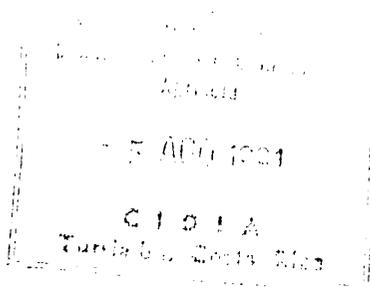


Serie Técnica
Informe Técnico No.173



Casuarina

***Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. &
G. Forst., ARBOL DE USO MULTIPLE
EN AMERICA CENTRAL**

**Publicación patrocinada por el
Proyecto Cultivo de Arboles de Uso Múltiple (MADELEÑA)
CATIE-ROCAP 596-0117**

**CENTRO AGRONOMOICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
CATIE**

**Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido
Area de Producción Forestal y Agroforestal**

Turrialba, Costa Rica, 1991

CATIE
ST
IT-173

El CATIE es una institución de carácter científico y educacional, cuyo propósito fundamental es la investigación y enseñanza de posgrado en el campo de las ciencias agropecuarias y de los recursos naturales renovables aplicados al trópico americano, particularmente en los países de América Central y el Caribe



© 1990, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

ISBN 9977-57-094-9

634.973975

C356 *Casuarina* (*Casuarina equisetifolia*, L. ex J.R. Forst & G. Forst) árbol de uso múltiple en América Central/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.-- Turrialba, C.R.: CATIE, 1991.

68 p.; 23 cm.-- (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ; no. 173)

ISBN 9977-57-094-9

1. *Casuarina equisetifolia* - América Central
2. Árboles de uso múltiple - América Central
I. CATIE II. Título III. Serie

CONTENIDO

PRESENTACION . . . . .	.vii
AGRADECIMIENTO	viii
INTRODUCCION	1
1. BOTANICA Y ECOLOGIA . . . . .	.3
2. ESTABLECIMIENTO . . . . .	.11
3. MANEJO . . . . .	.23
BIBLIOGRAFIA . . . . .	.39

LISTA DE CUADROS

1. Requerimientos ambientales de la especie <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. . . . .	.9
2. Espaciamientos recomendados según usos y productos para <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en América Central. . . . .	.16
3. Efecto de cinco tipos de fertilización sobre el crecimiento de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. a los 41 meses de edad, en San Ramón, Costa Rica. . . . .	.18
4. Insectos, patógenos y plantas parásitas que atacan a <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. . . . .	.21
5. Características ambientales y de crecimiento de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en algunos sitios de América Central donde se ha introducido la especie . . . . .	.25

6.	Serie de ecuaciones para predecir el crecimiento y rendimiento de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en América Central.	29
7.	Ambito de las variables incluidas para los resúmenes por medición para las parcelas de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en América Central.	30
8.	Tablas preliminares de rendimiento para tres índices de sitio de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. con una densidad inicial de 2500 árboles por hectárea en América Central.	31
9.	Resultados de la verificación de los modelos para estimar la altura, el diámetro y el peso seco de leña de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst en América Central.	33
10.	Crecimiento de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. a los 12 meses de edad, en asocio con maíz y frijol, en San Ramón, Costa Rica.	34

LISTA DE FIGURAS

1.	Características botánicas más sobresalientes de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. (Tomado de NRC, 1984).	6
2.	Distribución de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en Australia. (Tomado de Doran y Hall, 1983).	7
3.	<i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. utilizada en alineamientos en carreteras, en San José, Costa Rica.	10

4.	Camas de germinación de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en Guatemala.	14
5.	Plantación de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst., de cuatro meses de edad, en El Salvador.	15
6.	Curvas de altura dominante para tres índices de sitio de 11, 9 y 7 m, a la edad base de cinco años para <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. América Central. (Tomado de Marchena, 1990).	27
7.	Desarrollo en diámetro con la edad, de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. para los índices de sitio de 11, 9 y 7 m, a la edad base de cinco años y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central. (Tomado de Marchena, 1990).	32
8.	Desarrollo en altura media con la edad, de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. para los índices de sitio de 11, 9 y 7 m, a la edad base de cinco años y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central. (Tomado de Marchena, 1990).	32
9.	Rendimiento de peso seco de leña de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. para los índices de sitio de 11, 9 y 7 m, a la edad base de cinco años y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central. (Tomado de Marchena, 1990).	33
10.	<i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en asocio con <i>Dracaena</i> sp.	35
11.	<i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst. utilizada como ornamental.	35
12.	Cortina rompevientos de <i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. Forst. & G. Forst, en San Ramón, Costa Rica.	36

PRESENTACION

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, en colaboración con las instituciones forestales de América Central, desarrollan, desde 1980, investigación silvicultural con especies de crecimiento rápido y propósito múltiple, con el objetivo de conocer el comportamiento y posibilidades de las mismas, en la Región, para incorporarlas en los sistemas de finca de los pequeños y medianos agricultores. El Proyecto Cultivo de Arboles de Uso Múltiple (MADELEÑA) está promoviendo la incorporación de estas especies, dentro de los sistemas de finca de los pequeños y medianos agricultores de la Región. El propósito del proyecto es aumentar los ingresos y mejorar el bienestar de las familias rurales, así como contribuir a disminuir el deterioro ambiental en América Central y Panamá, mediante un incremento significativo del cultivo de árboles de propósito múltiple, para la utilización en la propia finca y para la venta de productos forestales en los mercados locales.

El incremento del cultivo de estas especies dependerá del conocimiento que se tenga, a todo nivel, de la importancia de las mismas, formas de cultivo, métodos de manejo silvicultural de las plantaciones y combinaciones agroforestales establecidas con ellas. Consciente de la necesidad de este conocimiento, el Proyecto MADELEÑA inició la preparación de "Guías Silviculturales para el Cultivo de las Especies Seleccionadas". Este documento presenta las experiencias y conocimientos que, hasta la fecha, se tienen en América Central, sobre el cultivo de la casuarina (*Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst & G. Forst.). Una especie de árbol de uso múltiple de gran importancia en la región.

El CATIE cumple así con el compromiso institucional de poner al servicio de los países miembros los conocimientos generados por la investigación, contribuyendo de esta manera al desarrollo agropecuario acelerado y sostenido de la Región y al mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes de menores recursos. El Proyecto MADELEÑA pone a disposición de los agricultores, técnicos en extensión, técnicos forestales, autoridades del sector y reforestadores, la presente guía para la producción y uso de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst & G. Forst. en América Central.

Rodolfo Salazar
Líder Proyecto
MADELEÑA

AGRADECIMIENTO

En primera instancia el Proyecto MADELEÑA agradece al señor José Aníbal Marchena, Consultor del Proyecto y a Miguel Musálem por la recolección y redacción de esta guía.

La información recolectada mediante la investigación silvicultural, que ha permitido la redacción de la presente guía, ha sido el producto de muchas instituciones y personas en América Central. En primer término es necesario reconocer la participación de las instituciones forestales nacionales: Dirección General Forestal (DGF) de Costa Rica, el Centro de Recursos Naturales (CENREN) de El Salvador, la Dirección General de Bosques y Vida Silvestre (DIGEBOS) de Guatemala, la Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR) de Honduras, la Dirección de Recursos Naturales y del Ambiente (DIRENA) de Nicaragua y el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENARE) de Panamá. En segunda instancia, se debe reconocer la labor de los técnicos nacionales de cada país, así como a los agricultores e instituciones, que con su trabajo y dedicación, permitieron establecer los ensayos para obtener la información presentada en esta guía. Por otro lado, es necesario aclarar que esta información es el compendio de la experiencia de todos los técnicos de los Proyectos Leña y Madeleña, durante más de nueve años de investigación.

**Proyecto MADELEÑA
CATIE**

INTRODUCCION

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), con sede en Turrialba, Costa Rica, junto con las instituciones nacionales encargadas de administrar los recursos forestales de los países de América Central*, ha desarrollado desde 1980 investigación sobre silvicultura, manejo y producción de especies de árboles de crecimiento rápido y uso múltiple (AUM).

Desde 1986, a través del Proyecto Cultivo de Arboles de Uso Múltiple, más conocido como MADELEÑA, se han incrementado las actividades de manejo de las especies de AUM, para entregar a los técnicos nacionales, servicios de extensión forestal y agrícola, estudiantes, docentes de universidades y escuelas técnicas, así como a los agricultores, guías técnicas para estimular el cultivo y manejo de estas especies.

El objetivo final de estas guías es dar a conocer a los interesados en América Central, en particular y al resto de la región tropical, a través de las instituciones nacionales y los servicios de extensión, en forma sencilla, clara y aplicable, la tecnología generada en torno al cultivo de cada una de las especies seleccionadas, para incorporar los árboles de uso múltiple a los sistemas de producción de las fincas de pequeños y medianos agricultores, así como de las comunidades rurales, de tal manera que contribuyan a elevar el nivel de vida de estos pobladores y a detener el deterioro ambiental de la región. Las guías silviculturales permitirán al extensionista, conducir el proceso de establecimiento de las especies en las fincas, al técnico forestal, identificar los sitios promisorios y los factores limitantes para el establecimiento de las especies; y a los planificadores orientar sus decisiones sobre planes y proyectos de desarrollo forestal mediante la estimación de los rendimientos potenciales de las especies.

Este documento resume los conocimientos que, hasta la fecha, se tienen en América Central sobre el cultivo de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. Es el producto de la investigación realizada desde 1980 por el CATIE y las instituciones forestales nacionales de la región centroamericana, durante el desarrollo de los proyectos Leña y Fuentes Alternas de Energía y Cultivo de Arboles de Uso Múltiple (MADELEÑA).

* Para los efectos de este documento, América Central corresponde a los territorios de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, países miembros del CATIE en la región centroamericana.

Casuarina equisetifolia L. ex. J.R. Forst & G. Forst. es una de las especies que más se cultiva en las zonas bajas de la Región para la producción de leña, postes, tutores para hortalizas, madera para construcción rural y para producción de carbón. La razones para este uso generalizado son: el crecimiento rápido, aún en condiciones adversas como suelos compactados o temporalmente inundados, climas con estación seca prolongada; facilidad de asocio con cultivos, debido al tipo de copa; utilidad en la formación de cortinas rompevientos y cercos vivos y, finalmente, la calidad de la madera.

1. BOTANICA Y ECOLOGIA

Casuarina equisetifolia L. ex J.R. Forst. & G. Forst. se conoce comúnmente con el nombre de Casuarina. Es capaz de fijar nitrógeno atmosférico mediante la relación simbiótica establecida entre las raíces de los árboles y el microorganismo del suelo (*Frankia*).

Es una especie ampliamente distribuida en las costas tropicales, desde Bangladesh, Burma y las Islas de Andamán, hasta Indonesia, Filipinas y algunas Islas del Pacífico y el norte y este de Australia.

La especie crece bien en zonas cálidas tropicales y subtropicales, con precipitación entre 200 a 5000 mm, con altitudes desde el nivel del mar hasta 2500 m. Soporta suelos pobres y acepta salinidad del suelo y agua subterránea hasta cierto grado.

Es fácil de establecer, apta para combinaciones con cultivos anuales limpios. Se utiliza para la formación de cortinas rompevientos y para la estabilización de dunas. La especie se adapta a ambientes secos debido a una cutícula espesa y cerosa que cubre las ramas.

Produce madera de dimensiones pequeñas, leña, postes, tutores para cultivos; arde fácilmente, aún verde y las cenizas retienen el calor por un período largo. La madera es fuerte, pesada (0,80 a 0,95 g/cm³) y muy resistente.

Nombres comunes

A esta especie se le conoce con los siguientes nombres comunes: casuarina, she oak, horsetail oak, Australian pine, ironwood, whistling pine, agohe (Las Filipinas), ru (Malasia), filao (Senegal), nokonoko (Fiji); en América Central se le conoce como casuarina.

Descripción de la especie

Casuarina equisetifolia L. ex J.R. Forst. & G. Forst. de la familia Casuarinaceae, es el árbol no leguminoso más importante en el trópico y subtropical; capaz de fijar nitrógeno atmosférico mediante la relación simbiótica establecida entre las raíces de los árboles y el microorganismo del suelo (*Frankia*) (Torrey, 1983).

Muchos autores aseguran que "los sitios difíciles son el lugar para las casuarinas". La arena, el sol y la sal son parte del lugar donde se encuentran las casuarinas. Para adaptarse al ambiente seco, estos árboles poseen una cutícula espesa y cerosa que cubre las ramas; además, una sección circular rugosa que reduce el área superficial expuesta al sol. Estas dos características le permiten al árbol reducir la pérdida de agua (NRC, 1984).

Aunque la especie es monoica, se ha reportado que en Bangalore se presenta tanto monoica como dioica (Torrey, 1983). La polinización se efectúa por medio del viento y la floración toma lugar durante un período breve del año, consistente año con año. La especie produce semillas en abundancia desde los cinco años (Rockwood, *et al* 1985).

La especie *C. equisetifolia* es un árbol siempre verde de fuste recto y tamaño de mediano a grande, de 15-30 m de altura o más y diámetros entre 20-50 cm o más, con ramillas delgadas aciculares que la asemejan a pinos, es de copa delgada que se hace ancha con la edad (CATIE, 1986).

La corteza es de color gris-marrón claro, lisa cuando los fustes son jóvenes luego se hace rugosa, gruesa, fisurada y se desprende en hojuelas delgadas y alargadas cuando adulto; la corteza interna es rojiza, picante o astringente (NAS, 1984).

Las ramillas colgantes son generalmente de 23 a 38 cm de longitud y un milímetro de diámetro, de color verde oscuro a pálido, con seis a ocho líneas laterales que finalizan en hojas escamosas en las uniones y desaparecen gradualmente.

Las hojas escamosas, como pequeños dientes, son de menos de un milímetro de largo, colocadas en anillos en los nudos, seis a ocho por nudo, separados 6-10 mm entre cada uno (NAS, 1984).

La especie posee racimos florales poco conspicuos, de color ligeramente marrón. Los racimos de flores masculinas son delgados

y se localizan al final de las ramillas; los racimos de flores femeninas se ubican en cabezuelas de pedicelo corto, las cuales constan de un pistilo, con ovario de pequeñas dimensiones, un estilo muy corto y dos estigmas alargados, como hilos, de color rojo oscuro. Produce frutos compuestos en forma de pequeños conos o piñas redondeadas de 13 a 20 mm de diámetro, más alargados que anchos, ligeramente cilíndricos. Cada fruto individual se abre en dos partes para liberar pequeñas semillas aladas de 6 mm de longitud (CATIE, 1986c).

La madera de la albura es rosada a marrón claro y la madera del duramen marrón oscuro. El grano es recto y la textura fina, raja fácilmente cuando está seca y es muy susceptible al ataque de termitas de madera seca (NAS, 1984). En la Figura 1 se muestran las características botánicas más sobresalientes de la especie.

Distribución geográfica

La especie es nativa de las costas tropicales desde Burma, Las Filipinas, Las Marianas, Las Islas de Pascua, Las Marquesas, Nueva Caledonia, Australia, Sumatra y Las Islas de Andamán. La Figura 2 muestra la distribución natural de la especie en Australia. Se ha introducido en la mayoría de las zonas tropicales y subtropicales y se planta ampliamente en América Latina desde México hasta Brasil y Argentina (NAS, 1984).

Requerimientos ambientales

Temperatura

En forma natural, *C. equisetifolia* crece en zonas cálidas tropicales y subtropicales con temperaturas medias entre 10 y 33°C. Además, es poco resistente a las heladas (NAS, 1984).

Precipitación

En su habitat natural la precipitación varía entre 700-2000 mm, especialmente entre 1000 y 1500 mm, con una estación seca de 6-8 meses. Mundialmente, se ha introducido en lugares con precipitaciones desde 200 a 5000 mm. En América Central se ha plantado en sitios con precipitaciones de 900 a 2800 mm anuales (NAS, 1984).



Figura 1. Características botánicas más sobresalientes de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst (Tomado de NRC, 1984).

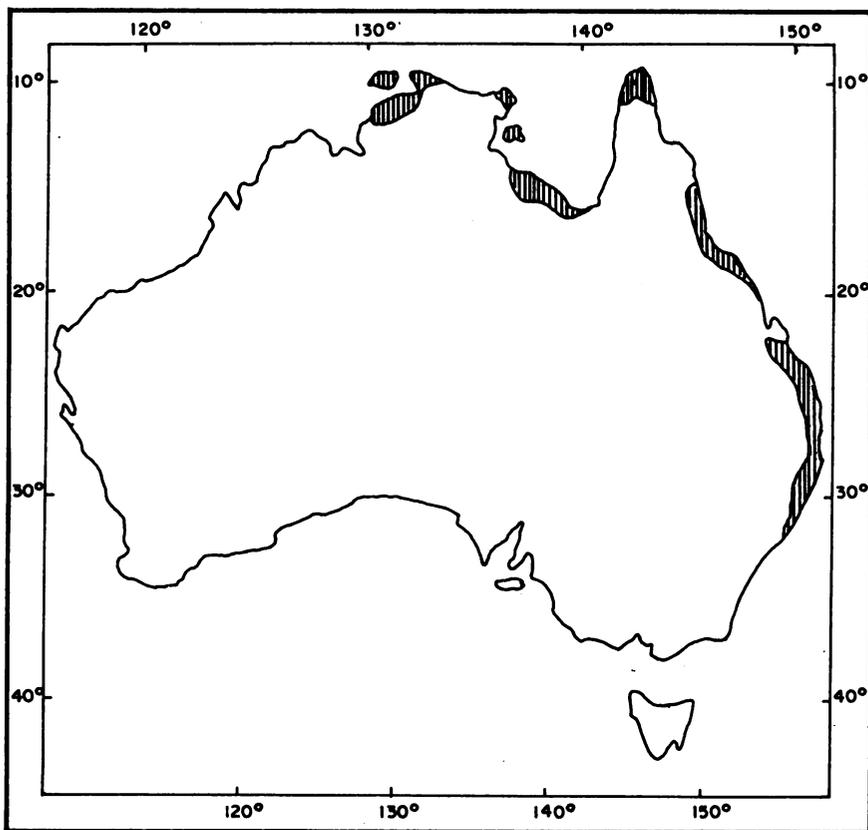


Figura 2. Distribución de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en Australia (Tomado de Doran y Hall, 1983).

Altitud

Aunque en Australia se le encuentra desde el nivel del mar hasta 1000 m de altitud, en las regiones tropicales se le ha plantado hasta aproximadamente 2500 msnm. Asimismo, en América Central se ha plantado hasta aproximadamente 1600 msnm (NAS, 1984).

Suelos

Crece en un ámbito amplio de suelos desde calcáreos y ligeramente salinos hasta ligeramente ácidos. Resiste inundación parcial por algún tiempo. Posee nódulos radiculares que contienen microorganismos que fijan el nitrógeno del aire; por lo tanto, no depende exclusivamente del nitrógeno del suelo para un buen

crecimiento. En América Central se le ha cultivado en suelos de los órdenes Alfisol, Ultisol e Inceptisol, con mejor comportamiento en este último. La especie presenta mal desarrollo en suelos pesados muy arcillosos como los Vertisoles (CATIE, 1986a).

Salinidad

La especie acepta salinidad del suelo y agua subterránea hasta cierto grado, pero su crecimiento se ve afectado bajo condiciones excesivas de sal y de agua subterránea. La especie puede tolerar suelos alcalinos con un pH mayor de 9,5 (Yadav, 1981).

Vientos

La especie posee gran capacidad para colonizar dunas de arena. Sobre el lado de sotavento, donde las condiciones son comparativamente mejores, las ramas más bajas tocan el suelo y producen raíces en aquellos puntos probables de lesiones en la corteza debido a la acción dominante del viento. En estos puntos de enraizamiento se desarrollan ramas verticales. De esta manera, las ramas horizontales se alargan extraordinariamente, firmemente fijadas al suelo en un gran número de puntos y las verticales resultan en una masa cubierta de árboles. La reposición y caída periódica de las agujas y su descomposición lenta, dejan al suelo con una capa espesa de hojarasca. Las agujas largas se enredan y enmarañan proveyendo al suelo de un "fieltro" contra el azote del viento. Es una especie ideal para la estabilización de dunas de arena (Kondas, 1981). El Cuadro 1 resume los requerimientos ambientales para esta especie.

Usos

Leña

La madera de esta especie ha sido llamada "la mejor leña del mundo", por la gran cantidad de calor que libera al arder con producción de poca ceniza. Tiene un poder calorífico de 20 700 kJ/kg (4500 kcal/kg) y produce carbón de excepcional calidad (30 000 kJ/kg). La madera ha sido utilizada en forma directa como combustible de locomotoras. Arde fácilmente, aún verde y las cenizas retienen el calor por un período largo (CATIE, 1986a).

Cuadro 1. Requerimientos ambientales de la especie *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G.Forst.

Requerimiento	<i>C. equisetifolia</i>
Temperatura media anual (°C)	10-33
Precipitación (mm/año)	700-2000
Déficit hídrico (meses/año)	6-8
Altitud (msnm)	hasta 2500
Zona de vida	bs-T a bh-MB
Suelo	
Profundidad efectiva	moderada a profunda
Textura	arenosos a francos
Compactación	no compactados
Drenaje	bueno
pH	5-9
Ordenes	Alfisol, Entisol, Inceptisol, Ultisol

Fuente: Martínez (1987a).

Madera de uso comercial y familiar

La madera se raja fácilmente, aunque es fuerte, pesada (0,8 a 0,95 g/cm³) y muy resistente. Se utiliza en postes y vigas para construcción, postes de conducción eléctrica o telefónica, puntales de minas y remos. Los postes son de gran durabilidad en construcciones marinas. La madera se usa para fabricación de pulpa por el proceso semiquímico de sulfito neutro. También, se utiliza en armazones para techos, mangos de herramientas, yugos y ruedas de carretas (CATIE, 1986a).

Otros usos

La corteza se usa para la obtención de taninos (contenido 6-8% de taninos) y el follaje es utilizado como forraje cuando no hay ningún otro material verde disponible. La especie se utiliza con propósitos ornamentales en muchos países tropicales. Debido a que tolera la salinidad y puede crecer y reproducirse en arenas, la

especie se ha utilizado para el control de la erosión en costas, estuarios, márgenes de ríos y arroyos. Asimismo, por tener abundantes ramitas flexibles puede absorber gran cantidad de energía eólica, por lo que se utiliza como cortina rompeviento. Por la capacidad para fijar nitrógeno del aire se le puede utilizar para restaurar terrenos erosionados, también se utiliza como cercos o setos vivos (CATIE, 1986a). La Figura 3 muestra a la especie como árbol de alineamiento en carreteras.



Figura 3. *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. utilizada en alineamientos en carreteras, en San José, Costa Rica.

2. ESTABLECIMIENTO

La especie puede producir más de 760000 semillas por kilogramo y el período de recolección en América Central es entre marzo y mayo. La germinación de las semillas es rápida a temperaturas altas y el 50 por ciento de las semillas viables germina en 14 días.

En el vivero, la germinación se completa en dos semanas y las plántulas apropiadas para el trasplante son las que obtienen de 10 a 15 cm de altura en seis semanas. En Costa Rica, una vez germinadas, las plantitas necesitan 15 semanas para llegar a 30 ó 40 cm de altura y estar listas para plantación.

La densidad de plantación más común en América Central es de 2500 árboles por hectárea (espaciamiento de 2 x 2 m) para la obtención de leña. La densidad de 1600 plantas por hectárea (2,5 x 2,5 m) se utiliza para la obtención de postes y en cortinas rompevientos.

La especie alcanza buen desarrollo en altura y diámetro cuando se aplica fertilización con NPK+Mg (60g N + 77g Mg/planta) al momento de la plantación.

Los insectos que más atacan a la especie son el Trigona silvestriana y el abejón barrenillo, los que hacen incisiones en la corteza y barrenan el xilema, respectivamente.

En vivero los patógenos más dañinos son el Rhizoctonia solani y Fusarium sp., que ocasionan el mal del talluelo o pudrición de raíces.

Producción de semillas

La especie puede producir más de 760 000 semillas por kilogramo (Turnbull y Martensz, 1981). Aunque no existe mucha información sobre la época y formas de recolección de las semillas, en América Central, el período de producción de semillas es, aproximadamente, entre finales de marzo y finales de mayo (CATIE, 1986c). Las semillas deben recolectarse de árboles superiores, elegidos por su forma y rapidez de crecimiento, evitando

aquellos árboles débiles, bifurcados o enfermos. En América Central existen pocos rodales semilleros con estas características, por lo que se recomienda obtener las semillas de bancos de semillas nacionales o regionales especializados, o directamente de Australia.

La recolección de semillas de los árboles altos se hace cortando los frutos o ramas con frutos de la copa; también recogiendo los frutos del suelo. La extracción de las semillas es relativamente simple: los conos o ramas fructificadas se colocan sobre plástico a secar al sol. En dos a tres días, se abren las bracteolas y las semillas aladas son liberadas (NRC, 1984).

Hay evidencia de que las semillas pierden su viabilidad muy rápido, a menos de que se provean condiciones especiales de almacenamiento. Las especies retienen su viabilidad por unos pocos meses pero la mayoría fallan al germinar luego de un año. Es posible almacenar semillas de la especie satisfactoriamente por dos años, a temperaturas por debajo del punto de congelación (-7°C) y cerca al punto de congelación (3°C) con un contenido de humedad de 6 a 16% (Turnbull y Martensz, 1981).

La germinación de las semillas es rápida a temperaturas altas, donde el 50 por ciento de las semillas viables germina en 14 días. Se recomienda que las semillas sean puestas a germinar a 30°C con luz y que se haga un conteo final luego de 22 días. Hay poca evidencia de que la luz sea obligatoria para la buena germinación de la especie, a pesar de que la proporción de germinación se retarda cuando las semillas germinan en completa oscuridad (Turnbull y Martensz, 1981). En Costa Rica se encontró, para semillas recolectadas localmente, un período de germinación de siete días con 40 a 50% de germinación (CATIE, 1986c).

Producción en vivero

En el vivero es conveniente preparar las camas de crecimiento a un metro de ancho, para facilitar el riego manual y la limpieza de malezas de ambos lados. El largo de la cama puede ser de cualquier longitud, dependiendo de las condiciones del campo.

La siembra se realiza en cajas de germinación conteniendo arena desinfectada o en bancales, con una proporción de semillas de 2,0 a 2,5 g/m², lo cual proporcionará de 400 a 500 plantitas, adecuadas para el trasplante. La siembra se hace después de que la cama esté bien húmeda, de manera que las semillas se adhieran a la

superficie húmeda, luego se rocía una capa fina de suelo para cubrir las semillas.

El riego, en una lámina fina, se efectúa dos veces al día durante los primeros 15 días y una vez al día durante los siguientes 30 días. La sombra de las camas se puede hacer con ramas ligeramente desplegadas sobre la cama, para controlar la evaporación y para prevenir el daño a las plantitas que emergen debido al riego. Se sugiere también, proporcionar a la cama cáscara de coco o cáscara de árbol, lo que reduce la evaporación en gran medida y, consecuentemente, los costos del riego.

Para controlar insectos se acostumbra espolvorear la cama completa con polvo BHC* al 10%. No se acostumbra añadir inóculo o nódulos a las camas como prácticas del vivero.

La germinación se completa en unos 10 días. Las plántulas obtienen de 10 a 15 cm de altura en seis semanas y son apropiadas para el trasplante.

Para la producción a raíz desnuda, se trasplantan en camas, a 10 x 10 cm y se riegan con una frecuencia de un día por medio durante 90 días. Al final de 150 días, las plantitas crecen de 30 a 40 cm y quedan listas para su plantación a raíz desnuda en el campo. En Costa Rica, una vez germinadas, las plantitas necesitan 15 semanas para llegar a 30 ó 40 cm de altura y estar listas para ser plantadas.

Si la técnica es plantar en recipientes, las plántulas son trasplantadas a bolsas de polietileno de 12,5 cm de ancho y 17,5 cm de largo. En Costa Rica esta práctica se realiza a los 15 días de germinadas las plantitas, las cuales se trasplantan a bolsas, controlando la presencia de hormigas defoliadoras y hongos (CATIE, 1986c). Las bolsas de polietileno son colocadas en camas de crecimiento. El riego se hace hasta que las plantitas obtienen 30 a 60 cm, que es cuando se plantan en el campo.

Los viveros privados comerciales mantienen una densidad de población muy alta en las camas y también las fertilizan para levantar el crecimiento en altura en un corto tiempo. Estas plantitas, sin el endurecimiento necesario, registran un alto

* La mención de nombres comerciales no significa recomendación alguna por parte del CATIE.

porcentaje de mortalidad en el campo (Kondas, 1981). La Figura 4 muestra camas de germinación de *C. equisetifolia* en Guatemala.

Plantación

Preparación del terreno

La preparación del suelo tiene por objeto proporcionar condiciones óptimas para el desarrollo de las plantas, tanto mediante el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas, de retención de humedad, como por la eliminación de malezas y de agentes perjudiciales, como plagas y enfermedades que atacan las plantas en el campo. En Nicaragua, en suelos Vertisoles, se mejoró notablemente la sobrevivencia al arar la tierra antes de la plantación (CATIE, 1986c). La Figura 5 muestra una plantación de *C. equisetifolia* de cuatro meses de edad en El Salvador.



Figura 4. Camas de germinación de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en Guatemala.



Figura 5. Plantación de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst., de cuatro meses de edad, en El Salvador.

Espaciamiento de plantación

Generalmente, la densidad de plantación varía de 1600 a 2500 árboles por hectárea cuando es en bloques compactos (espaciamiento de plantación de 2 a 2,5 m). Para otros propósitos el número puede variar de 8000 a 10 000 árboles por hectárea (espaciamiento de plantación de 1 a 1,5 m). El tipo de producto que desea obtenerse, calidad de sitio y la intensidad del manejo, definen el espaciamiento de la plantación a utilizar. El Cuadro 2 presenta los espaciamientos de plantación recomendados según usos y productos a obtener.

Cuadro 2. Espaciamientos recomendados según usos y productos para *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en América Central.

Espaciamiento inicial (m x m)	Producto principal	Necesidad aclareos (edad-años)	Intensidad aclareos % No.árboles	Turno (años)
1,0 x 1,0	leña, postes,tutores	*	*	2-4
2,0 x 2,0	leña	2	40-60	5
2,5 x 2,5	leña, postes,cortinas	3-5	40-50	8
2,5 x 3,0	leña, postes	*	*	8-10
3,0 x 3,0	cercos, cortinas	6-8	40-50	8-10
3,0 x 3,0	madera			10-12
3,0 x 3,0	otros productos **	*	*	10-12
3,0 x 4,0	" "			

* No aplica.

** Asocios agroforestales a diferentes espaciamientos.

Fuente: CATIE (1986c).

Fertilización

Las especies forestales, al igual que los cultivos agrícolas, requieren de ciertos elementos en el suelo, de manera que si algunos escasean, deben ser agregados en las dosis y en el momento oportuno.

La determinación de la clase y cantidad de fertilizante puede ser estimada por la observación de la vegetación; sin embargo, es el

análisis químico del suelo la manera más segura de orientarse respecto a estas aplicaciones de abono, cuyo costo siempre es alto.

Las dosis excesivas de fertilizantes resultan en pérdidas efectivas, ya que las sales solubles, como los nitratos, son llevadas por el agua de la lluvia o el riego; los fosfatos y sales de calcio pueden ser inmovilizados y el exceso de nitrógeno causa un gran desarrollo foliar, lo que retrasa la lignificación de los fustes.

Fertilizantes orgánicos

Es frecuente la falta de materia orgánica en la mayoría de los suelos cultivados, por lo que es recomendable incorporar materia orgánica a los mismos. La cantidad de materia orgánica que se aplica, en general, es superior a 10 toneladas por hectárea, lo que puede lograrse en forma directa o mediante socios agroforestales.

Fertilizantes minerales

Los fertilizantes de empleo más corriente son los fosfatos, nitratos y carbonatos; sin embargo, puede que haya deficiencias de otros que contienen azufre, o uno o varios de los elementos llamados "menores".

Los fosfatos (P) son aplicados durante la plantación para evitar que se fijen; las dosis recomendadas fluctúan alrededor de 250 kg de fosfato por hectárea. Los nitratos (N) son aplicados, en general, en cantidades de 200 kg por hectárea, distribuidos en tres o cuatro aplicaciones.

El Cuadro 3 muestra el efecto de cinco tipos de fertilización sobre el crecimiento de Casuarina a los 41 meses de edad en San Ramón, Costa Rica. Como se observa, el mayor IMA en altura y diámetro (1,47 m/año y 1,41 cm/año, respectivamente) lo alcanzó la Casuarina cuando se aplicó el tratamiento NPK+Mg (60g N + 77g Mg/planta) y el menor IMA en altura y diámetro (1,32 m/año y 1,22 cm/año, respectivamente) con el tratamiento testigo (sin fertilización) (CATIE, 1986c).

Cuadro 3. Efecto de cinco tipos de fertilización sobre el crecimiento de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. a los 41 meses de edad, en San Ramón, Costa Rica.

Tratamiento de fertilización	Altura		dap	
	Total (m)	IMA (m/año)	Total (cm)	IMA (cm/año)
NPK (10-30-10) (60 g/planta)	4,52	1,32	4,27	1,25
NPK+Mg (60 g N/planta+ 77 g Mg/planta)	5,02	1,47	4,82	1,41
NPK+Ca (60 g/planta+ 200 g Ca/planta)	4,69	1,37	4,61	1,35
NPK+Mg+Ca (60 g/planta+ 200 g Ca/planta+77 g Mg/planta)	4,78	1,40	4,68	1,37
Testigo	4,49	1,32	4,15	1,22

Sitio : Altitud: 1220 msnm TMA: 21,7°C PMA: 2225 mm

Mes def.hídrico: 5

IMA : Incremento medio anual

PMA : Precipitación media anual

TMA : Temperatura media anual

Fuente: CATIE (1986c)

Técnica de plantación

Para establecer la plantación, en el sitio recién desmontado, los tocones son desarraigados y los matorrales se remueven. Algunas veces los tocones son convertidos a carbón en el mismo sitio. Si la tierra está libre de tocones o rastrojos se ara con tractor o arado común.

En suelos arenosos, la plantación se lleva a cabo inmediatamente después de hacer los hoyos y los árboles se plantan ya sea a raíz desnuda o en bolsa.

En los suelos compactados, se hacen hoyos de 20 x 20 cm, se permite al suelo airearse por unas pocas semanas y los árboles se plantan en envases.

Control de malezas

El control de malezas constituye una de las primeras labores de mantenimiento y tiene por objeto eliminar plantas de otras especies que compiten por espacio, humedad y elementos nutritivos con aquellas que forman la masa deseada.

El control de malezas es una inversión más en el cultivo de especies forestales y, como tal, debe ser mínima, pero persiguiendo el máximo provecho. La eliminación de malezas se puede hacer manualmente, con herramientas pequeñas y sencillas, o bien, con herbicidas químicos.

Protección de la plantación

Los árboles recién plantados, deben ser protegidos contra el ramoneo, pisoteo del ganado, contra los incendios, los insectos y patógenos, para lo cual deben tomarse varias medidas.

Ganado

Una medida para excluir el ganado es la construcción y mantenimiento de cercas, por lo menos, durante los primeros años, hasta que los árboles hayan alcanzado suficiente desarrollo en diámetro y altura y puedan resistir el roce y los empujones de los animales.

Fuego

La protección contra el fuego comienza con los cortafuegos y vías de acceso apropiadas; por lo tanto, deben considerarse en la distribución del terreno para dejar sin plantar fajas y senderos que se mantendrán, más adelante, libres de vegetación herbácea y arbustiva. Las temperaturas que se producen por el incendio de hierbas secas son suficientes para dañar los arbolitos nuevos.

Insectos

Los insectos que más atacan a la Casuarina son *Trigona silvestriana* y el abejón barrenillo. El primero es una abeja sin ponzoña o aguijón, la cual es polinizadora, sin embargo, puede causar daño a los árboles, de los cuales obtiene resina que, junto con otros materiales vegetales, son utilizados para construir sus nidos. En Costa Rica, este insecto hace incisiones en la corteza de árboles de Casuarina. El segundo insecto es una especie no identificada del abejón barrenillo que se presenta en árboles de Casuarina, tanto en Costa Rica como en Guatemala y que barrena el xilema (CATIE, 1991), en prensa.

Patógenos

Los patógenos que más atacan a la Casuarina son *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* sp y *Pestalotia* sp. El primero y el segundo ocasionan el mal del talluelo, damping-off o pudrición de raíces en el vivero. El *R. solani* es un patógeno ampliamente distribuido en el mundo, tanto en suelos cultivados como no cultivados, que puede ser un patógeno de plantas o actuar como saprófito. El *Fusarium* sp es un parásito facultativo que habita normalmente en el suelo. El *Pestalotia* sp ataca plantaciones que crecen en suelos pobres, donde el árbol no dispone de los niveles adecuados de macroelementos y boro, así como en suelos compactados (CATIE, en prensa, 1991). El Cuadro 4 presenta los insectos, patógenos y plantas parásitas que atacan a *C. equisetifolia* en América Central.

Cuadro 4. Insectos, patógenos y plantas parásitas que atacan a *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst.& G. Forst.

Agente dañino	daño causado	Edades	Gravedad del problema
Insectos			
<i>Trigona silvestriana</i> (HYM., Apidae) (Atarrá)	extracción de resina	J,M	R
Abejón barrenillo (COL., Platypodidae)	barrenamiento de xilema	M	E
Patógenos			
<i>Fusarium</i> sp.	pudrición de raíz	M	R
<i>Pestalotia</i> sp.	follaje	M	R
<i>Phomopsis</i> sp.	follaje	J,M	R
	ramas	J	R
<i>Rhizoctonia solani</i>	pudrición de raíz	V	R
Plantas parásitas			
<i>Struthanthus orbicularis</i> (Matapalo)	follaje	M	R

J = árboles jóvenes, menores de tres años.

M = árboles mayores de tres años.

V = plántulas o pseudoestacas en viveros.

E = problema esporádico, que ha demandado al menos una vez esfuerzos de combate.

R = problema registrado, observado cuando menos una vez.

Fuente: (CATIE, 1991. En prensa).

3. MANEJO

En América Central, la especie ha sido introducida en plantaciones experimentales en casi todos los países y se encuentra creciendo en diferentes condiciones de sitio.

En sitios muy buenos, buenos y regulares, la especie alcanza una altura dominante de 11, 9 y 7 m, respectivamente, a la edad base de cinco años.

El modelo de rendimiento presentado en esta sección debe considerarse preliminar y válido solamente dentro de los ámbitos de las variables utilizadas para generarlos.

Según este modelo en sitios promedios ($IS = 9$ m) a los cinco años de edad y a una densidad de plantación de 2500 árboles por hectárea, la especie presenta un rendimiento en volumen con corteza de $22,5 \text{ m}^3 / \text{ha}$ y un peso de leña de $22,4 \text{ tm} / \text{ha}$. El IMA en peso seco de leña, bajo las mismas condiciones, es de $4,5 \text{ tm} / \text{ha}$.

En asociación agroforestal con cultivos anuales, la especie alcanza una mayor altura, al aprovechar el fertilizante, sin que el espaciamiento de plantación, influya significativamente en dicha respuesta.

Crecimiento de Casuarina en algunos sitios de América Central

El Cuadro 5 presenta los datos de crecimiento de *C. equisetifolia* en algunos sitios de América Central. Los resultados indican que en general, la especie presenta una supervivencia alta, excepto en suelos muy arcillosos, compactados y erosionados. Los mejores crecimientos se dan en zonas con precipitación entre 1300 y 1700 mm, con una marcada estación seca.

La especie ha sido introducida en plantaciones experimentales en casi todos los países de América Central. En el bosque seco tropical de la UCA y el Gurú, Nicaragua, se han observado los mejores crecimientos en diámetro ($2,01 \text{ cm/año}$, UCA) y altura ($2,08 \text{ m/año}$, Gurú). Asimismo, en Acatempa, La Conora, Guatemala y Pese, Herrera, Panamá, se han observado los

crecimientos más bajos en diámetro y altura (0,60 cm/año y 0,41 m/año, respectivamente).

La especie crece bien desde 40 hasta 1450 msnm, en sitios con temperaturas entre 18,2 y 28,1°C, con precipitaciones entre 889 y 3140 mm. Además, soporta de cinco a seis meses de déficit hídrico (donde la precipitación es menor que la evapotranspiración potencial).

Índice de sitio para Casuarina en América Central.

Por sitio se entiende el conjunto de factores formado por el suelo, el clima y las condiciones topográficas que interactúan con el crecimiento de la vegetación existente.

El crecimiento en altura se utiliza como índice de la productividad del sitio; o sea, como una expresión que permite clasificar la bondad del medio como productor de madera.

Si se observa la altura de los árboles de una especie determinada y a una edad en que el crecimiento en altura es cercano al máximo, se podrá observar que hay diferencias apreciables entre los sitios óptimos, medianos y pobres.

El índice de sitio es, entonces, una estadística utilizada para estimar el potencial del sitio y se define como la altura dominante que tiene o tendría un rodal de la especie a una edad base. Tradicionalmente, se define la altura dominante como la altura promedio de los cien árboles más grandes por hectárea.

Alder (1990), utilizando análisis de regresión jerárquico y la ecuación de Schumacher (1939), detalla los cálculos necesarios para generar los modelos anamórficos o de pendiente común (b común), y polimórficos o de intercepto común (a común), según la técnica expuesta por Bailey y Clutter (1974), ecuación y técnica que se utilizaron en este trabajo con el programa RECJER.BAS desarrollado por Hughell*.

* D. Hughell, Especialista en información forestal, Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple, CATIE, Turrialba, Costa Rica, Diciembre 1990.

Cuadro 5. Características ambientales y de crecimiento de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en algunos sitios de América Central donde se ha introducido la especie^{1/}

País	Sitio	Altitud (m/nm)	TMA (°C)	PMA (mm)	Def. híd.	Zona de vida	Densidad inicial ^{1/} (Arb/ha)	Edad ^{2/} (meses)	Supervi- vencia ^{3/} (%)	Diámetro ^{1/}		Altura ^{1/}	
										\bar{X} (cm)	IMA (cm/año)	\bar{X} (m)	IMA (m/año)
GUA	Amatitlán	1450	21,0	1,128	7	bh-S	2500	244	100	14,60	0,72	15,50	0,76
GUA	S.Pedro Ayampuc	1350	18,2	1,247	6	bh-MB	2500	42	60	3,95	1,13	4,45	1,27
GUA	La Conora	980	23,0	1,120	6	bh-ST	2500	106	96	6,30	0,71	7,90	0,99
GUA	La Conora	980	23,0	1,120	6	bh-ST	2500	108	80	9,20	1,04	11,50	1,30
GUA	La Conora	980	23,0	1,120	6	bh-ST	2500	95	92	8,20	1,04	10,90	1,38
GUA	La Conora	980	23,0	1,120	6	bh-ST	2500	95	92	7,80	0,99	10,80	1,34
GUA	La Conora	980	23,0	1,120	6	bh-ST	2500	50	88	2,50	0,60	2,90	0,70
GUA	Santa Rosa	557	28,1	3,140	4	bh-ST	4444	13	100			1,05	0,48
GUA	Santa Rosa	611	25,1	2,630	6	brnh-ST	2500	23	67			1,93	0,70
HON	Fco Morazán	780	23,1	938	8	be-ST	4444	41	100	4,68	0,97	4,50	0,93
HON	Valle de Angeles	1750			-	bh-P	2500	29	90	2,84	1,17	3,79	1,65
CR	Piedades Sur	1080	21,2	1,926	5	brnh-PT	2500	57	96	6,81	1,43	6,23	1,31
CR	Piedades Sur	1200	21,2	1,926	5	brnh-P	2500	32	74	2,44	0,91	1,39	0,52
CR	Piedades Norte	1180	21,7	1,926	5	brnh-P	2500	53	92	7,81	1,77	6,68	1,51
CR	Puriscal	1010	27,5	1,149	5	brnh-P	2500	18	84			1,30	0,87
CR	Sarchí	1350	22,3	2,400	-		2500	68	91	11,18	1,97	9,96	1,75
PAN	Pese, Herrera	80	27,2	1,382	5	be-T	1111	35	60			2,50	0,41
PAN	Antón, Coclé	90	27,5	1,463	5	be-T	1666	39	98	2,30	0,71	2,60	0,80
PAN	Antón, Coclé	110	27,5	1,463	5	bh-T	1666	35	88	2,40	0,82	3,00	1,03
NI	El Guru	40	27,9	1,623	5	be-T	500	43	70	5,47	1,52	6,97	2,08
NI	Tiptitapa	70	27,7	1,131	7	be-F	500	31	72	3,84	1,48	4,30	1,66
NI	San Isidro	475	25,7	889	8	brnh-PT	2500	34	70	3,40	1,21	3,50	1,23
NI	Km 17, UCA	215	26,8	1,438	6	be-T	2500	58	71	9,69	2,01	7,80	1,61

1/ = Promedios de crecimiento a nivel de tratamiento.

2/ = Edad de la última medición.

Fuente: Sistema Mira. CATIE, 1990.

Para estimar el índice de sitio para *C. equisetifolia* en América Central, Marchena (1990) ajustó el modelo de Schumacher, utilizando mediciones repetidas de 38 parcelas permanentes establecidas en toda la región (Ecuación 1).

$$\text{Ln (hdom)} = a + b / (E)^k \quad (1)$$

donde:

Ln (hdom) = logaritmo natural de altura dominante
a = 6,1059
b = -8,8431
c = 0,20
E = edad de plantación en meses
R^e = 91%
n = 117 mediciones

Para estimar el índice de sitio (IS) por el modelo de intercepto común (a común) se sustituye el índice de sitio (IS) por la altura dominante (hdom) para una edad base (Ebase), donde el coeficiente a permanece constante y b se denota como b_i pues cambia para cada parcela:

$$\text{Ln (IS)} = a + b_i / (Ebase)^k \quad (2)$$

donde:

Ln(IS) = logaritmo natural del índice de sitio
a, k = de la ecuación de Schumacher
b_i = pendiente a la edad base
Ebase = Edad base

Despejando b_i de la ecuación 2 se tiene:

$$b_i = (\text{Ln}(\text{IS}) - a) * Ebase^k \quad (3)$$

Sustituyendo la ecuación 3 en lugar de b en la ecuación 1 y despejando el índice de sitio (IS) se obtiene el modelo polimórfico o de intercepto común:

$$\text{Ln (IS)} = a + [\text{Ln (hdom)} - a] * (E/Ebase)^k(4)$$

donde:

a y k = del modelo de Schumacher (Ecuac. 1)

Para estimar el índice de sitio de un rodal o una plantación, se sustituye la edad y la altura dominante de ese rodal en la Ecuación 4.

Las curvas de rendimiento en altura dominante de la Figura 6 fueron generadas para índices de sitio de 11, 9 y 7 m que representan sitios muy buenos, buenos y regulares, respectivamente. Los valores de b_i para cada uno de estos índices se sitio se estimaron en la Ecuación 3 y su valor se sustituye en la Ecuación 1.

Predicción del crecimiento y rendimiento

Una vez que se estimó el índice de sitio, el siguiente paso fue ajustar una ecuación para estimar el crecimiento de los diferentes parámetros del rodal, en función de la edad, el índice de sitio y la densidad de plantación. Las ecuaciones ajustadas para los diferentes parámetros del rodal se muestran en el Cuadro 6 y los ámbitos de validez de éstas se muestran en el Cuadro 7.

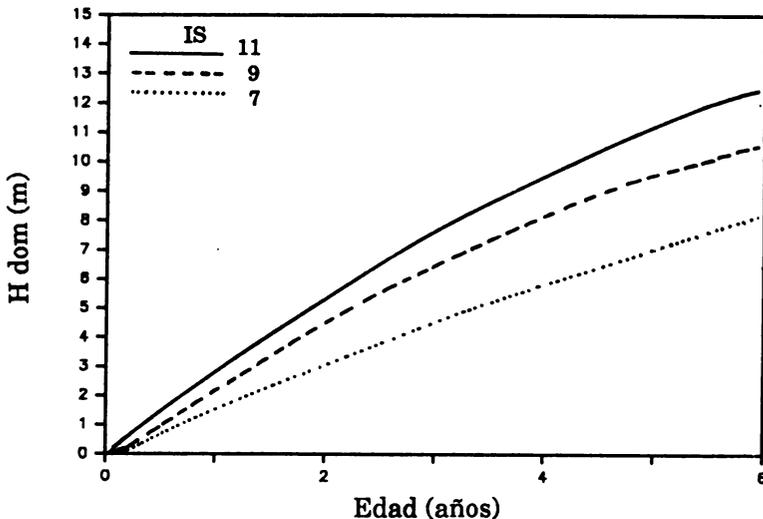


Figura 6. Curvas de altura dominante para tres índices de sitio de 11, 9 y 7 m a la edad base de cinco años para *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. y G. Forst. América Central (Tomado de Marchena, 1990).

El modelo logarítmico de las ecuaciones 5 y 6 para estimar volumen y peso seco por árbol, fue seleccionado de 15 modelos probados utilizando el paquete estadístico PSP (Palmer Statistical Package).

Para estimar el número de árboles supervivientes (N_{actual}) se utilizó el análisis de regresión múltiple para estimar el N_{actual} en función de la densidad inicial (N_{inicial}), el índice de sitio (IS) y la edad. Debido a la edad joven de las parcelas (Cuadro 7) y la falta de mortalidad en las mismas, el número de árboles actual (N_{actual}) se estimó como la mortalidad promedio de las parcelas en el primer año (Ecuación 7).

El siguiente paso, para confeccionar las tablas de rendimiento fue el ajuste de una ecuación para estimar altura media y diámetro de la masa forestal. Al igual que para el volumen y el peso seco, el modelo logarítmico fue el modelo que mejor se ajustó a los datos (Cuadro 6).

Como último paso, para desarrollar las tablas de rendimiento del Cuadro 8 se utilizó la hoja electrónica "LOTUS 1 2 3", diseñada por Hughell (1990), la cual contiene las ecuaciones generadas, las condiciones iniciales (IS y densidad) y la tabla de rendimiento que se genera a partir de esas condiciones.

En este ejemplo las tablas de rendimiento se confeccionaron para sitios regulares (IS=7), buenos (IS=9) y muy buenos (IS=11) y para densidades de plantación de 2500 árboles por hectárea, por ser ésta la densidad promedio encontrada en los datos y por ser la densidad más utilizada en plantaciones para leña con esta especie.

Las Figuras 7, 8 y 9 muestran el desarrollo en diámetro, altura media y rendimiento en peso seco de leña para los índices de sitio de 11, 9 y 7 m, con una densidad de plantación de 2500 árboles por hectárea para América Central.

Aplicación del modelo

Para aplicar el modelo global a una plantación forestal de esta especie, que se ubica dentro del rango de valores del Cuadro 7, hay que considerar dos parámetros; la calidad de sitio (IS) y la densidad de plantación inicial (N_{inicial}). Una vez determinados estos dos parámetros, se pueden emplear las ecuaciones del modelo global para generar la tabla de rendimiento correspondiente, o seleccionar la tabla con las condiciones más cercanas a las tablas presentadas en este documento.

Cuadro 6. Serie de ecuaciones para predecir el crecimiento y rendimiento de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en América Central.

Parámetro	Ecuación
Vol total con corteza por árbol (m ³)	$\ln(\text{Vol}) = a + b \cdot \ln(\text{dap}) + c \cdot \ln(h) \quad (5)$ $a = -9,0882 \quad R^2 = 0,97$ $b = 1,5402 (0,1055)^* \quad n = 96$ $c = 0,9755 (0,1466)$
Peso seco biomasa leñosa por árbol (kg)	$\ln(\text{PSL}) = a + b \cdot \ln(\text{dap}) + c \cdot \ln(h) \quad (6)$ $a = -1,3471 \quad R^2 = 0,94$ $b = 1,6990 (0,0689) \quad n = 126$ $c = 0,3949 (0,0994)$
Estimación del número de árboles por hectárea (N _{actual})	$N_{\text{actual}} = a \cdot N_{\text{inicial}} \quad (7)$ $a = 0,81 \quad n = 38$
Estimación de la altura media (m)	$\ln(h) = a + b \cdot \ln(\text{edad}) + c \cdot \ln(\text{IS}) \quad (8)$ $a = -3,1381 \quad * R^2 = 0,84$ $b = 0,9171 \quad n = 117$ $c = 0,5948$
Estimación del dap (cm)	$\ln(\text{dap}) = a + b \cdot \ln(\text{edad}) + c \cdot \ln(\text{IS}) \quad (9)$ $a = -2,9867 \quad R^2 = 0,76$ $b = 0,9331 \quad n = 117$ $c = 0,4218$

- Vol = volumen con corteza por árbol (m³)
 PSL = peso seco de biomasa leñosa por árbol (kg)
 IS = índice de sitio (m)
 N_{actual} = densidad actual
 N_{inicial} = densidad inicial
 h = altura media (m)
 ln = logaritmo natural
 R² = coeficiente de determinación
 n = número de observaciones
 dap = diámetro a la altura del pecho (cm)
 edad = edad de las parcelas (meses)
 edad base = edad base de 60 meses
 a, b, c y k = coeficientes estimados por la regresión múltiple
 * El valor en paréntesis es el error estándar del coeficiente

Fuente: Marchena (1990)

Cuadro 7. Ambito de las variables incluidas para los resúmenes por medición para las parcelas de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en América Central.

Variable	Promedio	Ambito	
		Mínimo	Máximo
Edad (meses)	36,5	12,0	106,0
N _{inicial} (n/ha)	2898,0	1600,0	4444,0
N _{actual} (n/ha)	2390,0	278,0	4444,0
N _{ejes} (n/ha)	2525,0	278,0	5000,0
Supervivencia (%)	81,0	60,0	100,0
dap (cm)	4,0	1,2	11,1
Altura (m)	4,7	0,8	11,5
Altura dominante (m)	6,2	1,3	14,1
Indice de sitio (m)	10,4	4,6	14,0

N_{inicial} = número de árboles inicial.
 N_{actual} = Número de árboles actual.
 N_{ejes} = Número de ejes actual.

Validez del modelo

Según Ponce y Wensel (1989), citados por Marchena (1990), se define verificación como una comprobación del modelo con los mismos datos que fueron utilizados para construirlo y se define validación como una comprobación del modelo con un grupo de datos independientes. En ambos casos el objetivo es dar a los usuarios del modelo un nivel de confianza.

Debido a la falta de datos no fue posible validar el modelo utilizando datos independientes. Sin embargo, en el Cuadro 9 se presentan los resultados de la verificación del modelo. Las estadísticas corresponden a la diferencia entre el valor observado (real) y el valor calculado (predicho) con el modelo.

En este caso, la precisión para estimar el crecimiento de parcelas individuales es adecuada, ya que los coeficientes de variación (CV) de 22 a 31% son aceptables para la mayoría de los parámetros estimados (dap, altura, N_{actual}).

Para la estimación del peso seco de leña por hectárea, se encontró poca precisión (CV de 57%) debido a que la ecuación generada es para estimación de peso de leña para árboles individuales.

Debido a la falta de validez del modelo y a pesar de la verificación realizada se recomienda utilizar este modelo como preliminar y dentro del rango de valores utilizados para generarlo.

Cuadro 8. Tablas preliminares de rendimiento para tres índices de sitio de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. con una densidad inicial de 2500 árboles por hectárea en América Central.

IS = 11

Edad (años)	N (N/ha)	dap (cm)	ALT (m)	AB (m ² /ha)	VOL (m ³ /ha)	PSL (tm/ha)	ICA (tm/ha)	IMA (tm/ha)
1	2025	1,4	1,7	0,3	0,7	1,2	1,2	1,2
2	2025	2,6	3,3	1,2	3,4	4,6	3,4	2,3
3	2025	3,9	4,8	2,4	8,8	10,0	5,5	3,3
4	2025	5,1	6,2	4,2	17,1	17,6	7,5	4,4
5	2025	6,3	7,7	6,4	28,8	27,1	9,6	5,4
6	2025	7,5	9,1	9,0	44,0	38,7	11,6	6,4

IS = 9

Edad (años)	N (N/ha)	dap (cm)	ALT (m)	AB (m ² /ha)	VOL (m ³ /ha)	PSL (tm/ha)	ICA (tm/ha)	IMA (tm/ha)
1	2025	1,3	1,5	0,3	0,5	1,0	1,0	1,0
2	2025	2,4	2,9	1,0	2,7	3,8	2,8	1,9
3	2025	3,6	4,2	2,0	6,8	8,3	4,5	2,8
4	2025	4,7	5,5	3,6	13,4	14,5	6,2	3,6
5	2025	5,8	6,8	5,4	22,5	22,4	7,9	4,5
6	2025	6,8	8,0	7,6	34,4	31,9	9,5	5,3

IS = 7

Edad (años)	N (N/ha)	dap (cm)	ALT (m)	AB (m ² /ha)	VOL (m ³ /ha)	PSL (tm/ha)	ICA (tm/ha)	IMA (tm/ha)
1	2025	1,1	1,3	0,2	0,4	0,8	0,8	0,8
2	2025	2,2	2,5	0,1	2,0	3,0	2,2	1,5
3	2025	3,2	3,6	1,7	5,0	6,5	3,6	2,2
4	2025	4,2	4,8	2,9	9,8	11,4	4,9	2,9
5	2025	5,2	5,9	4,4	16,5	17,6	6,2	3,5
6	2025	6,2	6,9	6,1	25,3	25,2	7,5	4,2

AB = área basal (m²/ha).

ICA = incremento corriente anual.

IMA = incremento medio anual.

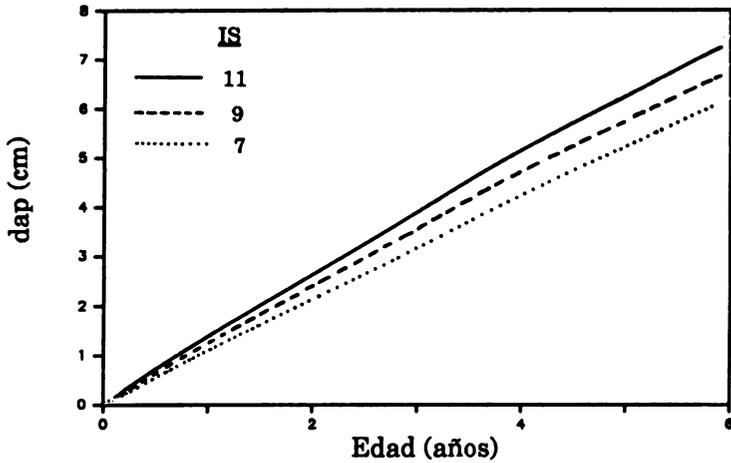


Figura 7. Desarrollo en diámetro con la edad, de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. para los índices de sitio de 11, 9 y 7 m a la edad base de cinco años y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central (Tomado de Marchena, 1990).

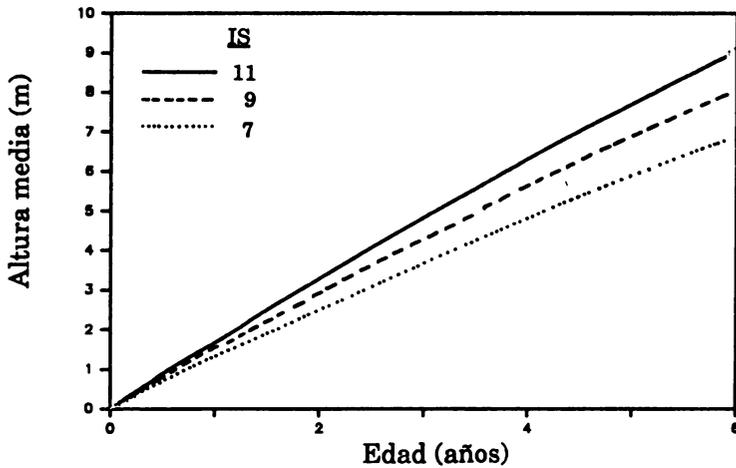


Figura 8. Desarrollo en altura media con la edad, de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. para los índices de sitio de 11, 9 y 7 m a la edad base de cinco años y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central (Tomado de Marchena, 1990).

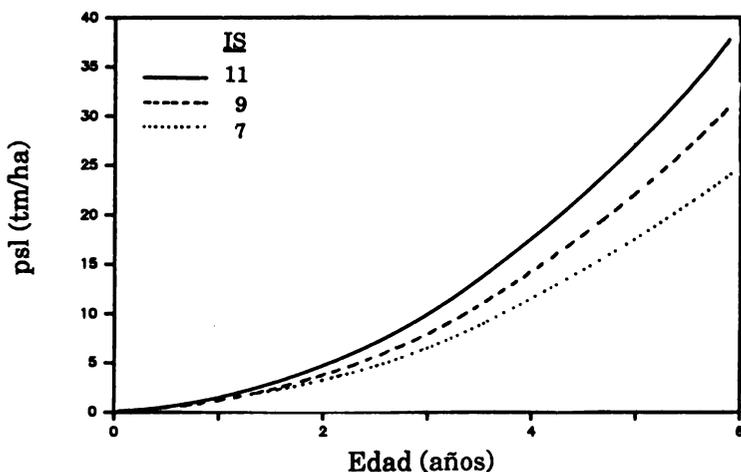


Figura 9. Rendimiento de peso seco de leña de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. para los índices de sitio de 11, 9 y 7 m, a la edad base de cinco años y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central (Tomado de Marchena, 1990).

Cuadro 9. Resultados de la verificación de los modelos para estimar la altura, el diámetro y el peso seco de leña de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst en América Central.

Parámetros del crecimiento				
Estadística*	N _{actual} (N/ha)	Altura (m)	dap (cm)	PSL (tm/ha)
Tamaño de la muestra	17,0	117,0	117,0	117,0
Promedio	-40,1	0,1	-0,1	-0,1
Desviación estándar	32,4	1,0	1,2	4,3
cv(%)	26,0	22,0	31,0	57,0

* Las estadísticas corresponden a las diferencias entre el valor calculado y el valor observado.

Asocio inicial con cultivos agrícolas

Sobre la base de que un buen sistema de plantación para Casuarina es la asociación agroforestal, la especie se ve beneficiada en su etapa inicial, por el asocio con cultivos agrícolas. En cuanto a las limpieas, durante el primer año, la especie se debe someter al régimen de limpieas del cultivo anual asociado; luego de la cosecha agrícola final, es recomendable permitir el crecimiento del rastrojo ya que sirve como fuente de nutrimentos y controladora de malezas. Asimismo, la especie se beneficia grandemente de la limpieza y fertilización cuando está asociada a cultivos perennes.

El Cuadro 10 muestra el crecimiento de la especie, en asocio con maíz y frijol, en San Ramón, Costa Rica. Se observa que a los 12 meses, la especie alcanza una mayor altura al aplicar una mayor dosis de fertilizante. La Figura 10 muestra a la especie en asocio agroforestal con café en Cartago, Costa Rica. La Figura 11 muestra a la Casuarina utilizada como ornamental.

Uno de los sistemas donde más frecuentemente se usa la Casuarina es en las cortinas rompevientos. La Figura 12 muestra una cortina rompevientos, constituida por dos hileras de Casuarina, en San Ramón, Costa Rica.

Cuadro 10. Crecimiento de *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. a los 12 meses de edad, en asocio con maíz y frijol, en San Ramón, Costa Rica.

Fertilización (NPK)	Edad (meses)	Espaciamiento (m x m)	Altura (m)
60 g/planta	12	2 x 2	2,83
50 g/planta	12	2 x 2	1,27

Fuente: CATIE, 1986a.



Figura 10. *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. en asocio con *Dracaena* sp.



Figura 11. *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. utilizada como ornamental.



Figura 12. Cortina rompevientos de *Casuarina equisetifolia* L. ex J. R. Forst. & G. Forst., en San Ramón, Costa Rica.

Tratamientos silviculturales

Poda

El objetivo principal de la poda es mejorar la calidad del producto final, si de producción de madera se trata. Además, se consiguen otros beneficios importantes como el mejoramiento de la facilidad de tránsito en la masa forestal y la obtención de productos secundarios.

En América Central, se ha observado que para *Casuarina* la poda llega a ser necesaria en el tercer año, debido a lo cerrado de la plantación. Se podan las ramas bajas a una altura de 2 a 2,5 m, aproximadamente un tercio de la altura total.

Raleo

Los raleos son cortas realizadas en un rodal con el objeto de estimular el crecimiento de los árboles que quedan y de ese modo, aumentar la producción del volumen aserrable por árbol, obtenido al término del turno.

En plantaciones que se manejan en turnos de seis a 15 años, los rendimientos varían de 50-200 t/ha. De la biomasa total en pie, cerca del 75% forma la madera del fuste, 12,5% de las raíces y 12,5% de las ramas y follaje (Singh, Sharma y Jain, 1983).

A través de los raleos se puede obtener una producción bastante significativa, en relación con la obtenida en la explotación final, ya que muchos de los productos obtenidos del raleo son aprovechados incluso para la venta.

BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, M. 1954. Sugerencias generales sobre la conservación de suelos y la reforestación andina en Venezuela. Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle (Ven.) 14(38):153-160.
- AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT (EE.UU.). 1985. ROCAP Project Paper: Tree Crop Production. Project Number 5996-0117. Washington, D.C. 117 p.
- ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Predicción del rendimiento. Estudio FAO:Montes 22/2. 80 p.
- ANDEKE-LENGUI, M.A.; DOMMERGUES, Y. 1983. Coastal sand dune stabilization in Senegal. In Casuarina Ecology Management and Utilization, an International Workshop, (1981, Canberra, Australia). Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p. 158-166.
- ASHLEY, M. 1986. Agroforestry in Haiti. Haiti, Henry Deschamps. 69 p.
- BERTALANFFY, V.L. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. Quarterly Review of Biology (EE.UU.) 32:217-231.
- BHATNAGAR, H.P. 1966. Effect of light on growth and uptake of nutrients in some forest tree seedlings. Indian Forester (India) 92(2):79-84.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. 1983. El desarrollo del sector forestal en América Latina. Ed. por Stephan E. Mc.Gaughey; Hans M. Gregersen. Washington, D.C., EE.UU., s.n., s.p.
- BIHUN, Y.M. 1982. Seven year old results from two FAO agroforestry trials in the Cul-de-sac area of Haiti. s.l., AID Mission to Haiti. 25 p.
- BILAI, A.S. 1978. Silviculture in the People's Democratic Republic of Yemen. Unasylva (Italia) 30(121):29-32.

- BOND, G.; HEWITT, E.J. 1967. The significance of copper for nitrogen fixation in nodulated *Alnus* and *Casuarina* plants. *Plant and Soil (Holanda)* 27(3):447-449.
- BOURKE, R.M. 1985. Food coffee and *Casuarina*: an agroforestry system from the Papua New Guinea highlands. *Agroforestry Systems (Holanda)* 2(4):273-279.
- BREDENKAMP, B.V. 1981. A preliminary volume table for *Casuarina equisetifolia*. *South African Forestry Journal (República de Sudáfrica)* No. 118:83.
- BREDENKAMP, B.V. 1984. Volume equations for diameter measurements in millimetres. *South African Forestry Journal (República de Sudáfrica)* No. 130:40.
- BREWBAKER, J.L. 1983. Economically important nitrogen fixing tree species. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports (EE.UU.)* 1:35-40.
- BRUCE, D.; WENSEL, L.C. 1988. Modelling forest growth: approaches, definitions, and problems. *In* *Forest Growth Modelling and Prediction*. (1987, Minneapolis, Minn., EE.UU.). *Proceedings of the IUFRO Conference. 1987*. Ed. A.R. Ek; S.R. Shifley; T.E. Burk. U.S. Department of Agriculture. North Central Forest Experiment Station. General Technical Report NC-120. V. 1, p.1-8.
- BURGERS, T.F. 1963. Informe final al gobierno de El Salvador sobre situación actual y desarrollo posible de la silvicultura. FAO. Informe No. 1742. 39 p.
- BURLEY, J. 1976. *Tropical trees: variation, breeding and conservation*. London, G.B., Academic Press. 243 p.
- BURLEY, J.; WOOD, P.J. 1979. *Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los trópicos*. Trad. del inglés por Jacqueline M. Benson. Commonwealth Forestry Institute. *Tropical Forestry Papers* No. 10 - 10A. 297 p.
- BURLEY, J. 1985. Global needs and problems of the collection, storage and distribution of multipurpose tree germplasm. Nairobi, Kenya, ICRAF. 179 p.

- BURLEY, J. 1985. Increasing productivity of multipurpose species: Proceedings. Vienna, Austria, IUFRO. 560 p.
- BURNETT, R.M. 1963. Some cultural practices observed in the Simbai administrative area Madang District. Papua and New Guinea Agricultural Journal 16(2-3):78-84.
- CABALLERO, M. 1968. Especies forestales exóticas. Mensajero Forestal (Méx.) 27(280):26-29.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1986a. Crecimiento y rendimiento de especies para leña en áreas secas y húmedas de América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 79. v.1, 691 p.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1986b. Proyecto cultivo de árboles de uso múltiple. Plan de Investigación Silvicultural 1986-1991. Turrialba, C. R., CATIE. 41 p.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1986c. Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central; resultados de cinco años de investigación. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 86. 222 p.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central. Guía de campo. Turrialba, C.R., CATIE. 288 p. Sin publicar.
- CELLIER, K.M. 1979. Single tree plots in forest research. Australian Forest Research (Australia) 9(2):77-89.
- CHABLE, A.C. 1967. Reforestation in the Republic of Honduras, Central America. Ceiba (Hond.) 13(2):1-56.
- CHAMPION, H.G. 1959. Choice of tree species. FAO. Forestry Development Paper No. 13. 380 p.
- CLUTTER, J.L. 1963. Compatible growth and yield models for loblolly pine. Forestry Science (EE.UU.) 9:354-371.

- CLUTTER, J.L. *et al.* 1983. Timber management: a quantitative approach. Toronto, Can., John Wiley. 333 p.
- COMER, C.W.; CONDE, L.F.; ROCKWOOD, D.L.; GEARY, T.F. 1986. *Casuarina* cultural improvement in Florida. Nitrogen Fixing Tree Research Reports (EE.UU.) 4:53-56.
- COOPER, W. 1983. Wood energy from Australian seeds. *Unasylva* (Italia) 35(140):32-33.
- COVELL, R.; McCLURKIN, D. 1964. Site index of loblolly pine on Ruston soils in the Southern Coastal Plain. *Journal of Forestry* (EE.UU.) 65:263-264.
- DAS, B.L. 1957. *Casuarina* plantation at Balukhand in Puri Division. *Indian Forester* (India) 83(1):34-40.
- DELWALLE, J.C. 1979. Forest plantations in dry tropical Africa: techniques and species to use. *Bois et Forêts des Tropiques* (France) No. 187:3-30.
- DIEM, H.G.; GAUTHIER, D.; DOMMERGUES, Y.R. 1982. Isolation of *Frankia* from nodules of *Casuarina equisetifolia*. *Canadian Journal of Microbiology* (Can.) 28(5):526-530.
- DORAN, J.; HALL, N. 1983. Notes on fifteen Australian casuarina species. In *Casuarina Ecology Management and Utilization, an International Workshop*. (1981, Canberra, Australia). Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p. 19-52.
- EL-LAKANY, M.H. 1983. A review of breeding drought resistant casuarina for shelterbelt establishment in arid regions with special reference to Egypt. *Forest Ecology and Management* (Holanda) 6(2):129-137.
- ELLIS, T.H. 1981. Forest research in Florida. *Journal of Forestry* (EE.UU.) 79(8):502-505.
- ESBENSHADE, H.W.; GRAINGER, A. 1980. The Bamburi reclamation project. *International Tree Crops Journal* 1(2/3):199-202.

- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1987. Plan de acción forestal tropical. Subregión Centroamérica y Panamá. Turrialba, C.R., CATIE. 174 p.
- FLORES, E.M. 1977. Developmental studies in Casuarinaceae, 3: the anatomy of the mature branchlet. *Revista de Biología Tropical (C.R.)* 25(1):65-87.
- FLORES, E.M. 1978. The shoot apex of Casuarinaceae. *Revista de Biología Tropical (C.R.)* 26(1):247-260.
- FONSECA, M.T. 1966. Las casuarinas. *Revista de Agricultura (C.R.)* 38(9):238-240.
- FREEZE, F. 1970. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Manual de Agricultura No. 317. 105 p.
- GALLOWAY, G. 1983. Manual de viveros forestales en la Sierra Peruana. Lima, Perú, INFOR/FAO. 123 p.
- GEARY, T.F.; BRISCOE, C.B. 1972. Tree species for plantations in the granitic uplands of Puerto Rico. Institute of Tropical Forestry. Forest Service Research Paper No. ITF-14. 8 p.
- GOOR, A.Y. 1955. Tree planting practices in tropical Asia. FAO. Forestry Department Paper No. 11. 120 p.
- GOOR, A.Y. 1968. Forest tree planting in arid zones. New York, EE.UU., Ronald Press. 415 p.
- GREAVES, A. 1978. Description of seed sources and collections for provenances of *Pinus caribaea*. Commonwealth Forestry Institute (G.B.). Tropical Forestry Papers No. 12. 98 p.
- GRUPO DE TECNOLOGIA APROPIADA (PAN.). 1984. Árboles para leña y madera combinada con cultivos anuales. Panamá. 24 p.
- GUTIERREZ, V. 1979. First year growth of the species in the pulpapel arboretum. Cartón de Colombia. Investigación Forestal No. 48. 8 p.

- HALOS, S.C. 1983. Casuarinas in Philippine forest development. In Casuarina Ecology Management and Utilization, an International Workshop (1981, Canberra, Australia). Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p.89-98.
- HARRISON, W.C.; DANIELS, R.F. 1987. A new biomathematical model for growth and yield of loblolly pine plantations. U.S. Forest Service. General Technical Report NC-120. p. 293-304.
- HEPP, T.E. 1987. The shortcomings of models. The Compiler (EE.UU.) 5(4):9-12.
- HOLDRIDGE, L.R. 1979. Ecología basada en zonas de vida. Trad. por H. Jiménez-Saa. San José, C.R., IICA. 216 p.
- HUBERMAN, M.A. 1950. Asian and Pacific Forestry. Journal of Forestry (EE.UU.) 48(7):481-490.
- HUGHELL, D. s.f. Manual para el desarrollo de modelos de crecimiento y rendimiento para árboles de uso múltiple. Turrialba, C.R., CATIE. 30 p.
Sin publicar.
- HUGHELL, D. 1990. Modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de *Eucalyptus camaldulensis*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala* en América Central. CATIE. Serie Técnica. Boletín Técnico No. 22. 57p.
- HUSSAIN, S. 1957. A note on vegetative multiplication of *Casuarina cunninghamiana*. Indian Forester (India) 83(3):226-227.
- KIDD, T.J.; TAOGAGA, T. 1984. First year growth measurements of five potential wood fuel species in Western Samoa. Nitrogen Fixing Tree Research Reports (EE.UU.) 2:21.
- KONDAS, S. 1981. *Casuarina equisetifolia* - a multipurpose cash crop in India. In Casuarina Ecology Management and Utilization, an International Workshop. (1981, Canberra, Australia). Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p. 66-76.

- KUMAR, P.H. 1981. Problems and prospects of establishing a plantation forestry with casuarina in the coastal belt of India. *Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale (Italia)* 75(4):317-323.
- LAMPRECHT, H. 1982. Necesidades, problemas y posibilidades del manejo silvicultural en los bosques nativos de los trópicos húmedos. *Silvicultura en Sao Paulo (Bra.)* 16 A (ed. especial):90-108.
- LE COMBUSTIBLE FORESTIER. 1974. In Giffard, P.L. L'arbre dans le paysage senegalais; sylviculture en zone tropical seche. Dakar, Senegal, Centre Technique Forestier Tropical. p. 209-226.
- LETOURNEUX, C. 1957. Tree planting practices for arid zones. FAO. Forestry Development Paper No. 6. 126 p.
- LIU, L.J.; MARTORELLI, L.F. 1973. Diplodia stem canker and die-back of *Casuarina equisetifolia* in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 57(3):255-261.
- MACDICKEN, K.G.; BREWBAKER, J.L. 1984. Descriptive summaries of economically important nitrogen fixing trees. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports (EE.UU.)* 2:46-54.
- MARCHENA, J.A. 1990. Crecimiento inicial de las especies *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst. & G. Forst. y *Casuarina cunninghamiana* Miq. en plantación en América Central. Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 98 p.
- MARRERO, J. 1958. Indicaciones para la repoblación forestal de las fincas de Puerto Rico. *Caribbean Forester (P.R.)* 19(3-4):56-79.
- MARTINEZ H., H.A. 1987a. Silvicultura de algunas especies de árboles de uso múltiple III. *El Chasqui (C.R.)* No. 14:11-17.
- MARTINEZ H., H.A. 1987b. Silvicultura de algunas especies de árboles de uso múltiple IV. *El Chasqui (C.R.)* No. 15:16-24.
- MARTINEZ H., H.A. 1989. Sitios prioritarios para la investigación con especies de árboles de uso múltiple en América Central. (Informe Interno). Turrialba, C.R., CATIE. 56 p.

- MCKENNA, M. 1985. Effects of terrasorb and inocula on nursery culture and survival rates of five agroforestry species: observations five months after planting. *Agroforestry Outreach (Haiti)* 2(4):3-12.
- MCKIMM, R.J. 1984. Fence posts from young trees irrigated with sewage effluent. *Australian Forestry (Australia)* 47(3):172-178.
- MENDONZA, L.A. 1983. Growth and uses of *Casuarina cunningghamiana* in Argentina. In *Casuarina Ecology Management and Utilization, an International Workshop (1981, Canberra, Australia)*. Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p. 53-54.
- MENDOZA, V.B. 1977. Adaptability of six tree species to cogonal areas. I. Box experiment. *Sylvatrop* 2(2):225-234.
- MENDOZA, V.B. 1978. Adaptability of six tree species to cogonal areas. II. Additional information on and possible role of phenols and sugars. *Sylvatrop* 3(1):1-7.
- MENDOZA, V.B.; CRUZ, R.E. DE LA. 1978. Adaptability of six tree species to cogonal areas. III. Field experiment and additional information. *Sylvatrop* 3(2):95-106.
- MERWIN, M. 1987. *Casuarina* field trials in California. Nitrogen Fixing Tree Research Reports (EE.UU.) 5:31-32.
- MUNRO, D.D. 1984. Growth modelling for fast-growing plantations: a review. In *Symposium on site and productivity of fast growing plantations (1984, Pretoria, South Africa)*. Proceedings. Pretoria, South African Forest Research Institute. v.1, p. 333-344.
- NAIR, P.K.R. 1984. ICRAF field station Machakos, Kenya: Status Report. Nairobi, Kenya, ICRAF. 75 p.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (EE.UU.). 1980. Firewood crops: shrub and tree species for energy production. Washington, D.C., EE.UU.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE (EE.UU.). 1984. Especies para leña: arbustos y árboles para la producción de energía. Trad. de la edición inglesa por Vera Arguello de Fernández. Turrialba, C. R., CATIE. 344 p.

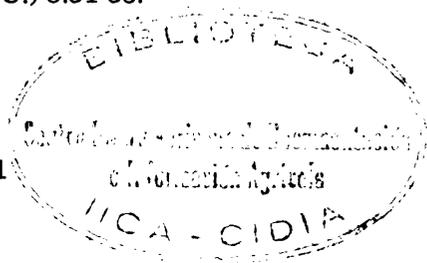
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (EE.UU.). 1984. Firewood crops: shrub and tree species for energy production. Washington, D.C., EE.UU. V.2
- NATIONAL FIXING TREE ASSOCIATION. 1985. Difficult sites are home to *Casuarina*. NFT Highlights. NFTA 85-03. 2 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1984. Casuarinas: nitrogen-fixing trees for adverse sites. Washington, D.C., EE.UU., National Academy Press. 118 p.
- NAVARRO P., C.M. 1987. Evaluación del crecimiento y rendimiento de *Bombacopsis quinatum* (Jack) Dugand en 14 sitios en Costa Rica. Indices de sitio y algunos aspectos financieros de la especie. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., UCR/CATIE. 136 p.
- NAVARRO P., C.M.; MARTINEZ H., H.A. 1989. El pochote (*Bombacopsis quinatum*) en Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 142. 45 p.
- NEWMAN, D. 1981. Third year growth of *Casuarina equisetifolia* in the pulpapel arboretum. Cartón de Colombia. Investigación Forestal No. 66. 7 p.
- NEWMAN, D. 1988. The optimal forest rotation: a discussion and annotated bibliography. USDA Forest Service. Southeastern Forest Experiment Station. General Technical Report SE-48. 47 p.
- NG, F.S.P. 1976. The fruits, seeds and seedlings of Malayan trees XII-XV. Malaysian Forester (Malasia) 39(3):110-146.
- OLIVA H., E. 1990. Comportamiento en plantación de *Acacia mangium* Willd y *Caesalpinia velutina* (B y R) Standl en América Central. Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 118 p.
- PADILLA Q., F. 1986. Resultados preliminares con especies para leña en la zona sur-oriental de Guatemala. In Técnicas de Producción de Leña en Fincas Pequeñas y Recuperación de Sitios Degradados por Medio de la Silvicultura Intensiva (1985, Turrialba, C.R.). Actas de los simposios sobre técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva. Ed. por Rodolfo Salazar. Turrialba, C.R., CATIE. p.133-137.

- PANDEY, D. 1987. Yield models of plantations in the tropics. *Unasylva (Italia)* 39(3-4):74-75.
- PARRY, M.S. 1956. Métodos de plantación de bosques en el Africa tropical. FAO. Cuaderno de Fomento Forestal No. 8. 333 p.
- PEREZ, E. 1956. Plantas útiles de Colombia. 3 Ed. Bogotá, Col., Librería Colombiana. 831 p.
- PURI, G.S. 1958. A contribution to the ecology of *Casuarina equisetifolia*. *Indian Forester (India)* 84(2):74-90.
- RAY, M.P. 1971. Plantations of *Casuarina equisetifolia* in the Midnapore District of West Bengal. *Indian Forester (India)* 97(8):443-457.
- REICHE C., C.E.; CAMPOS A., J.J. 1986. El consumo de leña en los beneficios de café de Costa Rica: problemas y alternativas forestales. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 68. 72 p.
- RICHARDS, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany (G.B.)* 10(29):290-300.
- RICHMOND, G.B. 1963. Species trials at the Waiakea arboretum, Hilo, Hawaii. U.S. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. Research Paper No.PSW-4. 21 p.
- ROCKWOOD, D.L.; FISHER, R.F.; CONDE, L.F.; HUFFMAN, J.B. 1985. *Casuarina* spp. the silvics manual. USDA Agr. Hndbk. V.2, 40 p.
- RODRIGUEZ, M. 1972. Determinación del calor de combustión de la especie *Casuarina equisetifolia* Forst. *Revista Agropecuaria (Cuba)* 4:1-7.
- SALAZAR F., R. 1989. Guía para la investigación silvicultural de especies de uso múltiple. Turrialba, C.R., CATIE. 128 p. Sin publicar.
- SCHUMACHER, F.X. 1939. A new growth curve and its application to timber-yield studies. *Journal of Forestry (EE.UU.)* 37:819-820.

- SILVA SALAZAR, R. 1971. Metodología para la investigación en parcelas permanentes de aclareo y rendimiento en plantaciones forestales. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación (Ven.) No.38:59-89.
- SINGH, S.P. 1978. Rotation as influenced by stand stocking, a study of *Casuarina equisetifolia*. Indian Forester (India) 104(7):491-500.
- SINGH, S.P.; SHARMA, R.S.; JAIN, R.C. 1983. Effects of spacing and thinnings in *Casuarina* stands. Indian Forester (India) 109(1):12-16.
- SMITH, R. 1980. The potential of charcoal plantations for Haiti. Port-au-Prince, Haiti, s.n. 42 p.
- SMITH, W.H.; DOWD, M.L. 1981. Biomass production in Florida. Journal of Forestry (EE.UU.) 79(8):508-511.
- SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS (EE.UU.). 1971. Terminology of forest science, technology practice and products: english-language version. Ed. F.C. Ford-Robertson. Washington, D.C., EE.UU. 349 p. (The multilingual forestry terminology series no. 1).
- SOMASUNDARAN, T.R.; JAGADEES, S.S. 1977. Propagation of *Casuarina equisetifolia* Forst. by planting shoots. Indian Forester (India) 103(11):735-738.
- SWIFT, J.F. 1981. Agro-forestry extension and research applied to intensification of subsistence agriculture in Papua New Guinea. In Environmentally Sustainable Agroforestry and Fuelwood Production Workshop (1981, Honolulu, Hawaii, EE.UU.). Honolulu, Hawaii, EE.UU., s.n. 21 p.
- TAYLOR, C.J. 1962. Tropical forestry with particular reference to West Africa. Oxford, G.B., University Press. 163 p.
- TORREY, J.G. 1983. Root development and root nodulation in *Casuarina*. In *Casuarina Ecology Management and Utilization*, an International Workshop (1981, Canberra, Australia). Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p. 180-192.

- TORREY, J. G. 1988. Some morphological features for generic characterization among the Casuarinaceae. *American Journal of Botany* (EE.UU.) 75(6):864-874.
- TROPICAL FOREST EXPERIMENT STATION (P.R.). 1954. Fourteenth Annual Report. *Caribbean Forester* (P.R.) 15(1-2):1-13.
- TURNBULL, J.W.; MARTENSZ, P.N. 1981. Seed production, collection and germination in Casuarinaceae. In *Casuarina Ecology Management and Utilization, an International Workshop*. (1981, Canberra, Australia). Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p. 126-132.
- TURNBULL, J.W. 1983. Aspects of seed collection, storage and germination in Casuarinaceae. *Australian Forest Research*, (Australia) 12(4):281-294.
- UGALDE, L. 1982. Especies sugeridas para la producción de leña en Centro América y resultados de algunas experiencias. Turrialba, C. R., CATIE. 12 p.
- VALLE, J.I. DEL 1986. La ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy en la determinación de la edad y el crecimiento de árboles tropicales. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* (Col.) 39(1):61-74.
- VASQUEZ, W.; SALAZAR F., R. 1989. Guía para el manejo de las plantaciones de Pino Caribe en la Yeguada, Panamá. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 138. 46 p.
- VERGARA, N.T.; NAIR, P.K.R. 1985. Agroforestry in the South Pacific region - an overview. *Agroforestry Systems* (Holanda) 3(4):363-379.
- VERMA, V.P.S.; TANDOM, V.N.; RAWAT, H.S. 1987. Biomass production and plant nutrient distribution in different aged plantations of *Casuarina equisetifolia* in Puri, Orissa. *Indian Forester* (India) 113(4):273-280.
- VINCENT, L.W. 1970. Plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Surinam con referencia especial a la calidad de sitio. *Revista Forestal Venezolana* (Ven.) 13(19/20):27-59.

- VIVEKANANDAN, K. 1983. The status of Casuarina in Sri Lanka. In Casuarina Ecology Management and Utilization, an International Workshop (1981, Canberra, Australia). Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p.99-101.
- VOORHOEVE, A.G.; SCHULZ, J.P. 1968. La necesidad de parcelas permanentes de clareo y rendimiento en plantaciones forestales. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación (Ven.) No.27/28:3-17.
- WADSWORTH, F.H. 1960. Records of forest plantation growth in Mexico, the West Indies, and Central and South America. Caribbean Forester (P. R.) 21(suppl). 270 p.
- WANG, S.C. 1982. Qualitative evaluation of fuelwood in Florida - a summary report. Economic Botany (EE.UU.) 36(4): 381-388.
- WEBB, D. 1980. A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations. Commonwealth Forestry Institute (G.B.). Tropical Forestry Papers No. 15. 342 p.
- WEBB, D. 1980. Guía y clave para seleccionar especies en ensayos forestales de regiones tropicales y sub-tropicales. London, G.B., Overseas Development Administration. 275 p.
- WOODAL, S.L.; GEARY, T.F. 1985. Identity of Florida Casuarinas. USDA Forest Service. Southeastern Forest Experiment Station. Research Note No. SE-332. 10 p.
- WRIGHT, J.W. 1962. Genetics of forest tree improvement. FAO. Forestry and Forest Products Studies No. 16. 399p.
- YADAV, J.S.P. 1981. Soil limitations for successful establishment and growth of casuarina plantation. In Casuarina Ecology Management and Utilization, an International Workshop (1981, Canberra, Australia). Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p. 138-157.
- YANTASATH, K. *et al* 1985. Determination of biomass production of NFT using allometric regression equation. Nitrogen Fixing Tree Research Reports (EE.UU.) 3:51-53.



ZAMBRANA, H. 1986. Comportamiento inicial de once especies para leña en El Salvador. In Técnicas de Producción de leña en Fincas Pequeñas y Recuperación de Sitios Degradados por Medio de la Silvicultura Intensiva (1985, Turrialba, C.R.). Actas de los simposios sobre técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva. Ed. por Rodolfo Salazar. Turrialba, C. R., CATIE. p. 139-146.

PERSONAL TECNICO DEL CATIE/PROYECTO MADELEÑA *

JEFATURA

Rodolfo Salazar, Ph.D.

Douglas Asch, Sr.

Líder Regional

Administración

SILVICULTURA

Miguel Musálem, Ph.D.

David Hughell, M.Sc.

William Vásquez, M.Sc.

Luis Ugalde, Ph.D.

Silvicultor Principal

Modelación

Silvicultura

Manejo de Información

SOCIOECONOMIA

Thomas McKenzie, M.Sc.

Dean Current, M.Sc.

Economista Principal

Socioeconomía/Manejo de
Información

Carlos Reiche, M.Sc.

Manuel Gómez, M.Sc.

Economía

Economista Asistente

EXTENSION

Carlos Rivas, M.Sc.

Ana Loaiza, Bch.

Elí Rodríguez, Lic.

Extensionista Principal

Diseño Gráfico

Editor

PAISES

GUATEMALA

Carlos Figueroá, M.Sc.

Eberto de León, Lic.

Coordinador Nacional

Economía

HONDURAS

Rolando Ordoñez, Das.

Juan Pastora, Lic.

Coordinador Nacional

Economía

EL SALVADOR

Hugo Zambrana, M.Sc.

Modesto Juárez, M.Sc.

Coordinador Nacional

Economía

COSTA RICA

Carlos Navarro, M.Sc.

Fabián Salas, Ing.

Coordinador Nacional

Economía

PANAMA

Blás Morán, Ing.

Rafael Tirado, Lic.

Sebastián Sutherland, Das.

Coordinador Nacional

Economía

Silvicultura

* Madelcña es un proyecto de investigación, capacitación y diseminación del cultivo de árboles de uso múltiple en América Central y Panamá. Es financiado por AID/ROCAP, y ejecutado por INRENARE de Panamá, DGF de Costa Rica, COHDEFOR de Honduras, CENREN de El Salvador, DIGEBOS de Guatemala con la coordinación regional del CATIE.