



Terminalia amazonia;
ecología y silvicultura



Serie Técnica
Informe Técnico no. 339



Terminalia amazonia; **ecología y silvicultura**

Marcelino Montero M.
Markku Kanninen

CATIE
Turrialba, Costa Rica
2005



El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros regulares son: el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana y Venezuela. El presupuesto básico del CATIE se nutre de generosas aportaciones anuales de estos miembros, los cuales a su vez conforman su Consejo Superior.

634.97376

G393 Montero M., M.

Terminalia amazónica; ecología y silvicultura / Marcelino
Montero M., Markku Kanninen. -- Turrialba, C.R. : CATIE, 2005.
34 p. ; 24 cm. -- (Serie técnica. Informe técnico / CATIE; no. 339).

ISBN 9977-57-404-9

1. Terminalia amazonia 2. Arboles forestales I. Kanninen, M.
II. CATIE III. Título IV. Serie

Créditos

Coordinación

Lorena Orozco Vilchez

Corrección de estilo

Elizabeth Mora Lobo

Diseño Gráfico

Silvia Francis S./Unidad de Comunicación, CATIE

Contenido

Agradecimiento	4
Introducción	5
Clasificación taxonómica	6
Distribución natural	6
Descripción botánica	7
Características de la madera	9
Vivero	10
Establecimiento de plantaciones	12
Crecimiento y productividad	16
Silvicultura de la plantación	28
Principales plagas y enfermedades	30
Bibliografía	31

Agradecimientos

Los autores expresan su sincero agradecimiento a la Academia de Finlandia por el financiamiento de la presente investigación (beca nr. 201566); a las cooperativas y ONG reforestadoras de la zona Sur de Costa Rica, en especial al Ing. Luis Salazar del Departamento Forestal de CoopeAgri R.L.; al MSc. German Obando de FUNDECOR en la zona Atlántica de Costa Rica; al personal del Proyecto REDES del Instituto Tecnológico de Costa Rica, quien colaboró con el suministro de datos de campo; al Ing. Álvaro Vallejo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, por la revisión del documento; y al Centre for International Forestry Research (CIFOR) por el financiamiento para la edición y publicación.

Introducción

El uso de especies nativas en los programas de reforestación es una actividad que toma auge día con día; de allí la necesidad de dar a conocer la información más novedosa y relevante que sobre ellas exista. Los conocimientos sobre las características, forma de propagación y crecimiento, requerimientos y usos de la especie son vitales si se quiere desarrollar herramientas prácticas que permitan el buen manejo de las especies seleccionadas por los proyectos de reforestación.

Entre las especies nativas, *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell es una que ha generado mucho interés por su gran potencial de crecimiento, adaptabilidad a condiciones difíciles, como colinas y planicies costeras, suelos rojos o amarillos, lateríticos profundos, derivados de materiales aluviales o ígneos. Esto la convierte en una especie clave para los programas de reforestación.

En Costa Rica, *T. amazonia* se encuentra en la parte norte y sur del país; en esta última se distribuye con mayor abundancia en bosques naturales, más que todo. Durante la última década, se ha plantado bastante en la zona sur y en menor cantidad en la zona norte, en una gran diversidad de sitios. A pesar de su capacidad de adaptación, su manejo y productividad podrían mejorarse con una buena selección del material y preparación adecuada del sitio.

El presente trabajo ofrece información detallada sobre esta especie generada por el Proyecto Cambio de Uso de la Tierra y Flujos de Carbono en América Central, del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y de la Universidad de Helsinki, Finlandia, con la finalidad de suministrar herramientas prácticas que contribuyan al éxito de las plantaciones de *Terminalia amazonia* en el país

Clasificación taxonómica

Nombre científico: *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Excell

Familia: Combretaceae

Sinónimos: *Gimberatea obovata* (Ruiz & Pavón), *Chuncoa obovata* (Ruiz & Pavón), *Ch. amazonia* (Gmel.), *T. obovata* (Ruiz & Pavón), *T. odontoptera* (Heurck & Müll), *Myrobalanus obovatus* (Ruiz & Pavón), *T. hayesii* (Pittier) (Benítez y Montesillos 1988, Flores 1994, CATIE 1997).

Nombres comunes

A la especie se le conoce como roble coral, amarillón, canxún, naranjo, volador, amarillo real, guayabo de charco (América Central y Panamá); sombreroete, tepesuchil (México); guayo, chicharrón (Cuba); *bullywood* (Belice); arispin, aceituno (Venezuela); guayabo león, palo prieto (Colombia); verdolago (Bolivia) (Benítez y Montesillos 1988, ACEN 1992, Flores 1994, CATIE 1997).

Distribución natural

T. amazonia crece en forma natural desde el Golfo de México en la vertiente Atlántica, hasta Colombia, Venezuela, las Guayanas, Surinam, Trinidad y Tobago, Brasil, Perú, Ecuador, Bolivia, Argentina, Uruguay y Paraguay. Es común en laderas húmedas y planicies de los bosques. Se encuentra distribuida generalmente en altitudes desde los 40 a 1200 msnm, con precipitaciones de 2500 a 3000 mm y temperaturas superiores a 28°C. Crece bien en colinas y planicies costeras, en suelos rojos o amarillos, lateríticos profundos derivados de materiales aluviales o ígneos (Camacho 1981, Benítez y Montesillos 1988, ACEN 1992, Nichols y González 1992, Flores 1994, CATIE 1997).

En América Central se localiza en colinas de poca pendiente y llanuras costeras semipantanosas; en México se encuentra en el bosque perennifolio del litoral Atlántico y en América del Sur, en los llanos y en zonas del litoral inundadas temporalmente (Flores 1994).

En Costa Rica, crece en la zona norte desde Upala hasta Sarapiquí y en la zona sur en toda la región Brunca. En Potrero Grande de Buenos Aires, se la considera una especie abundante en los bosques naturales. Las condiciones climáticas más favorables son, bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo tropical, en elevaciones que van desde el nivel del mar hasta los 1100 msnm, con temperaturas anuales entre 21 y 24°C y precipitaciones anuales entre 2000 y 4500 mm por año. Esta especie soporta hasta cuatro meses de sequía (OTS 1991 citado por Prado 1991, Nichols 1994).

En Costa Rica, el Programa de Incentivos para la Reforestación ha empleado *T. amazonia* en la zona norte (172 ha), en la zona sur (1097 ha) (ITCR 1999), en el Pacífico Central (103 ha), en Sarapiquí (129 ha) y en la zona Atlántica (341 ha).

Descripción botánica

T. amazonia es una especie arbórea monoica que alcanza alturas de hasta 70 m en los bosques amazónicos y centroamericanos y un diámetro de 1 a 3 m. El fuste es bastante recto, asimétrico y con frecuencia acanalado en el tercio basal, con gambas delgadas. Al inicio las ramas crecen horizontalmente y progresivamente el ápice asume la posición vertical (Fig. 1) (Carmacho 1981, Flores 1994, CATIE 1997).

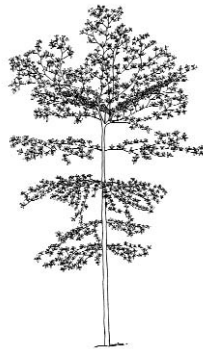


Figura 1. Forma típica de un árbol de *Terminalia amazonia*

Fuente: <http://ctfs.si.edu/webatlas/spanish/termam.html>

La corteza es delgada (1 cm de espesor), de color pardo grisáceo o amarillo grisáceo en el exterior (Fig. 2) y amarillo verdoso o pardo-amarillento en el interior, de textura fibrosa y sabor amargo. Las hojas son simples de tamaño pequeño (8 – 9 cm de largo), de color verde oscuro, brillantes en el haz y verde claro y opaco en el envés (Fig. 3); las inflorescencias son racimos con numerosas flores producidas en febrero, de color amarillo, se originan en las axilas de los numerosos tallos cortos arrossetados (Fig. 4). Los frutos son secos, pequeños, de unos 2 cm de ancho, muy abundantes y en forma de mariposa con 2 alas grandes y 2 pequeñas, la parte central pubescente, de color amarillo a dorado (Fig. 5) (Camacho 1981, Flores 1994, CATIE 1997).



Figura 2. Características de la corteza
Foto: A.Vallejo



Figura 3. Características de las hojas
Foto: A.Vallejo



Figura 4. Características de las inflorescencias
Foto: A.Vallejo



Figura 5. Características de los frutos
Foto: A.Vallejo

Las semillas se encuentran en una cavidad circundada por el endocarpo fibroso, con una cubierta seminal de color amarillo opaco. La época de recolección de semillas se extiende desde febrero a abril, con variaciones regionales (Camacho 1981, Flores 1994, CATIE 1997).

Características de la madera

La albura en la madera verde es de color amarillo grisáceo claro, y anaranjado o amarillento cuando está seca; el duramen verde es un poco más oscuro, y cuando seca adquiere una tonalidad amarillo rojizo (Fig. 6). Expuesta al aire o la luz, la madera se oxida rápidamente. En verde, los anillos de crecimiento son visibles, pero pierden definición al secarse la madera. El inicio del anillo está constituido por bandas de parénquima inicial, angostas o de mediano grosor, carentes de vasos. Hay un promedio de 2 anillos/cm. Es frecuente la presencia de anillos falsos en el duramen, en forma de vetas irregulares de color rojizo, muy conspicuos en el plano radial (Paz y Corral 1980, González 1991, Flores 1994).

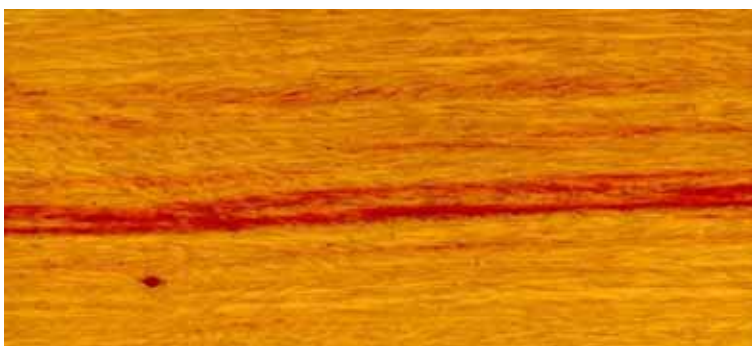


Figura 6. Características de la madera seca

Fuente: http://www.lancetilla-oimt.hn/proecen/componentes_investigacion/naranja_files/

La madera tiene un peso específico de 0,58 a 0,70, por lo que se considera pesada o muy pesada. El secado es moderadamente difícil, pero las propiedades de secado varían con la procedencia. Pueden producirse grietas y rajaduras moderadas, torceduras leves y algún colapso. La trabajabilidad es moderada (Paz y Corral 1980, González 1991, Flores 1994).

Moya y Leandro¹ encontraron que, contrario a lo esperado, a los nueve años de edad la madera no presentaba duramen, a pesar de ser considerada una madera pesada por su alta gravedad específica (Montero y Kanninen 2002).

Para determinar la fracción de carbono (FC) en la madera, Montero y Kanninen (2002, 2003 y 2005) colectaron muestras de ramas y hojas y de la base del árbol a 10 cm de altura de árboles en la zona sur de Costa Rica. Los análisis se realizaron en el laboratorio mediante el método de calorimetría (Eduarte y Segura 1999). Ver valores resultantes en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores de la fracción de carbono en la madera de *Terminalia amazonia* en plantaciones de 10 años de edad en Costa Rica

Número de muestras por componente	Componente	Rango de observaciones (%)	FC	Desviación estándar
3	Fuste	46,6 - 48,8	47,7	1,1
3	Ramas	40,4 - 45,1	43,1	2,4
3	Hojas	41,3 - 41,9	41,6	0,3

Usos

Por sus características, *T. amazonia* se usa en construcción pesada en general, pisos, muebles y gabinetes de primera clase, armazones de barcos, elementos estructurales para puentes y durmientes para vías de ferrocarril, contrachapado y chapas decorativas. Se recomienda para mangos de herramientas, encofrados, puentes, pilotes, tarimas, pisos industriales, chapa, parquet, barriles y puertas (Paz y Corral 1980, González 1991).

Vivero

Manejo y almacenamiento de la semilla

Los árboles semilleros deben ubicarse en rodales y tener un diámetro entre 40 y 70 cm como máximo, pues la mayor parte de los árboles con un diámetro superior están huecos. Los frutos deben estar bien maduros, pues las semillas de frutos inmaduros no germinan. Una vez recolectados, los frutos se

¹ R. Moya y L. Leandro. 2003. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Comunicación personal.

transportan en sacos de tela a un lugar techado, donde se extienden sobre lonas; durante dos días se secan al sol por periodos de 3 a 4 horas. Las semillas se frota en zarandas para que desprendan las alas. Las semillas son ortodoxas y deben almacenarse en recipientes herméticos a 4°C, con un contenido de humedad de 6 a 8% (CATIE 1997).

La semilla puede colectarse directamente del suelo; sin embargo, es recomendable escalar el árbol para recolectar los frutos, ya que recogerlos del suelo es muy lento y los frutos caídos son atacados por insectos. La producción varía de 4,6 a 6,0 kg de semillas por árbol. La semilla tiene un contenido de humedad inicial de 18 a 20%. Se han reportado de 120.000 a 140.000 semillas por kilogramo, con una germinación de hasta 30%. La pureza varía de 85 a 90%. La germinación es epigea, se inicia a los 69 días de sembrada y termina a los 89 días (ACEN 1992, Nichols y González 1992, Flores 1994, CATIE 1997).

Sistema de producción de plantas

Las semillas pueden sembrarse en cajas con arena, camas de invernadero o en bancales, con sombra moderada y humedad constante. Las plántulas se transplantan a bolsas plásticas cuando aparece el primer par de hojas (aproximadamente de 1 a 2 semanas) y se colocan bajo sombra moderada durante 2 a 3 semanas. Las plántulas están listas para ser llevadas al sitio definitivo después de 8 a 12 meses (30 y 40 cm de altura) (Fig. 7); sin embargo, la resistencia de la especie permite plantar arbolitos de 10 cm de altura en época de lluvia y obtener una supervivencia aceptable (Nichols y González 1992, Flores 1994, CATIE 1997).



Figura 7. Características de una plántula lista para llevar al campo
Foto: M.Montero

Si la planta se ha desarrollado mucho, es conveniente realizar una poda de raíz y eliminar parte del follaje (un 50% en ambos casos). En bancales, es mejor practicar dos podas de raíz: una cuando la plántula alcanza 20 cm de altura y la segunda un mes antes del trasplante. La plántula se transporta al campo con pan de tierra (Flores 1994, CATIE 1997).

T. amazonia permite manejar la regeneración natural, ya que se regenera bien en pastizales cuando hay remanente de árboles adultos, y con el paso de los años puede formar rodales puros. En sitios donde hay árboles semilleros y pastos abandonados, se puede preparar la tierra con una limpieza, dejando un sustrato que tenga las condiciones adecuadas (humedad, luz, temperatura, etc.) para propiciar la germinación de la semilla (OTS 1991 citado por Prado 1991, Flores 1994).

Establecimiento de plantaciones

Selección de sitio

El crecimiento es óptimo en suelos arcillosos a francos, con pH de 4 a 7 (ácido a neutro); también se desarrolla en suelos arcillosos o pobres y arenosos, ácidos y altamente tóxicos en aluminio (Camacho 1981, Benítez y Montesillos 1988, ACEN 1992, Nichols y González 1992, Flores 1994, CATIE 1997).

Preparación del terreno

La mayoría de las áreas dedicadas al cultivo de árboles han sido sobrepastoreadas, por lo que tienen problemas de compactación y drenaje. La forma más práctica de contrarrestar esa situación es hacer hoyos anchos y profundos; por ejemplo: 30 x 30 x 30 cm y plantar el árbol al centro.

La preparación del suelo debe incluir: 1) eliminación mecánica, manual o química de malezas; en casos extremos se puede recurrir a quemas controladas; 2) trazado de líneas de plantación a favor de la pendiente del terreno; 3) apertura de hoyos de 20 cm de diámetro y 25 cm de profundidad en sitios no compactados.

Fertilización y mejoramiento de las características físicas y pH del suelo

T. amazonia responde bien a la aplicación de fertilizante, lo cual se manifiesta en un crecimiento inicial rápido. Un ensayo en suelo Ultisol en Buenos Aires de Osa, Costa Rica, buscó probar el efecto de la aplicación de cal, fertilización y arado del terreno en la compactación. Los resultados un año después indicaron que el mejor tratamiento correspondió a una práctica común entre los reforestadores: 50 g/árbol de NPK (12 - 24 - 12) (Calvo *et al.* 1996). En otro ensayo en la misma zona pero en un sitio de pastura, se concluyó que *T. amazonia* es capaz de crecer rápidamente en sitios compactados y degradados, sin importar el tipo de tratamiento (Stanley y Nichols 1995).

Establecimiento de la plantación

El espaciamiento adecuado entre árboles depende de los objetivos productivos de la plantación; asimismo, el espaciamiento inicial podría influir en el tiempo de espera para la cosecha. En asocio con cultivos anuales o perennes, la distancia entre árboles aumenta considerablemente; por ejemplo, cuando se asocia con café, *T. amazonia* se planta a 4 x 4 m (625 árboles/ha). En hileras a orillas de callejones internos en las fincas, o en cercas se puede plantar a 2,0 - 2,5 m entre árboles en hileras simples y 2,5 - 3,0 m entre hileras.

En plantaciones puras, el espaciamiento inicial varía desde 2 x 2 m hasta 3 x 3 m en la zona sur de Costa Rica, mientras que en la zona norte se utilizan espaciamientos de 3 x 3 m y 4 x 4 m en bloques puros (Fig. 8). En ambas zonas, las plantaciones están destinadas a la producción de madera para aserrío (Prado 1991, Flores 1994, Nichols 1994, Díaz 1995).

En un ensayo de espaciamientos en la zona sur de Costa Rica, Montero y Kanninen (2002) encontraron que a la edad de 11 años, los espaciamientos con mejores resultados en términos de diámetro y altura fueron 2,5 x 2,5 m y 3 x 3 m; sin embargo, el análisis de volumen total por hectárea en el tratamiento 2,5 x 2,5 m fue superior a los demás espaciamientos.

Si la especie se planta en forma aislada, el árbol se ramifica antes de los 5 m de altura, lo que reduce considerablemente su potencial de producir madera para aserrío (Fig. 9).



Figura 8. Espaciamiento de 3 x 3 m en plantación para la producción de madera para aserrió

Foto: M. Montero



Figura 9. Forma típica de ramificación en árboles aislados

Fotos: M. Montero

La plantación en el campo debe hacerse cuando el período lluvioso se ha normalizado; con esto se pretende que las plantas estén debidamente adaptadas al campo para cuando llegue el siguiente período seco. La calidad del material de vivero es un aspecto fundamental para asegurar el éxito de la plantación. Debe cuidarse que las plantas estén sanas, vigorosas y sin defectos (raíces o tallos torcidos y bifurcados) ni quebraduras. Las plantas se deben transportar adecuadamente para evitar el maltrato y la desecación.

Al plantar, hay que eliminar la bolsa o recipiente sin deshacer el pan de tierra. Los árboles deben quedar perpendicularmente al terreno; para evitar las “bolsas de aire” en las raíces se debe comprimir el suelo alrededor de la base de la planta. El sistema radicular debe quedar bien colocado en el hoyo, sin que las raíces se doblen ni enrollen.

Control de malezas

En general, durante los primeros años las plantaciones forestales no toleran la competencia de plantas herbáceas, arbustivas o leñosas. Con las limpias se logra evitar la competencia, plagas y enfermedades, y además se reduce el riesgo de incendios. Aunque *T. amazonia* presenta un crecimiento inicial rápido, es muy susceptible a la competencia de malezas durante los primeros meses de establecimiento, por lo que debe realizarse una buena limpieza inicial del terreno y dos a tres chapeas en el transcurso del primer y segundo año.

Con un control adecuado de malezas en las primeras etapas de crecimiento de la plantación se logra: 1) aumentar la supervivencia y disminuir los costos de replante; 2) mejorar el crecimiento en diámetro y altura al eliminarse la competencia, y 3) mayor crecimiento en volumen, que se traduce en mejores rendimientos económicos.

Las malezas se pueden combatir en forma manual mediante chapeas, o química con herbicidas. El uso de uno u otro método depende de las condiciones socioeconómicas del productor y de las condiciones del terreno y características del establecimiento de la plantación. Así, el control manual ofrece aspectos sociales positivos, por ejemplo, genera empleo e ingresos a los agricultores y resulta tan eficiente como el control químico; en zonas donde la mano de obra es escasa, hay que recurrir a los métodos químicos que resultan más delicados, por cuanto una mala aplicación del herbicida puede afectar seriamente la plantación al personal y al ambiente.

Las chapeas son prácticas necesarias y deben realizarse al menos tres al año durante los primeros dos años. Cuando las copas se han cerrado se reduce considerablemente el crecimiento de malezas (Fig. 10).



Figura 10. Control adecuado de malezas
Foto: M. Montero

Crecimiento y productividad

Crecimiento en diámetro y altura

Según Mejía (1998), en Costa Rica la especie se ha plantado en la zona norte (177 ha hasta 1999) y en la zona sur (1097 ha hasta 1997). El crecimiento en diámetro y altura desde uno hasta 12 años de edad es muy similar en ambas regiones (Fig. 11); plantaciones mayores de 12 años solo existen en la zona sur del país.

Estas plantaciones fueron evaluadas para determinar los incrementos medios anuales (IMA), los cuales se clasificaron por índice de sitio (IS) con el modelo de Montero y Kanninen (2005). Los sitios clasificados con crecimiento bajo (IS = 9) alcanzan incrementos mínimos en diámetro de 0,2 a 1,8 cm/año y en altura de 0,3 a 1,3 m/año; en promedio 1,0 cm/año en diámetro y 0,7 m/año en altura para estas condiciones de sitio.

En la Fig. 12 se observan los incrementos medios anuales en diámetro (IMAdap) y altura (IMAH) con respecto a la edad en un sitio con IS bajo. La tendencia en esta clasificación es la disminución en IMA en las dos variables con respecto a la edad, como se observa a partir de los diez años.

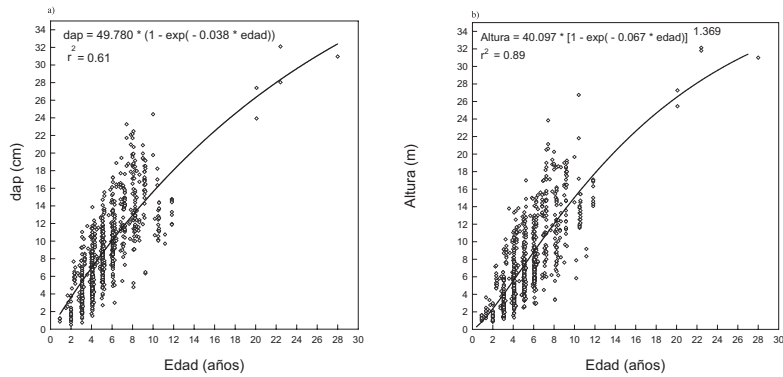


Figura 11. Crecimiento en diámetro y altura de *Terminalia amazonia* en Costa Rica

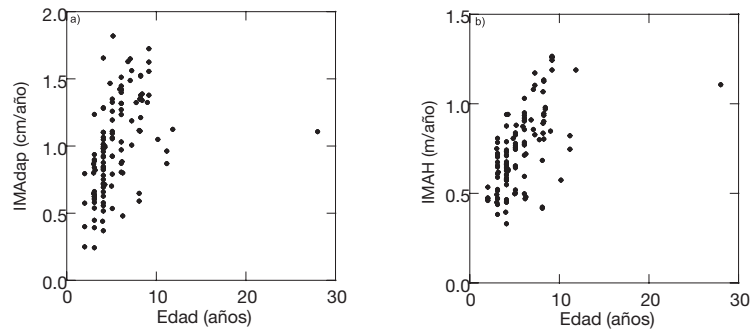


Figura 12. Tendencia del incremento medio anual en diámetro y altura de *Terminalia amazonia* con respecto a la edad en un sitio bajo (IS = 9) en Costa Rica

En sitios medios (IS = 17), los incrementos medios anuales en diámetro y altura de *T. amazonia* son de 0,5 a 3,1 cm/año y de 0,4 a 2,4 m/año, con un promedio de 1,6 cm/año y 1,3 m/año para cada variable respectivamente. Bajo estas condiciones, la especie evidencia más su tendencia a disminuir el incremento medio en las dos variables con respecto a la edad; se nota una disminución a partir de los ocho años (Fig. 13).

Los sitios clasificados como de alta producción (IS = 25) presentan un IMA en diámetro de 0,9 a 3,6 cm/año (2,4 cm/año en promedio). En altura, el rango es de 1,3 a 3,8 m/año (2,4 m/año en promedio). Gráficamente se puede observar en la Fig. 14 la tendencia del IMA con respecto a la edad; aproximadamente a los ocho años de edad empieza a disminuir.

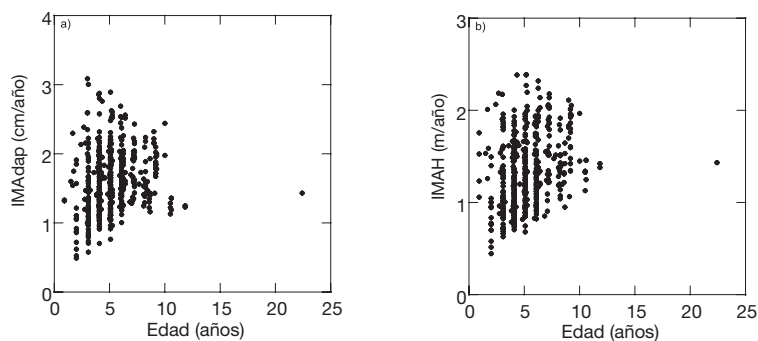


Figura 13. Tendencia del incremento medio anual en diámetro y altura de *Terminalia amazonia* con respecto a la edad en un sitio medio (IS = 17) en Costa Rica

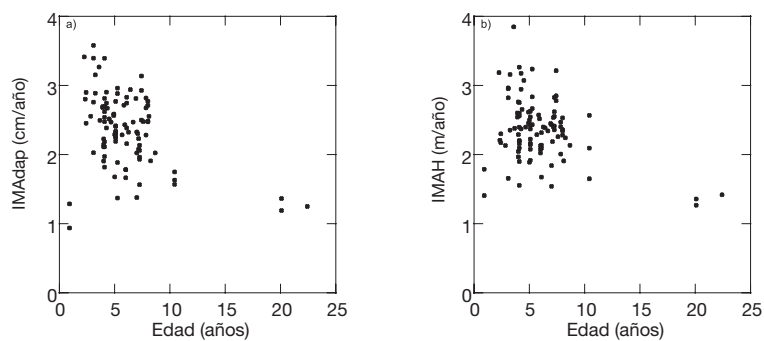


Figura 14. Tendencia del incremento medio anual en diámetro y altura de *Terminalia amazonia* con respecto a la edad en un sitio alto (IS = 25) en Costa Rica

Ecuaciones de índice de sitio

Estimación directa del IS

Mediante el método de estimación directa, Montero y Kanninen (2005) desarrollaron el índice de sitio para *T. amazonia* con el modelo de Chapman-Richards, el cual muestra la curva guía como punto de partida para crear la familia de curvas que representa a los datos observados y que genera curvas polimórficas de índice de sitio.

El modelo para generar la curva guía sería el siguiente:

$$Hd = a * [1 - \exp(-b * eb)]^c \dots\dots\dots (1)$$

Donde

- Hd: altura dominante
- a: 47,835
- b: 0,050
- eb: edad base 10 años
- c: 1,1
- r²: 0,89

El modelo para calcular el índice de sitio es el siguiente:

$$IS = 47,835 * \{[1 - \exp(-0,050 * 10)]\}^{\{\ln(Hd / 47,835) / \ln[1 - \exp(-0,050 * e)]\}} \dots\dots (2)$$

$$r^2 = 0,89$$

Para generar la familia de curvas polimórficas se usó el modelo 1, variando el parámetro 'c' y manteniendo fijos los parámetros 'a' y 'b'. Con la ayuda de la desviación estándar (4,0 m) del modelo 1, que permite estimar la diferencia entre una curva y otra, se calcularon los diferentes valores de 'c', los cuales facilitaron la construcción de las curvas (Fig. 15). Estas se construyeron para un rango de índice de sitio de 9 a 25 m.

La ecuación para calcular los diferentes valores de 'c' es como sigue:

$$C = \ln (Hd / a) / \ln [1 - \exp (- b * e_b)] \dots \dots \dots (3)$$

Donde

- c: parámetro a estimar
- ln: logaritmo natural
- Los demás como se definieron antes

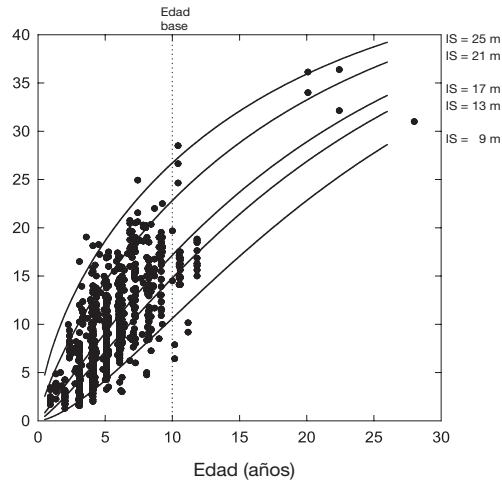


Figura 15. Curvas de índice de sitio para *Terminalia amazonia* en Costa Rica, según el modelo polimórfico de Chapman-Richards a la edad base de 10 años

Estimación indirecta del IS

Mediante información de parcelas ubicadas en la zona sur de Costa Rica, con datos de análisis de suelo y el análisis de regresión múltiple, se ajustó un modelo para predecir el IS en lugares donde se va plantar por primera vez. Las variables que mayor correlación presentaron con el IS fueron las fisiográficas, como la elevación con respecto al nivel del mar y la pendiente del terreno. El segundo grupo de variables fueron las edáficas; específicamente, las físicas como la textura del suelo (arcilla, arena y limo).

El modelo ajustado para la estimación indirecta del IS es el siguiente:

$$IS = (E * - 0,013) + (P * - 0,046) + (\text{arena} * 0,212) + (\text{limo} * 0,497) + (\text{arcilla} * 0,190) \dots\dots\dots (4)$$

Donde

E: elevación del terreno en msnm

P: pendiente del terreno

$r^2 = 0,95$

n: 37

A pesar de que el modelo mostró un r^2 bastante alto, el 'n' utilizado es bajo, por lo que es conveniente aumentarlo y ajustar el modelo en busca de una mayor precisión.

Ecuación de volumen

Para la generación del modelo (5) de cálculo de volumen por árbol se utilizaron 50 árboles con un rango de 5 a 20 cm dap y 7 a 21 m en altura; el modelo ajustado es el siguiente:

$$V_{tcc} = a * \text{dap}^b * H^c \dots\dots\dots (5)$$

Donde

V_{tcc} : volumen total con corteza ($m^3/\text{árbol}$)

a: 0,00003268

dap: diámetro a la altura del pecho (cm)

b: 1,73636316

H: altura total (m)

c: 1,34255267

r^2 : 0,98

Productividad

El incremento medio anual en volumen se presenta en el Cuadro 2 y en la Fig. 16, según tres clases de índice de sitio: bajo (9), medio (17) y alto (25). Se observa que existe un gran rango de variación en volumen en los tres IS, debido principalmente al material genético utilizado y a la falta de un manejo silvicultural adecuado y a otros aspectos generales y particulares propios de cada región/sitio. Los volúmenes que se muestran en el Cuadro 2 fueron calculados con el modelo 5.

Cuadro 2. Incremento medio anual en volumen por índice de sitio de las plantaciones de *Terminalia amazonia* en Costa Rica

Índice de sitio	Incremento medio anual en volumen (m ³ /ha/año)		
	Mínimo	Máximo	Promedio
9	0,003	16,786	1,158
17	0,010	30,328	3,784
25	0,042	33,115	11,837

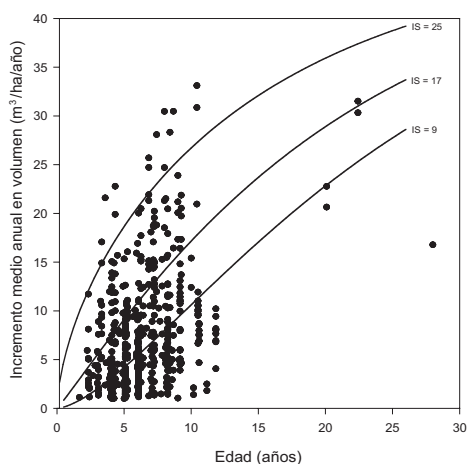


Figura 16. Incremento medio anual en volumen por índice de sitio para las plantaciones de *Terminalia amazonia* en Costa Rica

Biomasa

Una de las formas de calcular la biomasa es mediante el factor de expansión de biomasa (FEB). El cálculo se realiza dividiendo la biomasa aérea seca total entre la biomasa seca del fuste. El valor obtenido, multiplicado por el volumen y la gravedad específica de la madera, permite estimar la biomasa seca del fuste (Segura y Kanninen 2002).

Para *T. amazonia*, el FEB es de 1,3 y puede ser utilizado para calcular la biomasa total por árbol, siempre y cuando los datos se ubiquen entre 7,7 y 28,0 cm dap y 10,7 y 23,0 m de altura; fuera de este rango no es recomendable (Montero y Kanninen 2002).

Montero y Kanninen (2002) ajustaron una serie de modelos alométricos para predecir la biomasa seca de las diferentes partes del árbol. Los modelos que mostraron mejor ajuste fueron los que se correlacionaron con el diámetro (dap), y son los siguientes:

$$\text{Biomasa del fuste} = \text{Exp} [- 1,602 + 2,299 * \ln (\text{dap})] \quad \text{FC} = 1,015$$

$$r^2 = 0,99 \quad r^2_{\text{ajustado}} = 0,95$$

$$\text{Biomasa de ramas} = \text{Exp} [- 5,526 + 3,026 * \ln (\text{dap})] \quad \text{FC} = 1,191$$

$$r^2 = 0,95 \quad r^2_{\text{ajustado}} = 0,73$$

$$\text{Biomasa de hojas} = \text{Exp} [- 7,928 + 3,451 * \ln (\text{dap})] \quad \text{FC} = 1,408$$

$$r^2 = 0,77 \quad r^2_{\text{ajustado}} = 0,64$$

$$\text{Biomasa aérea total} = \text{Exp} [- 1,648 + 2,392 * \ln (\text{dap})] \quad \text{FC} = 1,013$$

$$r^2 = 0,99 \quad r^2_{\text{ajustado}} = 0,96$$

Donde

ln: logaritmo natural

dap: diámetro a 1,3 m de altura

r^2 : coeficiente de determinación

r^2_{ajustado} : coeficiente de determinación ajustado

CME: cuadrado medio del error

FC: factor de corrección

n : 35

Sprugel (1983) indica que todos los modelos alométricos con transformaciones logarítmicas deben ser corregidos por un factor de corrección (FC), por lo que el resultado obtenido al usar cualquiera de estos modelos debe ser multiplicado por el FC de cada modelo. El ajuste de estos modelos con los datos observados se presenta en las Fig. 17; todas las variables de biomasa mostraron una relación muy estrecha con el dap. Es una ventaja que los modelos consideren solo la variable dap, ya que los inventarios de plantaciones o bosques naturales siempre consideran esta variable por su facilidad de medición en el campo.

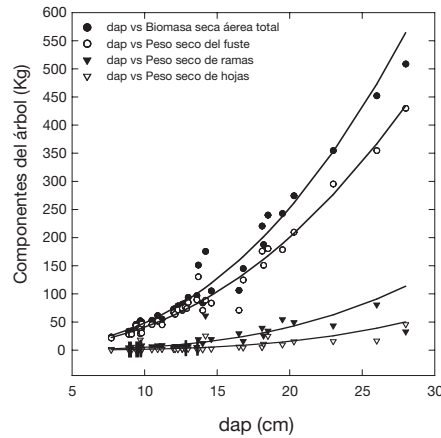


Figura 17. Relación entre los datos observados y los predichos con los modelos ajustados para peso seco del fuste, ramas, hojas y biomasa total por árbol de *Terminalia amazonia* en la zona sur de Costa Rica

Con los modelos que mostraron mejor ajuste se calculó la biomasa total para plantaciones de diferentes densidades. En el Cuadro 3 se puede observar un resumen de los resultados de biomasa aérea seca de cada componente del árbol y total acumulada por hectárea y por tratamiento, así como el cálculo del factor de expansión de biomasa (FEB) por hectárea, el valor obtenido de la fracción de carbono y el carbono almacenado para las tres densidades de plantación a los diez años de edad y sin intervenciones silviculturales (Montero y Kanninen 2002). Estos resultados se obtienen con una mortalidad natural del 10% en promedio para los tres tratamientos o densidades de siembra a los diez años de edad.

Cuadro 3. Biomasa aérea por componente del árbol, FEB y carbono almacenado en diferentes densidades de plantación de *Terminalia amazonia* a los diez años de edad en la zona sur de Costa Rica

Densidad (ha)	Biomasa (Mg/ha)				FEB	Fracción carbono			Carbono almacenado (Mg/ha)			
	Fuste	Ramas	Hojas	Aérea total		Fuste	Ramas	Hojas	Fuste	Ramas	Hojas	Total
2500	84,7	12,4	3,1	101,6	1,2	0,49	0,40	0,42	41,5	5,0	1,3	47,8
1600	87,0	15,1	4,0	106,7	1,2	0,47	0,45	0,41	40,9	6,8	1,6	49,3
1111	67,3	11,8	3,2	82,8	1,2	0,48	0,44	0,42	32,3	5,2	1,3	38,8

Mg : 1 tonelada; ha: hectárea FEB: factor de expansión de biomasa por árbol

Montagnini y Porras (1998) y Shepherd y Montagnini (2001) reportan que *T. amazonia* en la zona Atlántica de Costa Rica a 3 y 6 años de edad presentan un incremento medio anual en biomasa total de 10,8 y 13,2 Mg/ha respectivamente, en una plantación de 2.500 árboles/ha. Estos resultados son muy similares a los de la zona sur de Costa Rica (10,2 Mg/ha/año) con la misma densidad de siembra, lo que indica que la zona no influye en la productividad de la especie.

En cuanto al FEB (1,2), se observa que este factor no es afectado por la densidad de siembra y que no difiere mucho del valor obtenido para el cálculo de la biomasa por árbol (FEB = 1,3). Si bien la diferencia es mínima, debe usarse el factor correspondiente para calcular por árbol o por hectárea. El FEB/ha puede usarse indistintamente de la densidad de siembra de la plantación.

La fracción de carbono (FC) para los diferentes componentes del árbol y diferentes densidades no presenta gran variación (Cuadro 3). Estos valores se encuentran en el rango de los reportados para otras especies.

En términos de carbono almacenado en el fuste, la densidad de 1111 árboles/ha presenta 8,6 Mg/ha menos que los otros tratamientos; el mayor almacenaje se da en la densidad de 1600 árboles/ha, aunque no difiere mucho de 2500 árboles/ha (Cuadro 3). La densidad de 1600 árboles/ha almacena más carbono en las hojas que las otras dos densidades.

En cuanto al carbono total, la densidad de 1600 es la que más carbono acumula, con una diferencia de 1,5 Mg/ha y 10,5 Mg/ha respecto de las densidades de 2500 y 1111 árboles/ha. Los resultados muestran que *T. amazonia* a los 10 años de edad muestra un mejor desempeño para almacenar carbono en la densidad de 1600 árboles/ha (4,9 Mg/ha/año).

Carbono

Montero y Kanninen (2005), mediante el ajuste de modelos (técnica no destructiva), estimaron el carbono fijado en los diferentes componentes del árbol (hojas, ramas, fuste y total) para calcular el total almacenado por componente en una hectárea.

Modelos ajustados:

$$Y = a * e^{-e^{-\left(\frac{x-b}{c}\right)}} \dots\dots\dots (1)$$

$$Y = a / \left[1 + e^{\left(\frac{x-b}{c}\right)} \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$Y = a * e^{(b * x)} \dots\dots\dots (3)$$

Donde

Y: carbono del componente del árbol en Mg/ha (fuste, ramas, follaje o total)

a, b, c: parámetros a estimar

e: exponente

x: edad en años

El valor de los parámetros y los estadísticos obtenidos de los modelos que mejor ajuste mostraron en la predicción del carbono fijado en función de la edad para cada uno de los componentes se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Valor de los parámetros y estadísticos de regresión de los modelos ajustados para estimar el carbono fijado en los componentes aéreos, en función de la edad de *Terminalia amazonia* en Costa Rica

Componente	n	Modelo	Parámetros			r ²	r ² _{ajustado}
			a	b	c		
Fuste	68	1	153,372 ± 17,2	9,990 ± 1,1	6,910 ± 1,2	0,85	0,85
Ramas	68	2	40,932 ± 5,4	14,759 ± 1,8	3,928 ± 0,6	0,88	0,87
Hojas	68	3	0,522 ± 0,1	0,162 ± 0,0		0,90	0,90
Total	68	1	233,454 ± 32,3	11,414 ± 1,4	7,691 ± 1,4	0,87	0,86

n: número de observaciones
r²: coeficiente de determinación

a, b, c: parámetros estimados estadísticamente significativos (p < 0,05)
r²_{ajustado}: coeficiente de determinación ajustado

La curva de ajuste de los modelos, junto con los datos calculados del carbono fijado en cada componente, se presenta en la Fig. 18 a diferentes edades.

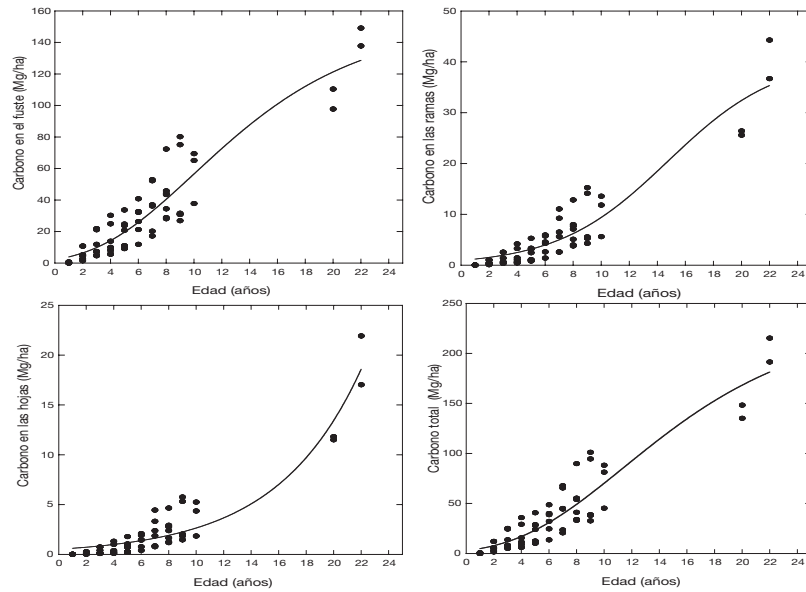


Figura 18. Relación entre el carbono fijado en el fuste, ramas, hojas y total con respecto a la edad *Terminalia amazonia* en Costa Rica

A los 25 años, el modelo estima una producción de 136,9 Mg/ha, con un incremento medio anual promedio (IMA) de 5,3 Mg/ha en el componente fuste y 5,5 Mg/ha de incremento corriente anual (ICA). El contenido de carbono total es de 196,8 Mg/ha, con un incremento anual promedio de 7,0 y un ICA de 7,8 Mg/ha. En la Fig. 19 se presenta, a manera de ilustración, el comportamiento del ICA e IMA de carbono almacenado en el fuste y total por árbol, hasta los 25 años de edad.

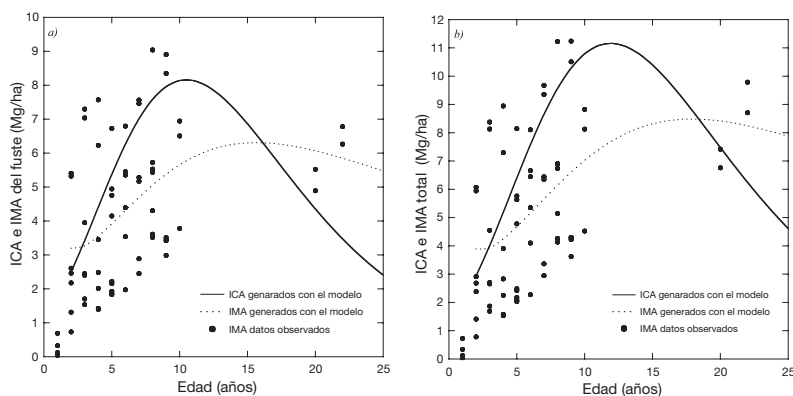


Figura 19. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio (IMA) del carbono en el fuste y total acumulado para *Terminalia amazonia* en Costa Rica

Silvicultura de la plantación

Podas

La especie presenta ramas que forman varios estratos horizontales (ramificación simpodial) pero se caen después de los primeros años de crecimiento inicial; en árboles maduros, la copa es plana. A los dos años del establecimiento de la plantación, las ramas bajas tienen la capacidad de suprimir la maleza por lo tanto, no se deben podar hasta después de este período, como medida para producir madera limpia y obtener un producto de mejor calidad (Nichols 1994).

Raleos

La evaluación del incremento medio anual y el incremento corriente anual en diámetro indican que los raleos se deben efectuar entre el año 8 y 10 (Fig. 20) para mantener incrementos superiores a 1,5 cm. La especie no responde a raleos tardíos; después de los diez años los incrementos pueden ser inferiores a 1,0 cm, lo que volvería antieconómico el manejo (Montero y Kanninen 2002). Sin embargo es recomendable tener presente que la poda podría traer problemas de enfermedades y plagas (ver sección Principales plagas y enfermedades).

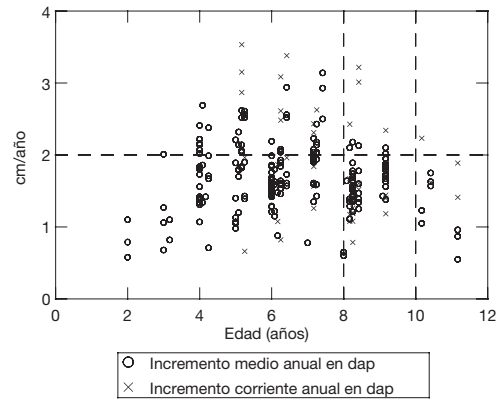


Figura 20. Incremento medio y corriente anual en diámetro de las plantaciones de *Terminalia amazonia* en Costa Rica

Como recomendación general en cuanto a raleos, podría pensarse en turnos de 20 a 25 años y 180 a 250 árboles para la cosecha final. Un manejo oportuno es efectuar un primer raleo entre los años 3 y 5, considerando la extracción del 50% de los árboles existentes, un segundo raleo entre los años 8 y 10, para extraer el 33% de los árboles remanentes y otro igual entre los años 12 y 15. En la Fig. 21 se observa una plantación bastante homogénea, tanto en diámetro como en altura, lo que indica que las podas y raleos han sido oportunos; al lado se observa una plantación bastante heterogénea por el mal manejo.



Figura 21. Plantaciones con un crecimiento homogéneo (izquierda) y crecimiento heterogéneo (derecha) a causa de la presencia o ausencia de un manejo oportuno.

Fotos: A. Vallejo

Principales plagas y enfermedades

Algunas plantaciones puras de *Terminalia amazonia* presentan problemas de plagas durante las primeras etapas de desarrollo; principalmente el barrenador *Cosula* sp. El ataque provoca grandes deformaciones, lo que reduce la calidad y rendimiento de la madera. En una plantación pura establecida en la zona de Puerto Jiménez se podaron unos cuantos árboles, mientras que el resto del área no recibió poda. El resultado fue un ataque masivo del barrenador en todos los árboles podados, mientras que los árboles sin poda no tuvieron daño alguno (Chinchilla 1996).

También es frecuente encontrar problemas de “gomosis” provocada por un virus, la cual causa debilitamiento del árbol y hasta su muerte. Si se poda un árbol atacado por este virus se puede dar una propagación masiva al resto de los árboles.

Por su capacidad de autopoda, no es necesario –ni conveniente– podar los árboles de *T. amazonia*. Es mejor manejar la poda natural, que manejar una plaga en toda la plantación. Si bien esta apreciación no se apoya en evidencia fundamentada estadísticamente en todo el territorio nacional, sí es importante tomarla en cuenta para el manejo futuro.

Bibliografía

- Árboles del área del Canal de Panamá. Consultado el 24/11/03. <http://ctfs.si.edu/webatlas/spanish/termam.html>
- ACEN (Asociación Costarricense para el Estudio de Especies Forestales Nativas). 1992. Segundo Encuentro Regional sobre Especies Forestales Nativas de la Zona Norte y Atlántica de Costa Rica. (Estación Biológica La Selva, Puerto Viejo, Sarapiquí, Costa Rica) Memoria. Pp. 67-70.
- Benítez, RF; Montesillos, L.J.L. 1988. Catálogo de cien especies forestales de Honduras: distribución, propiedades y usos. Siguatepeque, Hon., Escuela Nacional de Ciencias Forestales. pp 179-180.
- Calvo, AJ; Arias, AD; Sibaja, VA. 1996. Resultados de un ensayo de encalado y fertilización en plantaciones de *Terminalia amazonia* en un suelo Ultisol en Buenos Aires de Osa. In Memoria IV Taller Nacional de Investigación Forestal y Agroforestal, diciembre, 1996. Guácimo, Limón, Costa Rica. pp. 61-65.
- Camacho, P. 1981. Informe general del proyecto: Ensayos de adaptabilidad y rendimiento de especies forestales en Costa Rica. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 71 p.
- CATIE. 1997. *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell. Turrialba, CR. Manejo de Semillas Forestales No. 10. 2 p.
- Chinchilla, MO. 1996. Noticias silviculturales (en línea). Heredia, Costa Rica, INISEFOR/UNA. Disponible en: <http://www.una.ac.cr/inis/guaya.html>
- Díaz, PY. 1995. Socioeconomía y silvicultura del establecimiento de plantaciones forestales en fincas pequeñas del cantón Pérez Zeledón, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 95 p.
- Eduarte, E; Segura, MA. 1999. Determinación de carbono utilizando la calorimetría. Revista de Ciencias Ambientales 15:54-55.
- Flores, E. 1994. Roble coral. In Árboles y semillas del Neotrópico. San José, CR. 3(1): 55-86.
- Jardín Botánico Lancetilla, Honduras. Características de la madera de *Terminalia amazonia*. Consultado en línea el 24/11/03, http://www.lancetilla-oimt.hn/proecen/componentes_investigacion/naranja_files/
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 1999. Disponibilidad de materia prima de las plantaciones forestales de la Región Pacífico Sur. Cartago, CR, Proyecto REDES. 176 p.
- Mejía, BI. 1998. Elaboración del plan de manejo silvicultural para los proyectos de reforestación de las organizaciones del Pacífico sur de Costa Rica. Informe de práctica de especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. 124 p.
- Montero M, M; Kanninen, M. 2005. Carbono fijado a diferentes edades en plantaciones de *Terminalia amazonia*, *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en Costa Rica. Revista Recursos Naturales y Ambiente no. 45 (aceptada)
- Montero M, M; Kanninen, M. 2003. Índice de sitio para *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell en Costa Rica. Rev. Agronomía Costarricense 27(1):29-35.
- Montero M, M; Kanninen, M. 2002. Biomasa y carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell en la zona Sur de Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. 39-40: 50-55.

- Montagnini, F; Porras, C. 1998. Evaluating the Role of Plantations as Carbon Sinks: An Example of an Integrative Approach from the Humid Tropics. *Environmental Management* 22(3):459-470.
- Nichols, D. 1994. *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell: development of native species for reforestation and agroforestry. *Commonwealth Forestry Review (UK)* 73(1):9-13.
- Nichols, D; González, E. 1992. Especies nativas y exóticas para la reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. San José, CR. 84 p.
- Prado, R. 1991. Proyecto de reforestación para pequeños y medianos agricultores de la Región Brunca. San Isidro del General, CR, Dirección General Forestal. pp. 19-20.
- Shepherd, D; Montagnini, F. 2001. Above ground carbon sequestration potencial in mixed and pure tree plantations in the humid tropics. *Journal of Tropical Forest Science* 13(3):450-459.
- Segura, M; Kanninen, M. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales. *In* Orozco, L; Brumér, C. (eds). 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Turrialba, CR, CATIE. pp. 173-212. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 50).
- Stanley, SA; Nichols, JD. 1995. *Terminalia amazonia* interplanted with nitrogen fixing trees on a degraded pasture in Uvita de Osa, Costa Rica. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports Sp. issue* 1995:152-155.
- Sprugel, DG. 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology* 4(1): 209-210.