudieran provocar el sol, viento, lluvia e insectos.

Métodos asexuales

Basado en CATIE, 2000; Castillo, 2004; Ramírez, 2009; Paiz, 2014; Enríquez, 2003

La propagación asexual de *P. maximinoi* es el proceso de multiplicación de plantas a partir de una planta madre y de la cual se obtiene una descendencia uniforme. Este proceso consiste en realizar una réplica o propagación de un árbol de buenas características, por medio de estacas enraizadas en un medio de propagación estéril, mediante la adición de una auxina como regulador de crecimiento, estimulando así la multiplicación de raíces.

Debido a esta técnica se pueden obtener altas tasas de multiplicación, a partir de brotes o material vegetativo joven proveniente de árboles cultivados como setos vivos. Por medio de este método de propagación se pueden obtener plantas libres de enfermedades, aunque en algunos casos no se puede evitar la multiplicación de plantas infectadas por virus.

Este método de producción implica la utilización de contenedores plásticos anteriormente descritos. De acuerdo con la experiencia generada a lo largo de varios ensayos los setos vivos de multiplicación deben de cultivarse a una distancia de 25 a 50 cm entre plantas y han de ser fertilizadas una vez a la semana para obtener un estado nutricional adecuado, usando una fórmula completa de fertilizante (N - P₂O₅ - K₂O), Blaukorn (12-12-17-2) a razón de 3 g/m² y una única aplicación de Osmocote plus (15-9-12) a razón de 25 g/m².

PRODUCCIÓN DE ESTACAS JUVENILES: Una vez escogida la planta madre, se extraerán los fragmentos a partir de los cuales se obtendrán las estacas. No se deben seleccionar estacas de crecimiento exuberante, con características anormalmente largas o de ramas pequeñas y débiles que crezcan en el interior de la planta. Las estacas más convenientes son aquellas de tamaño y vigor moderados. Las estacas deben tener almacenada una amplia provisión de materias alimenticias para nutrir a las raíces y tallos en desarrollo, hasta que sean capaces de hacerlo por sí mismos.

- Preparación de estacas: Como herramienta de corte se debe utilizar un bisturí, tomando en consideración que en la base de la estaca debe haber un corte en ángulo recto, limpio y sin daño. Las estacas se deben cortar a una longitud de 6 cm, con diámetros centrales de 3 a 6 mm y se deben eliminar todas las acículas en los 2 cm, próximos al corte recto.

Toda la herramienta debe ser desinfectada antes y durante el proceso de normalización de las estacas con Captan, a razón de 2 gramos por litro (g/l) y Benomil a razón de 0.5 g/l...

...Ya en condiciones de asepsia, se extraerán las estacas del material vegetal y se pondrán en el medio de cultivo en el cual se da la iniciación. En el medio de cultivo y dentro del micro propagador se puede controlar la sanidad y la viabilidad de las estacas.

- Método de aplicación de auxina: Se utiliza la técnica de inmersión rápida, donde la base de la estaca se introduce en la mezcla de fertilizante enraizador a base de ácido indol-3-butírico (AIB) diluida en 2 litros de agua, por un tiempo aproximado de cinco segundos. Luego estas estacas deben ser colocadas en el micro propagador, en arena blanca (pómez) como sustrato enraizador, a una profundidad aproximada de 2.5 cm.
- Fase de enraizamiento: La raíz en este caso es parte fundamental en el proceso de propagación asexual, porque sirve de anclaje, así también de absorción de agua y nutrientes. La callosidad empieza a formarse en las estacas entre la segunda y tercera semana de siembra, observándose entre la sexta y séptima semana las primeras raíces. La raíz necesita mucho oxígeno y no admite agua estancada, la cual pudriría las estacas; esta condición se logra al cultivar las estacas en estructuras denominadas micro propagador de subirrigación.
- Cuidado de las estacas en el micro propagador: La fase crítica y de mayor cuidado es en el micro propagador, porque es donde la planta está susceptible a cualquier cambio; por lo que es importante verificar que las condiciones de propagación se mantengan constantes. Las condiciones que se deben tener en cuenta son:
 - (1) Humedad: Verificar dos veces al día. Hay que rociar en las primeras horas de la mañana y en las últimas horas de la tarde. Controlar el nivel del agua en el micro propagador, siempre debe estar al nivel de enraizamiento, este nivel debe estar a 2.5 o 3 cm bajo la estaca juvenil, evitar que el medio de enraizamiento esté reseco o encharcado y se deben verificar los controladores de aspersión y los chorros de distribución.
 - (2) Temperatura: no debe sobrepasar los 35° Celsius en la hora más calurosa, no debe bajar de los 22° Celsius y no debe subir de los 32° Celsius en el medio de cultivo. (3) Sombra: debe verificarse que la sombra esté cubriendo los micro-propagadores, esto para evitar deshidratación de las estacas y, (4) Plagas y enfermedades: se debe verificar si hay signos de hojas caídas o comidas, pudriciones en las estacas o presencia de hongos.
- Factores ambientales que afectan el enraizamiento: La temperatura es un factor ambiental fundamental para la propagación, se debe controlar dentro del micro propagador y en el medio de cultivo. Cuando se tienen temperaturas extremas inhiben el desarrollo de las raíces y los nuevos brotes.

FASE DE ACLIMATACIÓN: Las estacas enraizadas y trasplantadas son muy sensibles a los cambios ambientales, de manera que el éxito o el fracaso de todo el proceso dependen de la aclimatación. El desarrollo de las estacas enraizadas dentro de los contenedores finales es un proceso lento, al principio están poco adaptadas a crecer fuera del micro propagador debido a que han enraizado en un ambiente húmedo con una humedad relativa muy alta.

Por lo general, los estomas no están aptos para responder al descenso de humedad relativa, estos son muy lentos por lo que en ocasiones no se puede evitar la desecación de las estacas enraizadas. Por otra parte, la producción de plantas en ambientes tan húmedos no permite la producción de cutícula bien desarrollada. Las estacas que son sacadas del micro propagador al contenedor final, deben ser puestas en invernaderos con umbráculo y una alta humedad, luego en el proceso de aclimatación se debe ir disminuyendo progresivamente la humedad relativa e incrementar progresivamente la intensidad de luz.

En cuanto a los métodos de propagación, el método sexual o por semilla es el más utilizado en función de su relativa sencillez, disponibilidad de semilla y recursos requeridos para la producción de plántulas. El método asexual, a pesar de que existen investigaciones que definen el protocolo de propagación, hasta el momento no se utiliza en Guatemala.

7. Establecimiento de plantaciones

Comportamiento ecológico de la especie

Basado en INAB, 2012; Butz, 2011; INAB (Sistematización de experiencias 2018-2019)

Debido a que su distribución está restringida a las tierras altas (condiciones de temperatura, precipitación y humedad), a menudo crece asociado con *Pinus pseudostrobus*, *Pinus oocarpa*, *Pinus herrerae*, *Pinus michoacana*, *Pinus tecumumanii*, *Pinus rudis* y *Cupressus lusitánica*. Crece en suelos fértiles, húmedos, de ácidos a básicos (pH de 4.5 a 7.5), con buen drenaje, profundos y con buen contenido de materia orgánica y es más exigente en suelos, en comparación a *Pinus oocarpa* y *Pinus caribaea*. En los lugares donde se mezclan, *P. maximinoi* ocupa los mejores suelos, mejor drenados y menos superficiales.

Instalación

PREPARACIÓN DEL TERRENO: Se recomienda una limpia total del terreno, a fin de proporcionar luz a los árboles en su etapa inicial, para el efecto se elimina toda la vegetación arbustiva, residuos de árboles caídos, entre otros. En varias reforestaciones se ha empleado el fuego después de la limpia, porque facilita la plantación y es efectivo para la eliminación de residuos vegetales y algunas plagas como roedores, ofreciendo además un bajo costo para el efecto.

En sitios que presentan algún grado de compactación como el caso de potreros, se puede efectuar laboreo del suelo como el arado o subsolado (si la pendiente lo permite), cuando la pendiente no permite el laboreo, se han implementado agujeros grandes para remover el sustrato donde la raíz se establecerá inicialmente. En suelos con problemas de drenaje, al cual es susceptible el pino, es necesario implementar estructuras que permitan eliminar permanentemente el exceso de agua en el suelo.

Durante la sistematización de experiencias en la finca La Eminencia, Escuintla, Departamento de Escuintla, Guatemala, las actividades de preparación del terreno para plantaciones forestales considera dos aspectos fundamentales: (1) "aspectos previos a la preparación del sitio" y (2) "actividades de preparación del sitio", los cuales se detallan a continuación:

(1) Los "aspectos previos a la preparación del sitio" consisten en actividades de control de la calidad de la planta y actividades que garanticen su entrega oportuna, y así garantizar que las actividades de establecimiento en campo se realicen en el tiempo de mejor adaptabilidad de la plántula y que las características de la misma sean homogéneas, para una adecuada respuesta inicial de la plantación. Algunas recomendaciones prácticas que pueden considerarse son:

- a. Cuando las áreas a forestar son de grandes extensiones, es prudente no depender de un solo proveedor, sino se debe incrementar el número de proveedores para evitar riesgos de entrega a destiempo y evitar riesgos de entrega de cantidades incompletas.
- b. Dedicar el tiempo para el monitoreo de la producción de la planta con los proveedores seleccionados. Esta actividad es prudente llevarla a cabo, con el objeto de verificar la procedencia de la semilla con la cual se produce la planta (aspecto determinante para el desarrollo futuro de la planta y garantía de la inversión), dar seguimiento a la evolución de la plántula en el vivero, velando que reciba los tratamientos adecuados que garanticen su vigor y su desarrollo adecuado para que posea las características ideales para la entrega (tamaño de 20 a 30 cm, antes que se establezca la época lluviosa).
- c. Una vez se recibida la planta, el transporte puede realizarse introduciendo las bandejas de plántulas o las bolsas en cajas plásticas o cajas de madera; de esa cuenta, se garantiza un mejor acomodo de la planta, menor daño por el movimiento en el transporte y protección a daños físicos. En la práctica, se realizan modificaciones temporales en los diferentes tipos de transportes, en camiones, pueden realizar hasta cuatro camas (compartimientos verticales) que permitan transportar mayor número de plantas por viaje.
- d. Se debe considerar la compra de un 5 a 10% de planta adicional, previendo pérdidas en el transporte y por sobrevivencia en campo.
- e. El control de calidad de la plántula se realiza en el casco de la finca, ya que existe probabilidad de que no toda la planta que se ha transportado vaya al campo definitivo; de esa cuenta evitamos transportar planta defectuosa al área de reforestación y después regresarla al casco de la finca. Algunos aspectos a verificar en el control de calidad son:
 - Realizar un muestreo al azar de algunos pilones (aproximadamente 100 plántulas)
 - La altura del pilón debe estar comprendida entre 20 a 30 cm de altura
 - El sustrato del pilón debe mantener su consistencia, es decir, al separarlo del tubete o bolsa, el sustrato no debería disgregarse ni esparcirse.
 - Énfasis en el enrollamiento radicular, provocado por el exceso de humedad en los viveros. El defecto provoca que las plantas futuras sean tumbadas por el viento con facilidad, ya que los árboles pierden su capacidad de anclaje. Se identifica cuando se separa el pilón del recipiente que lo contiene (tubete o bolsa) y se observa que la raíz pivotante tiene forma espiral en los costados del sustrato, es decir, no mantiene una dirección vertical hacia abajo, sino una posición lateral, con enrollamiento hacia arriba.

- Plantas sin plagas, de color verde, vigorosas (sin enfermedades), sin daños físicos provocados en el transporte.
- Las plántulas que tengan algún defecto como altura inadecuada, sustrato poco consistente, falta de vigor, etc., son almacenados en el casco de la finca, luego, se promueve un manejo intensivo para la mejora de la plántula, la cual se utiliza en actividades de resiembra.

(2) Las “actividades de preparación del sitio” consisten en aspectos relacionados con la adecuación del sitio para una correcta reforestación o establecimiento de la planta en el campo definitivo, estas actividades conllevan ciertas características, las cuales se describen a continuación:

- a. Se realiza un chapeo general (con machete, motoguadaña u otra herramienta) dos meses antes del establecimiento, este chapeo no se hace al ras del suelo, sino se hace con el objeto de eliminar la vegetación semi leñosa. Este chapeo se realiza a una altura aproximada de 30 cm sobre la superficie del suelo.
- b. 15 días antes del establecimiento de la plantación se realiza una aplicación química con el producto Gramoxone®, en una dosis de 1 litro de producto/ha; dicha dosis se mezcla en 200 litros de agua (1 tonel). El producto químico también se mezcla con un adherente y corrector de pH cuando se requiera; el rendimiento durante la aplicación química es de 0.70 ha/jornal. Esta aplicación tiene como objeto eliminar los rebrotes de la plantas semi leñosas a las cuales se les aplicó el chapeo general (inciso a) y también eliminar la maleza de característica herbácea; la aplicación se realiza 15 días antes del establecimiento, para evitar algún efecto dañino para la plántula, derivado de la residualidad del producto químico.
- c. La aplicación química se realiza con el equipo de protección necesario, con bombas de mochila de 20 litros y se hace un especial énfasis en el tipo de boquilla, que en este caso se utiliza el de tipo “espuma”. Este último aspecto es importante para garantizar el efecto y el rendimiento de la aplicación del producto químico.
- d. El control del insecto con nombre común zompopo (*Atta spp.*) inicia 15 días previo al establecimiento de la planta en campo definitivo (aspecto que se detalla en el capítulo “manejo de plagas y enfermedades”, en el título “plagas y enfermedades en plantaciones”).
- e. El trazo, diseño y estaquillado para el establecimiento de una plantación forestal cobra importancia, ya que a partir de esta actividad, se debe garantizar un distanciamiento homogéneo entre plantas, para que cada árbol tenga el mismo espacio para poder desarrollarse, de esa cuenta se puede evaluar con certeza los individuos dominantes para posteriores análisis. Después de haber establecido un gran número de reforestaciones, en finca La Eminencia, ejecutan el siguiente procedimiento para el trazo y estaquillado del área:
 - (Paso 1) consiste en ubicarse en el centro del polígono a reforestar y se trazan 3 metros hacia cuatro direcciones distintas, separadas a 90° cada una, en términos prácticos, esta actividad consiste en diseñar una guía hacia cuatro puntos cardinales, colocando una estaca de referencia al final del trazo de los tres metros.

- (Paso 2) A partir del centro y a partir de las cuatro guías delimitadas, se dirige a los extremos del polígono a reforestar, en dirección de las guías anteriormente delimitadas, al llegar al extremo del polígono se coloca una estaca de referencia, por último, se coloca una pita o rafia que una la estaca de referencia del centro y la estaca de referencia del extremo del polígono. La pita tendrá una marca a cada tres metros (si el distanciamiento es de 3 m * 3 m; al realizar el mismo procedimiento en cada una de las cuatro estacas de referencia del centro, el polígono se ve dividido en cuatro secciones o cuadrantes.
 - (Paso 3) Por último, en grupos de tres personas pueden realizar el estaquillado del área a reforestar, una persona se coloca en la guía del centro y otra en la guía del extremo, la función de ambos es tensar una pita que tiene marcas a cada tres metros, para que la tercera persona coloque pequeñas estacas en cada marca de la pita, es decir, a cada tres metros; este procedimiento se repite hasta cubrir todo el cuadrante, así mismo, pueden organizarse cuatro grupos de trabajo, para que cada grupo realice el estaquillado de un cuadrante.
- f. La plantación como tal se realiza una vez se estabiliza la época lluviosa, con el propósito de que la planta aproveche todo el período lluvioso. Para el efecto, se realiza un ahoyado de 30 a 40 cm de profundidad con el objeto de suavizar el sustrato para un adecuado desarrollo radicular. En términos de rendimiento (ahoyado de 20 cm de diámetro y 30-40 cm de profundidad, y plantas en tubete con bandejas), en la finca La Eminencia han preferido el sistema de ahoyado + plantación, el cual les representa un rendimiento de 300 plantas establecidas + ahoyado por día y por persona; en cambio, cuando se realiza únicamente el ahoyado sin el establecimiento de la planta, se obtienen rendimientos de 333 ahoyados por persona y por día. De esa cuenta, el primer sistema les ha sido mucho más óptimo y conveniente de utilizar en términos de tiempo y recursos invertidos.

El rendimiento del sistema ahoyado + plantación podría variar si la planta está dispuesta en bolsas de polietileno (convencional), debido a que su traslado se complica, por el espacio que ocupa cada planta y la fragilidad del material (bolsa) que contiene el sustrato, lo que provoca que por efectos del movimiento durante el traslado, se disgregue el sustrato. Es recomendable consultar con otros reforestadores acerca de una mejor técnica para garantizar un adecuado transporte y calidad de sustrato en plantas con bolsa de polietileno.

DISTANCIAMIENTO DE SIEMBRA: El objetivo principal de las plantaciones de *P. maximinoi* es la producción de madera para aserrío, por lo que es necesario definir una densidad inicial adecuada. Por lo regular se utilizan espaciamientos de 3 x 3 m al cuadro, con lo cual se garantiza un número de plantas adecuado para la selección de árboles remanentes a la cosecha final, donde se pretende llegar con una densidad entre 150 y 250 arb/ha, dependiendo de la productividad del sitio forestal. Dicho distanciamiento también es el requerido (densidad inicial 1,111 arb/ha) para el desarrollo de proyectos a beneficiarse por incentivos forestales.

Con la finalidad de facilitar algunas labores culturales de mantenimiento, se han establecido varias plantaciones con distanciamientos de 3 x 4 m (833 arb/ha) o 2.25 x 4 m (1,111 arb/ha), permitiendo de esta manera mecanizar entre otras, las limpiezas.

Es común encontrar asociados del cultivo de maíz *Zea mays* con pino, especialmente en los primeros años de la plantación (0 hasta 3 años), inclusive, algunos propietarios modifican el distanciamiento de siembra convencional de 3 m * 3 m (1,111 arb/ha) a 4 m * 2.25 m (1,111 arb/ha) con el objeto de tener un mayor espaciado entre surcos y así ampliar el tiempo o los ciclos de asocio maíz-pino (aumentar por lo menos otro ciclo del cultivo).

De ser necesario replantar, se recomienda que se haga cuando la plantación presente menos del 80% de prendimiento y no debe de hacerse después de un año del establecimiento, para que esta sea homogénea. En la finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala, realizan la actividad de resiembra en los primeros 45 días después de haber realizado la reforestación, con el objeto que las plantas seleccionadas para la resiembra reciban la cantidad adecuada de lluvia y que no sean suprimidos por las plantas inicialmente establecidas, propiciando su capacidad de adaptación al sitio.

Chaves (2006), mediante la comparación de 23 parcelas temporales establecidas en plantaciones de 7 años de pino candelillo en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala, determinó que en un rango de densidades de plantación inicial (árboles/hectárea), existe una relación inversa entre la densidad inicial y el porcentaje de ejes rectos y sin defectos de forma (deseables); siendo el 35.05% el porcentaje de ejes deseables en plantaciones con densidades de 1,111 arb/ha inicial, 26.80% de ejes deseables en plantaciones establecidas con 1,600 arb/ha y, 23.53% de ejes deseables en plantaciones establecidas con 2,500 arb/ha. Es importante mencionar que dicho análisis contempla la comparación de las características cualitativas de las plantaciones por efecto de la competencia intraespecífica y no incluye el análisis de la procedencia de la semilla, que es un factor determinante en el comportamiento de la forma y defecto de los árboles.

MEZCLA CON OTRAS ESPECIES: Se recomienda plantar *Pinus maximinoi* en plantaciones puras, por ser una especie heliófila que compite por luz, donde una especie de mayor crecimiento puede afectar el desarrollo de esta especie; además, las plantaciones puras tienen ventajas económicas y facilita la aplicación de tratamientos silviculturales. Esta especie se ha plantado en asocio con otras especies tales como encino *Quercus sp.*, liquidámbar *Liquidambar styraciflua* y ciprés común *Cupressus lusitánica*; tal como se desarrolló en el capítulo: aptitud forestal – agroforestal.

FERTILIZACIÓN INICIAL: Se han reportado exitosos resultados utilizando fórmula completa 15-15-15 diluido en agua (también llamado drench), a razón de 4 onzas/planta. La aplicación se realiza a 30 centímetros de la base o tronco de la planta. La fertilización se realiza a partir del primer año de establecimiento de la plantación y los resultados se ven reflejados a partir de los 6 meses posteriores de la aplicación.

El incremento medio anual (IMA) en altura utilizando la dosis indicada, representa un incremento de 1.69 m/año en comparación a no fertilizar donde se obtiene un incremento de 0.96 m/año. El IMA en diámetro de la planta utilizando la dosis indicada, representa un incremento de 2.13 cm/año en comparación a no fertilizar, donde se obtiene un incremento de 1.68 cm/año.

Es recomendable realizar un análisis sobre las condiciones físico-químicas del suelo, a fin de utilizar la formulación y tipo de fertilizante correcto ya que, según las características de suelo, puede fijar nutrimentos haciéndolos no disponibles para la planta.

Durante la sistematización de experiencias 2019, realizado en finca La Eminencia, a través del ingeniero Rafael Mejía⁸, mencionó el protocolo para la fertilización:

- a. La primera fertilización se realiza a los 25 días después de culminar el establecimiento en campo, para ello, la planta ya tuvo que haber tenido su primera limpia (plateo de 65 cm de radio, tal como se explica con posterioridad en el capítulo “silvicultura de plantaciones” subtema “control de malezas”). Se utiliza una dosis de 130 g/planta, la forma en que se aplica es al voleo, dispersando el fertilizante en el espacio del plateo, sin cubrir el fertilizante con tierra. Al realizar esta práctica se obtiene un rendimiento de 1 ha fertilizada (1,111 plantas) por jornal, por día. Se recomienda el uso de fertilizante hasta con un 40% de contenido de fósforo (P) para propiciar el anclaje y desarrollo radicular, aunque simultáneamente se debe aplicar en menor proporción nitrógeno (N) y potasio (K).

Después de varias pruebas en campo, en la finca La Eminencia se tomó la decisión de realizar la primera fertilización hasta los 25 días después del establecimiento, con la premisa de permitir que las raíces de las plantas tuvieran un lapso de tiempo para adaptarse en el nuevo sustrato (campo definitivo) y que tuviera mayor capacidad de asimilación de nutrientes. Anteriormente se realizaba la fertilización al momento de la reforestación y se depositaba el fertilizante en la parte baja del agujero, con el tiempo, modificaron la técnica debido a que la aplicación del fertilizante no reflejaba un efecto significativo (visual) en las plantas, y decidieron modificar su técnica por la que actualmente utilizan, considerando las siguientes dos razones:

(1) al fertilizar al mismo tiempo que la reforestación, las raíces de las plantas no se ha adaptado a las nuevas condiciones de sustrato, además de que existe un porcentaje de plantas que muere, invirtiendo recursos innecesarios y; (2) al aplicar el fertilizante en la parte baja del agujero, no se tiene la garantía de que la planta lo utilice, debido a que la zona de asimilación de los pelos absorbentes es alrededor del cuello de la raíz y no en las partes pivotantes de la misma.

- b. La segunda fertilización se realiza a los 60 días (2 meses) después de haber realizado la reforestación, la dosis aplicada es de 130 g/planta, el rendimiento durante la aplicación es de 1 hectárea (1,111 arb) por persona por día, el fertilizante se aplica al voleo alrededor de la planta y no se cubre con tierra; en la segunda aplicación se priorizan mayores dosis de nitrógeno (N) para la estimulación del crecimiento vegetativo y en menores proporciones los nutrientes de fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg).
- c. La tercera fertilización se realiza a los 90 días (tres meses) después del establecimiento de la reforestación, la dosis aplicada es de 130 g/planta, el rendimiento durante la aplicación es de 1 hectárea (1,111 arb) por persona por día, el fertilizante se aplica al voleo alrededor de la planta y no se cubre con tierra, se prioriza la aplicación de nutrientes que contribuyan directamente al crecimiento vegetativo de la planta (nitrógeno, magnesio, boro, potasio, fósforo).

⁸ Ing. Rafael Mejía. 19 jun 2019. Protocolo de fertilización en plantaciones forestales de pino candelillo. (Entrevista). Finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala.

8. Silvicultura de plantaciones

Control de malezas

Basado en INAB, 2015; Cordero y Boshier, 2003; INAB (sistematización de experiencias 2018-2019)

Se ha determinado que los mejores crecimientos se obtienen cuando se efectúan tres limpiezas en el primer año, al menos dos limpiezas en el segundo y tercer año y al menos una limpieza los siguientes tres años. Con regularidad se menosprecia el efecto positivo que tiene esta práctica en el crecimiento de los árboles, principalmente durante los primeros años, dando paso a muy malas experiencias por el deficiente crecimiento de los árboles debido a la competencia provocada por la maleza e inclusive los daños severos que puede presentar por bejucos como el muérdago, que en algunos sitios en Cobán, Alta Verapaz, Guatemala, ha provocado la muerte de los árboles.

Otra labor cultural importante es el plateo, que consiste en eliminar la competencia directa más cercana a la planta, alrededor del árbol. Se han observado plantaciones con plateo de 1 metro de diámetro con buenos resultados en los primeros años, principalmente en aquellos sitios donde el crecimiento de las malezas es agresivo.

Es importante mencionar que la presencia de trepadoras o enredadoras (bejucos) ocasionan daños irreversibles al fuste de los árboles, por lo que hay que eliminarlas previo a que inicien por agobiar a las plántulas, ya que esta condición provoca la pérdida de la dominancia apical y en consecuencia la bifurcación de los árboles.

En sitios con buen crecimiento se obtiene una cobertura de copas alta luego del tercer año, reduciendo la presencia de malezas y por consiguiente la frecuencia para efectuar limpiezas. En sitios con bajo crecimiento es necesario mantener limpiezas periódicas para eliminar la competencia por nutrientes a los árboles de pino. El número, frecuencia y método a utilizar dependerá de las condiciones propias de la plantación, la disponibilidad de recursos financieros y mano de obra.

La experiencia compartida por la Finca Concepción, San Miguel Dueñas, Sacatepéquez, Guatemala, señala que el pino candelillo es susceptible a las malezas durante los primeros meses, dándoles resultados efectivos al inicio de la plantación la aplicación general de un herbicida sistémico o de contacto y posteriormente realizar un plateo de 1 m² alrededor de cada árbol, donde se aplica un herbicida pre-emergente el cual proporciona alrededor de 2.5 meses libres de maleza que aprovechan los arbolitos de pino para su prendimiento.

Las condiciones del área han permitido que la plantación de los árboles se realice entre los meses de junio y julio, realizando el procedimiento anterior y realizando la siguiente limpieza general en el mes de octubre. Durante el segundo año de la plantación, se realizan al menos dos limpiezas, en los meses de junio y octubre y, a partir del tercer año, se realiza una limpieza cada año en el mes de septiembre.

Otro caso interesante corresponde a la Finca Siguanha, en Cobán, Alta Verapaz, Guatemala, donde se realizan 3 limpiezas durante los primeros tres años, en los meses de enero, mayo-junio y octubre-noviembre; durante los próximos tres años se realizan 2 limpiezas en los meses de febrero y octubre y a continuación, realizan solo una limpieza en el mes de febrero.



Figura 8. Plantación de pino candelillo de 5 años con dos limpieas regulares al año, Finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.

Aunque la maleza sea agresiva en el área, al realizar regularmente las limpieas desde que inicia la plantación, se logra establecer un ciclo donde la maleza finalmente no representa una competencia difícil de controlar, en comparación con plantaciones que no son atendidas y la maleza crece al punto de dificultar cualquier labor de mantenimiento.

Durante la sistematización de experiencias 2019, en la finca La Eminencia, según lo comentado por el Ing. Rafael Mejía⁹, confirma que los cuidados culturales durante los primeros años (3 a 4) de la planta en campo son fundamentales para que la planta exprese sus mejores atributos derivados del sitio y del ambiente, bajo ese concepto han desarrollado un protocolo de limpieas que aplican a todas las reforestaciones que realizan, la cual se describe a continuación:

(1). LIMPIAS DURANTE EL PRIMER AÑO DE LA PLANTACIÓN (todas las aplicaciones descritas se realizan en bombas de mochila de 20 litros de capacidad y con boquilla del tipo “espuma”):

- a. Plateo: consiste en la eliminación completa de las malezas aledañas a la planta recién establecida en campo, la actividad se lleva a cabo a los 25 días después de la reforestación, el radio del área de plateo es de 65 cm; es importante para garantizar que no existan enredaderas que agobien a la planta en su primera fase de crecimiento.

⁹ Ing. Rafael Mejía. 19 de jun 2019. Explicación del protocolo de cuidados culturales en plantaciones forestales. (Entrevista). Encargado de producción forestal, Finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala.

- b. Os Primera limpia: Consiste en una aplicación química que se lleva a cabo a los 30 días después de la reforestación, utilizando el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario). La dosis de la primera limpia es de 1 litro de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.
- c. Segunda limpia: Consiste en una aplicación química, que se lleva a cabo a los 60 días después de la reforestación, utilizando el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis de la segunda limpia es de 2.5 litros de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.
- d. Tercera limpia: Consiste en una aplicación química, que se lleva a cabo a los 90 días después de la reforestación, utilizando el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis de la tercera limpia es de 0.5 litros de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.
- e. Cuarta limpia: se lleva a cabo en los meses de noviembre o diciembre, su objeto principal es que la plantación se mantenga libre de malezas durante la época seca (reducir el material combustible) y que la plantación tenga una nueva limpia hasta inicios de la época lluviosa del próximo año. Se utiliza el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis es de 0.2 litros de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.

(2). LIMPIAS DURANTE EL SEGUNDO, TERCERO Y CUARTO AÑO DE MANTENIMIENTO (todas las aplicaciones descritas se realizan en bombas de mochila de 20 litros de capacidad y con boquilla del tipo “espuma”).

- a. La primera limpia se realiza 30 días después del inicio de la época lluviosa, utilizando el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario). La dosis de la primera limpia es de 1 litro de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.
- b. La segunda aplicación se realiza a los 60 días después del inicio de la época lluviosa, utilizando el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario). La dosis de la segunda limpia es de 2.5 litros de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.

- c. Eliminación de lianas y enredaderas: en sitios donde la precipitación pluvial es constante en toda la época lluviosa, existe presencia abundante de lianas o enredaderas, actividad que en campo se le denomina “desbejuado” y consiste en eliminar las enredaderas y plantas trepadoras desde las raíces, alrededor del árbol (65 cm de radio). Dicha actividad se realiza en el transcurso del mes de agosto (3 meses después del inicio de la época lluviosa) con el objeto de evitar el agobio de las plantas en sus primeras fases de crecimiento.
- d. La tercer y última limpia se realiza en los meses de noviembre o diciembre, su objeto principal es que la plantación se mantenga libre de malezas durante la época seca (reducir el material combustible) y que la plantación tenga una nueva limpia hasta inicios de la época lluviosa del próximo año. Se utiliza el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis es de 0.2 litros de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.

Poda

Basado en INAB, 2015; INAB (sistematización de experiencias 2018)

Las principales prácticas silvícolas son raleos y podas, cuyo objetivo es la disminución de riesgos en las plantaciones, principalmente: i) Riesgos de manejo, ii) riesgos biológicos, iii) riesgos físicos y, iv) riesgos de mercado.

Es indispensable considerar que mientras más grandes y gruesas sean las ramas, más trabajo llevará cortarlas, además de que el efecto del corte de ramas gruesas deja una marca o cicatriz más grande en el fuste (probablemente un mayor daño sino se realizan adecuadamente). Es aconsejable que el diámetro basal de la rama no sea superior a los 2 cm, debido a que facilita y disminuye el tiempo del corte, el daño al fuste es menor y en consecuencia los costos son menores. De acuerdo con las experiencias en el norte del país, los cortes realizados para eliminar ramas con mayor diámetro basal toman más tiempo para cicatrizar o curarse, causando generalmente algunas deformaciones en el fuste principal. Para que un árbol no disminuya en gran cantidad la copa (proporción de ramas versus longitud de fuste), se recomienda que la poda no exceda las dos terceras partes de la altura total del árbol.

Para el caso de las coníferas en general, era común realizar la primera poda hasta después de efectuar el primer raleo, sin embargo, las experiencias recientes, en sitios adecuados para pino candelillo están cambiando estas prácticas, debido a la positiva respuesta de la especie al estímulo provocado al quitar las ramas inferiores promoviendo la generación nueva copa y por ende un mayor crecimiento en altura, lo cual está sugiriendo la poda anual (no necesariamente en todos los árboles).

Fincas como Siguanha, en Cobán, Alta Verapaz, Guatemala, han iniciado a realizar sus podas desde el segundo año de establecida la plantación, con una intensidad del 50%, realizando la segunda poda entre los 4 y 5 años a dos terceras partes de la altura y una tercera intervención entre el año 8 y 9 en la misma intensidad anterior.



Figura 9. Plantación de pino candelillo de 3 años con primera poda de formación, finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.

Por regla general, es ideal que se eliminen las ramas hasta la mitad de su altura total, con la finalidad de mantener un equilibrio en el anclaje del árbol, además de dejar el suficiente material vegetativo (área foliar), para la absorción de energía para su alimentación. Aunque como se observa en la figura 9, la poda se está realizando hasta las dos terceras partes del árbol y en términos de meses (sitios buenos) con el crecimiento de la nueva copa, el árbol alcanza una proporción de copa del 50% y otro 50% de fuste limpio.

Según esta experiencia, para motivar el crecimiento deseado de la nueva copa del árbol, la poda debe realizarse al terminar la época seca, en el mes de noviembre, o bien al inicio de las lluvias, para reducir posible estrés al árbol (si esta se realizara en los meses de época seca, abril por ejemplo). Las ramas se deben de cortar al ras del fuste, sin causar ningún daño a la corteza del árbol, con el fin de que esta cicatriz sea fácil de sanar. Los daños que pudieran producirse en el fuste del árbol, lo debilitan y pueden hacerlo más susceptible al ataque de hongos, que luego pueden podrir o dañar la madera. La forma adecuada de podar puede observarse en la Figura 10.

Además es importante que el corte sea liso y no tenga ninguna irregularidad, que pudiera provocar la acumulación de agua y permitir un ambiente propicio para la proliferación de hongos o el ingreso de alguna plaga al fuste del árbol, lo cual se logra utilizando el instrumento adecuado como una sierra (cola de zorro) u otra herramienta según sea el diámetro basal de las ramas.



Figura 10. Plantación de pino candelillo de 10 años con tercera poda de formación, finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.

Raleo

Basado en INAB, 2015; INAB, sistematización de experiencias 2018

Con el transcurso de los años y de algunas experiencias en campo, se han establecido algunos perfiles de raleo, que pueden considerarse de forma genérica, pero finalmente deberán ajustarse a las condiciones particulares de cada sitio; así las plantaciones establecidos en buenos sitios, proveerán las condiciones para un desarrollo rápido del que es característico la especie y por el contrario, en sitios de menor calidad a los árboles les llevara mayor tiempo alcanzar proporciones que requieran la implementación de actividades silviculturales, como el raleo. A continuación, se comparten estos criterios generales:

Plantaciones establecidas a un distanciamiento inicial de 2 x 2 m (2,500 arb/ha) se recomienda ralear el 50% de los árboles iniciales, cuando la plantación alcance unos 4 a 5 m de altura total promedio. Uno de los casos con dichas condiciones reportó a los 6 y 12 meses incrementos medios anuales (IMA) en dap de 2.42 cm/año y 2.48 cm/año, respectivamente, después de haber aplicado el raleo; en comparación con los 2.12 cm/año que reportó la misma plantación sin la aplicación de raleos. No se identificaron cambios significativos para la variable de la altura.

En plantaciones establecidas a 3 m x 3 m (1,111 arb/ha) se recomienda ralear el 50% de los árboles, cuando la plantación alcance los 6 a 8 metros de altura total promedio. Para la producción de madera de aserrío habrá que realizar entre uno y dos raleos más, para llegar a la densidad final recomendable, que se calcula entre 300-400 arb/ha, dependiendo de la calidad de sitio y de los objetivos comerciales del silvicultor; tal como lo confirma Cal (2017), en su evaluación del crecimiento de plantaciones forestales de pino candelillo en Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.

Cal (2017), determinó mediante análisis de parcelas temporales establecidas a intensidades de muestreo mayores a 1%, la evaluación de cuatro áreas reforestadas en la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala, donde cada proyecto de reforestación se estableció a una densidad inicial de 1,111 arb/ha. Mediante la sistematización de cuatro perfiles de raleo se determinó que al primer proyecto se le aplicó tres raleos a intensidades de 50%, 30% y 25% quedando una densidad final de 291 arb/ha. Al segundo proyecto se le aplicó tres intensidades de 50%, 33% y 33% quedando una densidad final de 230 arb/ha; en tanto que el tercer proyecto fue intervenido con tres intensidades de raleo de 50%, 25% y 25%, quedando una densidad final de 309 arb/ha y, el cuarto proyecto fue intervenido con dos raleos a intensidades de 50% y 30%, quedando con una intensidad final de 381 arb/ha. El perfil de manejo del proyecto número cuatro permitió que la plantación se posicionara en un sitio categorizado como "bueno", proyectando volúmenes de cosecha final de 373.19 m³/ha versus los proyectos uno, dos y tres, con volúmenes proyectados a 20 años de 182.13 m³/ha, 216.53 m³/ha y 277.95 m³/ha, respectivamente.

González (2005), evaluó cinco proyectos de incentivos PINFOR reforestados en densidades iniciales que van de 1,111 árboles/hectárea a 1,500 árboles/hectárea y ubicados en cinco fincas distintas en el Departamento de Alta Verapaz, donde determinó que las intensidades aplicadas para el primer raleo se encuentran en un rango del 35 al 50%, siendo la plantación establecida a una densidad inicial de 1,111 árboles/hectárea ubicada en Finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala, la que, derivado de la aplicación del 35% de intensidad de raleo + podas al año 6 de la plantación, representó mayor incremento corriente anual (ICA) en diámetro y altura (comparando las mediciones del año 7 y el año 6); siendo los valores del ICA de 4.65 cm de dap (versus valores de 2.77 cm, 3.77 cm, 2.39 cm y 2.36 cm de las otras plantaciones evaluadas). Los valores de ICA en altura fue 3.40 m (versus valores de 1.88, 1.80, 2.48 y 2.05 m de altura reportadas en las otras plantaciones evaluadas). Es importante mencionar la ganancia de incremento no solo se debe a la intervención de raleos sino a la práctica combinada de raleos y podas.

Las actividades de aprovechamiento por medio de raleos en plantaciones forestales voluntarias o plantaciones forestales obligatorias, se encuentran tipificadas como actividades exentas de licencia forestal (Art. 53, Ley Forestal de Guatemala [Decreto Legislativo 101-96]). Para su efecto, las actividades de raleo deben estar sujetas al Reglamento del Registro Nacional Foresta de Guatemala (Res. No. JD.03.26.2015).

Fuentes (2014), mediante el análisis denominado "Productividad de las plantaciones forestales en los diferentes tipos de raleos en la región II del INAB (Alta Verapaz y Baja Verapaz, Guatemala)", indica que en raleos de la especie pino candelillo pueden obtenerse valores de rendimiento de madera aserrada tipo "regla" en rendimiento porcentual del 42% al 55%, con respecto al producto total aprovechado. Las dimensiones son las siguientes: 9' x 3" x 3", 9' x 4" x 3", 10' x 3" x 3", 10' x 4" x 3" (pies * pulgadas * pulgadas) en árboles raleados con clases diamétricas que van desde 15 cm hasta 30 cm de DAP y alturas de 13 hasta 17 m; aunque en clases diamétricas menores: de 10 a 15 cm de DAP con 11 m de altura, también puede obtenerse rendimiento de reglas, aunque este es menor, equivalente al 30% del volumen total apeado por raleos.

Como un ejemplo de la experiencia referida anteriormente se encuentra la finca Concepción, ubicada en San Miguel Dueñas, Sacatepéquez, Guatemala, donde el perfil de raleos sitúa la primera intervención al sexto año, con una intensidad del 50%. La selección de los árboles a ralear se realiza de acuerdo con el siguiente procedimiento (ver Figura 11):

1. Como primer paso, hay que ubicarse en una esquina de la plantación, entre las dos primeras hileras de árboles.
2. La persona encargada del marcar los árboles destinados al raleo, se coloca entre el primer cuadro de árboles, conocida como caja de cuatro árboles, eligiendo los dos peores individuos para ser marcados (50% de intensidad). En el caso de requerir un 25 % de intensidad de raleo, se selecciona únicamente un árbol, por el contrario, en el caso de requerir un 33% de intensidad, la caja debe ser de 6 árboles de los cuales se seleccionan dos árboles (1 de cada surco). En cualquiera de los casos pueden utilizarse cajas más grandes, de 8, 10 y 12 árboles para aumentar las posibilidades de selección, como en el caso de la finca concepción donde les ha dado resultado cajas de 10 árboles. Los criterios de selección generalmente son:
 - a) Estado fitosanitario: se eliminan aquellos árboles que tengan problemas de plagas, enfermedades, cola de zorro, corona de reina, descopado por el viento o descortezado por roedores. Esto debido a que es uno de los problemas más graves de una plantación y puede ser el inicio de la pérdida total de esta.
 - b) Rectitud del tronco: si no tuviéramos árboles enfermos o plagados a elegir, dentro de los cuatro o más árboles, tendríamos que definir, como siguiente criterio, los árboles torcidos o bifurcados, o que presenten cualquier otra deformación que disminuya la calidad general de la plantación.
 - c) Diámetro: si no tuviéramos árboles enfermos o mal conformados dentro de los cuatro o más árboles, la decisión va dirigida a favorecer los árboles de mayor diámetro, marcando los más pequeños.
 - d) Altura: habiendo agotado las características anteriores, si los árboles fueran de igual condición, se seleccionan para el raleo los árboles más bajos, debido a su desventaja competitiva en comparación con los árboles dominantes o más altos.

Nota: Es importante hacer la aclaración de que los árboles muertos o faltantes se consideran raleados, por ejemplo: al aplicar una intensidad de raleo de 25%, si ya hubiera un árbol muerto en la caja (cuatro árboles elegidos), ya no es necesario eliminar otro.

- Después de marcar los dos árboles a extraer del primer cuadro, avanzar al siguiente y efectuar el mismo proceso del cuadro anterior, es decir, si fuera el caso de que el primero cuadro era de cuatro árboles, se deben seleccionar otros cuatro árboles distintos e inmediatos a los primeros cuatro.

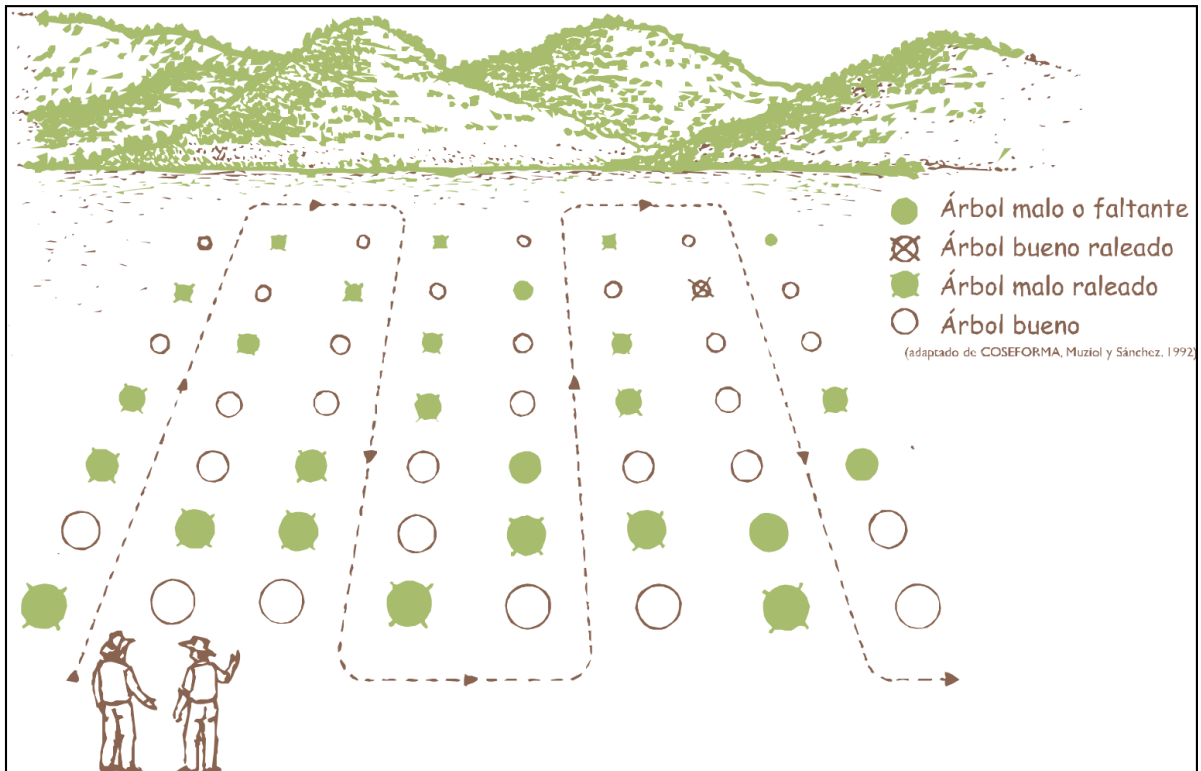


Figura 11. Diagrama de la forma generalizada de marcar el raleo en una plantación forestal.

Si la semilla y el sitio han sido seleccionados adecuadamente, a la edad de 6 años los árboles presentan dimensiones deseables para la industria de diámetros menores; de lo contrario, de este primer raleo se obtiene únicamente leña. En el caso de la finca Concepción, San Miguel Dueñas, Sacatepéquez, Guatemala, el segundo raleo se realiza a los 12 años con una intensidad del 50%, seleccionando en cajas a partir de los árboles vivos; en esta ocasión los productos por lo general ya son demandado por la industria maderera.

Para el caso de la finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala, donde se ha destacado ya el potencial del sitio, se evidencia una alta competencia entre los árboles desde los 4 años, logrando en ocasiones realizar raleos de saneamiento, eliminando únicamente árboles de mala calidad y enfermos. En este primer raleo corresponde una intensidad del 30% y como se indicó anteriormente, a los 5 años las plantaciones sugieren la liberación del dosel, al observarse que inicia el roce entre las ramas inferiores de los árboles y se diferencian oportunamente árboles con mala calidad.



Figura 12. Plantación de pino candelillo de 5 años con alta ocupación, finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.

En Guatemala existe un estudio de dinámica de crecimiento y productividad para plantaciones de pino candelillo, en el que se indica que los modelos de crecimiento generados a partir de datos de Parcelas Permanentes de Medición Forestal –PPMF- han permitido registrar el comportamiento del crecimiento natural de los árboles en plantaciones puras. De esa cuenta, se generan modelos de crecimiento, cuya aplicación consiste en poder determinar el índice de sitio de una plantación de interés y con base a esa variable, poder sustituir información a los modelos de crecimiento para simular el efecto de distintas frecuencias e intensidades de manejo y así evaluar, cómo podría verse modificado el volumen total proyectado a partir de una determinada edad, a una determinada densidad (arb/ha) y a un determinado índice de sitio -IS- (m).

A manera de ejemplificar lo anterior, si utilizamos un índice de sitio de 20.90 m (excelente) al definir un supuesto perfil de manejo, iniciando con 1,000 árboles/ha (incluyendo pérdidas por sobrevivencia) al final del primer año y, a partir de allí, suponer el primer raleo a los 5 años a una intensidad del 30%, luego a los 9 años a una intensidad de 33% y el último raleo a los 13 años a una intensidad de 50%; para efectos del presente ejemplo, se supone un turno de corta de 16 años.

En la figura 13, se observa que el efecto de realizar raleos en las plantaciones forestales provoca el aumento en los valores del diámetro a la altura del pecho (cm), como producto de la eliminación de la competencia, por la apertura del dosel y porque el diámetro promedio de la plantación se ve beneficiado al eliminarse los árboles con menores dimensiones y menos deseables. ¿Qué pasa si no se realizan raleos en una plantación con el mismo índice de sitio y la misma sobrevivencia inicial?, se obtiene la tendencia de la figura 14, que al final del turno (16 años) se obtendrá alta densidad de árboles, con un volumen considerable; sin embargo, el dap (cm) alcanzado no llena los requisitos requeridos por la industria. El raleo es determinante en modificar la productividad de un rodal.

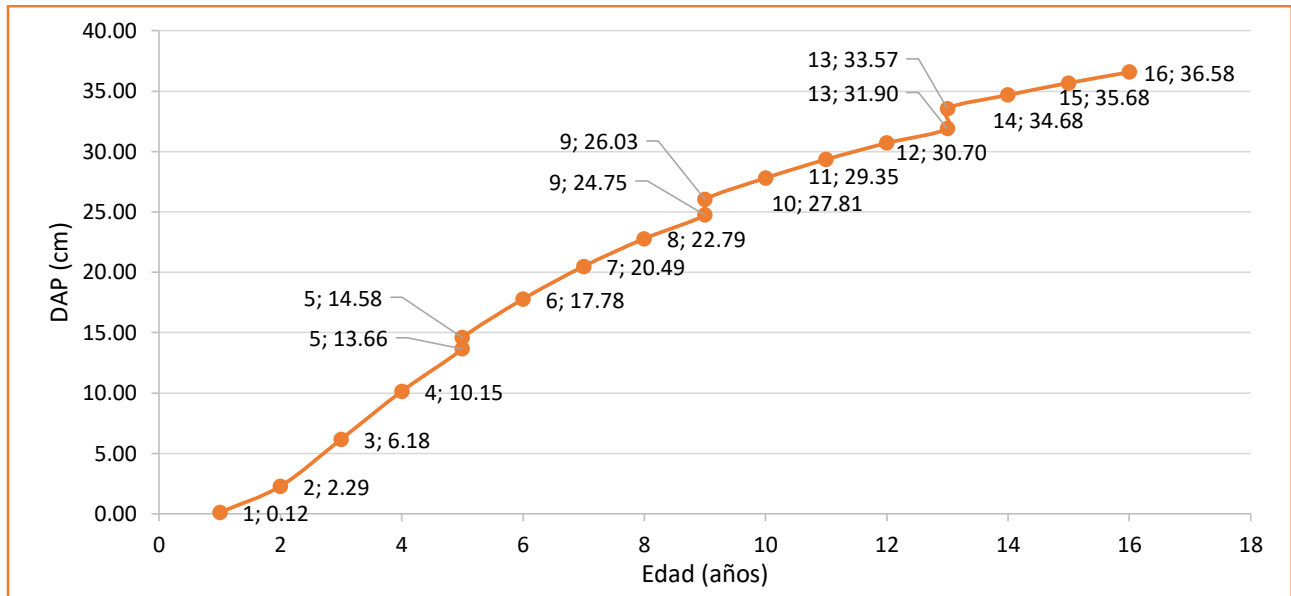


Figura 13. Relación de edad-dap (cm) como ejemplo de aplicación de tres intensidades de raleo en plantaciones de pino candelillo, utilizando la ecuación de proyección del dap (cm).

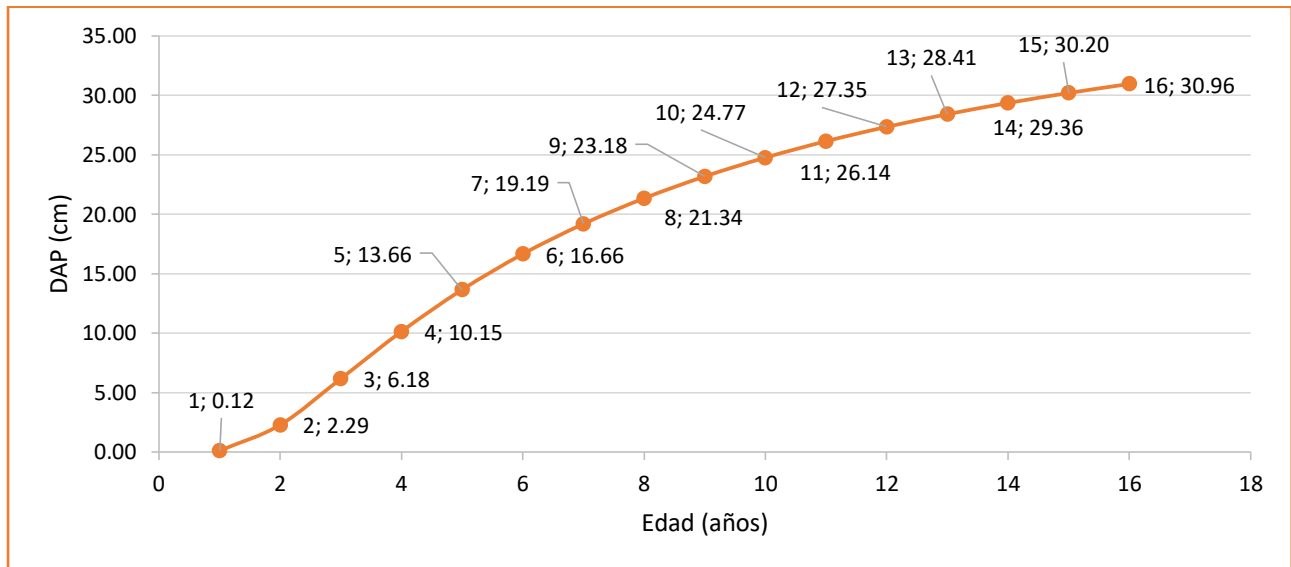


Figura 14. Relación de edad-dap (cm) como ejemplo de la ausencia de raleos en una plantación forestal de pino candelillo, utilizando la ecuación de proyección del dap (cm).

Al comparar el dap final de la figura 13 (36.58 cm) versus el dap final de la figura 14 (30.96 cm), se evidencia una ganancia en diámetro de 5.62 cm. Quizá no se evidencia drásticamente la diferencia entre el dap final de los árboles con raleo versus el dap final de los árboles sin raleo, debido a que los datos para elaborar los modelos de crecimiento se obtiene de PPMF, las cuales siempre registran raleos, es decir, no se tiene registros como tal de PPMF que no se les aplica raleos, como para diferenciar dos tipos de modelos (modelos con raleo y modelos sin raleos). La finalidad del ejemplo es demostrar la ganancia de dap en plantaciones con manejo.

Introducción en sistemas agroforestales

Basado en INAB, 2015; Ligorria, 2015

En los primeros años se ha tenido buenos resultados cuando se implementa el sistema "Taungya", asociando la plantación con maíz *Zea mays* L., frijol *Phaseolus vulgaris* L. y arveja china *Pisum sativum* L., durante los primeros dos o tres años, para ayudar a mantener la plantación libre de malezas. Lo anterior también permite que los futuros árboles capten cierto grado de fertilización derivado de las labores culturales del cultivo agrícola.

El asocio de pino candelillo con café *Coffea arábica* se lleva a cabo con el objeto de aprovechar el terreno y generar un flujo de ingresos en un menor plazo que los raleos comerciales y la corta final del pino, como es el caso de la finca Samac, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala; especialmente en plantaciones con una edad aproximada de 9 años y una densidad comprendida entre 420 a 450 árboles por hectárea (ampliado en el tema "aptitud forestal – agroforestal").

La caracterización de un asocio entre pino candelillo y maíz durante los primeros tres años de la plantación, versus un sistema de plantación sin asocio en la finca El Palmar, San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala, permitió concluir que el asocio provoca un efecto positivo en la productividad de la plantación forestal, demostrando altas diferencias significativas en sus atributos de diámetro a la altura del pecho y altura total en las parcelas monitoreadas, en comparación con los atributos de los árboles que crecen en plantaciones sin asocio; además de generar un menor costo de producción (ampliado en el tema "aptitud forestal – agroforestal") (Ligorria, 2015).

Aprovechamiento final

Basado en INAB, sistematización de experiencias 2018

Es común que los planes de manejo (reforestación) proyecten actividades de mantenimiento que lleguen a los 25 años de edad, principalmente para el caso de las coníferas del género *Pinus*, sin embargo, aunque ha sucedido en menor proporción, se han venido logrando modelos silviculturales que en consistencia con una buena calidad de sitio, están permitiendo reducir el tiempo de cosecha (la selección adecuada del sitio es determinante para garantizar desde un inicio la productividad de las plantaciones).

Tal es el caso de la finca Siguanha, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala, quienes han atendido y proporcionado un manejo intensivo a sus plantaciones de pino candelillo, como se ha venido evidenciando, con lo que han logrado rodales con dimensiones promedio de 45 centímetros de diámetro y un promedio de 25 metros de altura en tan solo 14 años, que están esperando únicamente el requerimiento del mercado para su aprovechamiento, es decir, el turno de corta o aprovechamiento final puede ser de hasta 14 años.

Otro caso impresionante para esta especie es el reportado en la finca Concepción, ubicada en San Miguel Dueñas, Sacatepéquez, Guatemala, donde se ha implementado un riguroso plan de manejo que ha favorecido, por las condiciones del sitio, obtener diámetros promedio de 41.12 cm y 25 metros de altura en tan solo 13 años y, aunque es la intención de la finca dejar que continúen hasta que cumplan los 20 años que señala el plan de manejo, éste muy bien podría ser modificado para permitir su aprovechamiento e iniciar nuevamente el ciclo para aprovechar un excelente sitio.

9. Manejo de plagas y enfermedades

Basado en Agrios, 1989; PROSEFOR, 1999; Ainsworth, 1995; Barnett, 1972; CATIE, 1991; Farr y otros, 1989; González, 1992; González, 2004; Chaves, 2006; Soto, 2002; Santos, 2011; INAB, 2018-2019 (Sistematización de experiencias)

En los últimos años, la presencia e incidencia de plagas y enfermedades en *P. maximinoi* ha ido en aumento, en el cuadro siguiente se presenta los agentes dañinos identificados en Guatemala para esta especie, la descripción de los síntomas y daños ocasionados; así como aspectos generales de manejo y control.

Tabla 4. Agentes causales dañinos del pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore) reportados en Guatemala.

Nombre común	Nombre científico	Tipo de agente dañino	Estructura atacada	Ataques/peligrosidad	Más información en...
Tizón de banda roja	<i>Dothistroma septosporum</i>	Hongo fitopatógeno	Acícula	Estas infecciones son frecuentes observarlas en acículas de más de un año, en casos graves la enfermedad puede atacar acículas el mismo año	González, 2004
Tizón foliar	<i>Lophodendrium spp.</i>	Hongo fitopatógeno	Acícula	En plantaciones jóvenes afecta acículas a partir de la primera etapa de crecimiento con los que disminuye la capacidad fotosintética, afectando el crecimiento.	González, 2004
Gorgojo del pino	<i>Dendroctonus spp.</i> , (<i>D. frontalis</i> ; <i>D. adjunctus</i> y <i>D. valens</i>)	Insecto (Coleóptero)	Fuste	El daño que ocasiona es la muerte de los árboles. Los más susceptibles son los dañados por incendios forestales, débiles, atacados por otros patógenos y estresados.	INAB, 2018, INIFAP, 2007 Agustín, 2008 Hernández, 2006 Sosa, 2005
Descortezador menor Ips	<i>Ips spp.</i>	Insecto (Coleóptero)	fuste	pueden causar la muerte de árboles en pie, pero se consideran secundarios, ya que afectan las trozas recién cortadas,	Morales, 2009
Ardilla	<i>Sciurus vulgaris</i>	Roedor	Fuste	Provoca daños en el fuste, ramas y conos, siendo el daño más importante el descortezamiento de árboles, provocando heridas y la entrada de patógenos.	Chaves, 2006
Damping Off	<i>Phytophthora</i>	Hongo fitopatógeno	Raíz	Provoca amarillamiento y clorosis del follaje, así como necrosis y pudrición del sistema radicular.	Santos, 2011
Zompopo	<i>Atta spp.</i>	Insecto (himenóptero)	Acícula	Cortan en fracciones las hojas, causan defoliaciones severas.	INAB, 2019 Morales, 2009

Roya del pino	<i>Cronartium spp.</i>	Hongo fitopatógeno	Rama, fuste y conos	No presenta mayores daños a no ser que ataque a árboles en los primeros estados de desarrollo donde puede ser un problema, por la rapidez con que se disemina y por la severidad de su ataque.	Morales, 2009 Chaves, 2006
Mosca sierra	<i>Neodiprion spp.</i>	Insecto (Himenóptero)	Acícula y corteza de ramas	Se alimentan del follaje de los árboles pequeños o medianos destruye la corteza de las ramas y las defolia.	Morales, 2009
Gallina ciega	<i>Phyllophaga spp.</i>	Insecto (Coleóptero)	Raíces y acículas	Los adultos causan defoliación y las larvas se alimentan de la raíz, debilitando las plántulas, en algunos casos provocando la muerte.	Estrada, 2008

Los frutos en el árbol son susceptibles al ataque de insectos como Dioryctria y Cecidomyiidae. También se reportan en el ámbito de semillas hongos como *Curvularia*, *Fusarium roseum*, *Trichoderma* y *Phomosis*. En los viveros son comunes los hongos que causan el mal del talluelo *Damping off* (PROSEFOR, 1999).

Chaves (2006), ratifica la presencia de ardilla *Sciurus spp.*, y roya *Cronartium spp.*, en plantaciones forestales de 7 años de edad evaluadas en el Departamento de Alta Verapaz, Guatemala, en la investigación denominada "Evaluación del estado actual de las plantaciones en fase de mantenimiento 5, del programa de incentivos forestales, con base a parámetros cualitativos, en la subregión II-3, del INAB, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala".

Plagas y enfermedades en viveros

Phytophthora spp.

En un estudio realizado en distintos viveros forestales ubicados en los Departamentos Chimaltenango, Sacatepéquez y Guatemala, se evaluó la presencia del género *Phytophthora* asociado a especies forestales de importancia económica en la región central del país; entre ellas la especie *Pinus maximinoi* (Santos, 2011).

El aislamiento del hongo se realizó a través del suelo, evaluando 23 muestras de distintos viveros forestales de *Pinus maximinoi*, de los cuales, en cuatro muestras de viveros forestales fue positiva su patogenicidad. Dicho patógeno forma parte del complejo de hongos que producen la enfermedad denominada Damping Off, su presencia en el suelo utilizado para la producción de plantas de vivero ratifica la importancia de la desinfección en sustratos de semilleros y sustratos para pilones (Santos, 2011).

Plagas y enfermedades en plantaciones

Tizón de la banda de la hoja: *Dothistroma septosporum*

DESCRIPCIÓN Y SÍNTOMAS: Inicialmente son pequeñas manchas cloróticas, amarillo verdosas, que aparecen en las acículas en invierno. Posteriormente aparecen zonas necróticas o bordes de color café rojizo que le dan a la enfermedad su nombre común. Cuando el hongo ha madurado, es posible observar puntuaciones negras en el centro de la banda, las que corresponden a los cuerpos fructíferos del hongo (picnidios), el cual seca expandiendo a lo largo de toda la acícula. Estas infecciones son frecuentes observarlas en acículas de más de un año, en casos graves la enfermedad puede atacar acículas el mismo año. Por estas características a este hongo se le conoce como un defoliador.

CONTROL: Control cultural: realizar podas y raleos de saneamiento, recolectando el material enfermo y posteriormente enterrar o quemar. Se recomienda la eliminación de malezas para aumentar la ventilación dentro de la plantación. Esta enfermedad afecta a las plantaciones que están bajo estrés, con déficit nutricional o con mal drenaje. Las esporas del hongo se dispersan con lluvia o con viento en condiciones de alta humedad y temperaturas medias. Control químico: aplicación de Clorotalonil en infecciones iniciales.

Tizón foliar: *Lophodendrium spp.*

SÍNTOMAS: sobre las acículas se ven pequeñas pústulas de forma ovoide y color negro de aproximadamente 1 mm de largo, estas son las estructuras reproductivas (apotecios). Como síntomas iniciales se puede observar manchas con márgenes de color amarillo; cuando el hongo ya se ha desarrollado por completo e inicia su fructificación o esporulación, se puede visualizar que las plántulas presentan una apertura longitudinal y las acículas con el tiempo se tornan marrones y finalmente mueren. En las plantaciones afectadas se pueden observar árboles adultos con coloraciones amarillentas, se presenta abundancia de acículas muertas a lo largo del tronco o en la base de las ramas bajas, en ejemplares muy susceptibles pueden presentarse en todo el árbol. En plantaciones jóvenes afecta acículas a partir de la primera etapa de crecimiento, con lo que disminuye la capacidad fotosintética, afectando el crecimiento.

CONTROL: (Control cultural) Realizar podas y raleos de saneamiento, recolectando el material enfermo y posteriormente enterrar o quemar. Se recomienda la eliminación de malezas para aumentar la ventilación dentro de la plantación. (Control químico): aplicación de Clorotalonil y Mancozeb para infecciones graves antes y durante el período pico de esporulación. Para su prevención es conveniente conocer el origen de la semilla que se utiliza y que las plantas en vivero cuenten con su manejo de sanitación adecuado.

Zompopo: *Atta spp.*

DESCRIPCIÓN Y SÍNTOMAS: Utilizan el material colectado como sustrato para cultivar hongos simbioses, de los cuales se alimentan teniendo importancia económica en vivero y plantaciones. Están distribuidos por castas, reina, obreros, exploradores y soldados. Las colonias contienen una gran cantidad de zompopos, causando defoliaciones severas; las hembras reproductoras pueden llegar a vivir más de 10 años. Cortan en fracciones las hojas o material vegetal defoliado de arriba hacia abajo.

MANEJO/CONTROL: algunas actividades sugeridas implican realizar un inventario general de las troneras, marcarlas, limpiando las entradas y salidas de la tronera, medición de la longitud de entradas, mapeo, calendario de vuelo (fechas de vuelo) y cronograma del control químico.

Durante la sistematización de experiencias realizada en la finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala, se tuvo a bien conocer las prácticas de control dirigidas al control de zompopo y gallina ciega. De acuerdo con la experiencia del Ing. Rafael Mejía¹⁰, el control de la plaga se realiza 15 días previos al establecimiento de la plantación, aprovechando que dentro de las actividades de preparación del sitio para la reforestación, para ese período se haya ejecutado un chapeo general y una aplicación química para el combate de malezas. Dichas actividades permiten que el área esté en condiciones para una adecuada vigilancia y con poca maleza para poder identificar signos de la existencia de la plaga. Las actividades de combate del insecto se describen a continuación:

- a. Diagnóstico e identificación de troneras: esta actividad se realiza con vigilancia, cada actividad que conlleve la visita de campo donde se realizará la reforestación implica el monitoreo de la identificación de signos que permitan identificar las troneras, tal como indica el Ing. Rafael Mejía, encargado del área forestal en la finca La Eminencia, las acumulaciones de tierra (típicas señales de la presencia de zompopo) son el equivalente al área de desecho de los zompopos (normalmente se tiende a interpretar que el área de desecho de las troneras podría ser la entrada, lo cual es falso). La entrada a las troneras son agujeros sobre la superficie del suelo, sin acumulaciones de tierra alrededor. El objeto principal de esta primera etapa es determinar la existencia de la plaga e identificar por lo menos una entrada a la tronera de los zompopos.
- b. Una vez identificada la entrada a la tronera, se procede a la aplicación del producto con nombre comercial TERMINATOR 1.5 DP® con las dosis recomendadas, a través del equipo denominado "insufladora". Su forma de acción es que el producto se vuelve un gas que se transporta por toda la tronera y sus diferentes entradas.
- c. Se podrá observar al momento de la aplicación, que el gas empezará a salir en las otras entradas de la tronera (hasta 12 entradas por tronera). Una vez identificados dichos accesos, se procede a sellarlos o taparlos, para provocar la intoxicación en los insectos.
- d. La eficacia del método de control se realiza mediante un conteo por muestreo en alguno de los accesos de la tronera, antes de la práctica de control se cuentan cuantos insectos pasan por un determinado punto durante 1 minuto y después del control se realiza el mismo procedimiento, para verificar la eficacia del método de control.

Gallina ciega: *Phyllophaga* spp.

DESCRIPCIÓN Y SÍNTOMAS: Las plantaciones afectadas presentan un color amarillo en las hojas y luego se caen, al excavar alrededor del árbol, se encuentran larvas de *Phyllophaga*, observándose el daño provocado por la larva. Generalmente hay más individuos en lugares donde hubo pasto, alimentándose de las raíces de la maleza y al no haber, cambia su hábito alimenticio y daña árboles.

¹⁰ Ing. Rafael Mejía. 19 jun 2019. Combate y control de plagas en plantaciones forestales. (entrevista). Finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala.

Las gallinas ciegas se alimentan de las semillas o raíces de las malezas, aunque al realizar las labores de preparación de la tierra se eliminan las malezas y al no haber alimento, atacan las plántulas forestales, causando dos tipos de daño: (1) los adultos consumen follaje y causan defoliación; (2) las larvas se alimentan de la raíz, debilitando las plántulas o árboles jóvenes, en la mayoría de casos ocasiona la muerte.

CONTROL: En la finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala, el control de la plaga se realiza al momento del establecimiento de la plantación, aprovechando el ahoyado que se realiza. La forma de aplicación es al voleo, al fondo del agujero se dispersa entre 11 y 12 gramos de producto por cada agujero (13 Kg de producto por hectárea). El producto utilizado se denomina JADE®.

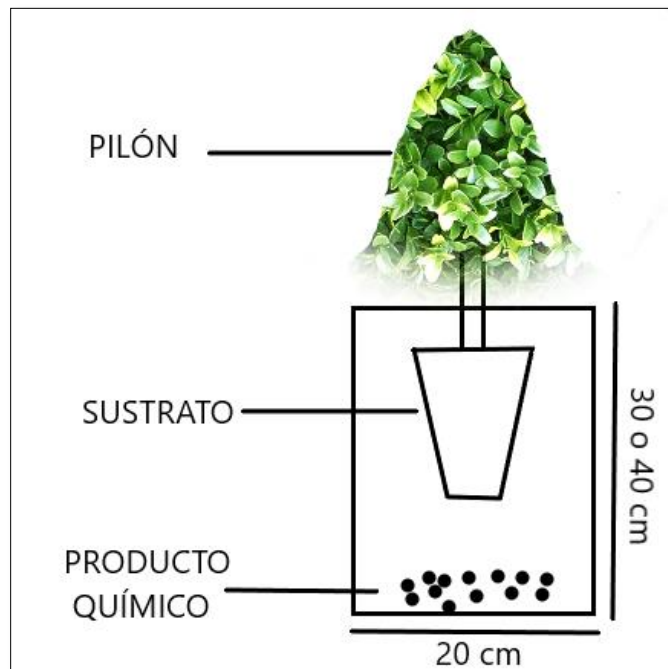


Figura 15. Esquema de la aplicación y posición del producto químico en el agujero donde se llevará a cabo la reforestación, para el control de gallina ciega en la finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala.

Ardilla: Sciurus vulgaris

DESCRIPCIÓN Y SÍNTOMAS: plantaciones jóvenes afectadas por el ataque de ardilla expresan daños en el fuste, ramas y conos, siendo el daño más importante el descortezado de árboles, provocando heridas y la entrada de patógenos así como pérdidas económicas por la deformación del fuste hasta llegar a la muerte del árbol. Este daño se observa en plantaciones de 4 metros de altura en adelante. Los principales síntomas de un ataque reciente, produce emanación de resina fresca que produce el árbol en la herida producida, pedazos de corteza en el suelo; en ataques no recientes, se puede observar tejidos cicatrizados, corteza hundida y de color oscuro.

CONTROL/MANEJO: Uso de cebos mezclados con rodenticida y colocados en los árboles; el uso de caja tipo jaulas que se cierran de golpe, geoposicionar la trampa y revisarla en periodos regulares (cada 5 días).

Descortezador menor: *Ips spp.*

DESCRIPCIÓN Y SÍNTOMAS: las especies de *Ips* se encuentran ampliamente distribuidas en los bosques naturales y plantaciones de pino, pueden causar la muerte de árboles en pie, pero se consideran secundarios, ya que afectan las trozas recién cortadas, presenta declive elitral con espinas, que puede variar su número según la especie, su tamaño puede variar de 2.1 a 5.9 mm, su color puede variar de negro a café claro. Durante el proceso de infestación, los primeros insectos que seleccionan al hospedero son conocidos como "escarabajos pioneros" y están predeterminados genéticamente de tal forma que en el género *Ips*, los pioneros son los insectos machos (Barbosa y Wagner, 1987; Byers, 1989; citados por INIFAP, 2007)

CONTROL/MANEJO: eliminar los árboles cuando presenten y observen los primeros síntomas (copa verde y copa amarillenta), descortezando y quemando la corteza. A la troza descortezada se puede aplicar insecticidas de ingrediente activo: Deltametrina (Decis o Dursban) mezclados con adherente.

Roya del Pino: *Cronartium spp.*

DESCRIPCIÓN Y DAÑOS: Es uno de los géneros de hongos que provocan royas en el pino y existen varias especies que afectan a las coníferas, se disemina por el viento, por lo cual los estróbilos se ven afectados, no presenta mayores daños a no ser que ataque a árboles en los primeros estados de desarrollo donde puede ser un problema, por la rapidez con que se disemina y por la severidad de su ataque. Provoca la aparición de agallas globosas en las ramas. Se observan estróbilos invadidos de esporas, presentado hipertrofia y una coloración anaranjada debido al proceso de esporulación. Este estado pasa por el huésped alterno para poder completar el ciclo vital característico de las royas. Si ésta enfermedad forma agallas en el tallo principal puede producir pérdidas económicas, debido a que estos árboles crecen deformes y tienden a quebrarse al nivel de la agalla formada. Las principales especies reportadas en pino son *Cronartium quercum* y *Cronartium conigenum*.

La enfermedad es fácilmente reconocida por las agallas de diversos tamaños en ramas, troncos, y conos. En las ramas, las infecciones pueden observarse por la deformación de los tejidos, en los fustes o troncos se observa el tumor que llega a cubrir todo el perímetro del tronco y al secarse se rompe quebrándose el árbol. Cuando el daño es a nivel de conos, se produce un crecimiento de 2-3 veces su tamaño real. En todos los casos de malformación por roya, se observan esporas de color anaranjado. Las "condiciones para el desarrollo de la enfermedad" consiste en que se necesita un hospedante alterno que son los árboles de la especie *Quercus spp.*, las basidiosporas (cuerpo fructífero del hongo) son transportadas por el viento hasta las acículas que se infectan directamente, luego el hongo crece inicialmente en las acículas y posteriormente se introduce en los estomas, heridas y otras estructuras formando tumores.

CONTROL/MANEJO: (1. Control cultural) consiste en realizar podas y raleos de saneamiento, removiendo el material contaminado y quemarlo o enterrarlo fuera del área de la plantación forestal; (2. Control químico) las infecciones que produce la roya en plantas jóvenes, se evitan con aspersiones frecuentes dos veces por semana con el producto denominado "ferbam", especialmente antes y durante tiempo húmedo y frío. Algunos de los nuevos fungicidas sistémicos como el benodanil, triadimefon y el triadimenol, permiten controlar de forma satisfactoria a la roya, cuando se aplican en forma de aspersiones o como tratamientos a las semillas.

Mosca sierra: *Neodiprion spp.*

DESCRIPCIÓN Y SÍNTOMAS: este insecto posee morfología completa, iniciando desde huevo, larva, pupa y adulto. Las larvas son las causantes del daño, poseen ocho pares de patas falsas, cabezas de color café claro, el cuerpo es de coloración verdosa clara a parda, presenta dos bandas longitudinales de color gris oscuro. Las larvas son de hábitos gregarios, se alimentan de follaje de árboles pequeños a medianos y destruyen la corteza delgada de las ramas, lo que causa la muerte de ramas y reducción de crecimiento en diámetro y altura.

CONTROL/MANEJO: (1. Control químico) aplicar insecticidas de contacto (cuando emerjan las larvas), con productos químicos tales como Diazinon, cipermetrina, monarca, malathion. (2. Control biológico) el efecto es a largo plazo pero acorde al ambiente, las avispas (*Lamachus* y *Stylocryptus*) (Himenóptera) y la mosca (*Spathimeigenia mexicana*) (Díptera: Tachinidae) parasitan a las larvas. La aplicación de VPN (Virus de la Poliedrosis Nuclear) se ha utilizado para el control de la plaga en plantaciones de Alta Verapaz e Izabal, Guatemala.

Generalidades del género *Dendroctonus* (gorgojo del pino)

Basado en INIFAP, 2007; INAB, 2018; Agustín, 2008; Hernández, 2006; Sosa, 2005

El INAB, por medio del Departamento de Protección Forestal, cuenta con una base de datos para el reporte de plagas y enfermedades forestales desde el año 2009 al año 2018, en la cual se registra el ataque de *Dendroctonus adjunctus*, *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus valens* en plantaciones forestales y bosques naturales de Guatemala.

Un análisis realizado por Sosa (2005), indica la distribución y hospederos de especies del género *Dendroctonus* presentes en Guatemala, indicando la presencia de *Dendroctonus adjunctus*, *Dendroctonus frontalis*, *Dendroctonus parallelocolis*, *Dendroctonus valens* y *Dendroctonus vitei*; haciendo énfasis en la descripción de las especies, en las áreas geográficas reportadas, las altitudes de influencia y las especies arbóreas (hospederas) con reporte de ataque por cada una de las especies de gorgojo del pino.

Agustín (2008), en la investigación denominada "Evaluación de la situación actual de la plaga de gorgojo del pino y propuesta de manejo para el control del ataque en la región VI de INAB, Quetzaltenango", determinó que durante los años 2003 al año 2007 en los Departamentos de Sololá, Quetzaltenango, Totonicapán y San Marcos, de Guatemala, aprobaron 23 licencias forestales de saneamiento con el fin de aplicar técnicas de control para el gorgojo descortezador. El área afectada en ese periodo asciende a 85.4 hectáreas y las especies con registro de mayor ataque en orden ascendente son: pino blanco *Pinus ayacahuite*, pino ocote *Pinus oocarpa*, pino colorado *Pinus rudis* y, pino triste *Pinus pseudostrobus*.

En dicha investigación, se llevó a cabo la determinación de la especie de *Dendroctonus* en laboratorio de diagnóstico fitosanitario, se determinó que la especie *Dendroctonus adjunctus* es la responsable de los ataques en bosques naturales y plantaciones forestales ubicados en el área de estudio. Es importante mencionar el análisis realizado en dicha investigación, donde, derivado del análisis de infestaciones anteriores de gorgojo de pino en la región, se hace una clara referencia que la plaga se presenta de manera cíclica en un tiempo estimado entre 20 a 30 años.

Sosa (2005), determinó la presencia de tres especies de gorgojo del pino en la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala, evaluando su relación con sus hospederos de pino; siendo estas *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, *Dendroctonus valens* LeConte y *Dendroctonus adjunctus* Blandford (esta última sin encontrar evidencia de ser una especie activa dentro de la plantación). Se determinó que *D. frontalis* y *D. valens* infestaron las plantaciones de especies de *Pinus maximinoi* y *Pinus caribaea* de dicha finca, calculando una población entre 1,650 a 1,740 adultos por cada árbol infestado.

Considerando la importancia del daño de *Dendroctonus adjunctus* en bosques de coníferas de la región del Altiplano Occidental de Guatemala, se ha desarrollado un modelo para la identificación de áreas con riesgo de ataque del gorgojo descortezador del pino *D. adjunctus* en los Departamentos de Quetzaltenango y Totonicapán, Guatemala; generando así un modelo con capacidad de predicción espacial de áreas susceptibles a ataques de dicha especie de plaga (Navarro, 2018). Por su parte, Ortiz (2017) expone la forma que afectan los eventos y/o variaciones climáticas en la sanidad forestal, así como los antecedentes de ataques de la plaga en Guatemala, en su presentación “El cambio climático y su relación con el gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus spp.*, en Guatemala”.

La importancia económica de la plaga en Guatemala y en otras regiones donde las coníferas del género *Pinus* son cultivadas, además de su eminente riesgo de causar infestaciones derivadas de los cambios drásticos y prolongados del clima (especialmente el aumento de la temperatura), la falta de manejo forestal oportuno en plantaciones forestales y bosques naturales de Guatemala, aumentan la importancia de describir las principales características de las especies de *Dendroctonus* reportadas en Guatemala; así como aspectos relacionados a la prevención y manejo de la plaga.

Ciclo de vida del género *Dendroctonus*

El gorgojo del pino es un coleóptero escolítido, de metamorfosis completa, con cuatro estados de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto. El ciclo biológico de las distintas especies de *Dendroctonus* dura de 43 a 70 días, aunque presenta variaciones de acuerdo a las estimaciones del año. Este insecto presenta varias generaciones por año y su número varía grandemente de especie a especie y aún dentro de una misma especie, dependiendo sobre todo de la latitud en que se encuentre la población y de los factores ambientales.

Proceso de infestación de la plaga

(1) EMERGENCIA Y DISPERSIÓN: La emergencia ocurre una vez que los nuevos adultos están completamente desarrollados y las condiciones ambientales son adecuadas para el vuelo. Los nuevos adultos barrenan un orificio de salida a partir de la celda donde pasaron por el estado de pupa y de donde obtienen inóculo de hongos patógenos para el hospedero. Al salir de la corteza inician el vuelo y se dispersan en busca de un nuevo hospedero vivo para establecer una nueva generación. El periodo de emergencia puede durar desde unos días hasta varias semanas, e incluso hasta meses (Coulson, 1979; citado por INIFAP [Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México], 2007).

El mecanismo de detección de árboles susceptibles por parte de los insectos aún no es completamente descifrado, pero hay evidencias del comportamiento de algunas especies, que prueban al hospedero para encontrar los adecuados, entre otros. Independiente al mecanismo de detección, los primeros insectos que seleccionan al hospedero son conocidos como "escarabajos pioneros" y están predeterminados genéticamente, de tal forma que el género *Dendroctonus* de los insectos pioneros son hembras (Barbosa y Wagner, 1987; citado por INIFAP, 2007).

(2) COLONIZACIÓN: La etapa de colonización inicia de una vez que el árbol es aceptado por el insecto como adecuado para la producción de una nueva generación. En esta etapa la comunicación química y la inoculación de microorganismos juegan un papel sumamente importante. En las especies agresivas (*D. frontalis* y otros...) los insectos pioneros inician el consumo del floema y a través de su excremento liberan feromonas que atraen a cientos o miles de escarabajos, de ambos sexos, que atacan de forma masiva al árbol (Byers, 1989; citado por INIFAP, 2007). Los insectos pioneros además introducen hongos patógenos en el árbol, principalmente del género *Ceratocystis*, los cuales ayudan a suprimir las defensas del árbol (Berenbaum, 1988; Raffa et al., 1993; citado por INIFAP, 2007).

Como mecanismo de defensa, el árbol al ser atacado emite cantidades abundantes de resina, la cual puede llegar a los escarabajos resistiendo así el ataque. Incluso, durante condiciones de población muy bajas (endémicas), los insectos descortezadores, aun tratándose de especies agresivas, atacan árboles debilitados por sequía, enfermedades, heridos por rayos, caídos por viento o dañados por algún otro factor (Stark, 1982; Berryman, 1982; citados por INIFAP, 2007).

(3). PRODUCCIÓN Y DESARROLLO DE LAS CRÍAS: cuando las defensas del árbol han sido vencidas, los insectos se aparean y construyen galerías principales en el floema para su reproducción. A lo largo de las galerías, las hembras depositan huevecillos en nichos individuales.

Al concluir la ovoposición, los adultos pueden permanecer en el hospedero o pueden reemerger en busca de otro árbol (Stark, 1982; citado por INIFAP, 2019). Después de un tiempo, los huevecillos eclosionan naciendo de esta forma las larvas, mismas que consumen floema y cambium vascular, produciendo galerías larvales. Al desarrollarse aumentan el tamaño de las galerías y pasan por cuatro estadíos, cuando completan su desarrollo construyen pequeñas celdas en las que se alojan y se transforman en pupas y posteriormente en adultos, completando su ciclo biológico.

Síntomas del ataque

- Al inicio del ataque, el árbol tiene apariencia verde y las únicas evidencias de la infestación pueden ser pequeños grumos suaves de aserrín mezclados con resina de coloración blanca, a lo largo del fuste (para *D. valens* y *D. rhizophagus*). Los grumos se localizan en la base del tallo.
- Con el paso del tiempo, y si el ataque es exitoso, los grumos adquieren una tonalidad rojiza, lo cual indica que los insectos han llegado al cambium vascular y que el árbol está siendo colonizado exitosamente. En esta etapa, el árbol puede adquirir una tonalidad verde pálido.

- Cuando el árbol se torna amarillento y los grumos se endurecen es indicativo que los insectos ya se están reproduciendo en su interior y que prácticamente ha muerto. La corteza puede removerse con cierta facilidad con un hacha y pueden encontrarse larvas en varios estados de desarrollo.
- Unas semanas o meses después, el árbol adquiere una coloración rojiza. Si la corteza de éstos no presenta abundantes orificios totalmente limpios (de emergencia), es indicativo de que en el interior se encuentran larvas en su último estado de desarrollo, pupas y/o nuevos adultos.
- Si la totalidad de la copa del árbol es marrón y las hojas han comenzado a caerse, es posible que ya haya sido abandonado por los escarabajos.

Manejo de insectos descortezadores...

PREVENCIÓN: Es la estrategia que más conviene a los productores forestales y el personal involucrado en el manejo de los recursos forestales. Las prácticas de prevención pueden ser dirigidas hacia aquellas áreas que por el momento no presentan brotes de insectos descortezadores, pero que por las características del arbolado o la historia de los eventos ambientales recientes, son susceptibles a ser atacados. De acuerdo con INIFAP (2007), algunas de las medidas (descritas con mayor detalle en la literatura citada) para prevenir los ataques de estos insectos son:

- Descortezado de árboles caídos por lluvia o dañados por derrumbes (la vulnerabilidad de los árboles débiles constituyen un riesgo de infestación).
- Inspección de árboles golpeados por rayos (las sustancias volátiles que el árbol libera a través de la herida, lo vuelven atractivo para los insectos descortezadores).
- Aclareos (un rodal muy denso produce mayor deficiencia de agua durante temporadas de sequía, además de tener mayores limitantes de crecimiento, produciendo vulnerabilidad a los árboles y rodales derivado del estrés del arbolado).
- Manejo de los residuos de corta (evitar fuentes de alimento y refugio para insectos descortezadores).

MANEJO: La supresión¹¹ directa de brotes de insectos descortezadores tiene, como principal objeto, reducir daños en forma inmediata; desafortunadamente esto se produce una vez que el brote es evidente, el cual se detecta mediante inspecciones aéreas o terrestres. De acuerdo con INIFAP, 2007, los tratamientos en estas situaciones son variados y los más convencionales se mencionan a continuación:

- Derribo, troceo y descortezado (implica derribar los árboles infestados, descortezarlos y quemar la corteza para matar a los insectos de forma directa).

¹¹ La supresión de árboles consiste en atacar de forma directa a los insectos descortezadores, tratando de combatir y reducir los daños causados por los insectos de forma directa.

- Derribo y extracción inmediata (Implica derribar los árboles infestados, troceo y descortezado, trasladando las trozas a un área fuera del bosque).
- Derribo y abandono (consiste en derribar en forma direccional los árboles recientemente infestados, hacia el centro de la infestación y abandonarlos en el sitio).
- Derribo, apeo y aplicación de insecticidas (implica derribar el árbol y descortezarlo, la corteza es rociada con insecticidas aprobados para uso forestal)

La incorporación de semioquímicos en las actividades de supresión, consiste en integrar el uso de sustancias semioquímicas conjuntamente con otras actividades de supresión como el derribo y descortezado o el derribo y extracción. Algunos de estos métodos consisten en el cebado de los árboles con semioquímicos, técnicas de trampeo masivo, uso de feromonas antiagregantes y sustancias volátiles de árboles no hospederos.

Agustín (2008), menciona otros métodos de control para el control de los brotes de gorgojo de pino, entre los cuales menciona: métodos físicos, método de apilar-quemar, salvamento, remoción de alimento, brecha de amortiguamiento, métodos químicos, control químico convencional (con Deltametrina y fosforo de aluminio) y métodos alternativos (insecticidas microbiales y feromonas). También se hacen propuestas de manejo para el control de *Dendroctonus adjunctus* para la región de estudio (Sololá, Quetzaltenango, San Marcos y Totonicapán, Departamentos de Guatemala).

Serech (2017) evaluó la atracción del gorgojo del pino en bosque natural y plantación de *Pinus oocarpa*, a través del uso de feromonas y trampas cebadas con Frontalina y Aguarrás (alfapineno) en Chinique, Quiché, Guatemala. Así mismo, Hernández (2006) en su estudio "aportes técnicos y científicos forestales en plantaciones de pino en la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala", indica el procedimiento para el monitoreo de insectos descortezadores mediante el uso de semioquímicos (Alfapineno) y el procedimiento para el monitoreo de insectos descortezadores mediante el uso de atrayentes (trampas).

Características de *Dendroctonus valens*

Se caracteriza por su coloración rojiza y su gran tamaño, las galerías son de tipo caverna y es frecuente encontrarlo en ataques iniciales en zonas de aprovechamiento; dichos ataques se reducen a tocones recientemente cortados y en los primeros 50 cm del tronco en árboles en pie. Los ataques pueden prolongarse durante todo el año y en un árbol individual se encuentran desde las raíces laterales más largas (de 3 metros o más) hasta los 3 metros de altura sobre el fuste. El "descortezador mayor del pino", el *D. valens*, no representa un problema importante y rara vez provoca la muerte del árbol.

Las larvas blancas de aproximadamente 1 cm de tamaño, se alimentan del interior de la corteza pudiendo llegar a destruir hasta un cuadrado de 30 cm * 30 cm de la madera y corteza. El insecto adulto mide aproximadamente de 7 a 9 mm de largo y de 3 a 4 mm de ancho, su cuerpo es cilíndrico y cubierto de pelos diseminados, el pronoto es amplio y firmemente punteado y los lados estrechos hacia la cabeza, es una plaga comúnmente secundaria, asociada a otros *Dendroctonus*.

De acuerdo con Hernández (2006), en Guatemala existen reportes de infestaciones por esta especie en plantaciones forestales de *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa*, *Pinus chiapensis* y *Pinus rudis*. La especie de gorgojo ha sido reportada en el altiplano occidental de Guatemala y en el altiplano central (Tecpán Guatemala y Patzún en Chimaltenango, Guatemala) y en Alta Verapaz, Guatemala, afectando a las especies: *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi*, *Pinus montezumae* y *Pinus pseudostrobus*. El reporte de la plaga se registra en rangos altitudinales que van desde los 1,500 a 3,100 msnm (Castañeda 2002; Hernández 2003; citados por Hernández, 2006). Por su parte, Serech (2017) también lo reporta en *Pinus oocarpa*, aunque con menor grado de infestación que *D. frontalis* en plantaciones y bosques naturales en Chinique, Quiché, Guatemala.

Sosa (2005), reporta la presencia de *D. valens* en plantaciones de *Pinus maximinoi* y *Pinus caribaea* en Finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, con el tamaño de insectos adultos de 7 a 10 mm. La altura del ataque en el fuste se reporta de 0 a 1.5 metros, con presencia de tubos resiníferos, con galerías "sin forma definida" con longitudes de 3 a 5 cm, entre otras características.

Características de *Dendroctonus frontalis*

El huevo es ovalado en forma elíptica, es de coloración blanco perla y miden aproximadamente 0.15 mm. El estado de huevo tarda aproximadamente de 10 a 15 días, la larva tiene forma de "C", es de color blanquecino cremoso con 10 segmentos abdominales. El insecto adulto mide de 2.2 mm a 3.2 mm, con un promedio de 2.8 mm de longitud, es de color café a negro e inocula el hongo *Ceratocystis minor*.

Serech (2017), determinó que en masas boscosas de la finca Santa Catalina, Chinique, Quiché, Guatemala, existe presencia de *D. valens* y *D. adjunctus* en el área de estudio, sin embargo, en mayor infestación se determinó la especie *Dendroctonus frontalis* en el hospedero *Pinus oocarpa*. En otro estudio, fue reportada en el altiplano occidental de Guatemala, en el valle de la ciudad de Guatemala y en Poptún, Petén, Guatemala, donde las especies forestales hospederas lo constituían las especies de *Pinus caribaea*, *Pinus maximinoi*, *Pinus montezumae* y *Pinus oocarpa*; el estudio comprende el reporte de la plaga en altitudes de 0 a 900 msnm (en la región Norte de Guatemala) y hasta 1,500 msnm (en la región del occidental de Guatemala) (Castañeda 2002; Hernández, 2003; citado por Hernández, 2006).

Sosa (2005), reporta la presencia de *D. frontalis* en plantaciones de *Pinus maximinoi* y *Pinus caribaea* en la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz, reportando el tamaño de insectos adultos de 3.2 a 4 mm, la altura del ataque en el fuste se reporta de 11 a 14 metros, con presencia de tubos resiníferos, con galerías en forma de "S" con longitudes de 10 a 20 cm, entre otras características.

Características de *Dendroctonus adjunctus*

Los huevos son ovalados y de un color blanco perla y miden aproximadamente 0.15 cm de largo y ancho. La larva es corrugada en forma de "C", ápada y muy a menudo transparente, observándose la materia que contiene su abdomen en una coloración café rojiza. Dependiendo del instar en que se encuentre la larva varía en sus dimensiones de 1.5 mm a 4.3 mm, las pupas son de una coloración cremosa, en la cual se observan las características de los adultos como los élitros, patas y antenas, midiendo 0.6 mm de largo y 0.4 mm de ancho. El insecto adulto tiene una longitud de 2.9 mm a 6.6 mm con un promedio de 5.4 mm, el color del cuerpo cuando el insecto está maduro es negro o café oscuro.

De acuerdo con Agustín (2008), *Dendroctonus adjunctus* es el insecto descortezador con mayor presencia de infestación en los Departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán y Sololá (todos de Guatemala), afectando principalmente a las especies hospederas *Pinus ayacahuite*, *Pinus oocarpa*, *Pinus rudis* y *Pinus pseudostrobus*. Por su parte, Serech (2017) también lo reporta en *Pinus oocarpa*, aunque con menor infestación que *D. frontalis*.

En otro estudio, *D. adjunctus* ha sido reportado en el altiplano occidental de Guatemala, altiplano central (en el municipio de Tecpán Guatemala, Chimaltenango), en el valle central de Cobán, Alta Verapaz, Guatemala y en el departamento de Santa Rosa, Guatemala; afectando a las siguientes especies forestales: *Pinus ayacahuite*, *Pinus maximinoi*, *Pinus montezumae*, *Pinus hartwegii*, *Pinus rudis*, *Pinus oocarpa* y *Pinus pseudostrobus*. El estudio comprende reportes de plagas en altitudes de 1,900 hasta 3,200 msnm (Castañeda, 2002; Hernández, 2003; citado por Hernández, 2006)

Características de *Dendroctonus parallelocolis*

Es de interés por su habilidad de infestar raíces de árboles grandes. Los adultos son de cuerpo alargado, miden de 4.9 mm a 6.3 mm de longitud con un promedio de 5.5 mm. Tiene como característica presentar el pronoto subcilíndrico y sin la constricción conspicua de su margen anterior; los lados del pronoto son casi paralelos. La vestidura está poco desarrollada y no es aparente. El color de los adultos es negro brillante. Su sistema de galerías es similar al de *D. adjunctus*, no obstante que las galerías matrices parecen ir de arriba hacia abajo más frecuentemente, distinguiéndose además por sus frecuentes ramificaciones (Tovar *et al*, 1995; citado por Hernández, 2006).

Ha sido reportado en el altiplano central de Guatemala, específicamente en el Departamento de Quetzaltenango, en altitudes menores a 2,400 msnm, donde el hospedero afectado es la especie forestal *Pinus oocarpa* (Castañeda, 2002; Hernández, 2003; citados por Hernández, 2006).

Características de *Dendroctonus vitei*

Posee características similares a *D. adjunctus*, aunque su longitud promedio es de 3.9 mm y un ancho aproximado de 1.56 mm (2.5 veces más largo que ancho). Ha sido reportado en el altiplano central de Guatemala, específicamente en el municipio de Patzún, Chimaltenango, en altitudes comprendidas de 900 hasta 2,000 msnm, afectando principalmente a especies forestales de *Pinus maximinoi* y *Pinus pseudostrobus* (Castañeda, 2002; Hernández, 2003; citado por Hernández, 2006).

10. Crecimiento y productividad de plantaciones

Metodología de seguimiento y evaluación del crecimiento en Guatemala

Para apoyar la planificación y ejecución del manejo silvicultural por parte de los usuarios del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) y/o propietarios de proyectos de reforestación, el Instituto Nacional de Bosques decidió evaluar el crecimiento de pino candelillo en plantaciones forestales. Para tal fin, optó por seguir la metodología definida en el sistema de "Manejo de información sobre recursos arbóreos en el componente de silvicultura" (MIRA-SILV), por medio del establecimiento y monitoreo de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF) (Cojóm 2015).

En la implementación del programa de monitoreo, el Departamento de Investigación Forestal apoyado por personal de las Subregiones del INAB, instaló paulatinamente desde el año 2003 un total de 164 PPMF en plantaciones PINFOR de *P. maximinoi*, distribuidas en diferentes regiones en donde se tienen establecidas plantaciones de esta especie (ver mapa con la ubicación de las PPMF en el acápite "Distribución potencial de la especie en Guatemala").

Hasta la fecha del análisis se determinó la existencia de 133 parcelas activas y 31 parcelas inactivas. Aunque existan parcelas inactivas, éstas se utilizan para los análisis correspondientes a la actualización de modelos de crecimiento y forman parte de un registro histórico vigente.

Tabla 5. Número de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF) e individuos evaluados en plantaciones de *Pinus maximinoi* por edad de las plantaciones, número de mediciones y grado de mezcla - G_{mezcla} - (proporción de pino versus otras especies).

Edad de las plantaciones y número de mediciones	Número de parcelas	Número inicial de individuos	No. de individuos a diciembre 2015
TOTAL DE PARCELAS ACTIVAS	133	7,431	5,401
Edad de 0-5 años	3	135	135
Una sola medición $G_{mezcla} \geq 85\%$	3	135	135
Edad de 5.1-10 años	60	3,072	2,594
Una sola medición	26	1,220	1,220
$50 \leq G_{mezcla} < 85\%$	1	35	35
$G_{mezcla} \geq 85\%$	25	1,185	1,185
2-5 mediciones $G_{mezcla} \geq 85\%$	33	1,772	1,322
6 mediciones y más $G_{mezcla} \geq 85\%$	1	80	52
Edad de 10.1-15 años	29	1,783	1,225
Una sola medición $G_{mezcla} \geq 85\%$	7	340	340
2-5 mediciones $G_{mezcla} \geq 85\%$	10	680	451
6 mediciones y más $G_{mezcla} \geq 85\%$	12	763	434
Edad de 15.1 y más años	41	2,441	1,447
Una sola medición $G_{mezcla} \geq 85\%$	7	345	345
2-5 mediciones $G_{mezcla} \geq 85\%$	1	28	9
6 mediciones y más	33	2,068	1,093
$50 \leq G_{mezcla} < 85\%$	2	34	26
$G_{mezcla} \geq 85\%$	31	2,037	1,067
TOTAL DE PARCELAS INACTIVAS	18	1,993	1,045
Edad de 5.1-10 años	9	495	468
Una sola medición $G_{mezcla} \geq 85\%$	6	332	320
2-5 mediciones $G_{mezcla} \geq 85\%$	3	163	148
Edad de 10.1-15 años	9	1,327	494
Una sola medición $G_{mezcla} \geq 85\%$	4	227	210
2-5 mediciones $G_{mezcla} \geq 85\%$	2	945	256
6 mediciones y más $G_{mezcla} \geq 85\%$	3	155	28
TOTAL GENERAL	164	9,424	6,446

Fuente: Departamento de Investigación Forestal del INAB, 2016

Tabla 6. Número de parcelas permanentes de medición forestal (PPMF) e individuos controlados por el INAB en plantaciones de *Pinus maximinoi*, por grado de mezcla inicial, con especies asociadas en plantaciones.

Grado de mezcla inicial del <i>Pinus maximinoi</i>	Número de parcelas	Especies asociadas [con n>5 en la parcela] (número de parcelas de ocurrencia)
$G_{mezcla} < 50\%$	2	<i>Cupressus lusitánica</i> (2)
$50 \leq G_{mezcla} < 85\%$	1	<i>Pinus oocarpa</i> (1)
$G_{mezcla} \geq 85\%$	161	VARIAS
Total	164	

Fuente: Departamento de Investigación Forestal del INAB, 2016

Puede observarse, en el Cuadro 5, que existe una variación en la edad de las plantaciones donde se encuentran establecidas las PPMF, teniéndose que la mayor parte se encuentra ubicadas en el rango de 5.1 a 10 años con 60 parcelas, seguido del rango entre 15.1 y más años con 41 parcelas y del rango 10.1 a 15 años se tienen 29 parcelas. En cuanto al número de mediciones se observan parcelas con una sola medición, parcelas de 2 a 5 mediciones y en algunos de los casos con 6 o más mediciones; este último es el caso de casi 50 parcelas, de donde se obtiene principalmente la dinámica de crecimiento, pero también los distintos tratamientos aplicados y el efecto de los mismos.

31 parcelas llamadas "inactivas", de las 164 PPMF, se habían perdido a diciembre del año 2015, puede ser por desinterés del propietario de la plantación o por cambio de uso de la tierra. Sin embargo, la información de estas PPM inactivas es parte integral de la base de datos dasométricos.

La mayoría de las PPMF ha sido instalada en plantaciones puras y representan un 85% o más del área basal en la unidad de muestreo. Tres (3) de las 164 PPMF han sido ubicadas en plantaciones mixtas, 2 parcelas con ciprés común *Cupressus lusitánica* con un grado de mezcla en términos de área basal menor al 50% y, 1 parcela con Pino colorado *Pinus oocarpa* con grado de mezcla entre 50% y 85%.

Para poder aprovechar integralmente la información de esta base de datos dasométricos, será esencial completar la descripción de sitio de cada parcela, activa e inactiva, dar un monitoreo similar a las parcelas instaladas en plantaciones puras y mixtas (medir las mismas variables) y, reconstruir el historial de cada parcela (mantenimiento, intervenciones silviculturales, disturbios o fenómenos naturales que hayan modificado el desarrollo del rodal).

Crecimiento e incrementos

La información generada a través de la red de PPMF a nivel nacional, constituye una importante y concreta contribución al sector, como respaldo de los modelos de crecimiento generados para esta especie; los cuales, finalmente explican la dinámica del crecimiento de las plantaciones a partir de observaciones reales en campo.

Los modelos de crecimiento son vitales para la planificación forestal, debido a que permiten programar las actividades a desarrollar en un rodal, en función de la velocidad de crecimiento y potencial del sitio; además ofrece la posibilidad de estimar los productos maderables al final del turno y evaluar el alcance de los objetivos perseguidos.

El crecimiento de los árboles está determinado por la interacción de factores externos (calidad de sitio, condiciones climáticas, etc.) e internos (calidad de planta, genética, etc.). Los modelos utilizados responden a factores agrupados en tres variables, a saber: i) Índice de Sitio (IS), ii) Densidad o competencia (N) y, iii) Edad (T); con lo cual son capaces de responder a la combinación de estos factores, de tal forma que las proyecciones realizadas con ellos son ajustables a condiciones particulares.

El análisis de la base de datos dasométricos (PPMF de pino candelillo en plantaciones forestales puras, estado al 31 de diciembre 2015) permitió definir las siguientes funciones de crecimiento que se presentan a continuación, determinándose una ecuación para cada una de las principales variables de una plantación, que son: i) Diámetro (cm), ii) Altura Dominante total (m), iii) Área basal (m²/ha), iv) Volumen total (m³/ha) y, v) Índice de Sitio; que transcriben la dinámica de crecimiento de la especie en cada sitio, las cuales se presentan a continuación.

Tabla 7. Familia de modelos de crecimiento para pino candelillo *Pinus maximinoi* en Guatemala.

Variable	Modelo de crecimiento	r ²
Índice de sitio (m)	$\exp(\ln(H_d) + 6.96328 * (1/T - 0.1))$	0.83
Altura total [m]	$\exp(\ln(IS) - 6.96328 * (1/T - 0.1))$	0.83
Diámetro [cm]	$\exp(2.853221 - 5.94932/T + 0.055943*IS - 0.000218*N)$	0.90
Área basal [m ² /ha]	$\exp(1.91575 - 11.592777/T + 0.100823*IS + 0.000843*N)$	0.82
Volumen total [m ³ /ha]	$\exp(3.160695 - 18.203956/T + 0.182736*IS + 0.000775*N)$	0.90

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016 (Índice de Sitio determinado a una edad base de 10 años)

Dónde:

T = edad en años

H_d = altura dominante [m]

N = árboles/ha

IS = índice de sitio (m)

Un factor de gran influencia en los modelos es el Índice de Sitio, establecido a través de las alturas dominantes de un rodal. Con la información de la especie fueron determinadas 5 categorías de Índice de Sitio (basado en la mayor y menor altura y, a partir de ellas, 3 intermedias), las cuales puntualizan 5 escenarios teóricos de producción, ya que cada plantación tiene su propio Índice de Sitio que permite representar y ajustar cada modelo a realidades específicas.

Tabla 8. Categorías de sitio para pino candelillo *Pinus maximinoi* H.E. Moore en Guatemala.

Categoría de sitio	Rangos de Índice de Sitio por categoría [m]
Pésimo	< 9.9
Malo	9.9 - 13.4
Medio	13.5 - 16.5
Bueno	16.6 - 19.3
Excelente	> 19.3

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016 (Índice de Sitio determinado a una edad base de 10 años)

Las categorías de Índice de Sitio se aplican como criterio para evaluar la productividad de plantaciones a nivel nacional, así mismo, como un criterio para la adecuada selección de las áreas de producción nuevas, ya que, al disponer de 164 muestras, podemos acceder a los resúmenes de las variables de productividad y altura dominante de dichas muestras a través del mapa interactivo de PPMF, publicado en el sitio web: <http://ppmf.inab.gob.gt/>. De esa cuenta, podemos sustituir el valor promedio de la altura dominante de la parcela más cercana al área que nos interesa y así poder calcular que índice de sitio podríamos alcanzar en determinada ubicación; con ello, se podrían planificar actividades que promuevan una mejor productividad. Por ejemplo, un sitio actual "bueno" puede pasar a ser "excelente" si mejoramos los programas de fertilización, preparación de suelos, cuidados culturales y raleos oportunos.

Tabla 9. Aptitud para el crecimiento de *Pinus maximinoi* en sitios de Guatemala, con PPMF de la especie instaladas en plantaciones puras.

Departamento	Municipio	Finca	IS (m)	Categoría	Altitud (msnm)	Pendiente (%)
Alta Verapaz	San Cristóbal Verapaz	El Naranjo	13.00	Malo	1,731	15
	Tactic	Chojol	16.70	Bueno	1,600 – 1,700	55-70
	Tactic	Finca Pambach	15.70	Medio		
	Senahú	Setzimaj	18.90	Bueno	944 – 1,122	5-80
	San Pedro Carchá	Chimax Potrero	16.20	Medio	1,600 – 1,700	5-36
	San Pedro Carchá	Seabas	17.50	Bueno	1,050	25
	Cobán	Sasay	17.40	Bueno		
	Cobán	Cooperativa Samac	18.70	Bueno	1,430 - 1,439	4-50
	Cobán	Saquichaj	13.63	Medio	851 - 988	25-40
	Cobán	Cooperativa Chicoj	19.40	Excelente	1,480	30
Baja Verapaz	Purulha	Civija	11.10	Malo	991 – 1,522	30-87
	Santa Cruz El Chol	El Mezcal	14.90	Medio	2,050	
	Rabinal	Las Cañas	15.70	Medio	1,970	
	Granados	San Antonio	11.00	Malo	2,400	
	San Jerónimo	La Cascada	11.30	Malo	1,217	
	Salamá	Edgar Arnoldo Cuellar	8.40	Pésimo		15
	Salamá	Sin Nombre/Rogelio Ascencio	12.50	Malo		
El Progreso	Morazán	El Cubilte	15.80	Medio	1,500	
	San Agustín Acasaguastlán	Miranda 1	15.30	Medio	1,900 - 2,000	
Jalapa	Mataquesuintla	Las Mercedes	19.10	Bueno	1,000	
Sacatepéquez	Pastores	Cerro Pavo	16.10	Medio	2,200	
Chimaltenango	San Martín Jilotepeque	Don Tomas	12.70	Malo	2,000	
Quiché	Chicamán	Chocorral El Soch	14.70	Medio	900 – 1,442	15
Quiché	Chicamán	Cumbre de las Flores	13.50	Medio	1,300	15
Quiché	Cunén	Panimachaj	15.10	Medio	2,000	15
Sololá	San Andrés Semetabaj	La Lucha	12.90	Malo	2,200	15-35
Quetzaltenango	Colomba Costa Cuca	Transito Bolívar	17.7	Bueno	1,100	

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016 (índice de sitio determinado a una edad base de 10 años)

En términos generales, es muy difícil sugerir áreas de los lugares que presentan las mejores condiciones de sitio para el crecimiento *P. maximinoi*, más sin embargo, cabe mencionar que no existe una tendencia clara a nivel de textura de suelo y elevación, habiendo algunos sitios excelentes en suelo franco arcilloso, así como también se pueden presentar sitios malos y pésimos en la misma clase de textura. En ese sentido, para poder llegar a sugerir áreas específicas para un mejor crecimiento, es menester proponer la ejecución de un estudio más completo de suelos, donde se incluya análisis físico, químico y de fertilidad, entre otros.

Los lugares que pueden considerarse como buenos son los Departamentos de Alta Verapaz (Cobán, Senahú y San Pedro Carchá), Jalapa (Mataquesuintla) y Quetzaltenango (Colomba Costa Cuca); en altitudes comprendidas entre los 940 y 1,700 msnm, pendientes entre 5 y 40% y, suelos con textura que va de franca a franca arcillosa. En tanto que los municipios que presentan condiciones de sitio medios, se ubican en los departamentos de Alta Verapaz (Tactic y Cobán), Baja Verapaz (El Chol y Rabinal), El Progreso (Morazán), Sacatepéquez (Pastores) y, Quiché (Chicamán y Cunén); ubicados en altitudes que oscilan entre los 1,500 y 2,200 msnm, pendientes entre 15 y 35% y, suelos con texturas franco-arcillosas, franco-limosas y arcillosas.

Seguidamente se tienen los municipios que presentan los sitios malos, los que están ubicados en los Departamentos de Alta Verapaz (San Cristóbal), Baja Verapaz (Salamá, Granados, San Jerónimo y Purulhá), Sololá (San Andrés Semetabaj), en altitudes entre 1700 y 2200 msnm; pendientes entre el 15 y 35 % y suelos con texturas franco-arcillosa y franco-limosa. Cada categoría de sitio corresponde a valores de crecimiento, que constituyen estimadores prácticos de la producción de un rodal en el tiempo. El cuadro siguiente presenta los incrementos medios anuales (IMA) de las variables dasométricas estándares para *P. maximinoi* en las 5 categorías de sitio definidas.

A cada categoría de sitio corresponden valores de crecimiento, que constituyen estimadores prácticos de la producción de un rodal en el tiempo. Utilizando los modelos de crecimiento (Cuadro 7) y sustituyendo en ellos los valores medios para cada categoría de Índice de Sitio (8, 11, 15, 18 y 21 metros, respectivamente), se logró realizar el cálculo del incremento medio anual (IMA) para las variables dasométricas estándares, tales como dap (cm), altura (m), área basal (m²/ha) y volumen (m³/ha) para *Pinus maximinoi*, en las 5 categorías de sitio definidas; tal como se expresa en el siguiente cuadro:

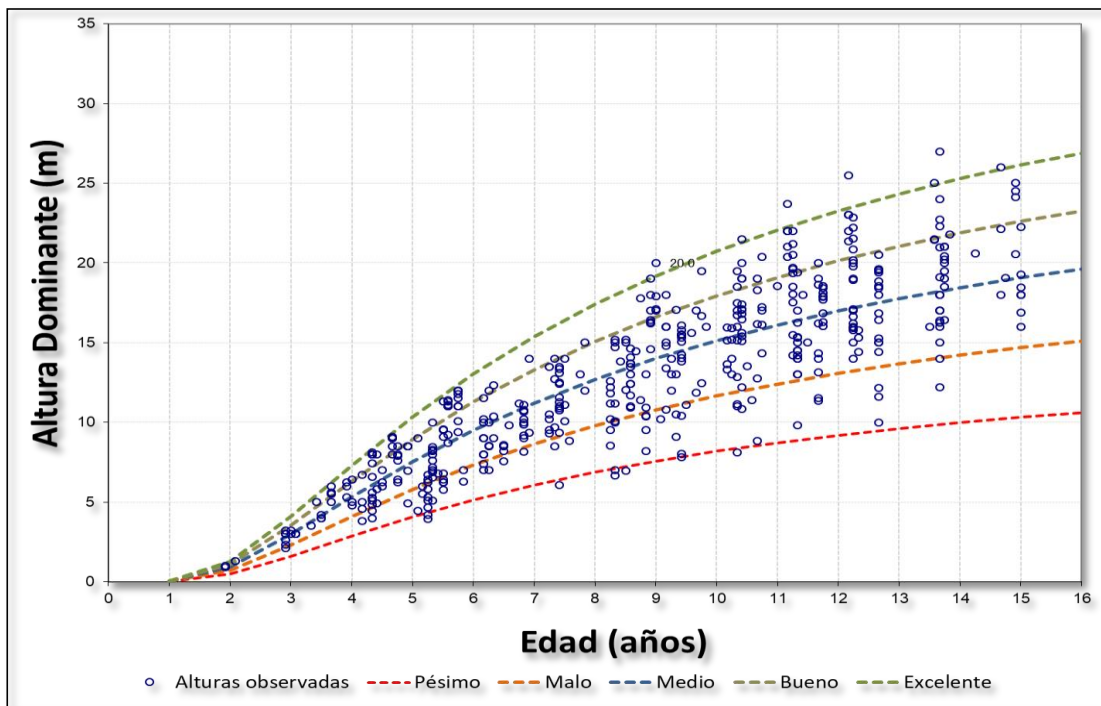
Tabla 10. Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para *Pinus maximinoi* en Guatemala, según categorías de sitio (IS determinado a una edad base de 10 años).

Categoría de Índice de Sitio	IMA DAP (cm)	IMA Altura Total (m)	IMA Área Basal (m ² /ha)	IMA Volumen Total (m ³ /ha)
Pésimo (8 m)	0.69	1.10	0.73	3.07
Malo (11 m)	0.98	1.34	1.03	5.79
Medio (15 m)	1.27	1.63	1.46	10.92
Bueno (18 m)	1.54	1.94	2.01	19.37
Excelente (21 m)	1.80	2.31	2.76	34.37

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016 (estimaciones del IMA para el IS medio de cada categoría 8, 11, 15, 18 y 21 metros, respectivamente).

Durante la elaboración de los modelos de crecimiento, se procedió a utilizar un perfil de manejo (teórico), simulando la reducción de la competencia (densidad de arb/ha) mediante la aplicación teórica de raleos; dicho perfil de raleo corresponde a una densidad inicial de 1,111 árboles/hectárea, que producto de la mortalidad hasta el cuarto año, presenta alrededor de 1100 árboles/hectárea, que permanecen hasta el quinto año, en donde se aplicó un raleo del 30% que provoca un remanente de 800 árboles/hectárea; posteriormente se aplica un raleo del 40% al año 10, dejando 480 árboles/ha para la cosecha final.

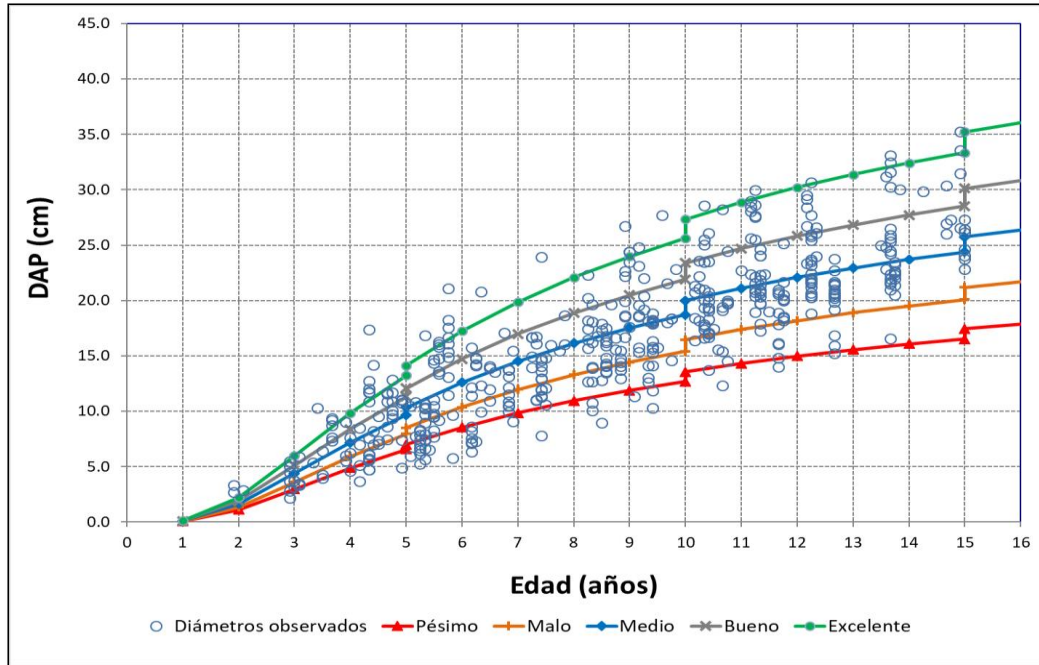
El efecto de los raleos en el crecimiento, puede observarse con mejor claridad en las figuras 19, 18 y 19 (curvas de crecimiento en DAP, curvas de crecimiento en área basal y curvas de crecimiento en volumen, respectivamente).



Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016.

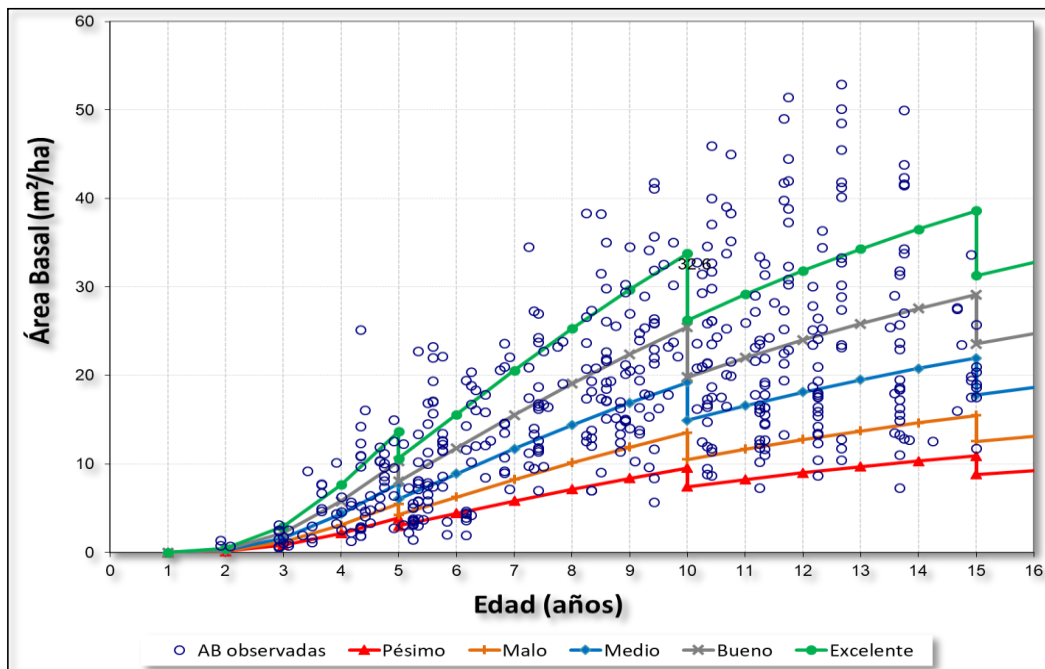
Figura 16. Familia de curvas de crecimiento en altura dominante [m] para plantaciones de *Pinus maximinoi* en Guatemala.

La figura anterior representa la relación que existe entre la altura dominante y la edad de los árboles que se encuentran en las PPMF bajo monitoreo del INAB. La gráfica nos permite reflexionar acerca de la correcta e incorrecta selección del sitio para la especie de *P. maximinoi*, ya que se observan plantaciones forestales con una altura dominante de 8 metros a los 9 años de edad (IS pésimo), en contraste, también se observa que a los mismos 9 años, en un índice de sitio excelente, la plantación expresa una altura dominante de 20 metros. Este análisis nos indica que existe una diferencia en la ganancia de altura de los árboles de 12 metros entre un índice de sitio excelente y un índice de sitio pésimo. Es de vital importancia la correcta selección del sitio, para mejorar la productividad de las plantaciones y motivar a los inversionistas forestales a recuperar áreas desprovistas mediante el establecimiento de plantaciones exitosas.



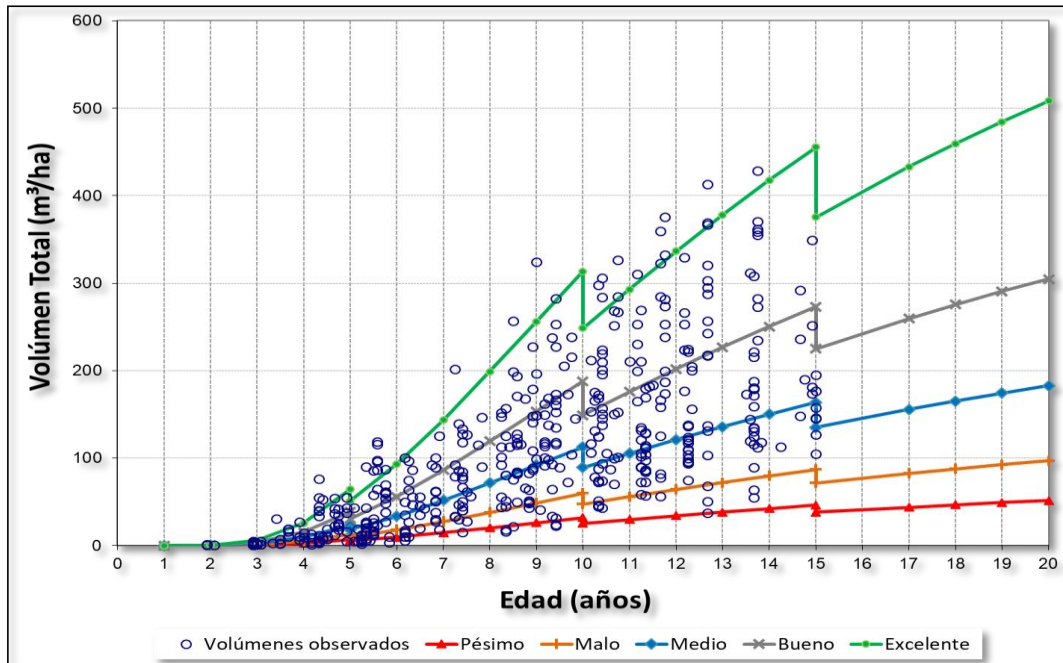
Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016.

Figura 17. Familia de curvas de crecimiento en dap [cm] para plantaciones de *Pinus maximinoi* en Guatemala.



Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016

Figura 18. Familia de curvas de crecimiento en área basal [m²/ha] para plantaciones de *Pinus maximinoi* en Guatemala.



Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016.

Figura 19. Familia de curvas de crecimiento en volumen total [m³/ha] para plantaciones de *Pinus maximinoi* en Guatemala.

11. Existencias

Herramientas

El Departamento de Investigación Forestal del INAB usa, en su sistema de "Manejo de información sobre recursos arbóreos en el componente de silvicultura (MIRA-SILV)", la siguiente ecuación válida para todas las especies seguidas (latifoliadas y coníferas):

Ecuación volumétrica general para latifoliadas y coníferas usada por el Departamento de Investigación del INAB en MIRA-SILV (Hurtado 2016¹²):

$$V = 0,7854 * d^2 * h_t * f_{1.3}$$

Dónde: V = volumen total con corteza, en m³; d = diámetro a la altura del pecho (dap), en m; h_t = altura total del árbol en pie, en m y; f_{1.3} = factor de forma, igual a 0.45 para todas las especies (latifoliadas y coníferas).

El Manual Técnico Forestal del INAB (1999), propone tres fórmulas específicas para estimar el volumen total sin corteza en m³ para *Pinus tenuifolia* (sinónimo de *Pinus maximinoi*); tomado de Peters, Roland, 1977, Tablas de volumen para las especies coníferas de Guatemala.

(Fórmula 1). Ecuación volumétrica para pino candelillo utilizada para el cálculo del volumen total, según el Manual Técnico Forestal del INAB (1999).

$$V = 0.0044171177 + 0.0000285570 * D^2 * H$$

Dónde V= volumen total sin corteza, en m³; D= diámetro a la altura del pecho con corteza, en cm; H= altura total del árbol, en metros.

(Fórmula 2). Ecuación volumétrica para *P. maximinoi* utilizada para el cálculo del volumen del árbol cuando el índice de utilización en parte superior del fuste principal es de 15 cm, según INAB (1999).

$$V = 0.04531175865 + 0.0000276545 * D^2 * H$$

Dónde V= volumen total sin corteza, en m³; D= diámetro a la altura del pecho con corteza, en cm; H= altura total del árbol, en metros.

(Fórmula 3). Ecuación volumétrica para *P. maximinoi* utilizada para el cálculo del volumen del árbol cuando el índice de utilización en parte superior del fuste principal es de 20 cm, según INAB (1999).

$$V = 0.04531175865 + 0.0000276545 * D^2 * H$$

Dónde V= volumen total sin corteza, en m³; D= diámetro a la altura del pecho con corteza, en cm; H= altura total del árbol, en metros.

¹² Hurtado Domingo L. 5-14 set. 2016. Cálculo del volumen en MIRA-SILV (correos electrónicos). Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, departamento de Investigación Forestal.

Superficies de plantaciones e inventario de producción actual de Pino Candelillo

Los proyectos con *Pinus maximinoi* incentivadas por los Programas de Incentivos Forestales PINFOR, PINPEP y PROBOSQUE, en el periodo de 2000 al 2018, ascienden a un total de 346 proyectos; los cuales suman 23,547.01 ha reforestadas, tal como se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 11. Áreas plantadas en el período 2000 – 2018, por departamento y municipio, con *Pinus maximinoi* incentivadas por los Programas de Incentivos Forestales PINFOR, PINPEP y PROBOSQUE, en Guatemala.

Departamento /Municipio	Área de proyectos PINFOR-PROBOSQUE		Área de proyectos PINPEP		Área Total	
	Hectáreas	Porcentaje	Hectáreas	Porcentaje	Hectáreas	Porcentaje
Alta Verapaz	16,950.33	71.99%	1,495.24	6.35%	18,445.57	78.34%
Cobán	4,600.93	19.54%	69.04	0.29%	4,669.97	19.83%
Lanquín	188.13	0.80%	2.33	0.01%	190.46	0.81%
Panzós	8.60	0.04%		0.00%	8.60	0.04%
San Cristóbal Verapaz	3,198.97	13.59%	413.28	1.76%	3,612.25	15.34%
San Juan Chamelco	573.70	2.44%	349.65	1.48%	923.35	3.92%
San Miguel Tucurú	209.14	0.89%	96.41	0.41%	305.55	1.30%
San Pedro Carchá	5,358.20	22.76%	302.61	1.29%	5,660.81	24.04%
Santa Cruz Verapaz	400.68	1.70%	58.65	0.25%	459.33	1.95%
Senahú	872.07	3.70%	16.22	0.07%	888.29	3.77%
Tactic	1,005.76	4.27%	101.30	0.43%	1,107.06	4.70%
Tamahú	534.15	2.27%	85.75	0.36%	619.90	2.63%
Baja Verapaz	2352.88	9.99%	233.11	0.99%	2585.99	10.98%
Cubulco	14.33	0.06%	10.97	0.05%	25.30	0.11%
Granados	41.92	0.18%	0.10	0.00%	42.02	0.18%
Purulhá	1289.83	5.48%	5.81	0.02%	1295.64	5.50%
Rabinal	5.03	0.02%	22.50	0.10%	27.53	0.12%
Salamá	327.50	1.39%	78.73	0.33%	406.23	1.73%
San Jerónimo	649.76	2.76%	43.88	0.19%	693.64	2.95%
San Miguel Chicaj	0.00	0.00%	53.96	0.23%	53.96	0.23%
Santa Cruz El Chol	24.52	0.10%	17.16	0.07%	41.68	0.18%
Zacapa	503.52	2.14%	11.83	0.05%	515.35	2.19%
Gualán	339.20	1.44%	9.65	0.04%	348.85	1.48%
La Unión	82.76	0.35%		0.00%	82.76	0.35%
Usumatlán	66.68	0.28%	2.18	0.01%	68.86	0.29%
Zacapa	14.88	0.06%		0.00%	14.88	0.06%
Guatemala	498.63	2.12%	2.92	0.01%	501.55	2.13%
Amatitlán	19.40	0.08%		0.00%	19.40	0.08%
Chinautla	1.29	0.01%		0.00%	1.29	0.01%
Fraijanes	5.75	0.02%		0.00%	5.75	0.02%
Guatemala	22.00	0.09%		0.00%	22.00	0.09%
Mixco	2.10	0.01%		0.00%	2.10	0.01%
Palencia	26.04	0.11%	2.92	0.01%	28.96	0.12%
San José Pinula	306.31	1.30%		0.00%	306.31	1.30%
San Juan Sacatepéquez	83.38	0.35%		0.00%	83.38	0.35%
San Pedro Sacatepéquez	9.00	0.04%		0.00%	9.00	0.04%
Santa Catarina Pinula	8.14	0.03%		0.00%	8.14	0.03%
Villa Canales	13.87	0.06%		0.00%	13.87	0.06%
Villa Nueva	1.35	0.01%		0.00%	1.35	0.01%
El Progreso	348.65	1.48%	5.25	0.02%	353.90	1.50%

Guastatoya	0.00	0.00%	1.80	0.01%	1.80	0.01%
Morazán	10.66	0.05%	3.45	0.01%	14.11	0.06%
San Agustín Acasaguastlán	220.42	0.94%		0.00%	220.42	0.94%
Sansare	117.57	0.50%		0.00%	117.57	0.50%
Quiché	262.94	1.12%	51.51	0.22%	314.45	1.34%
Chajúl	7.20	0.03%	6.20	0.03%	13.40	0.06%
Chicamán	104.33	0.44%	16.91	0.07%	121.24	0.51%
Chiché	1.31	0.01%	0.17	0.00%	1.48	0.01%
Chichicastenango	0.00	0.00%	0.33	0.00%	0.33	0.00%
Cunén	19.36	0.08%	14.47	0.06%	33.83	0.14%
Nebaj	8.34	0.04%	6.04	0.03%	14.38	0.06%
San Bartolomé Jocotenango	0.00	0.00%	1.55	0.01%	1.55	0.01%
San Juan Cotzal	69.66	0.30%	2.30	0.01%	71.96	0.31%
San Pedro Jocopilas	0.00	0.00%	0.81	0.00%	0.81	0.00%
Santa Cruz Del Quiché	0.00	0.00%	0.70	0.00%	0.70	0.00%
Uspantán	52.74	0.22%	2.03	0.01%	54.77	0.23%
Chimaltenango	156.23	0.66%	55.36	0.24%	211.59	0.90%
Acatenango	26.00	0.11%	1.50	0.01%	27.50	0.12%
Chimaltenango	46.65	0.20%		0.00%	46.65	0.20%
Patzún	5.15	0.02%		0.00%	5.15	0.02%
San Andrés Itzapa	8.46	0.04%	0.77	0.00%	9.23	0.04%
San José Poaquil	0.00	0.00%	1.60	0.01%	1.60	0.01%
San Juan Comalapa	0.80	0.00%	5.89	0.03%	6.69	0.03%
San Martín Jilotepeque	23.30	0.10%	24.32	0.10%	47.62	0.20%
San Miguel Pochuta	32.87	0.14%		0.00%	32.87	0.14%
San Pedro Yepocapa	5.00	0.02%		0.00%	5.00	0.02%
Santa Apolonia	0.00	0.00%	0.18	0.00%	0.18	0.00%
Tecpán Guatemala	8.00	0.03%	19.80	0.08%	27.80	0.12%
Zaragoza	0.00	0.00%	1.30	0.01%	1.30	0.01%
Quetzaltenango	123.46	0.52%		0.00%	123.46	0.52%
Colomba Costa Cuca	34.74	0.15%		0.00%	34.74	0.15%
El Palmar	44.85	0.19%		0.00%	44.85	0.19%
Olintepeque	23.36	0.10%		0.00%	23.36	0.10%
Zunil	20.51	0.09%		0.00%	20.51	0.09%
Huehuetenango	60.06	0.26%	52.99	0.23%	113.05	0.48%
Chiantla	4.00	0.02%		0.00%	4.00	0.02%
Concepción Huista	2.04	0.01%		0.00%	2.04	0.01%
Jacaltenango	0.00	0.00%	0.53	0.00%	0.53	0.00%
Nentón	54.02	0.23%	39.13	0.17%	93.15	0.40%
Petatán	0.00	0.00%	0.13	0.00%	0.13	0.00%
San Mateo Ixtatán	0.00	0.00%	8.90	0.04%	8.90	0.04%
San Pedro Necta	0.00	0.00%	0.81	0.00%	0.81	0.00%
Unión Cantinil	0.00	0.00%	3.49	0.01%	3.49	0.01%
Sacatepéquez	106.11	0.45%	0.90	0.00%	107.01	0.45%
Jocotenango	3.00	0.01%		0.00%	3.00	0.01%
Pastores	35.21	0.15%		0.00%	35.21	0.15%
San Juan Alotenango	25.68	0.11%		0.00%	25.68	0.11%
San Miguel Dueñas	38.62	0.16%		0.00%	38.62	0.16%
Santo Domingo Xenacoj	0.00	0.00%	0.90	0.00%	0.90	0.00%
Sumpango	3.60	0.02%		0.00%	3.60	0.02%
San Marcos	82.08	0.35%	0.91	0.00%	82.99	0.35%
San Rafael Pie De La Cuesta	82.08	0.35%		0.00%	82.08	0.35%
Tacaná	0.00	0.00%	0.91	0.00%	0.91	0.00%

Jalapa	54.30	0.23%	1.87	0.01%	56.17	0.24%
Jalapa	0.00	0.00%	1.87	0.01%	1.87	0.01%
Mataquesuintla	5.30	0.02%		0.00%	5.30	0.02%
San Pedro Pinula	49.00	0.21%		0.00%	49.00	0.21%
Escuintla	55.32	0.23%		0.00%	55.32	0.23%
Santa Lucía Cotzumalguapa	55.32	0.23%		0.00%	55.32	0.23%
Retalhuleu	25.68	0.11%		0.00%	25.68	0.11%
San Felipe	25.68	0.11%		0.00%	25.68	0.11%
Santa Rosa	23.26	0.10%	0.18	0.00%	23.44	0.10%
Barberena	15.00	0.06%		0.00%	15.00	0.06%
Casillas	8.26	0.04%	0.18	0.00%	8.44	0.04%
Sololá	11.99	0.05%	3.12	0.01%	15.11	0.06%
Panajachel	11.99	0.05%		0.00%	11.99	0.05%
San Andrés Semetabaj	0.00	0.00%	0.87	0.00%	0.87	0.00%
Santiago Atitlán	0.00	0.00%	2.25	0.01%	2.25	0.01%
Suchitepéquez	14.00	0.06%		0.00%	14.00	0.06%
San Francisco Zapotitlán	14.00	0.06%		0.00%	14.00	0.06%
Totonicapán	0.00	0.00%	2.39	0.01%	2.39	0.01%
Momostenango	0.00	0.00%	2.39	0.01%	2.39	0.01%
Total General	21,629.43	91.86%	1,917.58	8.14%	23,547.01	100.00%

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques), 2018.

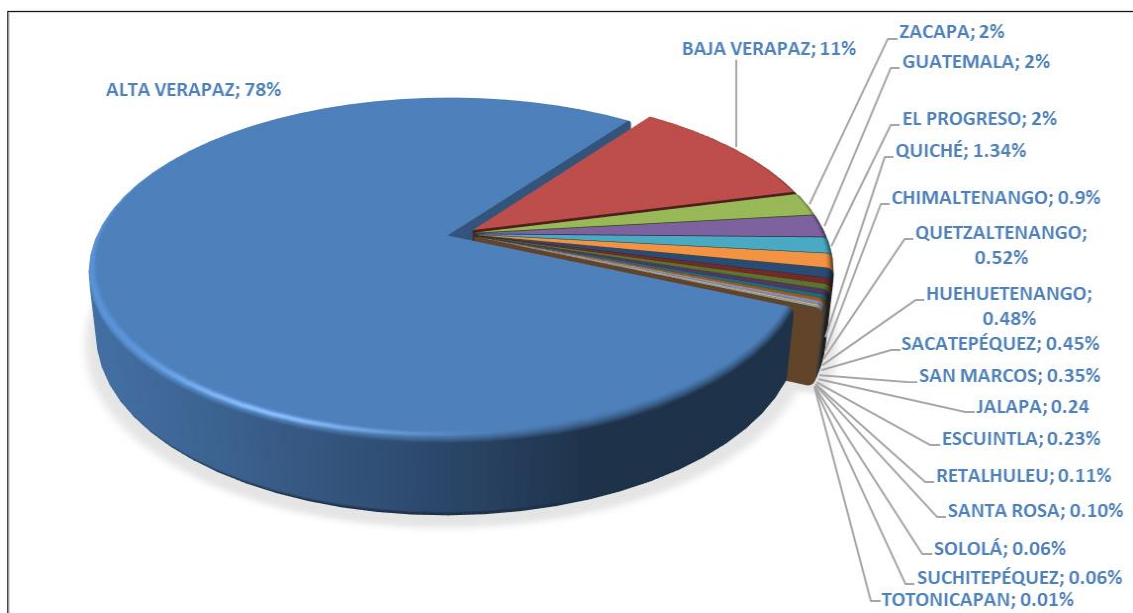


Figura 20. Áreas plantadas por departamento y municipio con *Pinus maximinoi* en el período 2000 – 2018, con los programas de incentivos forestales (%), resumido por departamento en Guatemala.

En el cuadro 11 se observa una amplia distribución del área plantada con esta especie, ubicándose en 94 municipios, en un total de 18 departamentos, con un total de 23,547.01 hectáreas plantadas durante el periodo de 2000 al 2018. Es interesante notar que es en el departamento de Alta Verapaz donde se concentra la mayor extensión plantada con el 78% del total y dentro de este, es San Pedro Carcha (5,660.81 ha) el municipio con mayor abundancia, seguido de Cobán (4,669.97 ha) y San Cristóbal Verapaz (63 ha cada uno).

El segundo departamento es Baja Verapaz, aunque este corresponde únicamente al 11% siendo el municipio de Purulhá, el que contiene la mayor proporción (1,295.64 hectáreas). El restante 11 % del área plantada se distribuye en 17 departamentos, pero las proporciones son pequeñas.

Con relación a la preferencia por pino candelillo, parece haber un descenso significativo en los últimos años. Mientras que en el periodo del 2004 - 2010 se estableció en promedio más de 400 hectáreas anualmente, con una área máxima de 877.7 ha en el año 2004, esta superficie bajó a 90 ha/año desde el 2012. Es imprescindible identificar las razones de esta caída de interés, mientras el estado considere la especie como prioritaria.

Tabla 12. Áreas plantadas con *Pinus maximinoi* beneficiadas con los programas de incentivos forestales, por año de plantación y edad en Guatemala (al año 2018).

Año de plantación	Edad (años)	Área de proyectos PINFOR-PROBOSQUE (ha)	Área de proyectos PINPEP (ha)	Áreas Total	
				Hectáreas	Porcentaje
2000	19	593.78		593.78	2.52%
2001	18	461.85		461.85	1.96%
2002	17	1,443.81		1,443.81	6.13%
2003	16	1,648.33		1,648.33	7.00%
2004	15	1,598.11		1,598.11	6.79%
2005	14	1,995.90		1,995.90	8.48%
2006	13	1,914.44	6.61	1,921.05	8.16%
2007	12	2,532.44	7.58	2,540.02	10.79%
2008	11	2,419.57	10.88	2,430.45	10.32%
2009	10	1,704.65	15.90	1,720.55	7.31%
2010	9	583.48	10.23	593.71	2.52%
2011	8	1,065.23	11.31	1,076.54	4.57%
2012	7	820.33	254.99	1,075.32	4.57%
2013	6	674.74	377.33	1,052.07	4.47%
2014	5	799.77	386.16	1,185.93	5.04%
2015	4	446.86	340.37	787.23	3.34%
2016	3	273.35	249.34	522.69	2.22%
2017	2		246.70	246.70	1.05%
2018	1	652.80	0.18	652.98	2.77%
Total		21,629.43	1,917.58	23,547.01	100.00%
Porcentaje		92%	8%		

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques), 2018.

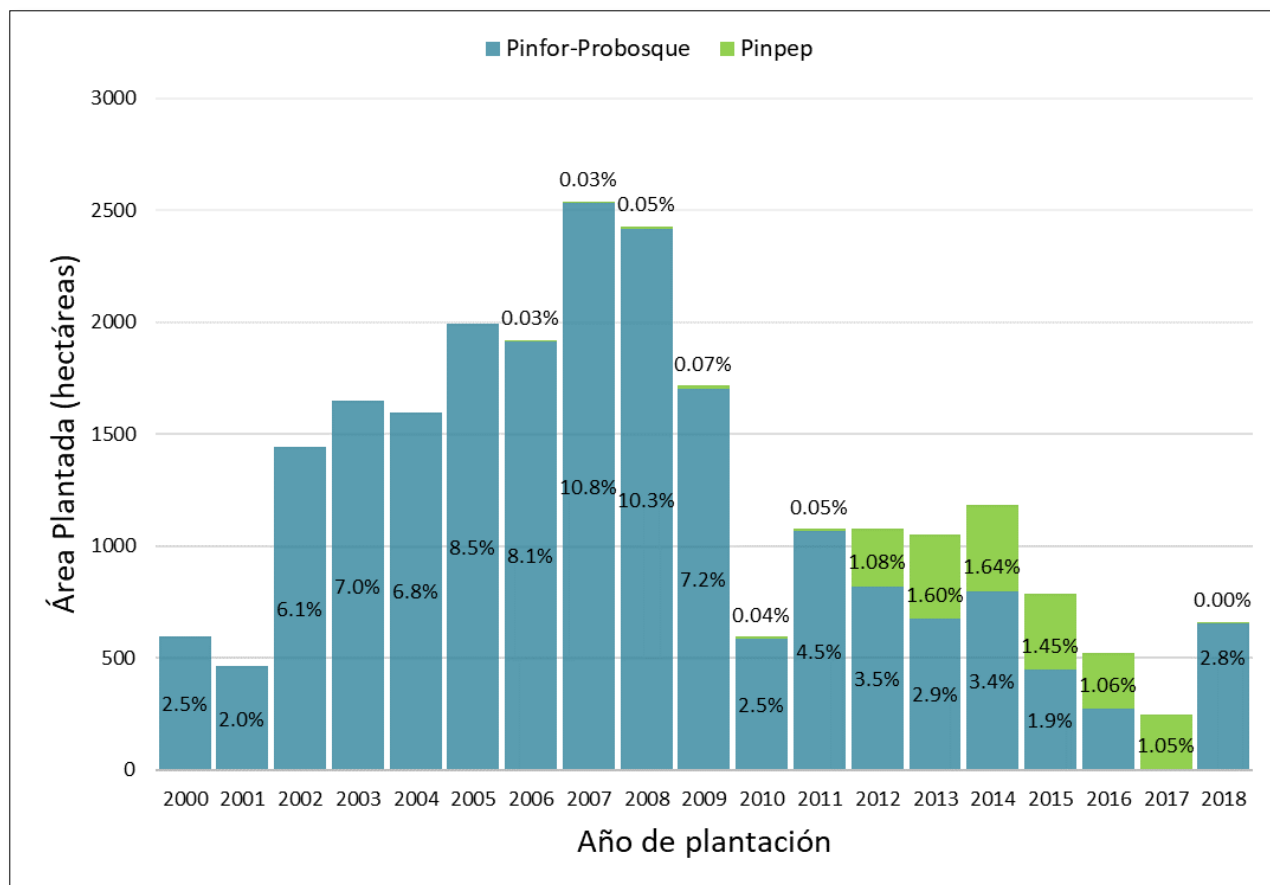


Figura 21. Distribución de área de proyectos de incentivos forestales por año de plantación, para la especie *Pinus maximinoi* en Guatemala.

El inventario de producción actual de las plantaciones de pino candelillo evaluadas se presenta a continuación

Tabla 13. Detalle de productividad actual de proyectos de pino candelillo incentivados en Guatemala.

Departamento	No. proyectos	Área Total (ha)	Promedio de DAP (cm)	Promedio de Altura (m)	Promedios de Área basal (m ² /ha)	Promedios de Volumen Total (m ³ /ha)	Volumen Total (m ³)
Alta Verapaz	897	16,556.49	14.72	11.39	12.55	66.60	3,140,573.91
Baja Verapaz	195	2,370.19	15.48	11.87	12.36	63.12	214,864.44
Zacapa	19	505.70	22.92	17.60	18.80	133.92	73,692.16
Guatemala	37	486.43	21.38	16.48	17.80	123.34	68,322.71
El Progreso	14	351.02	19.26	14.52	14.75	88.54	40,063.52
Chimaltenango	200	207.15	18.44	14.35	15.95	103.07	26,316.60
Quiché	80	290.31	15.60	11.96	12.62	65.24	24,923.87
Quetzaltenango	8	123.46	22.59	17.40	18.76	132.62	16,056.84

Sacatepéquez	10	80.95	24.42	18.87	21.67	177.47	14,477.50
Huehuetenango	81	102.95	13.73	10.52	10.59	46.95	8,379.05
Escuintla	1	55.32	23.69	18.45	20.77	150.04	8,300.04
Retalhuleu	2	25.68	22.88	17.71	19.43	135.42	3,499.22
San Marcos	4	72.61	12.02	9.32	9.69	37.71	3,260.66
Santa Rosa	3	23.44	17.94	13.98	15.51	91.80	3,015.89
Suchitepéquez	1	14.00	27.50	20.60	20.22	165.02	2,310.32
Jalapa	3	54.46	15.07	11.60	12.04	64.06	1,851.72
Sololá	10	15.11	14.01	10.67	10.49	47.30	1,736.94
Totonicapán	1	2.15	22.07	16.98	18.09	120.80	259.73
Total	1,566	21,337.41	15.70	12.13	13.18	73.22	3,651,905.12

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques), 2018.

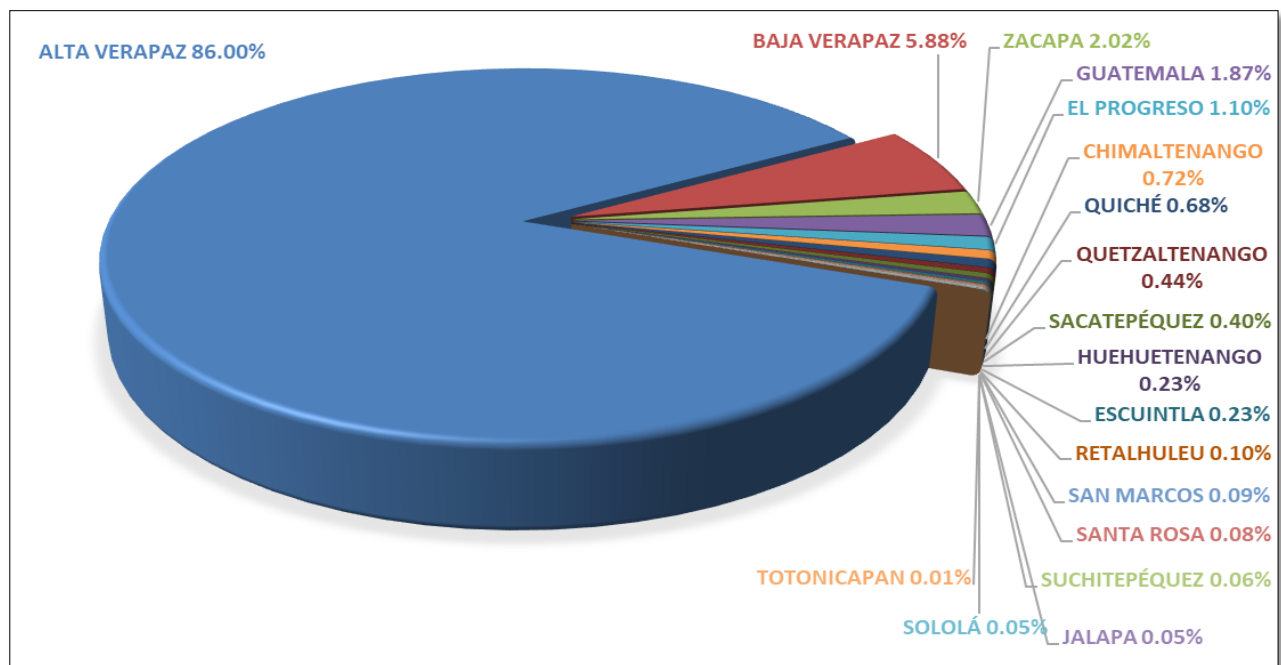


Figura 22. Distribución del Volumen Total actual de proyectos de incentivos forestales (%) por departamento, para la especie de *Pinus maximinoi* en Guatemala.

El volumen actual de los 1,566 proyectos de reforestación suma un total del 3,651,905.12 m³ distribuidos en 21,337.41 hectáreas a nivel nacional. En el Cuadro 13 y Figura 22 se observa que 86% del volumen nacional se concentran en el departamento de Alta Verapaz, seguido de Baja Verapaz pero únicamente con un 5.88% y, el restante 8% se encuentra distribuido en 16 Departamentos con porcentajes muy bajos. En conclusión, a nivel nacional hablar de *Pinus maximinoi* es hablar de Alta Verapaz.

Las estimaciones del inventario de producción utilizando modelos de crecimiento, permiten estimar un volumen proveniente de los raleos. Dichas estimaciones se han basado en un perfil teórico simulado a partir del análisis de unidades de muestreo evaluadas en campo. Dicho perfil de manejo considera una densidad inicial de 1,111 árboles/hectárea durante los primeros 5 años, aun considerando el efecto de la mortalidad durante el establecimiento (año 0). El primer raleo se aplica al quinto año (5) con una intensidad de aproximadamente 30 %, del cual se obtienen volúmenes muy bajos por las dimensiones de los árboles; además que es orientado a extraer los árboles enfermos y con los mayores defectos físicos tales como torceduras del fuste como ha sido común para esta especie, quedando un remanente de 800 árboles/ha. El perfil continúa con la aplicación de otro 30% de raleo en el décimo año (10), quedando un remanente de 500 árboles/ha. Posteriormente se efectúa un tercero y último raleo en el año quince (15), del cual se extraen alrededor del 50%, quedando como resultado un promedio de 250 árboles por hectárea.

Esos segundo y tercer raleo pueden considerarse como deseables para el mercado, principalmente en sitios excelentes donde además se hubieran cumplido las principales recomendaciones de manejo y mantenimiento; por el contrario, en sitios malos es posible que el periodo entre raleo sea mayor, pero tomar en cuenta que esto no debe comprometer el éxito del proyecto. También debe considerarse la posibilidad de que la densidad final sea menor a la utilizada en el presente perfil por raleos más intensos o por la aplicación de un cuarto raleo y así llegar al final del turno con densidades menores que 250 árboles/ha; sin embargo, esto se evidenciara cuando los datos de campo sugieran dicha dinámica.

A continuación se presenta la estimación del inventario de producción correspondiente a raleos potenciales para el año 2019, es decir, se incluyen únicamente aquellas plantaciones que estén llegando a los 5, 10 y 15 años de edad respectivamente. El ejercicio se lleva a cabo para expresar un procedimiento para el cálculo de la oferta maderable como producto de raleos en plantaciones forestales con distintas dimensiones (primer, segundo y tercer raleo), cuyo uso puede variar dependiendo la demanda del mercado; los cálculos se realizaron utilizando la ecuación para proyectar el volumen total, descrita en el cuadro 7.

Tabla 14. Detalle de productividad actual de volumen del primero, segundo y tercer raleo en plantaciones de pino candelillo incentivadas en Guatemala.

Año del raleo	No. Proyectos	Área total (ha)	Promedio de Volumen de raleo (m³/ha)	Volumen Total de raleo (m³/ha)
Primer raleo (5 años)	389	1,185.93	9.76	12,466.23
Segundo raleo (10 años)	65	1,720.55	37.76	98,544.39
Tercer raleo (15 años)	24	1,598.11	51.51	106,175.94
Total	478	4,504.59	99.03	217,186.56

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques), 2018.

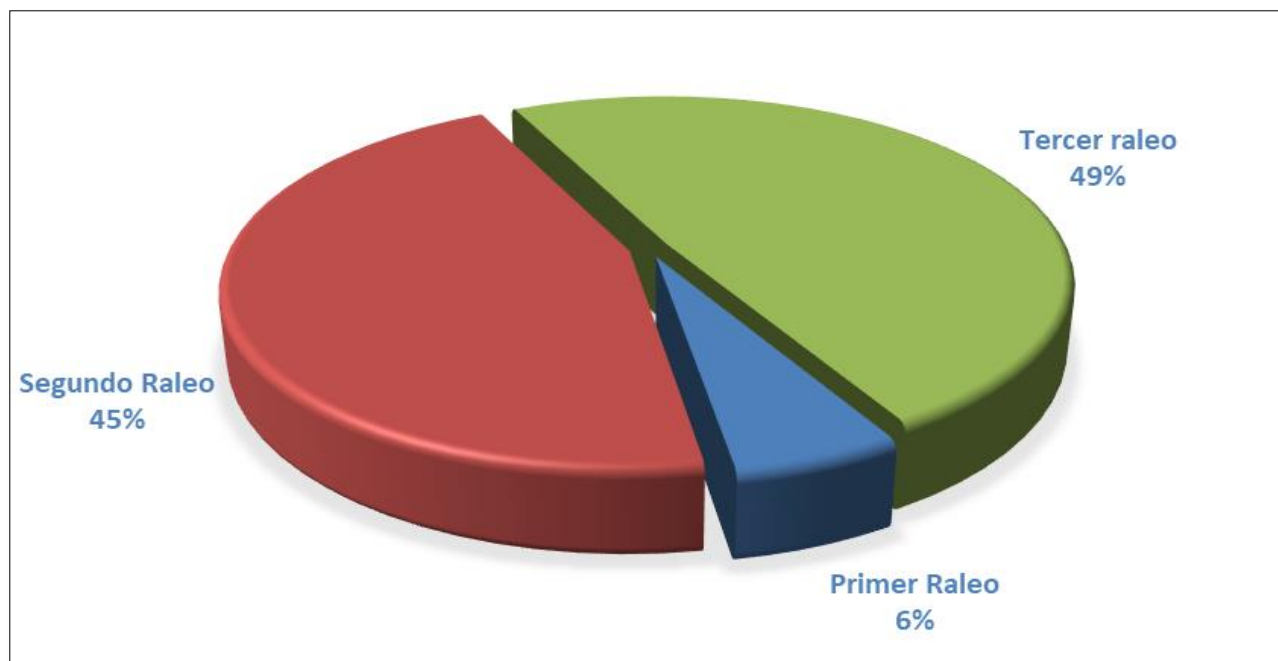


Figura 23. Distribución del Volumen Total de producción actual de raleos en proyectos de incentivos forestales, para la especie de pino candelillo en Guatemala.

Los resultados del Cuadro 14 indican que para el año 2019 se estima la probabilidad de realizar un raleo en 478 proyectos de pino candelillo (a 389 le corresponde un primer raleo, a 65 proyectos un segundo raleo y a 24 proyectos le corresponde un tercer raleo), la decisión final será del propietario según el perfil definido dentro de su plan de manejo.

El volumen total de raleos asciende a 217,186.56 m³, de los cuales cerca de la mitad (106,175.94 m³) corresponde al tercer raleo, que equivalentes al 49% (ver Figura 23) del volumen disponible para el año 2019. En tanto, otro importante volumen de 98,544.39 m³ (equivalentes al 45%) corresponde al segundo raleo y, el tercer raleo representa solamente un 6% del volumen, aunque corresponde al mayor número de proyectos.

Análisis y proyección del inventario de producción de pino candelillo

VOLUMEN DE EXISTENCIAS FUTURAS: Al utilizar edades futuras (hasta el turno inclusive) y una densidad finales estimadas en los modelos de crecimiento, se logra obtener proyecciones de las principales variables y con ello, la estimación de las existencias o producción futura. Para el presente documento, el supuesto teórico de turno o corta final de cada plantación se estableció en 22 años, mientras que la densidad final utilizada fue de 250 árboles/ha; nuevamente se aclara que estos valores teóricos tienen su origen en observaciones de campo, mientras que pueden variar según la calidad de sitio y el manejo proporcionado, pudiéndose variar entre otros, el turno o edad para la corta final, como se evidenció anteriormente. A continuación, en el Cuadro 15 se presentan los resultados de la proyección de cada proyecto de pino candelillo beneficiado por los programas de incentivos forestales del PINFOR-PROBOSQUE y PINPEP, presentado para el periodo 2022 al 2040.

Tabla 15. Proyección de principales variables y volumen de corta final para las plantaciones de pino candelillo, para el periodo 2022-2040.

Año	No. Proyectos	Área (ha)	DAP promedio (cm)	Altura promedio (m)	Área Basal promedio (m ² /ha)	** Volumen Total promedio (m ³ /ha)	Volumen Total (m ³)
2022	14	593.78	30.91	30.60	25.37	247.34	161,411.96
2023	16	461.85	30.19	29.98	24.28	227.52	116,170.05
2024	21	1,443.81	30.22	29.31	24.32	228.11	391,574.95
2025	27	1,648.33	30.77	28.56	25.17	244.24	478,462.27
2026	24	1,598.11	30.34	27.75	24.58	235.33	469,723.28
2027	29	1,995.90	30.72	26.84	25.06	241.46	594,703.32
2028	60	1,921.05	31.01	25.84	25.42	245.44	573,416.91
2029	56	2,540.02	30.52	24.71	24.75	235.23	756,223.32
2030	53	2,430.45	31.24	23.44	25.77	251.83	740,757.01
2031	65	1,720.55	29.89	22.00	23.81	219.03	550,301.40
2032	28	593.71	29.63	20.36	23.47	214.07	163,266.69
2033	38	1,076.54	29.84	18.49	23.73	217.40	299,066.45
2034	291	1,075.32	31.13	16.32	25.67	251.87	340,334.14
2035	455	1,052.07	31.66	13.83	26.46	266.28	293,992.57
2036	389	1,185.93	31.22	10.97	25.84	256.02	332,971.49
2037	381	787.23	30.85	7.74	25.30	246.57	235,693.47
2038	256	522.69	32.09	4.33	27.19	282.19	144,458.82
2039	263	246.70	31.37	1.36	26.15	264.81	65,662.99
2040	13	652.98	31.89	0.04	26.86	275.54	226,922.38
Total	2,479	23,547.01	31.21	12.24	25.82	255.88	6,935,113.48

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT), 2018. (** Los valores de volumen total promedio son valores de referencia. En efecto, los datos reales de la proyección del volumen de las plantaciones se detalla en la columna "volumen total (m³)"; ya que, para cada municipio, se sustituyó distinto índice de sitio en la ecuación de proyección de volumen del cuadro 7).

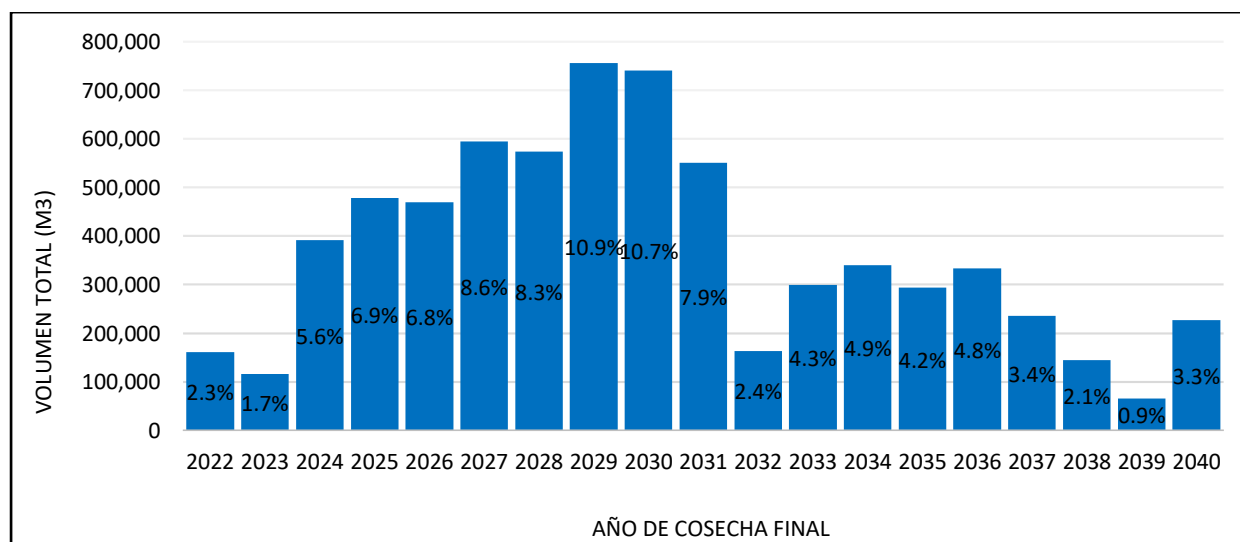


Figura 24. Distribución del volumen total proyectado en proyectos de incentivos forestales, para la especie de pino candelillo en Guatemala.

De acuerdo con la Figura 24, el mayor volumen del aprovechamiento final de las plantaciones de pino candelillo se realizará entre los años 2024 al 2031, cuando la mayoría de las plantaciones incluidas en el presente análisis lleguen a la edad de 22 años; el promedio durante estos 8 años es de 569,395.31 m³/año. La suma del volumen de cosecha durante el periodo completo 2022 al 2040 asciende a 6,935,113.48 m³.

Las estimaciones realizadas están sujetas a mejoras continuas. En la medida que se sumen datos de nuevas mediciones por el aumento de la edad de las plantaciones o la ampliación de las unidades de muestreo, deben actualizarse los modelos de crecimiento y, las estimaciones y proyecciones.

PROYECCIÓN DEL VOLUMEN DE RALEO: Como se ha indicado, las proyecciones de volumen proporcionan información para estimar los raleos futuros, a partir del perfil de manejo definido. Para el presente caso, se evaluaron los 2,479 proyectos estimando el potencial volumen de raleo para el periodo del 2019 al 2025, es decir, cuantas plantaciones se ralearán según la edad que tengan en cada uno de los años del periodo proyectado (volumen de raleos en las edades de 5, 10 y 15 años).

Tabla 16. Proyección del volumen por año (m³) de raleo para pino candelillo, periodo 2019-2025.

Perfil de raleo \ volumen (m ³)/año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Primer raleo (5 años)	12,466.23	8,534.64	5,358.72	2,613.40	8,125.86	0.00	0.00
Segundo raleo (10 años)	98,544.39	28,702.96	52,777.00	59,186.10	51,973.78	61,002.77	41,763.78
Tercer raleo (15 años)	106,175.94	135,601.70	127,924.15	162,362.25	160,081.18	121,652.84	35,433.75
Total	217,186.56	172,839.30	186,059.87	224,161.76	220,180.81	182,655.62	77,197.52

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques), 2018.

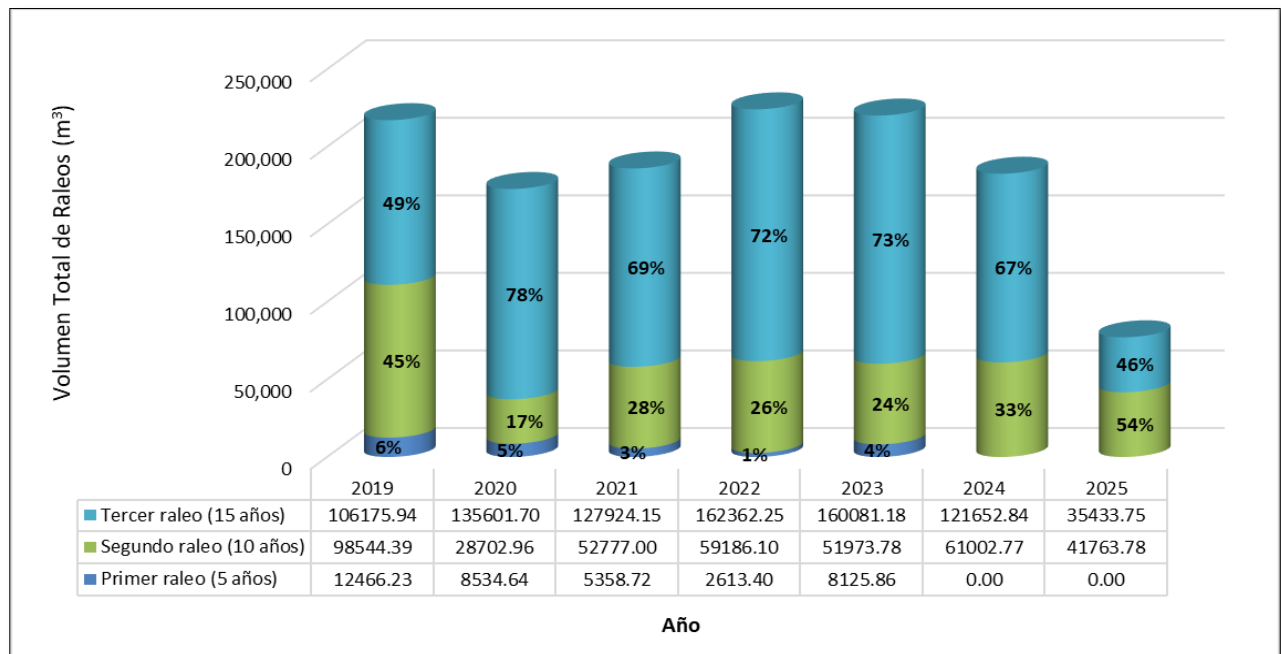


Figura 25. Distribución del Volumen Total de raleos, proveniente de proyectos de incentivos forestales, para la especie de pino candelillo en Guatemala.

El volumen total obtenido durante el periodo del 2019 al 2025 (próximos 6 años) asciende a un total de 1,280,281.44 m³ (entre el primer, segundo y tercer raleo), según cada uno de los proyectos presenten la edad de raleo durante el periodo 2019 al 2025.

Con la generación de nueva información de campo, se espera realizar actualizaciones del presente documento, principalmente sobre los modelos de crecimientos y estadísticas como por ejemplo la incorporación registros sobre la producción final, siempre y cuando se obtenga las experiencias de las observaciones en campo.

El procedimiento para el cálculo del volumen proyectado se describe a continuación:

- a. En primer lugar, se procedió a solicitar las bases de datos de proyectos reforestados en los diversos programas de incentivos forestales que administra el INAB (PINFOR-PROBOSQUE-PINPEP), la base de datos utilizada contempla las reforestaciones desde el año 2000 al año 2018.
- b. Posteriormente, se definió un turno de corta, con base a las experiencias documentadas y a las investigaciones sintetizadas en el presente texto, para el efecto, se definió un turno de corta de 22 años. Por ello puede observarse en la gráfica que la primera cosecha proyectada es hasta el año 2022, debido a que la fecha de plantación más antigua que se considero fue del año 2000.
- c. Seguidamente se estableció un perfil de manejo teórico, para un adecuado cálculo del volumen de los raleos, y el remanentes que se considera como volumen de cosecha final al término de los 22 años; para el efecto, el perfil de manejo definido contempla el primer raleo (I= 30%) a los 5 años, el segundo raleo (I= 30%) a los 10 años y el tercer raleo (I= 50%) a los 15 años de edad.
- d. Por último, mediante la utilización de los modelos de crecimiento descritos en el cuadro 7, se utilizó la ecuación para el cálculo del volumen; de esa cuenta se obtuvo como resultado los volúmenes proyectados, que se traducen a una oferta de volumen de cosecha final proyectada y descrita con mayor detalle en el cuadro No. 15 y figura No. 24.

12. Conclusiones

1. Las principales características climáticas a considerar para la selección de pino candelillo como especie a reforestar son: sitios en rangos de temperatura de 18 a 22 °C como temperatura media mensual. En cuanto a pluviometría, se relaciona estrechamente con el incremento medio anual de los rodales, la especie requiere de precipitaciones arriba de 2000 mm como promedio anual (es una de las variables que más influyen en la productividad de pino candelillo). En forma natural, se encuentra presente en las zonas de vida: Bosque muy húmedo Subtropical frío (bmh-S (f)) y Bosque húmedo Subtropical templado (bh-S (t)).
2. Las principales características fisiográficas a considerar para la selección de pino candelillo como especie a reforestar son: sitios con altitudes desde 851 a 2400 msnm (según registros de plantaciones, donde la especie demuestra adaptabilidad), sin embargo, los mejores rendimientos se registran en altitudes de 900 a 1500 msnm (la altitud se relaciona estrechamente con el incremento medio anual); la especie se desarrolla mejor en terrenos con pendientes < a 30%; en su caso, la posición topográfica y la ocurrencia de vientos no son factores que comprometan el crecimiento.
3. Las principales características edáficas a considerar para la selección de pino candelillo como especie a reforestar es que se adapta a una variedad de texturas de suelo, aunque de preferencia, mientras más se acerque a suelos del tipo "franco" es mejor; la especie prefiere suelos con tendencia a pH ácidos (< a 6.7), a tal extremo que el crecimiento se ve favorecido en rangos de pH que van desde 4 a 4.7; la profundidad efectiva es un factor muy determinante en la productividad de los rodales, de preferencia que sea mayor a 50 cm; la pedregosidad superficial no afecta el desarrollo de las plantaciones.
4. De acuerdo a su comportamiento ecológico, pino candelillo es una especie heliófita en cuanto a sus requerimientos de luz, este aspecto se constituye importante para analizarlo a conciencia, para la planificación adecuada de la instalación de reforestaciones, para la selección de especies acompañantes en arreglos mixtos y para sustentar la toma de decisiones en la inversión destinada al control de malezas (competencia), especialmente en los primeros años de establecida la plantación.
5. Es importante aplicar las cortas intermedias como podas y raleos de forma oportuna, ya que permite disminuir riesgos en plantaciones, principalmente riesgos de manejo, riesgos biológicos, riesgos físicos y riesgos de mercado; la liberación del dosel modifica la productividad de un rodal, donde además de eliminar la competencia de árboles poco deseables, se logra el aumento del diámetro a la altura del pecho del rodal, el cuál es variante en cada sitio, sin embargo, siempre es beneficioso, al extremo de contar con registros de incremento corriente anual desde 2.05 cm hasta 4.65 cm a un año después de haber realizado el primer raleo. La ganancia de incrementos es mayor al realizar una práctica combinada de podas y raleos.

6. El gorgojo del pino *Dendroctonus spp.*, es la plaga más importante que afecta las plantaciones forestales del género *Pinus* para Guatemala, no solo por el daño económico derivado de su efecto en los recursos forestales sino por su eminente riesgo de causar infestaciones derivadas de los cambios drásticos y prolongados de clima (especialmente el aumento de la temperatura); por ende, la prevención de la plaga se constituye la estrategia más conveniente a los productores forestales, las medidas de prevención más importantes son: (1) descortezado de los árboles caídos por lluvia o dañados por derrumbes, (2) inspección de árboles dañados por rayos, (3) Aclareos, raleos o entresaques selectivos (manejo de plantaciones y bosques naturales) y (4) manejo de residuos de corta.
7. Las distintas categorías de sitio constituyen criterios de evaluación del estado actual y de la productividad de las plantaciones forestales instaladas a nivel nacional, con base a la altura dominante de la especie (cuadro 8) o con base al incremento medio anual de las principales variables dasométricas de un rodal (cuadro 10). De forma complementaria, los modelos de crecimiento (cuadro 7) son herramientas que permiten simular el comportamiento de las plantaciones a través de distintos perfiles de raleo, y así conocer la mejoría de los atributos de los árboles derivados de un adecuado manejo.

13. Recomendaciones

1. Establecer plantaciones forestales de pino candelillo sin dejar de considerar tres factores importantes que contribuyen a alcanzar el éxito inicial de la plantación, estas son: la procedencia genética de la semilla, el comportamiento ecológico de la especie (heliófila) y la correcta selección del sitio para la especie en sus componentes climáticos, fisiográficos y edáficos.
2. Considerar que aun cuando los sitios posean características climáticas y fisiográficas favorables, existen factores limitantes que comprometen la productividad de los rodales, tales como la intolerancia de la especie a las inundaciones prolongadas (o que ocurran más de dos veces por año), así mismo, el crecimiento de la especie es limitado por un pH alcalino, ya que tienden a reducir el porcentaje de saturación de bases y se ve afectada la capacidad de intercambio catiónico.
3. No es prudente menospreciar el efecto positivo que tiene la práctica del control de malezas en una plantación forestal, especialmente durante los primeros cuatro años de haber sido establecida en campo, los mejores crecimientos se obtienen cuando se realizan cuatro limpiezas durante el año de establecimiento (métodos mecánicos, manuales y químicos), incluyendo un plateo en el primer año; a partir del segundo año hasta el cuarto, se recomienda realizar tres limpiezas anuales, con énfasis en la eliminación de lianas o enredaderas que puedan agobiar al árbol; al controlar adecuadamente las malezas, garantizamos que las plantas expresen su máxima aptitud de crecimiento en los sitios seleccionados.

4. Es recomendable realizar de forma oportuna las podas, pueden iniciarse a partir de los dos años de edad, para minimizar el agobio por efecto de plantas trepadoras y para que las ramas que se corten sean de diámetros pequeños que dejen una cicatriz poco notable; en árboles grandes, la proporción de copa con respecto a la altura total del árbol se mantiene en un rango de 33% a 50%, el rango anterior no debe ser superado, así se mantendrá el equilibrio de anclaje del árbol. Con respecto a su temporalidad, los árboles responden mejor cuando las podas se realizan al finalizar la época lluviosa o antes que termine la época seca, además, la práctica combinada de podas y raleos producen mayor ganancia de incrementos.

5. El raleo es una actividad silvícola de importancia para todas las especies forestales, en el caso de pino candelillo, para la selección de árboles para el raleo, pueden seguirse los siguientes criterios, en orden de prioridad: por su estado fitosanitario, por la rectitud del tronco, por el diámetro de los individuos, y por la altura de los individuos. Es importante resaltar la ganancia en incremento de diámetro de árboles dentro de los rodales después de la aplicación de los raleos. La selección de sitio adecuada combinada con la realización de tratamientos silviculturales, ha permitido registrar en Guatemala, plantaciones con dap promedio > a 41 cm y con más de 25 m de altura en 13 años de edad, es decir, las oportunas intervenciones han permitido que la especie exprese su máxima aptitud de crecimiento.

6. La familia de modelos de crecimiento permiten estimar de forma aproximada la tendencia de la producción de las plantaciones en una calidad de sitio determinada, con el objeto de respaldar la toma de decisiones y la necesidad de promover el manejo de las plantaciones, así mismo, pronosticar y simular los efectos de la posible respuesta de intensidades y frecuencias de los raleos; sin embargo, no pueden brindarnos un valor exacto de la productividad de la plantación forestal evaluada.

14. Bibliografía

- Agrios, GN. 1989. Fitopatología, enfermedades de plantas. Trad. Manuel Guzmán, México. Limusa. 756 p.
- Agustín Alvarado, J. 2008. Evaluación de la situación actual de la plaga de Gorgojo de Pino (*Dendroctonus* spp.), y propuesta de manejo para el control del ataque en la region VI Quetzaltenango. Tesis Lic. Ing. Agr. Quetzaltenango, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 92 p.
- Ainsworth, GC. 1995. Dictionary of the fungi. 8 th. Ed. N.Y. USA. CAB. International Mycological Institute. 616 p.
- Barnett, HL. 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. 3° th.Ed. Minnesota, USA. Burgees Publishing. 239 p.
- Butz Chen, MR. 2011. Evaluación del efecto de la fertilización en el desarrollo de Pino Candelillo, *Pinus maximinoi* H.E. Moore de un año de edad con aplicación de fertilizante (15-15-15 y Biocofya), en la Cooperativa Chirrepec, Cobán, Alta Verapaz. Instituto Técnico Experimental en Recursos Naturales. Alta Verapaz, Guatemala. 49 p.
- Cal Amalem, M. 2017. Evaluación del crecimiento de plantaciones forestales de *Pinus maximinoi*; Cobán, Alta Verapaz, Guatemala. Sistematización de Práctica Profesional. Lic. Ing. For. San Juan Chamelco, Alta Verapaz, Guatemala. Universidad Rafael Landívar. 73 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1991. Manual de Consulta: Plagas y enfermedades de América Central, Turrialba, CR. 185 p. (Serie técnica. Manual técnico/CATIE; No.3)
- Castillo Jiménez, D. 2004. Experiencias en la propagación vegetativa del Pino Candelillo *Pinus maximinoi* H.E. Moore con énfasis en la utilización del ácido indol-3-butírico en el vivero forestal de P&C Maderas Internacionales, en el departamento de Escuintla, Guatemala.
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2009. Lista de especies amenazadas de Guatemala –LEA- y Listado de especies de flora y fauna silvestres CITES de Guatemala. 2ed. Guatemala, Guatemala. 124 p. (Documento Técnico 67 (02-2009))
- Cordero, J; Boshier, DH (eds.). 2003. *Pinus oocarpa* Schiede. In: Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute UK– Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CR. Pp. 767- 770.
- Dvorak, WS; Gutierrez, EA; Hodge, GR; Romero, JL; Stock, J; Rivas, O. 2000. *Pinus oocarpa*. In: Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative. Raleigh (EEUU), NCSU (North Carolina State University). 128 P.

- Enriquez, F. 2003. Evaluación de nueve sustratos para la producción de Pino Candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore) utilizando contenedores V-93 en San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala. Alta Verapaz, Guatemala. Tesis Lic. Ing. Agr. USAC. 103 p.
- Farr, D; Bills, G; Chamuris, G; Rossman, A. 1989. Fungi on plants and products in the U.S. USA. American Phytopathological Society. 1252 p.
- Fuentes Archila, L. 2014. Productividad de las plantaciones forestales en los diferentes tipos de raleos en la región II, Las Verapaces. Sistematización de práctica profesional supervisada. Lic. Ing. For. Guatemala. Universidad Rafael Landívar. 64 p.
- González Coronado, AJR. 1992. Presencia de estructuras de almacenamiento e incidencia de la roya agalladora (*Cronartium* sp.) en viveros de pino (*Pinus* sp.) en los departamentos de Guatemala, Baja Verapaz, Zacapa, El Progreso, Jalapa, Sacatepéquez, Chimaltenango y Huehuetenango. Tesis Lic. Ing. Agr. Guatemala, Guatemala. USAC. 46 p.
- González Ixcamparic, S. 2005. Evaluación de la aplicación del primer raleo y poda su efecto preliminar sobre el crecimiento y en la calidad de plantaciones de *Pinus maximinoi* H.E. Moore y *Pinus oocarpa* Schiede en la Subregión II-3, del Instituto Nacional de Bosques –INAB–Cobán, Alta Verapaz. Tesis Lic. Ing. Agr. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 42 p.
- González Sagui, ML. 2004. Caracterización del complejo de patógenos causales del Tizón de la acícula del pino en la Finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz. Tesis Lic. Ing. Agr. Guatemala, Guatemala. USAC. 120 p.
- Hernández Estrada, H. 2006. Aportes técnicos y científicos forestales en plantaciones de pino en Finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz. Tesis Lic. Ing. Agr. RNR. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 71 p.
- Hernández Molina, EG. 2004. Experiencias en recolección y acondicionamiento de frutos y semillas de 25 especies forestales con demanda en el programa de incentivos forestales. Tesis Lic. Ing. Agr. Guatemala, Guatemala. USAC. 66 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1999. Manual técnico forestal. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques (INAB). 110 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1999. Coníferas de Guatemala (Base de datos forestales DATAFORG). Proyecto "Promoción del conocimiento y uso sostenible de las especies forestales de Guatemala". Guatemala, 102 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Rendimiento y Costos del Procesamiento de Frutos y Semillas de 14 Especies Forestales. Proyecto de Semillas Forestales, CATIE/ Danida Forest Seed Center, INAB Manual técnico. Guatemala, Guatemala, INAB. 49 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2012. Crecimiento y Productividad de Plantaciones Forestales de Pino Candelillo, Guatemala. Guatemala, Guatemala, INAB. 23 p.

- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2015. Informe de Crecimiento y Productividad de 28 especies en Plantaciones Forestales de Guatemala. Guatemala, Guatemala, INAB. 212 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2016. Base de datos del Registro Nacional Forestal de 1993 – 2015. Guatemala, Registro Nacional Forestal del INAB.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2016. Base de datos del Programa de Incentivos Forestales de 1998 a 2015. Guatemala, Registro Nacional Forestal del INAB.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2016. Base de datos del Programa de Incentivos Forestales para Pequeños Poseedores. Guatemala, Registro Nacional Forestal del INAB.
- INAB e IARNA-URL (Instituto Nacional de Bosques e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). 2012. Primer Informe Nacional sobre el Estado de los Recursos Naturales Genéticos Forestales en Guatemala. Guatemala. 210 p.
- Ligorria Berreondo, F. 2015. Efecto del asocio con maíz en el crecimiento costos de una plantación de *Pinus maximinoi* en San Pedro Carchá, Alta Verapaz. Tesis Lic. Ing. For. San Juan Chamelco, Alta Verapaz. Universidad Rafael Landívar. 68 p.
- Mijangos Toc, HG. 2011. Evaluación de tres intensidades de releo en el crecimiento de una plantación joven de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, Santa Cruz, Alta Verapaz. Tesis Lic. Ing. For. Alta Verapaz, Guatemala. URL. 84 p.
- Mittak, WL; Perry. Jr, JP. 1979. *Pinus maximinoi*: its taxonomic status and distribution. Journal of the Arnold Arboretum. Vol. 60. 3ra. Edición. Massachusetts, USA. 11 p.
- Morales Payés, G. 2009. Plan de Manejo general para las principales plagas que afectan plantaciones de pino de Petén (*Pinus caribaea* Morelet var., hondurensis) establecidas dentro del programa de incentivos forestales –PINFOR– en Guatemala. Tesis Lic. Ing. Agr. RNR. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 161 p.
- Navarro González, M. 2018. Desarrollo de un modelo para la identificación de áreas con riesgo de ataque del gorgojo descortezador de pino (*Dendroctonus adjunctus*) en los departamentos de Quetzaltenango y Totonicapán, Guatemala. Tesis Magister Scientiae. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza. 60 p.
- Ortiz, P. 2017. El cambio climático y su relación con el gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus spp*) en Guatemala. In Congreso de Manejo Integrado de Plagas (08, 2017, Guatemala). Presentación PPTX. 31p.
- Paiz Noriega, JE. 2014. Establecimiento de una plantación de Pino Candelillo (*Pinus maximinoi* H.E. Moore) utilizando plantas producidas en bandejas; Finca Chicomom, Cobán, Alta Verapaz (2007 – 2009) estudio de caso. Tesis Lic. Ing. For. Alta Verapaz, Guatemala. URL. 95 p. Primer Taller Nacional Semillas y Viveros Forestales (1, 1985, San José, CR). 1987. (Memoria).

- Rojas, F. San José, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 26 p.
- Ramírez García, RR. 2009. Implementación de actividades, para mejorar la eficiencia en la producción de plantas de Pino Candelillo (*Pinus maximinoi* H.E. Moore. Pinaceae) en bolsas de polietileno en el vivero forestal Rubel-Kiche, S.A. en San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala. Tesis Lic. Ing. For. Alta Verapaz, Guatemala. URL. 68 p.
- Robles Rivera, J. 2007. Comparación de las cantidades ofertadas y demandadas de madera de diámetros menores (8-18 cm) procedente del primer raleo, en plantaciones del Programa de Incentivos Forestales, en la región II del Instituto Nacional De Bosques. Tesis Lic. Ing. Agr. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 88 p.
- Santos Bravo, M. 2011. Bioprospección de *Phytophthora* sp. Asociado a especies forestales de importancia económica en dase de vivero en la región central de Guatemala, C. A. Tesis Lic. Ing. Agr. RNR. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 120 p.
- Salazar, R; Soihet, C; Méndez, JM (comps). 2000. *Pinus maximinoi*. (Nota técnica no. 22). In: Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 43-44. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 41).
- Sánchez Martínez, G; Torres Espinoza, L. M; Vásquez Collazo, I; González Gaona, E; y Narváez Flores, R. 2007. Monitoreo y manejo de insectos descortezadores de coníferas. Aguascalientes, México. INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Pabellón. 107 p. (libro técnico No. 4, Campo Experimental Pabellón).
- Serech Reyes, G. 2017. Atracción del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus* spp.) en bosque natural y plantación, en Pino Colorado (*Pinus oocarpa* Schield), a través del uso de feromonas y trampas cebadas con Frontalina y Aguarrás (Alfa Pinelo) UBICADA EN LA FINCA Santa Catalina, Chiníque, Quiché, Guatemala, C.A. Tesis Lic. Ing. Agr. RNR. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 159 p.
- Sosa Chávez, J. 2005. Determinación de las especies de gorgojo descortezador *Dendroctonus* spp (Coleóptera: Scolytidae) y la relación con sus hospederos de Pino en la finca Saquichaj, Cobán, Alta Verapaz. Tesis Lic. Ing. Agr. RNR. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 144 p.
- Soto Alvarado, AE. 2002. Determinación de enfermedades foliares provocadas por hongos en diez especies forestales en plantaciones ubicadas en los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Petén e Izabal, durante la época lluviosa. Tesis Lic. Ing. Agr. Guatemala, Guatemala. USAC. 87 p.
- Valdez Cancinos, DA. 2005. Comportamiento de la viabilidad de las semillas de cuatro especies forestales almacenadas a 5° Celsius en el Banco de Semillas Forestales del Instituto Nacional de Bosques -BANSEFOR- Guatemala. Tesis Lic. Ing. Agr. Guatemala, Guatemala. USAC. 73 p.

Véliz Pérez, ME; Barrios, AR; Dávila Pérez, CV. 2007. Actualización Taxonómica de la Flora de Guatemala, Capítulo 1. Pinophyta (coníferas). Guatemala, Herbario BIGU, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Dirección General de Investigación - DIGI-, Universidad de San Carlos de Guatemala. 131 p.

Zamora Cristales, R. 2003. Caracterización de las plantaciones forestales de *Pinus maximinoi* y *Pinus caribaea*, establecidas en el Programa de Incentivos Forestales de Guatemala. Tesis Lic. Ing. For. Guatemala, Guatemala. UVG. 124 p.



Dirección de Desarrollo Forestal
Departamento de Investigación Forestal
7a avenida 12-90, zona 13
Teléfono: 2321-4600
www.inab.gob.gt



Instituto Nacional de Bosques
Más bosques. Más vida

