

**Fondo Nacional de Financiamiento Forestal  
Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica**

**Pino (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*): condiciones para su cultivo  
“Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las  
reservas de carbono”**

**Héctor A Martínez H  
Consultor**

**Moravia, Mayo de 2015**

## **Acrónimos**

ACT:	Área de Conservación Tempisque
AFE:	Administración Forestal del Estado
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
BM:	Banco Mundial
CACH:	Centro Agrícola Cantonal de Hojancha
CAF:	Certificado de Abono Forestal
CAFA:	Certificado de Abono Forestal por Adelantado
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CODEFORSA:	Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos
COOPEAGRI:	Cooperativa Agrícola Industrial y de Servicios Múltiples El General
CRUSA:	Fundación Costa Rica - USA
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FONAFIFO:	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FSC:	Forest Stewardship Council
FUNDECOR:	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
IMA:	Incremento Medio Anual
ISO:	International Standard Organization
MINAE:	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
OET:	Organización para Estudios Tropicales
ONF:	Oficina Nacional Forestal de Costa Rica
PIB:	Producto Interno Bruto
PNUF:	Plan Nacional de Desarrollo Forestal
PSA:	Pago por Servicios Ambientales
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
SINAC:	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
TIR:	Tasa Interna de Retorno

## Contenido

Acrónimos .....	ii
Resumen ejecutivo.....	5
<b>1. Antecedentes</b> .....	6
<b>1.1 Marco de referencia</b> .....	6
<b>1.2 ¿Por qué pinos?</b> .....	7
<b>2. Requerimientos biofísicos</b> .....	7
2.1 Precipitación anual.....	7
2.2 Temperatura media.....	8
<b>2.3 Altitud</b> .....	9
2.4 Suelos .....	9
2.4.1 Textura.....	9
2.4.2 Drenaje.....	9
2.4.3 Reacción del suelo .....	9
2.4.4 Profundidad.....	9
<b>3. Formas de reproducción y producción en vivero</b> .....	12
<b>3.1 Reproducción por semillas y otras formas</b> .....	12
3.2 Tiempo en vivero .....	12
3.3 Fertilización y controles químicos.....	13
3.4 Preparación y envío.....	13
<b>4. Establecimiento</b> .....	14
4.2 Protección de las plantaciones .....	15
4.3 Selección del sitio.....	15
4.4 Preparación del suelo.....	16
4.5 El sitio y comportamiento de pino caribe.....	17
4.6 El fenómeno de la “cola de zorro” .....	21
4.7 Acidificación de los suelos como efecto de plantación de pinos.....	24
<b>5. Manejo</b> .....	26
5.1 Densidad de plantación .....	26
5.2 Control de malezas.....	27
5.3 Fertilización.....	27

5.4 Podas .....	27
5.5 Raleos .....	28
5.6 Crecimiento .....	29
5.7 Plagas y enfermedades.....	34
5.8 Cosecha .....	36
5.9 Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión.....	36
<b>Literatura citada.....</b>	<b>37</b>
<b>Anexo 1. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas</b>	<b>41</b>

## Resumen ejecutivo

*Pinus caribaea* Morelet incluye tres variedades: *Pinus caribaea* Mor. var *caribaea* (típica) de Cuba y las Isla de los Pinos (de la Juventud), *Pinus caribaea* Mor. var *hondurensis* Barr. y Golf. nov. var en América Central y *Pinus caribaea* Mor. var *bahamensis* Barr. y Golf. nov. var. en Bahamas e Islas de Caicos; en la segunda mitad del siglo XX fue una de las especies más ampliamente plantadas a nivel mundial no solo para producción de madera para aserrío y producción de pulpa, sino para el control de erosión, como cortinas rompe vientos y como ornamental; la especie ha sido seleccionada como una de las especies prioritarias en el proyecto “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”.

La madera se utiliza en construcción (en Costa Rica como formaleta), manufactura de muebles y tableros y la fabricación de enchapados. Es una especie de crecimiento relativamente rápido, que crece bien en diferentes condiciones de suelos, aunque prefiere los suelos sueltos, bien drenados, de texturas livianas francas, franco-arenosas, franco-arcillo arenosas hasta arcillosos, profundos, planos o con pendientes inferiores al 30% y con pH entre 5,0 y 6,5, localizados a menos de 500 msnm, temperaturas entre 24º C y 30º C, precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anuales y cuatro meses secos. Estos sitios se distribuyen en Guanacaste, incluyendo la Península de Nicoya. Buena parte de la costa pacífica en la Provincia de Puntarenas y la costa caribe costarricense; el área óptima para el establecimiento de la especie en Costa Rica se puede estimar 756.768 ha de las cuales 39858 ha no presentan limitación alguna.

La silvicultura de la especie es conocida y existe experiencia técnica nacional y disponibilidad de información sobre la investigación realizada por centros especializados y universidades nacionales. Se propaga fácilmente por semillas y el germoplasma puede obtenerse fácilmente de bancos de semillas nacionales o regionales (Nicaragua, Honduras, Guatemala), provenientes de rodales seleccionados, por lo que no hay problemas para consecución de semillas.

Comúnmente se planta se recomiendan espaciamientos de 3,0 m x 3,0 m para una población inicial de 1100 árboles ha<sup>-1</sup>. En Costa Rica se ha propuesto regímenes de raleo de alrededor del 50% de intensidad a los 8 y 12 años en plantaciones de 15-25 años de rotación, manteniendo un índice de densidad de rodal de entre 483 y 759 árboles hasta el segundo raleo, cuando el índice baja a 207-483 árboles (Rojas y Ortiz 1991); en otras regiones con mayor experiencia en el manejo de la especie se han propuesto diferentes regímenes de raleo: en Queensland, Australia, en turnos de 30 años se recomiendan dos raleos, uno de carácter fitosanitario, con una intensidad de 30% - 34% a los 2-3 años y un segundo raleo sistemático del 40% a los 22 años; en Uganda, para ciclos de corta de 18 años se utiliza un primer raleo con intensidades entre 35% y 37% a los 4-6 años de edad y un segundo de carácter sistemático a los 8-9 años con una intensidad de 30%; en la Orinoquía colombiana, con ciclos de corta de 15 años la propuesta es un primer raleo de 50% de intensidad a los 8 años y un segundo de 50% al año 12, con cosecha final al año 15.

# **Pino (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W.H.G. — PINACEAE — Barrett et Golf. ): condiciones para su cultivo**

Héctor A Martínez H  
Consultor

## **1. Antecedentes**

### **1.1 Marco de referencia**

Los “Términos de Referencia para la contratación de la consultoría Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono” (TdR) establecen que el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) es el responsable, según asignación legal, del financiamiento del sector forestal costarricense, mediante el financiamiento a través de dos modalidades: pago por servicios ambientales y crédito dirigido a pequeños y medianos productores. FONAFIFO es, además, el punto focal de REDD+ y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP), el cual ha definido como una de las acciones estratégicas para Redd+ el aumento de la producción y el consumo sostenible de madera, como una de las formas para aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

La consultoría indicada ha sido contratada por el FONAFIFO y responde ante un Comité Evaluador, nombrado por el Director Ejecutivo de FONAFIFO, del que forma parte la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal N° 7575 para promover el desarrollo forestal del país.

El objetivo general de la consultoría es: Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono.

El logro de este fin requiere el alcance de los siguientes objetivos específicos:

- a) Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- b) Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.
- c) Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

La promoción del establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera requiere, como paso previo, la identificación de las principales barreras a la actividad. Los términos de referencia para el presente trabajo de consultoría solicitan la elaboración de paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades, para cinco especies prioritarias. Previamente se elaboró un documento para la priorización de las especies<sup>1</sup> y entre ellas se seleccionó *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (pino).

---

<sup>1</sup> Martínez H., H.A. 2014. Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”. Moravia, Costa Rica, FONAFIFO (Fondo Nacional de Fomento Forestal). 39 p.

## 1.2 ¿Por qué pinos?

Los pinos son, después del eucalipto, el género más ampliamente plantado a nivel mundial y en América. La madera se utiliza en construcción (en Costa Rica como formaleta), manufactura de muebles y tableros y la fabricación de enchapados. Es una especie de crecimiento relativamente rápido, que crece bien en diferentes condiciones de suelos, aunque prefiere los suelos sueltos, bien drenados, de texturas livianas francas, franco-arenosas, franco-arcillo arenosas hasta arcillosos, profundos, planos o con pendientes inferiores al 30% y con pH entre 5,0 y 6,5, localizados a menos de 500 msnm, temperaturas entre 24º C y 30º C, precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anuales y cuatro meses secos. Estos sitios se distribuyen en Guanacaste, incluyendo la Península de Nicoya. Buena parte de la costa pacífica en la Provincia de Puntarenas y la costa caribe costarricense; el área óptima para el establecimiento de la especie en Costa Rica se puede estimar 756.768 ha de las cuales 39858 ha no presentan limitación alguna.

La silvicultura de la especie es conocida y existe experiencia técnica nacional y disponibilidad de información sobre la investigación realizada por centros especializados y universidades nacionales. Se propaga fácilmente por semillas y el germoplasma puede obtenerse fácilmente de bancos de semillas nacionales o regionales (Nicaragua, Honduras, Guatemala), provenientes de rodales seleccionados, por lo que no hay problemas para consecución de semillas.

## 2. Requerimientos biofísicos

### 2.1 Precipitación anual

*P. caribaea* Morelet es una especie de árbol ampliamente comercializada por su madera, introducida intencionalmente en todo el mundo para establecer plantaciones forestales desde la segunda mitad del siglo XIX. Se clasifica como una especie invasora que causa graves problemas a los hábitats naturales en Bangladesh, Brasil, Australia, las Islas Cook, Hawái, Guam, Nueva Caledonia y la Polinesia Francesa (Oppenheimer, 2003; Afrin et al, 2010; Departamento de Agricultura de Queensland, Pesca y Silvicultura, 2010; Simberloff et al, 2010; PIER, 2013).

Lückhoff (1964) concluyó que la especie debe subdividirse en tres taxa para cubrir las proveniencias de (a) Cuba, (b) América Central y (c) Las Bahamas y las Islas de Caicos; adicionalmente propone el uso del término “subespecies” en lugar de variedades.

Barrett y Golfari (1962), en forma paralela a Lückhoff, llegaron a la misma conclusión que éste, pero proponen el uso de variedades (aceptado actualmente):

- a) *Pinus caribaea* Mor. var *caribaea* (típica) de Cuba y las Isla de los Pinos (de la Juventud);
- b) *Pinus caribaea* Mor. var *hondurensis* Barr. y Golf. nov. var en América Central;
- c) *Pinus caribaea* Mor. var *bahamensis* Barr. y Golf. nov. var. en Bahamas e Islas de Caicos.

*Pinus caribaea* se extiende desde los 27º 25' N en Gran Bahamas y Gran Abaco, hasta 12º 13' N al norte de Bluefields en Nicaragua, y desde 71º 40' W en las Islas de Caicos, hasta 89º 25' W en Poptun en Guatemala.

*P. caribaea* var. *hondurensis* forma los bosques naturales de pino de Belice, desde la costa en la vecindad de Stann Creak, hasta 200 km dentro del territorio, en alturas entre 460 m y 760 m, principalmente en el área de Mountain Pine Ridge. En Guatemala la misma variedad forma pequeños bosquetes naturales abiertos, pero particularmente de gran calidad a elevaciones de aproximadamente 460 m, principalmente en la vecindad de Poptún (en el departamento de El Petén, Guatemala). La ocurrencia en estas áreas representa la penetración más al oeste de la especie (CABI 2014).

Bosques puros de la variedad *hondurensis* ocupan grandes área a lo largo de de la Mosquitia hondureña. Ocasionalmente pueden llegar a 900 msnm en las montañas interiores. En Nicaragua los bosques de *P. caribaea* están mayormente confinados a la Mosquitia y son prolongación de los bosques de la llanura costera hondureña (Poynton, 1977). *P. caribaea* y sus variedades fueron introducidas en forma intencional en plantaciones forestales en más de 50 países tropicales y subtropicales durante los siglos XIX y XX (Richardson, 1998).

La precipitación en la que se desarrolla la especie varía entre 660 y 4.000 mm (CABI 2014); de acuerdo con Lamb (1973) la especie se presenta en forma natural en sitios con 1060 mm anuales en la costa sur de Cuba hasta 1794 mm en Nueva Gerona (Isla de los Pinos o la Juventud); en las Bahamas se desarrolla en sitios con precipitaciones de 1.200 a 1.500 mm año<sup>-1</sup>; en América Central se localiza en Belice (Mountain Pine Ridge) en áreas con precipitación de 1.500 mm año<sup>-1</sup>, mientras en Poptun, Guatemala, la precipitación es de 1.690 mm, en el interior de Honduras y Nicaragua la precipitación de las áreas de distribución natural de la especie tienen 1.200 y 1.500 mm anuales. A medida que la especie se acerca a la costa caribe se incrementa la precipitación llegando a 3.900 mm en el extremo sur de la distribución natural, cerca de Bluefields.

En buena parte de la distribución natural se presenta una estación seca (menos de 75 mm) que puede extenderse de 2 a 5-6 meses, mientras que los sitios con mayor precipitación tienen periodos de menor precipitación (no inferior a 75 mm) de dos meses o menos. La excepción es la parte alta del valle de Choluteca en Honduras (700 m sobre el nivel del mar) con menos de 660 mm anuales y hasta seis meses con menos de 40 mm de precipitación.

## **2.2 Temperatura media**

La temperatura anual promedio del área de distribución en las Bahamas es de 25° C. En Cuba, en los sitios con pino caribeño, la temperatura anual promedio varía entre 24,5° C y 25,5° C y en la América Central entre 20° C y 27° C (Bega y Henderson 1962). No hay heladas en la totalidad de su área de distribución. En la América Central, la especie crece en las zonas de vida (sensu Holdridge 1967): bosque tropical seco, bosque tropical húmedo, bosque premontano húmedo y bosque premontano muy húmedo (Borota 1971). En el Caribe, los rodales nativos se encuentran confinados casi por completo a la zona de vida del bosque subtropical húmedo. En las zonas costeras los extremos son menos pronunciados variando entre 15,6° C y 32,3° C (Lamb 1973).

Las temperaturas medias oscilan entre 22° C y 28° C. En las islas donde *P. caribaea* crece en forma natural, en lugares donde la temperatura varía desde 22,1° C en el mes más frío (enero), hasta 28,3° C durante el mes más caliente (agosto); en Cuba este rango varía entre 12,3° C y 34,1° C. En el interior de América Central las temperaturas generalmente varían entre 22° C y hasta 28° C (Lamb 1973).

## 2.3 Altitud

La especie crece desde el nivel del mar hasta los 700 msnm (Barret y Golfari 1962; Lückhoff 1964; Lamb 1973); CABI (2014) indica que la especie se alcanza los 850 msnm en algunos lugares de América Central.

## 2.4 Suelos

### 2.4.1 Textura

Los bosques naturales de la especie se desarrollan sobre suelos de origen calcáreo con pH superior a 5,0; Simmons, citado por Lückhoff (1964) indica que en Poptún, en rodales naturales de la especie, en los primeros 50 cm de profundidad los suelos son arcillosos, con concreciones de manganeso y reacción ligeramente ácida; a más de 50 cm y hasta un metro el subsuelo es arcilloso, con mayor presencia de manganeso y poca reacción ácida.

En la costa caribe de Belice, Honduras y Nicaragua los suelos son generalmente limosos o limo-arenosos, generalmente con presencia de grava y bien drenados (Lamb 1973).

Los suelos son generalmente arcillosos o arcillo arenosos, a veces con grandes cantidades de grava y generalmente bien drenados. El pH es por lo general entre 5,0 y 5,5.

### 2.4.2 Drenaje

La especie presenta el mejor crecimiento en suelos profundos, húmedos, bien drenados y con buen suministro de nutrimentos. Sin embargo en los bosques naturales de la costa de la Mosquitia hondureña y nicaragüense se pueden encontrar áreas parcialmente inundables durante periodos cortos (CABI 2014).

### 2.4.3 Reacción del suelo

Los mejores crecimientos se dan en suelos con pH arriba de 5,0, generalmente arriba de 5,5. La especie se ha plantado en diversidad de suelos, aunque sus mejores crecimientos se han presentado en suelos sueltos, bien drenados, incluyendo mollisoles, inceptisoles, ultisoles y oxisoles (Barret y Golfari 1962; Lamb 1973; Alvarado et al. 2012; CABI 2014).

### 2.4.4 Profundidad

La especie requiere suelos profundos (> 80 cm), sueltos y bien drenados. El cuadro 1 presenta un resumen de los requerimientos biofísicos de la especie.

Rango	Requerimientos biofísicos						Incremento medio anual				
	pH	Pendiente (%)	Altitud (msnm)	Precipit (mm año <sup>-1</sup> )	meses secos	Rango temp °C	dap (cm año <sup>-1</sup> )	Altura (m año <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Alto	5,0-6,5	< 30	< 500	1000-2000	4	24-30	≥ 2,0	≥ 1,5	≥ 30	≥ 3,0	≥ 20,0
Medio	4,0-6,5	< 35	< 800	1000-3200	2-6	22-30	1,6 - 1,9	1,1 - 1,9	20,1 - 29,9	2,1 - 2,9	12,1 - 19,9
Bajo	≤ 4,0	> 35	>800 - 1000	<1000 o >3200	>6	< 22	≤ 1,5	≤ 1,0	≤ 20	≤ 2,0	≤ 12

Fuente: Elaboración propia; rendimientos tomados de Vazquez y Ugalde, 1995

Crece bien en diferentes condiciones de suelos, aunque prefiere los suelos sueltos, bien drenados, de texturas livianas francas, franco-arenosas, franco-arcillo arenosas hasta arcillosos, profundos, planos o con pendientes inferiores al 30% y con pH entre 5,0 y 6,5, localizados a menos de 500 msnm, temperaturas entre 24º C y 30º C, precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anuales y cuatro meses secos. Estos sitios se distribuyen en Guanacaste, incluyendo la Península de Nicoya, buena parte de la costa pacífica en la Provincia de Puntarenas y la costa caribe (Mapa); el área óptima para el establecimiento de la especie en Costa Rica se puede estimar 756.768 ha de las cuales 39858 ha no presentan limitación alguna.

Con menos suceso en el comportamiento de las plantaciones se pueden considerar las áreas hasta 800 msnm y pendientes de hasta 35%, con precipitación que varía entre 1000 y 3200 mm anuales con estación seca de 2-6 meses y temperaturas entre 22º C y 30º C. al área anterior se puede sumar un área de 84.145 ha adicionales.

Otras áreas en las que la especie puede crecer con muchas limitaciones corresponde a zonas con pH < 4,0, más de 35% de pendiente, que puede extenderse hasta los 1000 msnm, con precipitaciones menores a 1000 mm anuales o superiores a 3200 mm; estas condiciones adicionan 146.430 ha al área de posible plantación.



**Áreas con potencial para el establecimiento de plantaciones de *Pinus caribaea* (áreas consideradas óptimas).**

Fuente: elaboración propia a partir de capas de información geográfica.

### 3. Formas de reproducción y producción en vivero

#### 3.1 Reproducción por semillas y otras formas

La especie se reproduce comúnmente por semillas provenientes de rodales seleccionados o adquiridas a través de Bancos de Semillas especializados.

Los frutos son conos oblongos, de color café claro, asimétricos, de 6 a 14 cm de largo y 2,8 a 4,8 cm de ancho cuando cerrados y 6 a 7,5 cm cuando abiertos, con pedúnculo corto de hasta 1,0 cm de largo, caedizos, con escamas delgadas y flexibles (Greaves 1978). En su área de distribución natural los conos alcanzan la madurez entre junio y julio en sitios costaneros y de julio a agosto en las tierras altas del interior. Los conos almacenados en forma inadecuada son fácilmente susceptibles de infestaciones con mohos fungosos, que pueden causar problemas durante la germinación. La infestación con hongos es común en las semillas provenientes de áreas con alta precipitación.

Las semillas son ligeramente ovoides, de 6,5 mm de largo y 3,5 mm de ancho con 2 mm de grosor; su color varía de pardo claro a castaño y hasta negruzco. Poseen un ala membranosa que se desprende fácilmente y los embriones poseen cinco a nueve cotiledones. Generalmente hay entre 50.000 y 60.000 semillas por kg; se han reportado porcentajes de germinación de 80 a 95% y porcentajes de pureza de 95 a 99%.

Se ha reportado la presencia de hongos como *Mucor*, *Curvularia*, *Botryodiplodia*, *Trichoderma* y *Fusarium roseum* en lotes de semillas. En el vivero es común el “mal de talluelo” (Damping off).

Hay varios hongos conocidos que causan manchas en las acículas de los pinos, probablemente el más peligroso es *Scirrhia acicola*, que causa pérdidas muy grandes en los viveros y plantaciones jóvenes de *P. caribaea*; para su control se usa Caldo Bordelés (sulfato de cobre y cal viva) en solución de 2% en agua. En Honduras se ha observado la decoloración de las acículas, la enfermedad aparece de 6 a 8 semanas después de la germinación, el crecimiento de la plántulas cesa, las acículas primarias se vuelven de color amarillento, las acículas inferiores se ponen de color castaño rojizo y finalmente mueren; asociado con estos síntomas se identificó el hongo *Pestalotia*, sp. (saprófito oportunista).

#### 3.2 Tiempo en vivero

En las zonas tropicales generalmente la producción de plántulas se realiza en recipientes (bolsas de polietileno, tubetes de cartón o papel kraft, o, últimamente, la utilización de pellets de turba), aunque en condiciones controladas se puede utilizar la producción a raíz desnuda.

Aun cuando se considera que la poda de raíces eleva los costos de producción, la práctica permite producir plantas de mejor calidad, mejor adaptadas que garantizan una mejor plantación y por tanto mayores rendimientos en el largo plazo.

Al utilizar la producción a raíz desnuda, debe ponerse cuidado a la calidad de las plantas, el método de embalaje y la manipulación al plantar; el secamiento de las raíces es uno de los mayores retos. Las plántulas requieren de un periodo de endurecimiento fisiológico que permita la lignificación adecuada

del tallo; las plántulas deben ser seleccionadas por su sanidad, forma y coloración (no mostrar síntomas de deficiencias).

La germinación es de tipo epigea y se inicia a los siete días después de la siembra, en la mayoría de los casos al cabo de 15 días el 80% de la semilla ha germinado; las semillas pueden sembrarse directamente en bolsas plásticas, con una o dos semillas por bolsa, o en cajas germinadoras. Las semillas no son inactivas, pero en algunos lugares se utiliza la inmersión de las semillas en agua limpia por periodos de 12 horas, seguidos de una estratificación en frío (4-5° C) para obtener una germinación abundante y uniforme (CATIE 2000).

El proceso de germinación tarda de 12 a 15 días. En los germinadores, una vez las plántulas alcanzan 3 a 4 cm de altura y adquiere la forma de fosforito, son trasplantadas a bolsas. Para el mejor desarrollo de la especie se recomienda utilizar sustratos moderadamente ácidos (pH 5,0-5,5). La producción de plántulas en viveros requiere de 4-6 meses, para favorecer el endurecimiento de las plántulas. Al inicio es necesario aplicar micorrizas provenientes de suelos de plantaciones maduras para estimular el desarrollo de las plántulas (Vega 1964). Las plantas están listas para ir al campo definitivo cuando alcancen los 25-30 cm (Napier y Willan 1983).

### **3.3 Fertilización y controles químicos**

Estudios sobre fertilización de coníferas en Andisoles de Colombia a partir de 1971 (Ladrach 1980, citado por Alvarado et al 2012), comprobaron la enorme respuesta que estas especies tienen a la aplicación de P>B>N, elementos que permiten aumentar el crecimiento de los árboles y el volumen de madera producido. En el caso del B, su deficiencia se reconoce porque los árboles de pino y ciprés presentan una apariencia achaparrada y porque su aplicación reduce la bifurcación y la incidencia del secamiento terminal.

La adición de 4 aplicaciones de fertilizante foliar al 1% de 10 macro y micro nutrientes con intervalos de un mes en plántulas de *P. caribaea* en dos tipos de suelo (rojos y derivados de pizarras), aumentó el peso de las plántulas y duplicó el Mg foliar, efecto que es más notorio en los suelos derivados de pizarras. En suelos ácidos, franco arcillosos y poco profundos de Pinar del Río, Cuba, la adición de 1 g por plántula de 8-10-10 después de germinada la semilla favoreció el desarrollo de los arbolitos (Herrero et al. 1985). Si la especie se introduce a un sitio nuevo, debe inocularse con micorrizas, para lograr su prendimiento y un mejor crecimiento (Vega 1964).

### **3.4 Preparación y envío**

En bandejas de hasta 30 plántulas (en bolsas de polietileno de 4" x 6" o 4" x 8") o de 96 a 150 plántulas en "jiffys"; cada vivero define la cantidad y arreglos necesarios para garantizar la cantidad adecuada, de acuerdo al método de plantación seleccionado. Las plántulas criadas en bolsa generalmente salen con una altura de 20 cm -30 cm, mientras que plántulas en jiffys pueden tener entre 10 cm y 30 cm. A menor altura de las plántulas, mayor exigencia con el control de malezas en el campo.

## 4. Establecimiento

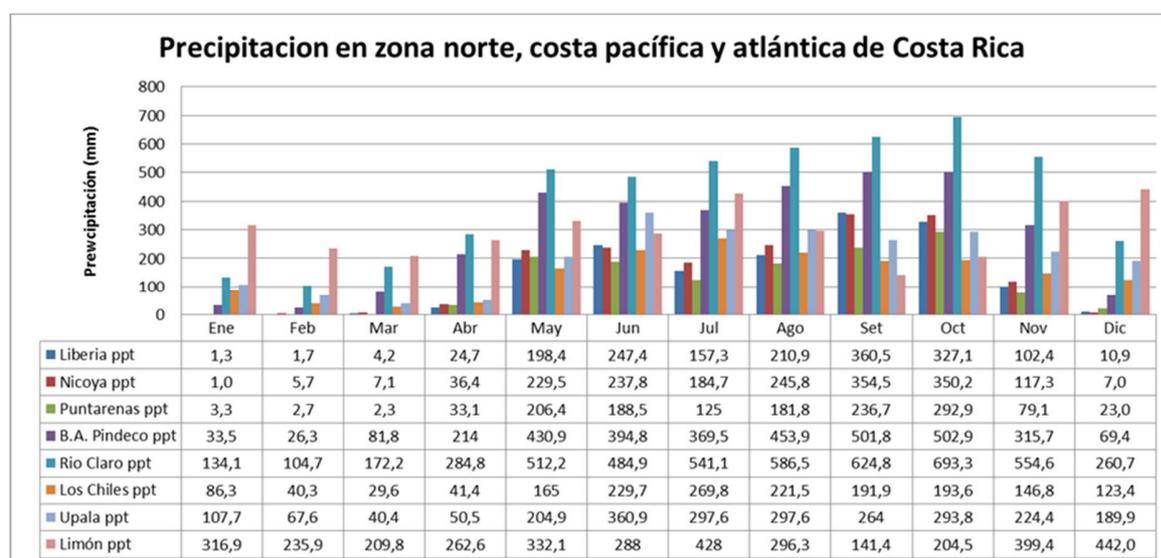
### 4.1 Época de establecimiento

Las plántulas y el sitio deben estar listos para el establecimiento de la plantación al inicio de la época de lluvias, para aprovechar toda la estación de crecimiento. En Costa Rica este periodo inicia regularmente a finales de mayo o inicios de junio y se extiende hasta noviembre (Guanacaste, costa pacífica y zona norte).

El establecimiento debe realizarse en días frescos, preferentemente en la mañana, y con altas posibilidades de lluvia, que reduzcan la transpiración de las plantas. Cuando se utiliza el método de raíz desnuda, la plantas deben protegerse con musgo, papel periódico o granza de arroz, para evitar la desecación y la exposición directa al sol.

Plántulas en envases pueden crecer inicialmente más rápido que las de raíz desnuda, sin embargo el crecimiento puede igualarse al cabo de un tiempo. Cualquiera sea el método de producción, las plantas deben alcanzar los 25 – 30 cm de altura al ir al campo; el mayor limitante para el uso de plantas en envases es el costo (adquisición de sustrato, transporte, plantación en campo).

En el área de Buenos Aires las lluvias sobrepasan los 100 mm mensuales a partir de abril y la estación seca se extiende de diciembre a marzo; en el área de Río Claro todo el año la precipitación es superior a 100 mm (febrero es el mes de menos lluvias con 105 mm), por lo que se podría plantar en cualquier época al igual que en el área de Limón, donde hay una estación de menos lluvias en los meses de septiembre y octubre, aunque con precipitaciones superiores a 140 mm (figura 1).



**Figura 1. Distribución mensual de las lluvias en sitios seleccionados de la zona norte, costa pacífica y atlántica de Costa Rica.**

Fuente: Elaboración propia a partir de, Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. En línea.

<http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?EVENTTARGET=LinksInfoClimatica>

Los sitios para plantación deben estar listos al inicio de las lluvias. Normalmente en los sitios donde crece naturalmente la especie, en la llanura atlántica centroamericana, se presentan incendios que estimulan el crecimiento inicial de la regeneración, por lo que algunos autores han sugerido que el uso del fuego como herramienta para preparar los sitios de plantación es una herramienta adecuada, teniendo el cuidado de controlar adecuadamente el fuego.

#### **4.2 Protección de las plantaciones**

Como con todas las plantaciones forestales, se hace necesario proteger a las nuevas plantaciones del fuego, especialmente en la época seca, mediante el establecimiento de rondas cortafuegos, así como del ingreso de animales que pueden no solo pisotear sino, además quebrar los plantones recién establecidos.

La protección contra el fuego se hace estableciendo “rondas o barreras cortafuego” (camino de hasta 4 m de ancho) bordeando las plantaciones, para disminuir el riesgo de ingreso del fuego desde el exterior, facilitar el movimiento de vehículos y personal de control, así como personal de bomberos. La presencia de guardias, especialmente en la época de mayor riesgo, constituye una práctica adecuada de protección.

#### **4.3 Selección del sitio**

La especie se ha empleado en planes de reforestación en diferentes países latinoamericanos debido a su plasticidad ecológica, adaptabilidad a condiciones adversas (desde suelos ácidos, pobres y pedregosos), fácil manejo y crecimiento rápido. Como conífera, habita en suelos poco fértiles, aunque las plantaciones establecidas en sitios muy degradados y marginales no presentan los rendimientos que corresponden al potencial de la especie (Herrero *et al.* 2004).

En diferentes regiones del trópico americano se ha correlacionado la incidencia de variables ambientales sobre el índice de sitio de *P. caribaea*, incluyendo las características físicas y químicas de los suelos (Isolán 1972; Tobar 1976; Ortega 1986; Vázquez 1987; Vázquez y Ugalde 1994). En general, se considera que la productividad de la especie disminuye conforme aumenta la altura sobre el nivel del mar (Vásquez 1987; Vásquez y Ugalde 1994) y algunas propiedades físicas del suelo, como el mal drenaje, nivel freático cercano a la superficie, densidad aparente alta, o poca profundidad efectiva (< 80 cm) pueden limitar su crecimiento (Isolán 1972; Ortega 1986; Vásquez 1987; Zamora 1986). Márquez *et al.* 1994 mencionan que texturas gruesas, son la causa de la baja retención de humedad del suelo, lo que aunado a la escasa precipitación pluvial desencadenan la muerte súbita en plantaciones de pino en Monagas, Venezuela.

Las condiciones óptimas para el crecimiento de la especie incluyen un pH de entre 5,0 y 5,5, altitud menor a 500 msnm, 1000 a 2000 mm de precipitación anual y con hasta 4 meses secos y temperatura promedio entre 24° C y 30° C. El cuadro 2 presenta los promedios de temperaturas máximas y mínimas en zonas seleccionadas de Costa Rica.

Meses	Liberia		Nicoya		Puntarenas		B.A. Pindeco		Río Claro		Los Chiles		Upala		Limón	
	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max
<b>Ene</b>	20,7	33,4	22,5	33,8	23,7	30,2	19,3	31,9	21,1	32,3	20,8	29,9	21,0	29,2	20,7	28,9
<b>Feb</b>	21,2	34,4	22,7	35,3	24,2	30,9	19,1	33,1	21,4	33,2	20,5	30,9	20,7	30,5	20,7	29,1
<b>Mar</b>	21,6	35,4	23,4	36,1	25,0	31,5	19,9	33,5	21,9	33,6	20,6	32,6	20,9	31,8	21,3	29,7
<b>Abr</b>	22,7	35,9	24,1	36,6	25,3	30,8	21,1	32,4	22,5	32,8	22,0	33,8	21,7	33,2	22,0	30,1
<b>May</b>	23,4	33,9	24,0	34,5	24,7	29,9	21,3	31,0	22,4	31,8	22,8	32,9	22,6	32,6	22,8	30,4
<b>Jun</b>	23,2	32,0	23,5	33,0	23,9	29,2	21,2	30,5	22,2	31,4	23,1	31,7	22,9	31,5	22,9	30,3
<b>Jul</b>	22,8	32,1	23,3	32,9	23,6	29,1	20,9	30,3	22,0	31,2	22,9	30,8	22,8	30,7	22,6	29,6
<b>Ago</b>	22,6	32,1	23,3	32,8	23,7	29,2	20,9	30,5	21,9	31,3	23,1	31,5	22,7	31,2	22,5	30,1
<b>Set</b>	22,4	31,3	23,1	32,3	23,4	28,8	20,7	30,5	21,9	31,3	22,7	32,3	22,5	32,1	22,5	30,6
<b>Oct</b>	22,3	30,9	23,0	31,4	23,3	28,0	20,8	29,7	22,0	30,6	22,6	31,8	22,4	31,4	22,3	30,4
<b>Nov</b>	21,5	31,6	22,9	31,7	23,5	28,5	20,9	29,8	22,1	30,6	22,0	30,5	22,1	29,7	22,0	29,4
<b>Dic</b>	21,0	32,5	22,6	32,8	23,6	29,4	20,3	30,8	21,6	31,4	21,9	29,9	21,5	29,0	21,2	28,9
<b>Promedio</b>	22,1	33,0	23,2	33,6	24,0	29,6	20,5	31,2	21,9	31,8	22,1	31,6	22,0	31,1	22,0	29,8

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

#### 4.4 Preparación del suelo

Para plantaciones de alto rendimiento se recomienda preparación completa del suelo (ruptura de capas endurecidas producidas por el uso anterior. mediante subsolado) arado, alomillado y ahoyado profundo para la postura de las plántulas. Algunos autores recomiendan el uso del fuego como método de preparación por los beneficios derivados de la presencia de cenizas, el control de plagas (Rojas y Ortiz 1991).

En sitios con suelos profundos es recomendable la utilización de hoyos de 20-30 cm de profundidad; en sitios en pendiente se debe utilizar medidas de prevención de la erosión (curvas a nivel y plantación al tresbolillo), además de medidas como terracetas individuales; estas últimas prácticas elevan los costos de establecimiento.

Loaiza (1967) citado por Alvarado et al. (2012), observó que en suelos de baja fertilidad en Turrialba, Costa Rica, la adición de 30 g por árbol del fertilizante 14-14-14 cada 15 días después del trasplante en plantaciones de *P. caribaea* var. *hondurensis*, alcanzaron un crecimiento promedio acumulado en altura fue de 52 cm con fertilización y 42 cm sin fertilizante en seis meses (ganancia neta de 7%). De manera similar, en Colombia, Kane (1992) observó que en suelos ácidos, infértiles y bien drenados, con eliminación de malezas con herbicidas, la aplicación de 80 g por árbol de 12-24-12 a los dos meses después del trasplante, causó un volumen tres veces mayor y un aumento en altura, en comparación con otras parcelas a las que no se les fertilizó, a los 20 meses después de la aplicación; sin embargo, la fertilización en franjas con 90 g de N por árbol en forma de urea causó mortalidad. En Colombia, si los suelos son de muy baja fertilidad, además se recomienda la adición de 40 g de cal dolomítica y 5 g de bórax por árbol (4,2 kg ha<sup>-1</sup>) a la siembra o inmediatamente después de la misma.

El efecto de la adición de P a esta especie en suelos ácidos, también fue estudiado por Kane y Vale (1994). En este caso, a los dos meses después de la siembra, se aplicó y se incorporó con rastra el P en una franja de 1 m de ancho; 20 meses después se encontró que la adición de superfosfato a razón de 50 kg ha<sup>-1</sup> duplicó el volumen de madera (1,78 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), mientras que el testigo solo alcanzó un volumen de 0,92 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Cuando el tratamiento consistió en adicionar la roca fosfórica a razón de 50 kg ha<sup>-1</sup> el

volumen fue de 1,33 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (45% superior al testigo). La aplicación de P causó una baja concentración foliar de K, lo que sugiere la necesidad de aplicar K con el P.

#### 4.5 El sitio y comportamiento de pino caribe

Francis (1989) indica que dentro de ciertos límites climáticos aceptables, el pino caribeño es notablemente insensible a las condiciones del suelo. A pesar de que esta especie crece mejor en suelos fértiles, puede crecer bien en tierras agotadas de nutrientes y erosionadas, tales como los campos petroleros. En las Bahamas y en las Islas Caicos, los árboles de esta especie crecen en suelos de ligeramente alcalinos a moderadamente alcalinos (pH de 7.5 a 8.5) (10). En Cuba y la América Central, el pino caribeño crece en suelos de intensamente ácidos a ligeramente ácidos (pH de 4.5 a 6.5). Los árboles de fuentes centroamericanas crecen de manera pobre o mueren en suelos con un pH arriba de 7.0. El pino caribeño puede crecer de manera aceptable en suelos que tienen subsuelos saturados por parte del año, pero no prosperará en los sitios pantanosos.

Dentro de las plantaciones de pino caribeño de Puerto Rico, el tipo de suelo (Inceptisoles, Ultisoles y Oxisoles) evidentemente no tiene ningún efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento (Peña y Castillo 1981). Sin embargo, en las arenas profundas de las sabanas en el área este de Venezuela que reciben 1000 mm por año de precipitación (>120 cm de profundidad antes de encontrar un aumento en el contenido de arcilla) y en suelos con un nivel de agua subterránea mantenido por un estrato impermeable durante la temporada lluviosa, el pino caribeño parece o crece de manera muy pobre (Franco y Acosta 1984).

Ortega 1986 y Vázquez 1987 indican que el crecimiento de *P. caribaea* es influenciado positivamente por la presencia de niveles adecuados de Cu y valores de pH neutros (Vázquez 1987). En Costa Rica se ha observado una correlación positiva entre el aumento en la altura de los árboles y los contenidos de Ca y Mg en el suelo (Zamora 1986). En Oxisoles y Ultisoles de Venezuela las variables que más se asociaron positivamente con el índice de sitio fueron el porcentaje de arena (A) y la conductividad eléctrica (B) del horizonte B y en forma negativa, el contenido de N en el horizonte A (C), de acuerdo a la ecuación  $IS = 9,056 + 0,106A + 0,852B - 52,737C$  (Tobar 1976).

Waterloo (1994), trabajando en Mollisoles y Oxisoles del Pacífico Polinesio, indica que los requerimientos nutricionales de *P. caribaea* son mayores antes del cierre del dosel de la plantación, reduciéndose marcadamente entre los 6 y 11 años. Lo anterior se atribuye a la liberación de nutrimentos, producto de la muerte del sotobosque que ocurre al cerrarse el dosel (especialmente K), así como al reciclaje de nutrimentos proveniente de la adición de hojarasca (5-9 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) que puede aportar cantidades significativas de Ca, Mg y B. Más del 70% de los residuos de *P. caribaea* se descomponen sobre el suelo entre los 18 y 20 meses, liberándose el 60% del K en los primeros 3 meses y menos del 50% del N, Ca, P y Mg hasta los 18 meses después por lo que estos elementos tienden a acumularse en el suelo.

Los niveles foliares de deficiencia, marginales y adecuados para la especie, definidos por Boardmann et al. (1997) se presentan en el cuadro 2.

**Cuadro 2. Valores tentativos para interpretar niveles foliares de nutrimentos en plantaciones de *P. caribaea* (adaptado de Boardmann *et al.* 1997).**

Elemento	Deficiente	Marginal	Adecuado
N (%)	< 0,80	0,9	1,29
P (%)	< 0,06		0,17
K (%)	< 0,3		
S (%)		0,03	0,089
Ca (%)	< 0,11		
Mg (%)	< 0,80		
Cu (ppm)	< 2,0		7,3
Zn (ppm)			21,55
B (ppm)	4,5	< 10	33

Fuente: tomado de Alvarado *et al.* 2012

**Absorción de nutrimentos:** El cuadro 3, tomado de Alvarado *et al.* 2012, presenta la cantidad de nutrimentos inmovilizados en diferentes partes de la biomasa y mantillo de plantaciones de *Pinus caribaea* en Brasil y Nigeria. De acuerdo con Waterloo (1994), la extracción de nutrimentos de *P. caribaea* en plantaciones de Fiji fue del orden de 235 N, 30,5 P, 132,6 K, 102,6 Ca, 66,7 Mg, 1,6 Zn, 14,4 Mn y 0,30 B kg ha<sup>-1</sup>; en general, el máximo de absorción de los elementos Mg y P se alcanza al año 11, mientras que el de N, K, Ca no se logra aún al año 16. Para la misma especie, Graff (1982) menciona que la extracción de 200 t ha<sup>-1</sup> (71% del total) de madera como pulpa para papel en Surinam puede remover 576 kg N (6%), 36 kg P (22%), 506 kg K (30%), 1218 kg Ca (37%) y 99 kg Mg (24%).

Como puede verse en la información, la remoción de la madera producida durante la cosecha (fustes y ramas gruesas) remueve parte de los nutrimentos del suelo. Una forma de disminuir el impacto consiste en dejar las hojas y ramas en el sitio, para propiciar la reincorporación de nutrimentos; para compensar las salidas se puede utilizar la adición de nutrimentos mediante fertilizantes.

**Fertilización de mantenimiento en plantaciones:** En suelos ácidos (pH 4,2 en agua), franco arcillosos y poco profundos de Pinar del Río, Cuba, Herrero *et al.* (2004) mencionan que la especie responde favorablemente a la aplicación de P, aunque los mejores rendimientos se obtienen con la adición de fórmulas con N, P y K. Se adicionaron niveles crecientes del fertilizante 8-10-10, bajo dos modalidades: adición cada año y adición alteña (año de por medio) por 5 años; se midió el diámetro y la altura y se estimó el volumen a las edades de 6, 8, 15 y 33 años de plantado; hubo una respuesta estadísticamente significativa a la fertilización (cuadro 4), con un máximo de respuesta a los 15 años de edad y disminución de la respuesta al año 33, posiblemente por falta de raleo.

Las dosis más altas permitieron obtener mayores volúmenes de madera. La adición de fertilizantes no causó diferencias significativas sobre la altura de los árboles a los 6 años, sin embargo dos años después se presentó un incremento significativo en la altura con la aplicación de 800 g NPK por árbol, lo que indica que la absorción de nutrimentos en los primeros años de crecimiento es lenta. A cualquier edad, la mejor respuesta en diámetro ocurre con la adición de 1.000 g de NPK, tanto en aplicaciones continuas como alternas. La constancia de los incrementos (promedios anuales del volumen) con la aplicación 800

g en forma alterna y la de 1,000 g de las dos maneras, indica que la competencia limitó el aumento de los rendimientos acorde con la mejoría del sitio.

Edad plantación	Componente	Peso seco	N	P	K	Ca	MG
		(kg ha <sup>-1</sup> )					
6 años Brasil	Hojas	7200	87	10	13	60	6
	Ramas	5100	11	2	2	3	2
	Fuste	46800	84	19	30	19	16
	Corteza	6900	15	2	1	6	1
6 años Nigeria	Hojas	9836	92	4	71	33	17
	Ramas	8287	26	2	12	17	6
	Fuste	35958	83	4	36	40	14
	Corteza	7893	20	1	6	8	3
	Raíces	15600	39	2	31	22	9
	Mantillo	3700	18		9	7	4
	Total	81274	279	12	137	126	62
10 años Nigeria	Hojas	20233	126	6	152	71	36
	Ramas	16752	52	2	30	32	8
	Fuste	76488	138	8	61	61	23
	Corteza	20951	59	2	15	23	6
	Raíces	34149	82	7	68	65	27
	Ramas muertas	2704	7		2	4	
	Mantillo	19710	86	2	47	39	14
	Total	190990	598	27	375	296	116

Fuente: tomado de Alvarado et al.

Cuadro 4. Efecto de la aplicación continua y alternada de fertilizante (8-10-10) sobre el crecimiento de una plantación de *P. caribaea* en Pinar del Río, Cuba (adaptado de Herrero et al. 2004)

Edad (años)	Parámetro	Dosis fertilizante 8-10-10 (g por árbol)							
		0	300	600C	600A	800C	800A	1000C	1000A
6	Altura (m)	4,8	4,8	5,5	5,4	5,5	5,3	5,7	5,1
	Diámetro (cm)	7,2b	7,9ab	8,6ab	8,4ab	8,9ab	8,3ab	9,2a	8,5ab
	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )								
8	Altura (m)	5,6b	5,6b	6,8ab	6,6ab	7,1ab	6,8ab	6,7ab	6,6ab
	Diámetro (cm)	8,7b	8,6b	10,1ab	10,0ab	10,3ab	9,6ab	10,8ab	10,3ab
	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )								
15	Altura (m)	11,0b	10,7b	12,4a	12,8a	12,9a	13,0a	13,1a	12,9a
	Diámetro (cm)	14,1b	14,1b	15,9ab	16,4ab	16,9a	17,3a	17,4a	16,9a
	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	79,8b	82,0b	125,3ab	144,6a	137,5a	143,0a	157,3a	145,9a
33	Altura (m)	14,4a	13,2b	15,8ab	15,9ab	15,9ab	16,7a	17,8a	16,3ab
	Diámetro (cm)	21,8	20,3	21,9	22,2	22,3	23,8	23,7	23,5
	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	253,4ab	178,4b	276,7	293,8ab	258,7ab	311,0a	335,3a	305,2a

C = aplicaciones continuas (todos los años); A = aplicaciones en años alternados

Fuente: tomado de Alvarado et al. 2012

En plantaciones de *P. caribaea* var. *hondurensis* en la Yeguada, Panamá en latosoles (oxisoles) muy degradados y con serios problemas de erosión, se demostró que una dosis de fertilizante 15-15-15 (57g por árbol) más elementos menores (28 g por árbol) y boro (14 g por árbol) aumenta un 40% la sobrevivencia y un 244% el crecimiento de los árboles hasta el cuarto año. El diámetro responde más que la altura a la fertilización fosfatada; el mejor volumen (45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), se encontró con la adición de 340 g de roca fosfórica por árbol a los 8 años y 8 meses de evaluación (Dyson 1995). Lim y Sundralingman (1974) también encontraron en Malasia una respuesta significativa del pino caribeño de 6 años a la adición de P y más aún a la de NP, la cual se reflejó con mayor amplitud en términos de área basal que de altura dominante de los árboles 4 años después de aplicados los tratamientos. Resultados parecidos se encontraron cuando se aplicó tratamientos similares a plántulas de 10 meses y luego a los 19 meses de edad en el mismo sitio (Sundralingman y Ang 1974).

Síntomas foliares de deficiencias de nutrimentos Empleando cultivos hidropónicos, Hernández y Lombardo (1987) describen los niveles foliares y los síntomas de deficiencia asociados a los mismos en acículas de *P. caribaea* var. *hondurensis* (cuadro 5). Debe recordarse que estos síntomas son ciertos para plántulas bajo condiciones de invernadero de la especie mencionada y por tanto no deben utilizarse para condiciones de plantaciones ya establecidas.

**Cuadro 5. Síntomas de deficiencias de nutrimentos en hojas de *Pinus caribaea***

N	La deficiencia de nitrógeno en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza por un amarillamiento simultáneo y generalizado en toda la planta. La clorosis se observan en las acículas simples, extendiéndose luego a los fascículos. Las acículas inferiores presentan una coloración que varía de rojo tenue a intenso y las superiores con desecamiento apical. Las plantas son raquílicas y achaparradas.
P	La deficiencia de fósforo en <i>P. caribaea</i> se presenta como amarillamiento tenue de las acículas de la parte inferior del tallo, que pueden disponerse en forma de mosaico o extenderse homogéneamente, luego, las acículas adquieren coloraciones violáceas, grisáceas hasta alcanzar una coloración morada. A medida que continúa el crecimiento de la planta, la coloración progresa apicalmente afectando las acículas situadas en las partes superiores. Así mismo, un considerable número de las acículas de la parte inferior y media se vuelven rojizas y se secan manteniendo esa coloración. El tallo adquiere también una coloración roja a morada. Se observan defectos en el despliegue de las acículas en fascículo, presentándose los fascículos enrollados y semejando la cabeza de un ave.
K	La deficiencia de potasio en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza porque las acículas situadas en la parte inferior de la planta muestran un amarillamiento hacia el ápice, el cual se torna posteriormente rojizo. La clorosis puede progresar hasta cubrir la mitad distal de las acículas, permaneciendo la región basal de color verde. A medida que progresa la deficiencia, la clorosis se extiende hacia las acículas más jóvenes. Los síntomas agudos de esta deficiencia se caracterizan por un mosaico necrótico en las acículas que rodean el meristemo apical del tallo principal, formando una roseta de acículas con pérdida de la dominancia apical.
Ca	La deficiencia de Ca en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza porque las acículas presentan un color verde pálido, poseen áreas necróticas en la parte apical, sub-apical, basal o intermedia, de extensión variable que está asociada a exudación de resina. Algunas veces el ápice de la acícula se dobla en forma de gancho. Los fascículos de las acículas se pueden enrollar apicalmente, asimismo las acículas jóvenes se pueden retorcer sobre su eje longitudinal, semejando un tirabuzón. En fases avanzadas la deficiencia de calcio provoca la muerte de los

	meristemas apicales del tallo principal y de las ramas laterales.
Mg	La deficiencia de magnesio en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza porque las acículas basales presentan un color amarillo intenso, que inicialmente ocupa la zona apical de la acícula, progresando hacia la parte basal, ocupándola homogéneamente. Al progresar la deficiencia, la clorosis se extiende hacia las acículas más jóvenes, tanto simples como en fascículo, hasta que en un estado avanzado todas las acículas de la planta presentan un amarillamiento intenso. Las acículas situadas en la parte media y superior del tallo, presentan bandas marrón rojizas, que se tornan necróticas.
S	En <i>P. caribaea</i> la deficiencia de S se caracteriza por un amarillamiento generalizado y uniforme de todas las acículas, aunque cuando se forman las acículas en fascículos, éstas pueden presentar una clorosis más acentuada que el resto. En numerosas acículas basales de la planta, se presenta un amarillamiento, cerca del punto de inserción de éstas al tallo, que luego se torna rosado, más tarde la anomalía termina por ocupar toda la acícula, que toma un color rosado. Cuando los síntomas son más agudos, los tallos en las partes terminales adquieren una coloración que varía de crema a rosado claro.
Fe	La deficiencia de Fe en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza porque las acículas terminales presentan una clorosis acentuada, que se torna de un amarillo pálido, mientras que las acículas basales permanecen verdes. Las zonas más jóvenes del tallo muestran un color crema claro que se puede tornar blanquecino. Se observa en algunas acículas necrosis apical. Las plantas muestran raquitismo y en la fase más avanzada, se afecta todo el desarrollo de la planta.
B	Las plantas con deficiencias presentaron una forma arbustiva, muerte regresiva del meristemo apical, rebrote de las yemas laterales, que permanecían enanas sin alcanzar un buen desarrollo, muriendo posteriormente. Las acículas presentaron clorosis que se iniciaba en las puntas, extendiéndose hacia la base. La deficiencia de B en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza por la presencia de bandas necróticas en las acículas. Las acículas en fascículo se reducen. Se evidencia la exudación de resina en diferentes partes de la planta. El meristemo apical toma la forma de un bulbo, siguiendo la muerte regresiva que se acentúa al transcurrir el tiempo. El crecimiento en longitud de las plantas cesa y se achaparran.
Mn	La deficiencia de Mn se caracteriza porque las acículas terminales y en fascículo presentan una clorosis ligera. Las acículas situadas cerca del meristemo apical muestran un mosaico necrótico progresivo, con una coloración que varía de crema a gris. En un estado avanzado de deficiencia se desecan las acículas de la mitad de la planta hacia arriba, esta necrosis puede comenzar de la parte media de la acícula, avanzando luego en ambas direcciones. Las plantas deficientes en Mn se marchitan y tienen aspecto raquíto.
Zn	Los primeros síntomas de deficiencia de Zn observados en el campo son la hoja pequeña y en roseta de los árboles frutales, lo que resulta en la reducción en tamaño de las hojas y de la longitud de los entrenudos. El pino de Monterrey de Australia presenta un síntoma bien definido de esta deficiencia, la que consiste en el tope aplastado.

Fuente: tomado de Hernández y Lombardo 1987

#### 4.6 El fenómeno de la “cola de zorro”

El crecimiento normal en el trópico de las ramas de los pinos es semejante al de las zonas templadas. El eje se alarga gracias a la formación de yemas sucesivas en la guía terminal del tallo principal. Después de un período de dilatación, cesa brevemente el crecimiento del tallo y se forma un nuevo racimo de yemas

terminales. Poco después, las yemas recién formadas se dilatan para hacer crecer aún más la guía terminal y producir un verticilo de ramas laterales. Se presentan de dos a cuatro períodos vegetativos al año, alargándose la guía terminal en promedio de 30 a 60 mm en cada uno.

Según Kowzloski y Greathouse (1970) la cola de zorro de los pinos tropicales parece ser un fenómeno debido, en gran parte, a la herencia, cuya expresión se ve muy modificada por los factores de la estación y del clima. En Australia, una plantación de *P. caribaea* var. *hondurensis*, procedente de progenitores noseleccionados, presentó una frecuencia mucho mayor de cola de zorro que las de var. *caribaea* o var. *bahamensis*; pero los descendientes de genitores seleccionados de la var. *hondurensis*, presentaron mucha menor incidencia, dependiendo su disminución del grado de conocimiento de su genealogía (Slee y Nikles 1968). En Malasia, el porcentaje de cola de zorro en *P. caribaea* var. *hondurensis* presentó grandes diferencias, de una estación a otra, tendiendo a aumentar (hasta en un 40 por ciento), en algunas de poca altitud, donde la frecuencia de temperaturas elevadas y precipitaciones copiosas e irregulares en su distribución entre las distintas épocas del año (aproximadamente 254 cm/año) crean condiciones favorables para el desarrollo ininterrumpido de las ramas. La frecuencia de la cola de zorro es, al parecer, menor en las montañas de Camerón, en Malasia, a unos 1.520 m de altitud, que en las estaciones bajas, debido probablemente a que, en las altas, el crecimiento es más lento.



**Figura 4. Cola de zorro en *Pinus patula***  
Fuente: elaboración propia

Hay, por el contrario, algunos pinos que presentan un desarrollo anormal porque no producen yemas capaces de alargarse para formar las ramas laterales. Lloyd (1914) dio a este fenómeno el nombre de «cola de zorro», por la forma cónica de la parte superior de la rama que ha crecido de manera anormal (figuras 4 y 5). Constituye una forma sorprendente de predominio apical y suele presentarse en árboles que tienen hasta 6 y, en algunas ocasiones, 12 m de tallo sin ramas. Esta respuesta ambiental plantea un problema más o menos grave en todos aquellos lugares del trópico donde se plantan pinos. Entre las especies que presentan el fenómeno de la cola de zorro se encuentran: *P. canariensis*, *P. caribaea*, *P. cembroides*, *P. echinata*, *P. elliottii*, *P. kesyi* (insularis), *P. merkusii*, *P. oocarpa*, *P. palustris*, *P. radiata*, *P. taeda* y *P. tropicalis*.



Figura 5 (tomada de Unasylyva Vol 24 (4) FAO 1970)

Kowzloski y Greathouse (1970) indican que diversas fuentes confirman una notable influencia del clima sobre la respuesta en cola de zorro. En Sudáfrica, Lückhoff (1964) observó que la cantidad presente disminuye en *P. caribaea*, a grandes alturas y latitudes, lo que se relaciona con las bajas temperaturas. Por otra parte, en Zululandia (KwaZulu-Natal) a una altitud media 45 a 60 m, la cola de zorro en *P. caribaea* var. *hondurensis* era, por término medio, del 43%; en Ntsubane, Africa del Sur, a 460 m de altitud, del 26%, y, en Dargal, Natal Central (1.200 m de altitud aproximadamente), del 13%. Se encontró también una correlación entre el porcentaje de tallos torcidos y la altura sobre el nivel del mar (régimen de temperaturas). En Queensland (Australia), Slee y Nikles (1968) observaron en *P. caribaea* mayor frecuencia de cola de zorro en Beerwah que en Bowenia y atribuyeron la diferencia al medio más favorable de esta última estación. El clima parece tener gran influencia sobre la cola de zorro en *P. radiata*, siendo escasa su frecuencia en Australia, donde el año se divide en épocas bien diferenciadas, y muy grande en Hawaii, donde sucede lo contrario (Fielding 1960; Lanner 1966).

La competencia intensa puede inhibir el desarrollo de las ramas y anular el de la cola de zorro que, por ejemplo, en Belice, no se presenta en muchos rodales naturales de *P. caribaea* pero sí en algunos suelos donde la competencia de las malas hierbas es leve y desaparecen las limitaciones que se oponen al desarrollo ininterrumpido, poniéndose así de relieve el hecho de que el fenómeno no depende sólo del factor clima.

En Australia, se ha logrado hacer disminuir la frecuencia de la cola de zorro mediante una selección fenotípica intensa, seguida de otra por ensayos de descendencia. En Queensland, en el aclareo precoz de los rodales de *P. caribaea* var. *hondurensis*, de 6 a 9 m de alto, se cortaron los árboles que tenían cola de zorro sin que apareciera en los restantes.

Musalem (1973) comparando la incidencia de cola de zorro entre procedencias insulares (Bahamas y Cuba) y continentales (Belice y Nicaragua) encontró menor incidencia en las variedades insulares, pero un crecimiento mucho menor (estadísticamente significativo) que las procedencias continentales (cuadro 6); a los 5 años de edad, no hay diferencias altamente significativas en la incidencia de cola de zorro de acuerdo a la distancia de plantación (densidad), aunque sí en el crecimiento diamétrico y volumétrico; estos resultados concuerdan con los obtenidos por Kowzloski y Greathouse (1970) en Malasia.

En un estudio sobre la incidencia de cola de zorro en *P. caribaea*, Liegel (1981) realizó un estudio en Ultisoles de Puerto Rico. El autor encontró que la mayoría de los nutrientes en el suelo se encontraban sobre el nivel crítico requerido por la especie, mientras que el contenido de B se redujo durante la estación seca y parece asociarse con este tipo de daño. Al establecerse regresiones entre los contenidos de los elementos y el incremento medio anual en altura, se encontró que las concentraciones de Al, B, Ca, Mn y P son las que mejor predecían el comportamiento de esta variable.

<i>Pinus caribaea</i>	Procedencia	sobrevivencia (%)	Cola zorro (%)	Diametro medio		Altitud media		Vol estimado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	IMA volumen
				con cola	sin cola	con cola	sin cola		
var hondurensis	Belice	90,2	14,6	12,5	12,7	8,8	8,6	91,2	22,8
var hondurensis	Nicaragua	94,2	31,7	11,5	11,7	7,7	7,3	70,4	17,6
var bahamensis	Bahamas	88,1	8,0	10,2	10,2	6,9	6,8	52,8	13,2
var caribaea	Cuba	84,0	0,0		10,0		6,2	44,8	11,2

Fuente: Musalem 1974

Espaciamiento plantación	Cola zorro (%)	Altura 1a rama	Diametro medio		Altitud media		Vol estimado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	IMA volumen
			con cola	sin cola	con cola	sin cola		
2,0 x 2,0	12,3	3,6	13,3	13,4	10,2	6,6	180,0	36,0
2,5 x 2,5	27,4	3,4	16,4	16,8	11,7	11,3	196,5	39,3
3,0 x 3,0	18,0	2,7	17,2	17,8	10,8	10,8	137,7	27,5
3,5 x 3,5	18,3	2,8	16,7	16,9	10,0	9,6	91,3	18,3

Fuente: Musalem 1974

#### **4.7 Acidificación de los suelos como efecto de plantación de pinos**

Es común escuchar en diferentes círculos ambientalistas frases como “plantar pinos acidifica y esteriliza el suelo” o “los pinos acaban con los suelos por cuanto producen acidificación, lo que impide el desarrollo de cualquier otro tipo de vegetación”, conceptos de este tipo surgen en Europa al comparar las características de suelos en bosques sin coníferas con suelos plantados con coníferas, en vez de comparar el suelo antes y después de plantar este tipo de especies arbóreas (Urrego 1996).

Según Urrego (1996) la acidificación de los suelos no es un proceso inducido exclusivamente por las coníferas, es un proceso natural producto de la acción conjunta y simultánea de la cantidad de lluvia, la hidrólisis del aluminio, la actividad radicular, la nitrificación y la acumulación de la materia orgánica sobre el material parental. Lo anterior puede observarse en los bosques naturales húmedos tropicales (de Colombia) que crecen sobre suelos con pH entre 3,6 y 4,8, sin que por ello se les responsabilice de la acidificación. El efecto empobrecedor que las coníferas tienen sobre los suelos, sugieren, a nivel mundial que en la mayoría de los casos, la reforestación es una alternativa que no solo permite detener el deterioro de los suelos sino que constituye una herramienta para su recuperación. Muchos de los resultados que soportan la hipótesis del empobrecimiento son producto de comparaciones que carecen de validez, dado que se presentan en condiciones bajo bosques naturales vs condiciones bajo bosques plantados.

Reforestar es plantar con árboles un terreno no cubierto por bosque; por tanto las comparaciones deben hacerse entre las condiciones que existían bajo el uso del suelo previo al establecimiento de la plantación ( potreros, cultivos, rastrojos, etc. ) y aquellas presentes después de una o más rotaciones del bosque plantado. La podsolización de los suelos ( proceso de separación o lixiviación de materiales orgánicos que genera una serie de capas típicas de suelos boscosos de climas fríos y húmedos), se presenta de manera indiscriminada tanto para los bosques plantados como en los naturales, un ejemplo de ello es la amazonia, que presenta varios millones de hectáreas con suelos podsólicos a lo largo del río

Negro bajo vegetación de selva tropical; se pone en evidencia que el proceso de podsolización no es causado por las coníferas y es el resultado de un conjunto de factores bióticos ( cobertura ), climáticos ( alta precipitación ) y edáficos ( texturas arenosas ), interactuando en el tiempo.

De acuerdo con Ladrach (2005), “*la creencia de que las coníferas acidifican los suelos parece estar basada en la historia de Europa Occidental en donde durante los siglos XV, XVI y XVII los bosques naturales fueron eliminados casi en su totalidad para obtener leña y madera para la construcción o fueron talados para convertirlos en zonas agrícolas. Durante los siglos XVII y XVIII, viendo que los bosques desaparecían y junto con ellos sus beneficios como la caza, la madera para la construcción y para leña se comenzó a plantar coníferas (abetos, alerce y pinos) mezclados con robles y hayas. Los campesinos comúnmente iban a las plantaciones a recoger las ramas caídas para leña y la hojarasca de acículas de las coníferas como paja para los animales. Después de muchas décadas de esta práctica de eliminación de hojarasca y sus nutrimentos, los investigadores del siglo 20 encontraron que los suelos debajo de las coníferas estaban empobrecidos y que el pH era inferior al encontrado en los suelos de los bosques adyacentes*”.

Ladrach (2005) también menciona que bajo condiciones de suelos ácidos y básicos, tanto en Borneo como en México y Centro América, se encuentran pinos creciendo de la misma manera y adaptados a las condiciones ambientales, sin que tienda a cambiarse las propiedades de los suelos, sino más bien adaptándose a las mismas. Lilienfein et al. (2000) mencionan que la sustitución de vegetación de Cerrado por *P. caribaea* Morelet en Oxisoles de Brasil no permite observar cambios en la fase sólida del suelo, aunque las concentraciones de metales en la solución del suelo bajo pino indican que con este tipo de cobertura se lavan más elementos, lo que puede conducir eventualmente a la acidificación del suelo.

En Nueva Zelanda, donde las plantaciones de *P. radiata* se ha establecido desde los comienzos de siglo en suelos cuyo pH fluctúa entre 4,8 y 5,5, se ha determinado, después de 40 a 60 años (dos a tres rotaciones) y cuando éstos han sido inferiores a 4,0 que la especie es capaz de aumentar estos valores, atenuando la acidez existente (Hill 1984, mencionado por Urrego 1996).

En Chile *P. radiata* crecen en suelo de pH entre 4,2 y 5,8, sin que después de tres rotaciones se haya detectado incrementos en la acidez o disminuciones en la productividad (Urrego 1996).

En latosoles ácidos e infértiles, profundos, arenosos y bien drenados de acuerdo con Fernández y Moraes 1976, mencionados por Carvalho et al. (1983), la aplicación de 6 t cal ha<sup>-1</sup> a plantaciones de *P. caribaea* var *bahamensis* causa un efecto significativo en el crecimiento de los árboles entre el segundo y noveno año de la plantación, mientras que cantidades mayores de cal causaron un efecto negativo. Simües et al. 1970, mencionado por Carvalho et al. (1983), indica que dosis de 3 t ha<sup>-1</sup> de cal tuvieron un efecto significativo sobre el crecimiento de los árboles, tanto en ausencia como en presencia de la aplicación de fósforo.

En Uverito (Venezuela) se establecieron plantaciones de *P. caribaea* var. *hondurensis* sobre suelos extremadamente pobres, los cuales presentan bajos contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, muy baja capacidad de intercambio catiónico, de reacción extremadamente ácida, déficit de cationes básicos, media a alta saturación por aluminio en el complejo de intercambio catiónico; con texturas

predominantemente arenosas y baja reserva de humedad. Estas características determinan un bajo rendimiento de las plantaciones en el área de estudio (Lugo et al. 2006).

## 5. Manejo

### 5.1 Densidad de plantación

El número de árboles a establecer depende del objetivo final de la plantación y la calidad del sitio. En el siglo anterior era muy común el establecimiento en espaciamientos de 2,0 m x 2,0 m, 2,5 m x 2,5 m y 3,0 m x 3,0 m; cuando el objetivo es la producción de postes de conducción eléctrica o telefónica, o producción de madera para aserrío o formaleta, se utilizan espaciamiento de 3,0 m x 3,0 m a 4,0 m x 4,0 m y variaciones entre ellos.

Evans y Turbull (2004) presentan un ejemplo del efecto de la densidad de plantación y los rendimientos de *P. caribaea* en Queensland, en plantaciones sin ralea (cuadro 8). Aunque el volumen total a menores densidades es mayor, por efecto del mayor número de árboles, la relación con el volumen comercial (hasta 10 cm) es menor que en los espaciamientos mayores, donde, además el diámetro es mayor; esto significaría un mayor retorno económico para las densidades menores, con árboles de mejor calidad.

Cuadro 8. Efecto del espaciamiento inicial en el rendimiento de <i>Pinus caribaea</i> a los 9,3 años de edad en Queensland							
Espaciamiento inicial (m)	Sobrevivencia (%)	Árboles a la evaluación	Altura dominante (m)	diámetro a 1,3 m (cm)	Volumen		
					V <sub>10</sub>	V <sub>t</sub>	V <sub>10</sub> /V <sub>t</sub> (%)
2,13 x 2,13	88	1940	18,7	16,6	146,14	205,39	71%
2,44 x 2,44	83	1394	18,6	17,8	137,12	181,51	76%
2,74 x 2,74	89	1185	18,6	18,6	126,85	159,84	79%
3,05 x 3,05	90	967	18,7	20,1	130,33	155,28	84%
3,66 x 3,66	92	687	18,1	20,9	102,6	119,25	86%
V <sub>10</sub> = volumen hasta un diámetro mínimo de 10 cm ha <sup>-1</sup>							
V <sub>t</sub> = Volumen total ha <sup>-1</sup>							
Fuente: Evans y Turnbull (2004)							

Espaciamientos amplios implican mayor cantidad de operaciones de control de malezas, especialmente en las primeras etapas de crecimiento, aumentando el costo de mantenimiento. *P. caribaea* es una especie poco exigente en cuanto al tipo de suelos, pero prefiere suelos profundos, fértiles, de topografía plana, con pH de 5,0 a 5,5. No tolera la sombra, por lo que se deben controlar las malezas, eliminando, en la preparación, toda la vegetación existente. Para mejorar el control se recomienda un ploteo de 80-100 cm de diámetro alrededor de las plántulas.

## 5.2 Control de malezas

*P. caribaea* es una especie heliófila, que no acepta competencia de malezas mediante chapas; en áreas de alta precipitación se requieren 3-4 intervenciones durante los dos a tres primeros años, hasta que los árboles alcancen 2-3 m de altura.

Dependiendo de la precipitación y duración de las lluvias se prescriben las limpiezas de las plantaciones. En zonas con estación seca de más de 5 meses se podrían requerir dos a tres limpiezas, una de ellas al salir de la estación de lluvias.

## 5.3 Fertilización

Los pinos responden menos a la fertilización que los eucaliptos, aunque pueden mostrar incrementos del 20% cuando se fertilizan en suelos pobres, sobre todo cuando se adicionan P, K, Ca y Mg en suelos de Brasil; en algunos casos, la aplicación de N puede ser perjudicial en el crecimiento y desarrollo de los árboles ya que resulta en una reducción y compresión de las traqueídas y fi brotraqueidas (Hagg 1983). La adición de P y K tiene efectos positivos en el crecimiento y la concentración de la celulosa (Malavolta *et al.* 1966, mencionado por Ferreira *et al.* 2001).

Según Rojas y Ortiz (1991) la aplicación de superfosfato triple en dosis de 30 g a 100 g por árbol, durante el año de establecimiento y 100 kg ha<sup>-1</sup> al voleo durante el quinto año, influyen positivamente en el crecimiento de los árboles.

*P. caribaea*, según Rojas y Ortiz (1991), como otras especies del género *Pinus*, pueden crecer bien en suelos con bajos contenidos de nitrógeno; la adición de fertilizantes nitrogenados raramente produce una respuesta de los árboles; la especie reacciona bien a la adición de potasio y a la fertilización con abonos fosforados (Wolffsohn 1983).

## 5.4 Podas

La especie no presenta elevada capacidad de autopoda, por lo que regularmente se requiere poda artificial para la producción de madera de calidad, libre de nudos muertos.

En zonas secas los árboles deben podarse para reducir el riesgo de incendio, mejorar la calidad de las primeras trozas, facilitar el acceso a la plantación y reducir el tamaño de los nudos, lo que mejora el valor del producto.

Evans y Turbull (2004) proponen un régimen de podas (cuadro 8) desarrollado para diferentes especies de coníferas. La poda se realiza previo a los raleos, podando exclusivamente los árboles remanentes. De acuerdo con Evans y Turbull (2004) en coníferas las podas deben realizarse entre los 6 y 12 años, en rotaciones de 25 años, para la producción de madera de aserrío.

Podas	Altura	Altura media del rodal	Época
Baja	2,5	6	Despues de cierre del vuelo
Alta	5	9	Previo al primer raleo
Alta	7,5	12	Inmediatamente antes del primer raleo
Alta	10	15	Previo al segundo raleo

Fuente: Evans y Turbull 2004

### 5.5 Raleos

*P. caribaea*, como puede verse en los cuadros 7 y 8, responde de manera clara a la densidad de plantación (resultante de la distancia de plantación). Wolffsohn (1983) concluyó que debido a esta característica se hacen necesarios los raleos en plantaciones de la especie; sugiere que para obtener árboles de 20-25 cm en periodos de 12 años se requieren densidades de entre 650 y 100 árboles ha<sup>-1</sup>; Ortiz y Camacho (1986) sugieren que la densidad del rodal requerida para maximizar el crecimiento debe mantenerse entre 483 y 789 árboles ha<sup>-1</sup>.

De acuerdo con Rojas y Ortíz (1991) se deben aplicar raleos en las plantaciones de *P. caribaea* para mejorar la calidad del rodal, disminuir la posibilidad de incendios, estimular la producción de semillas y disminuir los riesgos de ataques de plagas y enfermedades y aumentar el tamaño y calidad de los productos.

Rojas y Ortíz (1991) para la producción de madera para aserrío o contrachapado proveniente de *P. caribaea* se recomienda plantar 1100 árboles ha<sup>-1</sup> (3,0 m x 3,0 m) para realizar un primer raleo (sanitario) al momento del cierre del dosel, realizando otros dos raleos para obtener 250 a 400 árboles ha<sup>-1</sup> con diámetros de entre 28 y 37 cm, a los 15-25 años., dependiendo de la calidad del sitio.

Evans y Turnbull (2004) presentan la prescripción de raleos utilizada en Queensland en plantaciones de *P. caribaea* partiendo de una plantación inicial de 12' x 12' (3,66 m x 3.66 m) y una densidad de 746 árboles ha<sup>-1</sup>, con tres intervenciones para obtener una densidad final de 300 árboles ha<sup>-1</sup> al año 30 (cuadro 10); en Uganda se utiliza un esquema similar (cuadro 11).

Raleo	Edad años)	Existencias		Método de raleo
		antes de raleo	después de raleo	
Plantación	0	746	750	94% sobrevivencia
1	2-3	700	500	pre-comercial
2	22	500	300	selectivo
Cosecha	30	300		cosecha

Fuente: Evans y Turnbull (2004)

El raleo, normalmente se hace por lo bajo (generalmente seleccionando los árboles con defectos, mala forma, enfermos o con otros defectos); cuando el raleo se hace por lo alto, se extraen los mejores ejemplares y la calidad del rodal remanente disminuye.

Raleo	Edad	Existencias		Uso
		Inicial	Final	
1	4-6	1111	700	Madera de pequeñas dimensiones
2	6-9	700	500	Madera de baja calidad
3	9-12	500	300	Madera de calidad media
Cosecha	18-25	300		Madera industrial

Fuente: Tree planting guidelines for Uganda

En la Orinoquía colombiana el sistema silvicultural empleado con *P. caribaea* incluye la realización de dos raleos en un turno corta de 15 años (cuadro 12), partiendo de una densidad inicial de 1100 árboles (3,0 m x 3,0 m) y extracción final de 250 árboles.

Actividad	Edad	Árboles extraídos		Árboles remanentes	Volumen extraído (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Tipo de producto
		No.	%			
Primera entresaca (raleo)	8	600	55%	500	20	postes de cerca
Segunda entresaca	12	250	50%	250	27,8	madera de aserrío
Cosecha final	15	250	100%	0	215	madera de aserrío
Volumen extraído					262,8	
Volumen promedio anual					17,52	
Fuente:						
Fuente: CONIF 1998						

## 5.6 Crecimiento

*P. caribaea* es una especie de crecimiento medio a alto (dependiendo de la calidad del sitio) en diferentes lugares, que puede superar los 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a partir de los 15 años de edad (Lamb 1973). En una experiencia en Jamaica (Lamb 1973) se encontró que el incremento medio anual de volumen creció en forma constante y presenta tendencia a estabilizarse a partir del año 20 (cuadro 13); estos resultados son consistentes con los reportados por Evans y Turnbull (2004).

En varios estudios realizados en Turrialba en los años 70 y 80 del siglo XX (Reyna 1978) se encontró que *P. caribaea* que la especie presenta, a edades entre 9 y 12 años, incrementos medios anuales en diámetro entre 1,76 y 2,98 cm año<sup>-1</sup> e incrementos en altura entre 2,09 y 2,61 metros año<sup>-1</sup>, lo que hace pensar en que la especie tiene un crecimiento que puede clasificarse como mediano (cuadro 14), en tanto que en plantaciones de 16 a 18 años localizadas en Dos Ríos de Upala, Alajuela (Serforint, 1998), los incrementos variaron entre 1,34 y 1,60 cm anuales en diámetro y entre 1,02 y 1,38 m anuales en altura, mostrando la influencia de la edad y de la calidad de sitio (cuadro 15).

Un estudio reciente en República Dominicana (Körner 2013), en plantaciones con edades entre 3 y 36 años, en dos localidades diferentes, mostraron incrementos medios en diámetro que variaron entre 0,8 cm anuales en las edades mayores, y 3,5 cm anuales en la plantaciones de menor edad (figura 6 y

cuadro 16); estos resultados muestran consistencia con los reportados por Reyna (1978), Serforint (1998) y Evans y Turnbull (2004). La especie puede alcanzar un diámetro de 35 cm (14”) a los 20 años.

**Cuadro 13. Crecimiento y rendimiento de *P. caribaea* en rodales densos, después de un raleo, en Jamaica (IS = 27,4 m)**

Edad	Altura mayor (dominante) m	Características de la plantación antes de raleos						Incremento	
		# árboles ha <sup>-1</sup>	Area basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	dap árbol área basal media (cm)	Volumen bajo corteza hasta un diámetro mínimo (m <sup>3</sup> )			Volumen bajo corteza hasta diámetro mínimo (10 cm) sobre corteza	
					10 cm	15 cm	20 cm	Total (m <sup>3</sup> )	IMA (m <sup>3</sup> )
5	12,8	1235	14,46		48,2			48,2	9,6
6	14,3	1235	18,14		68,2	24,0	4,8	68,2	11,4
6	raleo	618	3,67		13,6				
después raleo			14,46	17,3	54,1	24,0	4,8		
7	15,5	618	17,91	19,3	74,9	53,9	19,8	88,5	12,6
8	16,8	618	21,35	21,1	98,0	77,4	37,4	111,7	14,0
9	18	618	24,57	22,6	121,7	101,0	56,2	135,3	15,0
10	19,2	618	27,55	23,9	147,5	125,4	77	161,2	16,1
11	20,1	618	30,54	25,1	174,9	152,1	99,5	188,5	17,1
12	21	618	33,29	26,2	202,2	179,9	122,1	215,8	18,0
13	22,2	618	36,05	27,2	229,9	206,9	145,5	243,5	18,7
14	23,2	618	38,57	28,2	257,8	234,6	169,3	271,4	19,4
15	23,8	618	40,87	29,0	285,4	262,5	193,2	299,1	19,9
16	24,7	618	42,94	29,7	313,7	291,7	217,7	327,3	20,5
17	25,6	618	45,00	30,5	341,1	317,3	241,5	354,8	20,9
18	26,2	618	47,07	31,2	366,6	344,6	263,9	380,2	21,1
19	26,8	618	48,67	31,8	392,1	368,6	286,2	405,8	21,4
20	27,4	618	50,51	32,3	416,2	391,2	307,5	429,8	21,5

Fuente: Lamb (1973)

**Cuadro 14. Incremento en diámetro y altura de *P caribaea* en la región de Turrialba**

Sitio	Árboles ha-1	Incremento Media Anual		
		dap (cm)	Altura media (m)	Altura mayor (m)
Florencia I	670	2,23	2,03	2,16
Florencia II	600	2,72	2,15	2,19
Coniferato	1360	1,76	1,87	2,09
Club	1170	2,01	2,09	2,33
Atirro	1430	2,01	2,03	2,30
Tres X	1200	2,58	2,15	2,44
Pavones	1260	2,26	2,00	2,29
Azul	1310	2,80	2,32	2,60
Turrialba	720	2,98	2,48	2,61
La Roncha	1310	2,29	2,07	2,33

Fuente: Reyna (1978)

Cuadro 15. Incremento en diámetro, altura y área basal de <i>P. caribaea</i> en Dos Ríos de Upala (1998)							
Edad	Arboles ha <sup>-1</sup>	dap prom (cm)	Alt prom (m)	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Incremento Medio Anual (ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		
					dap (cm)	alt (m)	área basal
16	588	25,1	19,5	27,8	1,57	1,22	1,738
16	500	25,6	22,0	25,8	1,60	1,38	1,613
17	463	23,8	20,0	20,6	1,40	1,18	1,212
17	282	27,2	19,6	15,6	1,60	1,15	0,918
17	338	27,0	19,4	19,3	1,59	1,14	1,135
17	588	22,7	18,5	23,6	1,34	1,09	1,388
17	391	26,4	20,3	21,5	1,55	1,19	1,265
17	459	24,8	19,8	22,9	1,46	1,16	1,347
18	400	25,5	18,7	20,5	1,42	1,04	1,139
18	335	24,7	18,4	16,2	1,37	1,02	0,900
18	375	27,7	19,7	22,6	1,54	1,09	1,256
18	331	28,3	21,2	20,6	1,57	1,18	1,144
18	425	28,3	21,2	26,3	1,57	1,18	1,461
18	472	25,8	20,0	24,0	1,43	1,11	1,333

Fuente: Serforint (1998)

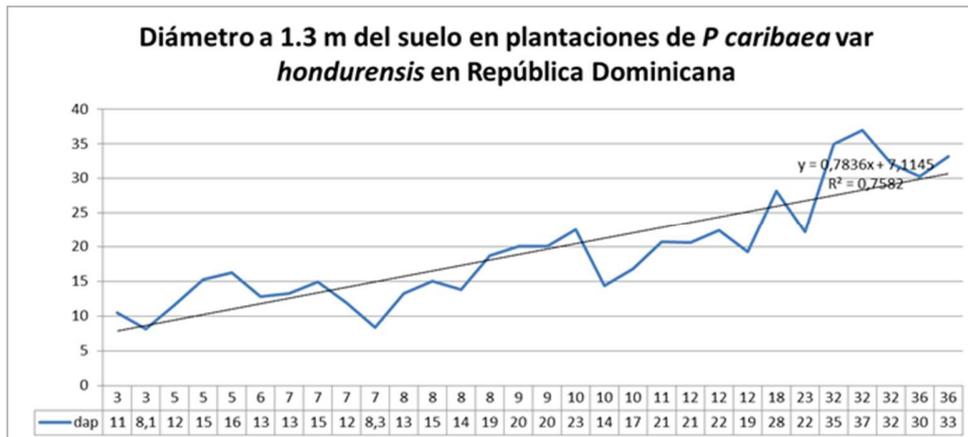


Figura 6. Crecimiento del diámetro de *P. caribaea* var. *hondurensis* en dos localidades de República Dominicana.

Fuente: elaboración propia con datos de Körner 2013

Cuadro 16. Características de parcelas de <i>P. caribaea</i> en dos localidades de República Dominicana (2013)									
edad años	Características de las plantaciones individuales					Incremento Medio Anual			
	Arb ha <sup>-1</sup>	dap (cm)	altura media (m)	Area basal m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	Volumen calculado	dap (cm)	altura media (m)	vol calculado ha <sup>-1</sup> (m <sup>3</sup> )	Vol calculado árbol (m <sup>3</sup> )
3	1948	10,5	6,9	16,9	86,8	3,5	2,3	28,93	0,0149
3	4000	8,1	6,6	20,4	128,1	2,7	2,2	42,70	0,0107
5	1076	11,6	9,3	11,3	66,8	2,3	1,9	13,36	0,0124
5	1754	15,2	12,9	31,7	209,3	3,0	2,6	41,86	0,0239
5	875	16,3	11,4	18,3	108,3	3,3	2,3	21,66	0,0248
6	3022	12,8	13,4	38,8	289,6	2,1	2,2	48,27	0,0160
7	1291	13,2	10,9	17,6	112,0	1,9	1,6	16,00	0,0124
7	1170	14,9	13,0	20,5	142,6	2,1	1,9	20,37	0,0174
7	1510	11,9	9,0	16,9	94,3	1,7	1,3	13,47	0,0089
7	5672	8,3	6,9	30,6	194,2	1,2	1,0	27,74	0,0049
8	1446	13,2	10,7	19,9	119,6	1,7	1,3	14,95	0,0103
8	2012	15	12,9	35,7	245,2	1,9	1,6	30,65	0,0152
8	1718	13,8	12,3	25,5	171,8	1,7	1,5	21,48	0,0125
8	1329	18,7	15,0	36,6	266,8	2,3	1,9	33,35	0,0251
9	1025	20	19,6	32,3	296,1	2,2	2,2	32,90	0,0321
9	1021	20	17,0	32,0	261,3	2,2	1,9	29,03	0,0284
10	662	22,5	18,1	26,4	223,1	2,3	1,8	22,31	0,0337
10	1391	14,4	10,6	22,5	135,8	1,4	1,1	13,58	0,0098
10	1463	16,8	13,6	32,4	221,5	1,7	1,4	22,15	0,0151
11	717	20,7	14,2	24,1	166,7	1,9	1,3	15,15	0,0211
12	1083	20,6	19,2	36,1	323,9	1,7	1,6	26,99	0,0249
12	486	22,4	17,2	19,1	154,3	1,9	1,4	12,86	0,0265
12	566	19,3	14,2	16,6	114,2	1,6	1,2	9,52	0,0168
18	226	28,1	22,8	14,0	144,6	1,6	1,3	8,03	0,0355
23	1254	22,1	22,4	48,0	509,3	1,0	1,0	22,14	0,0177
32	321	34,9	30,6	30,6	415,6	1,1	1,0	12,99	0,0405
32	353	36,9	31,3	37,7	530,9	1,2	1,0	16,59	0,0470
32	779	32,1	32,6	63,0	905,0	1,0	1,0	28,28	0,0363
36	549	30,3	31,7	39,5	556,2	0,8	0,9	15,45	0,0281
36	376	33,2	33,9	32,5	488,6	0,9	0,9	13,57	0,0361

Volumen calculado usando la ecuación de Reynoso y García (1985)

Fuente: Körner 2013

En Costa Rica ha disminuido el interés por la producción de documentación sobre la especie, aunque se dispone de información producida en la segunda mitad del siglo anterior. De acuerdo con Rojas y Ortiz (1991) en Costa Rica, en rodales sin manejo, en sitios de calidad promedio (con Índice de Sitio IS = 22 m), con 1100 árboles iniciales por hectárea, puede alcanzar una producción de 333 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de volumen total con corteza a los 14 años, mientras en Panamá, en La Yeguada solo alcanzaría 117 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en los peores sitios hasta 354 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en los mejores.

- Liegel et al. (1987) desarrollaron un sistema de ecuaciones para el cálculo del índice de sitio de *P. caribaea* var. *hondurensis* en Costa Rica:

$$\ln(\text{IS}) = \ln(\text{hd}) + b(1/\text{SQR Eb} - 1/\text{SQR Ep})$$

Donde:

Ln = logaritmo natural de base e

IS = altura dominante a la edad base (índice de sitio)

Hd = altura dominante (promedio de los 100 árboles más altos ha<sup>-1</sup>)

Eb = edad base (15 años)

Ep = edad de la plantación

- El sistema desarrollado por Liegel et al. (1987) permite estimar el rendimiento futuro de la especie; el cuadro 17 presenta las estimaciones de volumen para *P. caribaea* partiendo de una plantación inicial de 1100 árboles ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 17. Tabla de rendimiento de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> no manejados en Costa Rica; densidad inicial 1100 árboles ha <sup>-1</sup> . IS = 22							
edad (años)	Arboles ha <sup>-1</sup>	alt dominante (m)	diámetro cuadrático	Area basal ha <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	IMA	ICA
						vol (m <sup>3</sup> )	vol (m <sup>3</sup> )
2	1068	4,8	8,5	6,0	16	8,1	16,2
4	1038	9,7	13,9	15,8	69	17,5	53,1
6	1009	13,2	17,3	23,8	132	22,0	62,2
8	980	15,9	19,8	30,2	191	23,9	59,3
10	953	18,1	21,7	35,2	244	24,5	53,5
12	926	19,8	23,2	39,3	292	24,3	47,2
14	899	21,3	24,5	42,5	333	23,8	41,3
16	874	22,6	25,6	45,2	369	23,1	36,0

Fuente: tomado de Rojas y Ortiz (1991) derivado de Liegel et al. 1987

Rojas y Ortiz (1991) indican que con este sistema, un sitio se clasifica según su calidad, calculando su índice de sitio (IS), utilizando solamente la información de la edad de plantación y la altura dominante del rodal.

Ortega (1986) desarrolló una ecuación para determinar el índice de sitio en las condiciones del sitio Pavones (en Turrialba), utilizando como predictores el contenido de limo de los suelos en los primeros 20 cm de profundidad, la altitud sobre el nivel del mar, la profundidad efectiva del perfil del suelo y el microrelieve; la ecuación obtenida fue:

$$IS = -1.0215 + 0,1471L + 0,0187^a + 1,9402PE + 0,0377mr$$

Donde:

IS = Índice de Sitio en metros

L = contenido de limo en los primeros 20 cm del suelo (%)

A = Altitud sobre el nivel del mar del sitio

PE = profundidad efectiva del perfil del suelo en metros

Mr = micro-relieve (según Tschinkel 1972)

Vazquez (1987) desarrollo un Sistema de cálculo del Índice de Sitio para las plantaciones de La Yeguada (Panamá) utilizando la psoción topográfica y el contenido de limo de los suelos:

$$IS = 155,7363 + 18,4412PT - 1,2354L$$

Donde:

IS = índice de sitio en decímetros (edad base de 15 años)

PT = Posición topográfica: cima = 1; pendiente superior = 2; pendiente inferior = 3; fondo plano = 4

L = contenido de limo en la segunda capa del suelo (30-50 cm de profundidad)

Reynoso y García (1985) desarrollaron, en plantaciones de *P. caribaea* var. *hondurensis* en Santiago, República Dominicana, una ecuación para calcular el volumen, con la que desarrollaron una tabla de volumen. La ecuación que mantiene su vigencia es:

$$V = 0,01755 + 0,34423(d^2h)$$

Donde:

V = volumen total con corteza (m<sup>3</sup>)

d = diámetro a 1,3 m sobre el suelo (cm)

h = altura total (m)

Salazar (1975) desarrolló un sistema de ecuaciones para la estimación del volumen, procedente de la medición de 45 árboles de 8 años de edad con diámetros entre 11 y 20 cm:

$$\text{Volumen total con corteza: } V = 0,0000638 * (d)^{1,844} * (ht)^{1,007}$$

$$\text{Volumen total sin corteza: } V = 0,0000230 * (d)^{1,968} * (ht)^{1,085}$$

$$\text{Volumen comercial con corteza hasta 10 cm: } V = 0,000219 * (d)^{1,623} * (hc)^{0,891}$$

$$\text{Volumen comercial sin corteza hasta 10 cm: } V = 0,0000907 * (d)^{1,703} * (hc)^{0,993}$$

En resumen, *P. caribaea* var. *hondurensis* es una especie que crece bien en suelos con pH entre 5,0 y 6,5 a menos de 500 msnm, con precipitaciones mayores a 1000 mm anuales y menores a 2000 mm y al menos 4 meses secos, con temperaturas arriba de 24° C. Estas condiciones, consideradas ideales se pueden encontrar en buena parte de la península de Nicoya, Guanacaste, la provincia de Puntarenas y la zona Huetar Norte.

### 5.7 Plagas y enfermedades

Los conos de la especie son atacados por la mariposa *Dioryctria majorella*, las larvas barrenan el interior de conos y ramas infestados por la roya *Cronartium*. En América Central los árboles de *P. caribaea* mayores de tres años son atacados por los patógenos: *Cercospora pinea*, *Lophodermium* sp, *Dothistroma septospora* y *Pleospora* sp. que afectan el follaje. *Cronartium* sp. ataca ramas; *Diplodia* sp. afecta ambas partes del árbol; *Phytophthora* sp. y *Rosellinia* sp. atacan la raíz (Arguedas 2007).

Arguedas (2007) ha identificado algunas de las plagas y enfermedades que afectan a *P. caribaea* var. *hondurensis* en Costa Rica (cuadro 18).

Cuadro 18. Plagas y enfermedades que atacan a <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en Costa Rica					
INSECTOS					
Nombre del patógeno	Familia	Orden	Parte atacada	Donde se ha reportado	Provincia
<i>Acheta assimilis</i>	Gryllidae	SALT	Plántula	Pérez Zeledón	SJ
<i>Agrotis sp.</i>	Noctuidae	LEP	Plántula	Puriscal	SJ
				Turrialba	C
<i>Atta sp.</i>	Formicidae	HYM	Follaje	Puriscal	SJ
				San Carlos	A
				Sarapiquí	H
<i>Cinara sp.</i>	Aphididae	HOM	Ramillas	Puriscal	SJ
				Paraiso	C
				Turrialba	C
				Puntarenas	P
<i>Exophthalmus sp.</i>	Curculionidae	COL	Follaje	Turrialba	C
<i>Hansenia pulverulenta</i>	Flatidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
<i>Ips calligraphus</i>	Scolytidae	COL	Fuste	Naranjo	A
<i>Macunolla ventralis</i>	Cicadellidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
<i>Nodonota irazuensis</i>	Chrysomelidae	COL	Follaje	Turrialba	C
<i>Rhyacionia frustrana</i>	Tortricidae	LEP	Brotos	Puriscal	SJ
				Pérez Zeledón	SJ
				San Ramón	A
				Upala	A
				Sarapiquí	H
				Jiménez	C
				Turrialba	C
				Bagaces	G
				Tilarán	G
				Puntarenas	P
				Pococí	L
				Guácimo	L
<i>Sphenorhina conspicua</i>	Cercopidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
<i>Spodoptera sp.</i>	Noctuidae	LEP	Follaje	Buenos Aires	P
<i>Trigona corvina</i>	Apidae	HYM	Fuste	Turrialba	C
<i>Trigona cupira</i>	Apidae	HYM	Fuste	Turrialba	C
<i>Trigona ferricauda</i>	Apidae	HYM	Fuste	Turrialba	C
<i>Trigona silvestriana</i>	Apidae	HYM	Plántula	Turrialba	C
<i>Trigona sp.</i>	Apidae	HYM	Brotos	Buenos Aires	P
<i>Xyleborus volvulus</i>	Scolytidae	COL	Corteza	Naranjo	A
<i>sp no conocida</i>	Psyllidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
PATOGENOS					
<i>Cronartium sp.</i>			Fuste	Cartago	C
				La Unión	C
<i>Diplodia sp.</i>			Ramas	Santa Ana	SJ
			Follaje	Turrialba	C
<i>Dothistroma septospora</i>			Follaje	La Unión	C
				Jiménez	G
				Tilarán	G
				Puntarenas	P
				Esparza	P
<i>Fusarium sp.</i>			Raíz		
<i>Lophodermium sp.</i>			Follaje	Acosta	SJ
				Turrialba	C
<i>Phytophthora sp.</i>			Raíz		
<i>Rhizoctonia solani</i>			Raíz		
<i>Rosellinia sp.</i>			Raíz		

## 5.8 Cosecha

La madera de *P. caribaea* es utilizada comúnmente para la producción de madera de construcción, madera para pisos, carpintería, muebles, embalajes, tarimas y juguetes. También se utiliza como postes de conducción, durmientes y puntales de mina. También se utiliza para el cubrimiento de interiores, tableros, tableros de partículas, paneles de fibra y para la producción de leña y pulpa para papel.

Dada las dimensiones que alcanza la madera y la altura de los árboles, la extracción se realiza generalmente con maquinaria (tractores forestales y cables o tractores agrícolas adaptados). En pequeñas explotaciones se utilizan bueyes para extracción. Un cuidado especial al cosechar es la necesidad de sacar rápidamente la madera del bosque para evitar la presencia de mancha azul en la madera, que rebaja la calidad de la misma.



## 5.9 Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión

No se dispone de información sobre el establecimiento de plantaciones de *Pinus caribaea*; un estudio reciente de costos de establecimiento en Colombia (2012) para las especies más plantadas en este país con apoyo de los Certificados de Inversión Forestal (el equivalente al apoyo PSA de Costa Rica) encontró los costos indicados en el cuadro 19, comparados con los costos indicados por ONF para Costa Rica.

**Cuadro 19. Costos de establecimiento**

Costos promedio de establecimiento y mantenimientos consolidados (2012)					CR 2012	
Actividad	Eucaliptos	Pinos	Teca	Gmelina		
Establecimiento	1213,97	1172,51	1263,81	1355,01	1271,77	
Valor CIF 2012	483,85	483,85	483,85	483,85	459,47	
% cubierto por CIF	39,9%	41,3%	38,3%	35,7%	36,1%	PSA
Mantenimiento año 1	290,81	279,87	276,38	323,07	330,80	
Mantenimiento año 2	362,93	332,06	366,95	344,31	255,89	
Mantenimiento año 3	296,35	298,62	270,51	234,43	303,21	
Mantenimiento año 4	246,03	184,35	159,27	169,26	135,95	
Subtotal mantenimiento	1196,12	1094,91	1073,11	1071,06	1025,85	
Valor CIF 2012	389,84	389,84	389,84	389,84	459,47	
% cubierto CIF	32,6%	35,6%	36,3%	36,4%	44,8%	PSA
Subtotal establecimiento + mantenimiento años 1-4	2410,09	2267,42	2336,93	2426,08	2297,62	
Costo mantenimiento año 5 en adelante	488,46	1143,83	1200,15	759,93	493,86	
Total costos del ciclo	2898,54	3411,25	3537,08	3186,01	2791,48	
Administración + asistencia técnica	189,15	226,09	502,29	185,39	245,65	
Costo total	3087,69	3637,34	4039,38	3371,40	3037,13	

Fuente: Adaptado de CONIF 2012

## Literatura citada

- AFRIN, S.; SHARMIN, S.; MOWLA, QA, 2010. The environmental impact of alien invasive plants species in Bangladesh. In: Proceedings of International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh (ICEAB), September 2010. 62-64. <http://www.benjapan.org/iceab10/>
- ALVARADO, A.; RAIGOSA, J.; OVIEDO, J. 2012. NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DE CONÍFERAS: *Pinus* spp., *Cupressus* spp. In ALVARADO A, RAIGOSA J. (eds). 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. ACCS, San José, Costa Rica. pp. 221-245
- ARGUEDAS G, M. 2008. Plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. 1ª ed. – San José, Costa Rica, Corporación Garro y Moya, 2008. 69 p.
- BARRETT, W. H.G.; GOLFARI, L. 1962. Descripción de dos nuevas variedades del “pino del Caribe”. *Caribbean Forester*. 23(2): 59-71.
- BAUER, J. 1982. Especies con potencial para la reforestación en Honduras: resúmenes. Tegucigalpa, Honduras: Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal. 42 p.
- BEGA, R.U.; HENDERSON, F.F. 1962. Variation of monobasidiospore isolates of *Fomes annosus*. Abst. In *Phytopathology* 52 (1), 3.
- BOARDMANN, R.; CROMER, R.N.; LAMBERT, M.J.; WEBB, M.J. 1997. Forest plantations. In: DJ Reuter, JB Robinson (eds.). *Plant analysis, an interpretation manual*. CSIRO Publishing. Australia. pp. 505-561.
- BROTA, J. 1971. A preliminary volume table for *Pinus caribaea*. *Silvic. Res. Note* 17. Dar es Salaam, Tanzania: Ministry of Natural Resources and Tourism, Forest Division. 7 p.
- CATIE (CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA). 2000. *Pinus caribaea* Morelet. Seed Leaflet No.40. Septiembre 2000.
- CONIF (Corporación Nacional de Investigación Forestal Colombia). 1998. Guía para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales. Bogotá, Colombia, CONIF: Serie Documentación No. 38. 47 p.
- CONIF (Corporación Nacional de Investigación Forestal Colombia). 2012. Apoyo a los componentes de evaluación del CIF (Costos de establecimiento de plantaciones forestales). Bogotá, Colombia, CONIF, Compilado por Francisco Torres Romero. 38 p.
- COMMONWEALTH AGRICULTURAL BUREAU INTERNATIONAL. 2014 . *Pinus caribaea*. Disponible en <http://www.cabi.org/isc/datasheet/41573>
- DYSON, W.G. 1995. Fertilización de plantaciones forestales en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. In: *Memorias del Seminario Técnico sobre Fertilización Forestal realizado en Santiago, Veraguas, Panamá*. CATIE /INRENARE. pp. 51-64.
- EVANSJ, J.; TURNBULL, J.W. 2004. *Plantation forestry in the tropics*. Oxford University Press, Oxford. 3<sup>th</sup> edition. 467 p.
- FIELDING, J. M. 1960. *Branching and flowering characteristics of Monterey pine*. Canberra, Forestry and Timber Bureau. Bulletin N° 37.

- FRANCIS, J.K. 1989. The Luquillo Experimental Forest Arboretum. Res. Note SO-358. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 8 p.
- FRANCO, W; COSTA, J. 1985. Avances en la clasificación de suelos con fines de plantación de *Pinus caribaea* en Chaguaramas, Edo, Monagas, Venezuela. Revista Forestal Latinoamericana. 3(85): 37-51.
- FERREIRA, C.A.; DA SILVA, H.D.; REISSMANN, C.B.; JURADO, A.F.; MARQUES, R. 2001. Nutrição de *Pinus* no sul de Brasil. Diagnóstico e prioridades de pesquisa. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, EMBRAPA. Documentos. 23 p.
- GREAVES, A. 1978. Descriptions of seed sources and collections for provenances of *Pinus caribaea*. Oxford, England. Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford. 116 p.
- HAAG, H.P (ed.). 1983. Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil. Fundação Cargill. Campinas, Brasil. 202 p.
- HERNANDEZ, R.; LOMBARDO, C. 1987. Deficiencias de macronutrientes en *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* Morelet. Barr. y Golf. Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida. 109 p.
- HERRERO, J.A.; RENDA, A.; GONZALEZ, A; GRA, H; DE NASCIMENTO, J.; GONZALEZ, A.; PEÑA, A.; CASTILLO, E.; JIMENEZ, m.; HERRERO, G.; ALVAREZ, M.; PEREZ, M. 1985. Manejo del *Pinus caribaea* var. *caribaea* en las zonas de "Alturas de Pizarras", provincia de Pinar del Río. Centro de Investigación Forestal, Ministerio de Agricultura. La Habana, Cuba. Boletín de Reseñas Forestales Nº 3. 60 p.
- HERRERO, G.; GONZALEZ, M.; FUENTES, I.; HERRERA, P.; GARCIA, A.; COTO, O. 2004. Fertilización a Plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en su hábitat natural y diversidad vegetal asociada. In: Memorias del Primer Congreso sobre Suelos Forestales realizado del 25 al 27 de octubre del 2004. Universidad Nacional, INISEFOR. Heredia, Costa Rica. 18 p.
- HOLDRIDGE, L.R. 1967. Life zone ecology, San José, Costa Rica: Tropical Science Center. 206 p.
- KÖRNER, M.; 2013. Erfassung und Modellierung des Wachstums der Karibischen Kiefer (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) in der Dominikanischen Republik. DVFFA, Sektion Ertragskunde: Beiträge zur Jahrestagung 2013. 8 p.
- KOZLOWSKI, T.T; T. E. GREATHOUSE. 1970. El crecimiento de las ramas de los pinos y su forma en el trópico. Roma, Italia. FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations) Unasylya 24 (4)
- LADRACH, W.E. 1974. El efecto de la fertilización con fósforo y calcio en el crecimiento inicial del *Pinus oocarpa* y *Cupressus lusitanica*, después de tres años. Cartón de Colombia, S.A., Cali. 9 p. Informe de Investigación, Nº 3.
- LADRACH, W.E. 1980a. Efecto de la aplicación de diferentes niveles de bórax y N-P-K (10-30-10) en el crecimiento de *Cupressus lusitanica* al año de su establecimiento Cartón de Colombia, S.A., Cali. 5 p. Informe de Investigación, Nº 55.
- LADRACH, W.E. 1980b. Respuesta al crecimiento de algunos árboles con la aplicación de fósforo, Nitrógeno y boro al momento de la plantación en el Cauca y en El Valle. Cartón de Colombia, S.A., Cali. 17 p. Informe de Investigación, Nº 59.

- LAMB, A.F.A 1973. *Pinus caribaea*. Oxford, OX1, England. University of Oxford, Department of Forestry, Commonwealth Forestry Institute. FAST Growing Timber Trees of the Lowland Tropics, No. 6
- LANNER, R. M. 1966. *The phenology and growth habit of pines in Hawaii*. U.S. Forest Service Paper PSW-29.
- LIEGEL, L.H. 1981. Seasonal nutrition of 3 and 4-years old *Pinus caribaea* foxtails and normal-branched trees in Puerto Rico. Tesis de Doctorado. Universidad del Estado de Carolina del Norte, Raleigh, Carolina del Norte. 141 p.
- LIEGEL, L.; CAMACHO, P.; PARRESOL, B.P.; DELL, T.R.; DOBELBOWER, K.R. 1987. Caribbean pine plantations in Costa Rica. s.l. USDA Forest Service. 26 p.
- LIM, F.Y.; SUNDRALINGAM, P. 1974. Some preliminary results of fertiliser application on the growth of a 6 year old *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* stand. The Malaysian Forester 37(2):120-126.
- LÜCKHOFF, H.A. 1964. The natural distribution, growth and botanical variation of *Pinus caribaea* and its cultivation in S. Africa. Annale Univ. van Stellenbosch 39 Serie A, 1.
- LUGO, L.; MORA, A.; SUAREZ, C.; MONTARULLO, M. Relación entre la Mortalidad y los Suelos en las Plantaciones de Pino Caribe del Oriente de Venezuela. Leonardo Lugo S. *et. al.* Págs. 57-83. Rev. For. Lat. N° 39/2006.
- MALAVOLTA, E. 1984. Potássio, magnésio e enxofrenos solos e culturas brasileiras. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, São Paulo, Brasil. 120 p.
- MUSALEM, M.A. 1973. Estudio del comportamiento de *Pinus caribaea* Morelet en el trópico húmedo, Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Tesis Mag. Sc. 120 p.
- NAPIER, I.A.; WILLAN, R.L. 1983. Nursery Techniques for Tropical and Subtropical Pines. DFSC Tecnical Note No. 4.
- OPPENHEIMER, HL. 2003. New plant records from Maui and Hawai'i Counties. Bishop Museum Occasional Papers, 73:3-30. [Records of the Hawaii Biological Survey for 2001-2002. Part 1: Articles.] <http://hbs.bishopmuseum.org/pubs-online/pdf/op73.pdf>
- ORTEGA, B. 1986. Factores edáficos y topográficos que determinan la calidad de sitio en plantaciones jóvenes de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Pavones, Turrialba, Costa Rica. Tesis de Maestría. Programa Recursos Naturales UCR/CATIE, Turrialba, Costa Rica. 110 p.
- ORTIZ, E.; CAMACHO, P.; 1986. Aplicación de los estudios de forma de tronco en dos especies forestales. In Congreso Forestal Nacional, 1986, San José, Costa Rica.
- PEÑA, A; CASTILLO, E. 1981. Estudio sobre secado artificial de conos de la especie *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Revista Forestal Baracoa. 11(1): 15-25.
- PIER, 2013. Pacific Islands Ecosystems at Risk. Honolulu, Hawaii, USA: HEAR, University of Hawaii. <http://www.hear.org/pier/index.html>

- POYNTON, R.J. 1977. Report to the Southern African Regional Commission for the Conservation and Utilisation of the Soil (SARCCUS) on Tree planting in southern Africa, Vol. 1, The Pines. Department of Forestry, Republic of South Africa.
- REYNOSO, F.; GARCIA, R. 1985. Tabla de volumen estándar y de forma para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Santiago, República Dominicana, ISA (Instituto Superior de Agricultura). Nota Técnica No. 12. 7 p.
- RICHARDSON, D.M, 1998. Forestry trees as invasive aliens. *Conservation Biology*, 12(1):18-26.
- ROJAS, F.E. 1984. Análisis de crecimiento de plántulas de diez especies del género *Pinus* bajo tres condiciones edáficas y dos regímenes de humedad. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 98 p.
- ROJAS, F.; ORTIZ, E. 1991. Pino caribe: *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* (Barret y Golfari), especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), Serie Técnica, Informe Técnico No. 175. 58 p.
- SIMBERLOFF, D.; NUÑEZ, M.A.; LEDGARD, N.J.; PAUCHARD, A.; RICHARDSON, D.M.; SARASOLA, M.; WILGEN, B.W. van; ZALBA, S.M.; ZENNI, R.D.; BUSTAMANTE, R.; PEÑA, E.; ZILLER, S.R. 2010. Spread and impact of introduced conifers in South America: lessons from other southern hemisphere regions. *Austral Ecology* 35(5):489-504 <http://www.blackwell-synergy.com/loi/aec>
- SERFORINT (Servicio Forestal Integral Ltda).1998. Evaluación dasométrica de las fincas El Ensayo, Hermosa y Mary en Upala. San José, Costa Rica. Informe técnico. 14 p.
- SLEE, M. U.; NIKLES, D. G. 1968. Variability of *Pinus caribaea* (Mor.) in young Queensland plantations. *Proc. ninth Commonwealth for Conf.*, 1-50.
- VASQUEZ, W. 1987. Desarrollo de índices de sitio y selección de un modelo preliminar de rendimiento para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. Tesis de Maestría. Programa Recursos Naturales UCR/CATIE, Turrialba, Costa Rica. 113 p.
- VEGA, L. 1964. Efecto de las micorrizas en el crecimiento inicial de coníferas tropicales. *Turrialba* 14:151-155.
- WATERLOO, M.J. 1994. Water and nutrient dynamics of *Pinus caribaea* plantation forests on former grassland soils in southwest Viti Lavu, Fiji. Tesis de Doctorado. Universidad Vrije de Amsterdam EBODRUK B.V., Enschede, Holanda. 420 p.
- WOLFFSOHN, A. 1983. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*: estudios sobre su manejo en sitios nativos. Siguatepeque, Honduras, ESNACIFOR (Escuela Nacional de Ciencias Forestales). Serie Miscelánea No. 3 66 p.
- ZAMORA, J. 1986 *Pinus caribaea* var *hondurensis* Barr et Golf. Revisión de Literatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 38 p.

## **Anexo 1. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas**

### **1. Antecedentes**

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), es el responsable legal del financiamiento del sector forestal costarricense. Esta labor la realiza a través de dos modalidades a saber: pago por servicios ambientales y el crédito dirigido a pequeños y medianos productores. De acuerdo con los Términos de Referencia (TdR)<sup>2</sup> el FONAFIFO es el punto focal del REDD + y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP); se ha definido como una de las acciones estratégicas para REDD+, el aumento de la producción y consumo sostenible de madera, como una forma, entre varias, de aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

Por su lado, la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal N° 7575 para promover el desarrollo forestal del país, está constituida por 40 organizaciones de pequeños y medianos productores, industriales y comerciantes de la madera, grupos ecologistas, artesanos y productores de muebles.

Las dos instituciones han aunado sus esfuerzos para la ejecución de las tareas del RP y dentro de éste, la consultoría orientada a identificar los aspectos relevantes para estimular la reforestación comercial, ya sea mediante el empleo de prácticas tradicionales o el uso de sistemas agroforestales (SAF), incluyendo los sistemas silvopastoriles (SSP) para aumentar la producción de madera y por tanto la captura de carbono, necesario para la formación y acumulación de madera. Como resultado de la consultoría indicada, la estrategia REDD+ financiaría la ejecución de un proyecto coordinado por FONAFIFO y dirigido por la Oficina Nacional Forestal, (ONF) para el **“Fomento de la Reforestación comercial para la mejora y conservación de las Reservas de carbono”**, como parte de la estrategia para aumentar los acervos de carbono, una acción estratégica de REDD+.

### **Objetivos**

De acuerdo con los TdR, la consultoría tiene como objetivo general “Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono”, lo cual implica conocer las motivaciones de los productores actuales y potenciales para el establecimiento y manejo de plantaciones, utilizando diferentes métodos de plantación, incluyendo los sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Los objetivos específicos son:

- Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.

---

<sup>2</sup> FONAFIFO/FCPF/Donación TF012692. 2014. Términos de referencia para la contratación de la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, San José, Costa Rica, FONAFIFO. 7 p.

- Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

Dentro del objetivo dirigido al desarrollo de paquetes tecnológicos, una de las tareas de la consultoría es la elaboración de un mapa de áreas potenciales para el cultivo de madera, para lo que se han planteado las siguientes tareas:

- a. Recopilar información cartográfica: suelos y fertilidad, lluvias y duración de sequía, uso actual y potencial, infraestructura, desarrollo social y desarrollo humano, PEA y disponibilidad de PEA;
- b. Elaborar diferentes capas con información cartográfica a escala 1:200.000 para obtener zonificación para las especies seleccionadas;
- c. Elaborar los mapas escala 1:200.000 con la zonificación para especies priorizadas

Una tarea previa a la elaboración del mapa fue el análisis de las especies utilizadas para proyectos de reforestación en Costa Rica. Se elaboró el documento “Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, que hizo el análisis de las principales especies utilizadas en el país para los diferentes proyectos de reforestación, desde los de carácter industrial (de tamaño grande y especies con mercado relativamente establecido) hasta pequeños proyectos familiares; el análisis incluyó los proyectos financiados tanto por la iniciativa privada, como aquellos que han contado con el pago por servicio ambientales por parte del FONAFIFO, o con financiamiento mixto.

Paralelo a la preselección de las especies se inició un estudio para evaluar la disponibilidad de madera en las plantaciones forestales establecidas hasta la fecha, mediante un muestreo de campo.

Un segundo análisis previo a la elaboración del mapa fue la determinación de las barreras para el establecimiento de plantaciones y reforestación a nivel nacional, dando como resultado el documento “Barreras que desalientan el cultivo de madera”.

Un tercer nivel de análisis fue una revisión exhaustiva de la literatura relevante sobre las especies seleccionadas por el Comité Evaluador del Proyecto, tanto en el ámbito nacional como a nivel externo.

Con la información aportada por estas etapas previas, se seleccionaron los principales indicadores para las especies, que permitieran priorizar áreas para el establecimiento de plantaciones (comerciales, sistemas agroforestales y silvopastoriles). Los indicadores seleccionados fueron: precipitación, distribución de las lluvias y duración de la época seca, temperaturas medias (incluyendo los extremos máximos y mínimos), suelos (órdenes y subórdenes), uso actual (distribución de cobertura vegetal), excluyendo las áreas con bosques, áreas protegidas y otras áreas con bosque; no fue posible obtener información cartográfica de la tenencia (catastro); con la información se espera disponer de un mapa preliminar del área potencia para cada una de las especies seleccionadas (5 mapas a escala 1:200.000), los cuales, complementados con la información en paquetes tecnológicos diseñados para cada una de las especies, permitirían tomar decisiones respecto a la factibilidad de una especie en un sitio determinado. El trabajo de análisis cartográfico fue realizado con el apoyo del Ingeniero Freddy Argotty, consultor privado.

## Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos en la consultoría, fue necesario diseñar un modelo de pesos ponderados el cual permite desarrollar un análisis multicriterio entre varios rasters. Análisis de este tipo generan resultados más robustos puesto que permiten darle mayor importancia a variables de significativa importancia que definen el establecimiento de las especies.

Se trabajó con ocho variables (altitud, pendiente, capacidad de uso, temperatura, precipitación, pH, suborden de suelos y meses secos). Todas las capas vectoriales se convirtieron en rasters manteniendo un marco de trabajo similar en todas las capas<sup>3</sup>. La resolución espacial fue seleccionada de acuerdo al raster con resolución más fina (altitud: 30 m).

### 1. Capa de información: Altitud

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM V2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model).

Descripción: La información fue obtenida a partir del modelo de elevación digital (DEM), de 30 metros de resolución espacial actualizado a 2011. Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y se proyectó a coordenadas CRTM05. Datos de elevación faltantes fueron calculados a partir de interpolación espacial zonal.

### 2. Capa de información: Pendiente

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model)

Descripción: A partir del DEM y bajo la herramienta “*slope*” del analista espacial de ArcGis fue generada esta capa para Costa Rica. Se determinó como unidad de medida de salida el porcentaje de pendiente.

### 3. Capa de información: Capacidad de Uso del Suelo 2004

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Se hizo una revisión de las categorías de capacidad de uso de suelo para Costa Rica. Las categorías VII y VIII se consideraron como limitante para el establecimiento de plantaciones puesto que se caracterizan por ser tierras que no reúnen las condiciones mínimas requeridas para cultivo o pastoreo, y solo se pueden utilizar en protección total. En esta capa existe el parámetro de áreas protegidas el cual fue restringido en el modelo. Esta información ha cambiado respecto a su distribución en el país, por lo que análisis posteriores permitirán extraer información más actualizada.

### 4. Capa de información: Temperatura

Formato: shape

---

<sup>3</sup> Un marco de trabajo en común es jerárquicamente significativo cuando se trabaja con rasters provenientes de diferentes fuentes y escalas, siendo a menudo prerrequisito para mejorar tareas de geo-procesamiento

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 5. Capa de información: Precipitación

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 6. Capa de información: pH

Formato: shape

Fuente: Harmonized World Soil Database V1.0

Descripción: el HWSO es un raster (30 arc-segundo) con cerca de 15000 diferentes unidades de mapeo de suelo que combina información actualizada a nivel regional y nacional y a escala 1:5000000. Las fuentes de esta capa son SOTER, ESD, Soil Map of China, ISRIC-WISE, FAO/UNESCO Soil Map of the World (FAO, 1971-1981). Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y proyectados a coordenadas CRTM05.

#### 7. Capa de información: Mapa digital de suelos de Costa Rica 2013

Formato: shape

Fuente: CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas)

Descripción: en 2009 empieza el cambio de información de suelos de formato analógico al digital y en 2013 se lanza el mapa de órdenes y subórdenes de suelos de Costa Rica a escala 1:200000, el cual cuenta con una base de dato de 450 perfiles de suelo.

#### 8. Capa de información: Meses secos

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo, pero bajo el proyecto TERRA el número de meses secos para Costa Rica se separa y transforma a formato shape.

Fue necesario reclasificar todas las variables convirtiendo la información en datos "enteros".

Para determinar el número de clases, se optó por conservar la información fuente, esto debido principalmente a que se quiso mantener las características de las capas originales bajo la resolución más fina (30 m).

Bajo parámetros técnicos, se asignó a cada variable y para cada especie diferentes pesos de acuerdo a su importancia relativa usando una escala común<sup>4</sup> (cuadro 1).

Para mejorar la distribución de la condición bajo la cual se establecen las especies, además de incluir las ocho variables y sus pesos de acuerdo a su importancia relativa, se determinó tres escenarios bajo los

---

<sup>4</sup> Según las características ecológicas y rangos de ocupación de cada especie

cuales se desarrollarían las especies (optimo, medio y deficitario) (Anexo 1). Cabe aclarar que los pesos para los tres escenarios se mantienen.

Cuadro 1. Pesos de acuerdo a la importancia relativa de las variables para teca.

Especie	Variable	Peso
Tectona grandis	Altitud	20
	Meses secos	15
	pH	13
	Sub orden de suelos	12
	Pendiente	11
	Capacidad de uso	11
	Precipitación media anual	10
	Temperatura media anual	8
Total		100

La selección de la mejor condición para Teca (*Tectona grandis*) se visualiza para cada variable de acuerdo a la figura 1 (se realizó el mismo procedimiento para cinco especies diferentes, incluyendo *Pinus caribaea* var. *hondurensis*). Cabe aclarar que las áreas seleccionadas para reforestación con teca, no pueden sustituir áreas cubiertas con bosques (primarios o secundarios), así como tampoco estarán en áreas protegidas, razón por la cual este informe preliminar es una orientación de las áreas potenciales y a partir de un análisis posterior se permitirá conocer y seleccionar las áreas efectivas que representen la condición respectiva para cada especie.

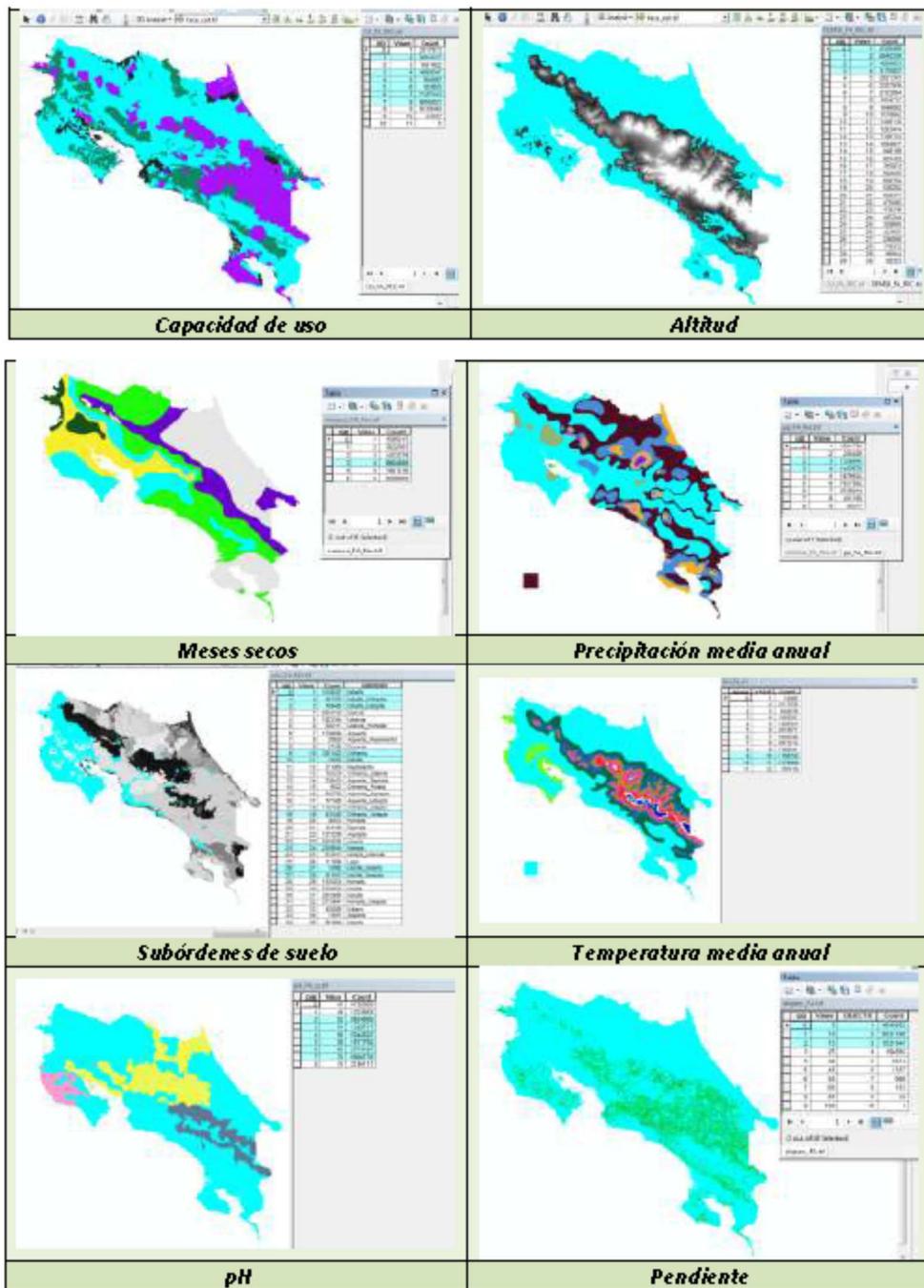


Figura 1. Selección de variables bajo condición "Óptima" para Teca (*Tectona grandis*).

Indicadores (primera aproximación) para especies seleccionadas para reforestación en Costa Rica																					
Condición		Optimista						Medio						Deficitario							
Especie	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Teca	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,1-6,5	<25%	<380	1500-3000	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,9-5,0	25%-30%	<500	2500-3500	4-6	22-30	sin restricción	<4,9	30-35	>500 hasta 600	<1500 o >3500	<3 o >6	<24
Melina	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults, Humults	6,0-6,5	<25%	<500	2000-2500	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults	5,5-5,9	25%-30%	<600	1000-4000	4-6	22-32	sin restricción	<5,5	30-35	>600 hasta 800	<1000 o >4000	<2 o >5	<23
Pino	sin restricción	5,0-6,5	<30%	<500	1000-2000	4	24-30	sin restricción	4,0-6,5	<35%	<800	1000-3200	2-6	22-30	sin restricción	<4,0	>35%	>800 hasta 1000	<1000 o >3200	>6	<22
Eucalipto	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,0-6,5	<25%	<600	1000-2500	1-3	22-30	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,8-6,5	25%-30%	500-800	1500-3000	1-3	22-32	sin restricción	<4,8	30-35	<1000	<1500 o >3000	>4	<22
SAF	Aquents, Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults, Humults	>5,2	<25	<600	1200-1800	2-4	22-28	Aquents, Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults	5,0-6,2	25%-30%	400-800	1800-2500	3-4	20-30	sin restricción	<5,0	30%-35%	<1000	<1200 o >2500	>4	<20