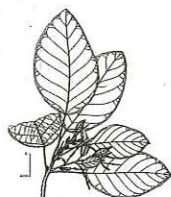


CATIE
ST
IT-354



90994

Commemorative
CATIE
Tortuga, Costa Rica



Hyeronima alchorneoides

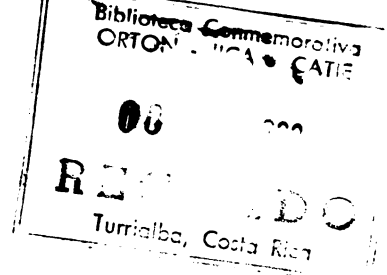
Ecología y silvicultura en Costa Rica



UNIVERSITY OF HELSINKI

CATIE
Centro Agronómico Tropical
de Investigación y Enseñanza

Serie Técnica
Informe Técnico no. 354



Hyeronima alchorneoides
**Ecología y silvicultura
en Costa Rica**

Marcelino Montero M.
Héctor De Los Santos Posadas
Markku Kanninen

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE
Departamento de Recursos Naturales y Ambiente
Turrialba, Costa Rica, 2007



CATIE
ST
IT-354

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.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2007

ISBN 978-9977-57-434-9

634.95097286
M778 Montero M., Marcelino
Hyeronima alchorneoides: ecología y silvicultura en Costa Rica /
Marcelino Montero M., Héctor De los Santos Posadas y Markku Kanninen.
– Turrialba, C.R : CATIE, 2007
50 p. : il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ; no. 354)

ISBN 978-9977-57-434-9

1. Hyeronima alchorneoides – Especies nativas – Costa Rica
2. Hyeronima alchorneoides – Plantación forestal – Costa Rica
I. De los Santos Posadas, Héctor II. Kanninen, Markku
III. CATIE IV. Título V. Serie.

Créditos

Producción general
Lorena Orozco Vélchez

Corrección de estilo
Elizabeth Mora

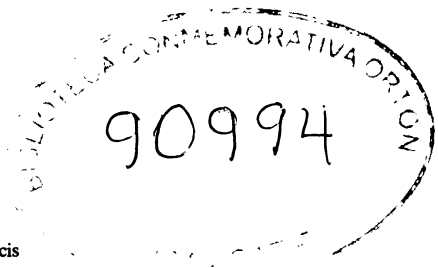
Diagramación
Unidad de Comunicación/Silvia Francis

Impreso en:
Litografía e Imprenta LIL, S.A.

Fotografías de la portada
Andrés Sanchún
Gerardo Bermúdez

Departamento de Recursos Naturales y Ambiente
Sede Central, CATIE

www.catie.ac.cr



Contenido

Agradecimiento	4
Introducción	5
Clasificación taxonómica	6
Distribución natural	6
Descripción de la especie	7
Madera	10
Vivero	14
Establecimiento de plantaciones	17
Crecimiento y productividad	20
Modelos de crecimiento.....	33
Guías de densidad	41
Principales plagas y enfermedades.....	47
Literatura citada	49

Agradecimientos

Los autores expresan su sincero agradecimiento a la Academia de Finlandia por el financiamiento de la investigación (Beca no. 201566); a las cooperativas y ONG reforestadoras de la zona sur y norte de Costa Rica; al MSc. German Obando y al Ing. Andrés Sanchún de FUNDECOR en la zona Atlántica de Costa Rica; al Dr. Róger Moya del Instituto Tecnológico de Costa Rica por su aporte en el tema de las características de la madera; al Centre for International Forestry Research (CIFOR) por el financiamiento para la edición y publicación.

Introducción

Las plantaciones forestales son fuente de una serie de beneficios tanto económicos como sociales. Estas cumplen funciones de protección al ambiente, al disminuir la presión sobre el bosque natural, y de adicionalidad al contribuir significativamente en los procesos ecológicos, paisajísticos, de protección de suelos (control de erosión y reciclaje de nutrientes) y agua y acumulación de carbono.

Algunas experiencias demuestran que las plantaciones con especies nativas tienen un buen potencial para acelerar los procesos de recuperación de la biodiversidad en áreas degradadas. Tal es el caso de *Hyeronima alchorneoides*, una especie que responde a características de suelo en pastoreo y bordes de bosque. En Centroamérica, la especie se utiliza en programas de reforestación con incentivos, sola o mezclada con otras especies. También se emplea en la reforestación de claros en el bosque y en sistemas agroforestales.

En Costa Rica, *H. alchorneoides* se encuentra en la parte sur y norte del país; en esta última se distribuye con mayor abundancia en bosques naturales. En años recientes ha sido extensamente plantada en la zona norte y en menor cantidad en la zona sur, en una gran diversidad de sitios. A pesar de su capacidad de adaptación, el manejo y productividad de la especie podrían mejorarse con una buena selección del material y preparación adecuada del sitio.

Este trabajo ofrece información detallada sobre la especie con la finalidad de suministrar herramientas prácticas que contribuyan al éxito de las plantaciones establecidas en el país. La información fue recolectada y generada con el apoyo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), la Universidad de Helsinki, Finlandia y el Centro Internacional de Investigación Forestal (CIFOR).

Clasificación taxonómica

Nombre científico:

Hyeronima alchorneoides Allemão

Familia:

Euphorbiaceae

Sinónimos: *Hyeronima caribaea* Urban; *H. chocoensis* Cuatrec.; *H. ferruginea* Tul.; *H. heterotrichia* Pax & Hoffm.; *H. laxiflora* Muell. Arg.; *H. mattogrossensis* Pax & Hoffm.; *H. mollis* Muell. Arg.; *H. ovatifolia* Lundell; *Stilaginella amazonica* Tul.; *S. ferruginea* Tul.; *S. laxiflora* Tul. (Hartshon y Hammel 1982, Quesada y Jiménez 1993, Flores 1993).

Nombres comunes:

ascá, ascua, plátano, zapatero y pilón, el más común en Costa Rica; chacte-cook y garay (Belice); nance, nancitón, nancito (Nicaragua); palo curtidor, palo rosa, rosa (Guatemala); pantano, pilón, zapatero (Panamá); kiahky dusa, curtidor, rosita (Honduras).

Distribución natural

H. alchorneoides crece en forma natural desde el sur de México y Belice, a lo largo de la costa del Atlántico centroamericano hasta Panamá. Se encuentra en las islas del Caribe y en Suramérica desde Colombia hasta Brasil y Perú (Fig. 1). Es un árbol abundante en bosques tropicales húmedos y muy húmedos, a altitudes de 0 a 800 msnm, con precipitaciones promedio anual de 2000 a 5000 mm y temperaturas de 24 a 32°C. Se encuentra en bosques primarios y secundarios, a lo largo de las riberas de ríos y quebradas, claros, áreas de pastoreo y bordes de bosque. Prefiere suelos con texturas franco arenosas a arcillosas, aunque soporta suelos ácidos y mal drenados, con inundaciones periódicas, pedregosos y de baja fertilidad. Se le encuentra en terrenos planos hasta fuertemente ondulados, con pendientes menores de 60% (Jiménez et ál. 2002, Cordero y Boshier 2003, CATIE 1997).

En Costa Rica se la encuentra en las dos vertientes a elevaciones desde el nivel del mar hasta 800 m (Franko 1990, González 1995, Jiménez et ál. 2002). Experiencias de reforestación indican que la especie se adapta bien hasta los 1000 msnm, con precipitaciones y temperaturas anuales de 3000 a 4000 mm y de 20 a 28°C. Se adapta bien en las zonas del pacífico central y sur (Torres et ál. 2002).

En Centroamérica se utiliza en los programas de reforestación con incentivos, sola o mezclada con otras especies. Se recomienda para reforestar claros dejados en el bosque por árboles maduros talados. En Honduras se la utiliza en sistemas agroforestales; por ejemplo, en asocio con *Inga* como sombra para café y, gradualmente, la especie maderable reemplaza a la *Inga* como sombra permanente (Cordero y Boshier 2003).



Figura 1. Distribución natural de *Hyeronima alchorneoides*
Adaptado de Francis (1991).

Descripción de la especie

H. alchorneoides es un árbol que alcanza alturas de 30 a 45 m y diámetros de hasta 1,7 m. El fuste es recto y cilíndrico con gambas bien desarrolladas, libre de ramas hasta una altura de 20 m o más. De copa amplia, densa, con múltiples ramas ascendentes. Las ramas inferiores tienen extremos terminales descendentes. La corteza externa es de color pardo rojizo o gris claro, con desprendimiento en láminas delgadas que exponen la corteza

interna de color rosado o rojizo (Fig. 2) (CATIE 1997, Jiménez et ál. 2002, Cordero y Boshier 2003).

Las hojas son simples, alternas, con una variación muy grande en cuanto a tamaño (280 cm² en árboles jóvenes, 60 cm² en árboles viejos), pecioladas y estipuladas, con abundante pubescencia en ambos lados (Fig. 3). Las hojas viejas se tornan rojizas-anaranjadas antes de caer y producen un exudado de color rojizo. Las flores masculinas y femeninas se producen en árboles diferentes; son pequeñas e inconspicuas, blancas a verde amarillentas, en panículas, de 5 cm de longitud (Jøker y Salazar 2000).

Los frutos son drupas elipsoides indehiscentes, de 3-5 mm de diámetro, que van cambiando de color verde a rojo y púrpura en la madurez; generalmente con una sola semilla viable (aunque pueden contener hasta seis), encerrada en una pulpa carnosa de sabor dulce (Fig. 4) (Müller 1997, CATIE 1997, Jiménez et ál. 2002, Cordero y Boshier 2003).



Figura 2. Fuste de *Hyeronima alchomeoides* en bosque natural
Foto: Andrés Sanchún

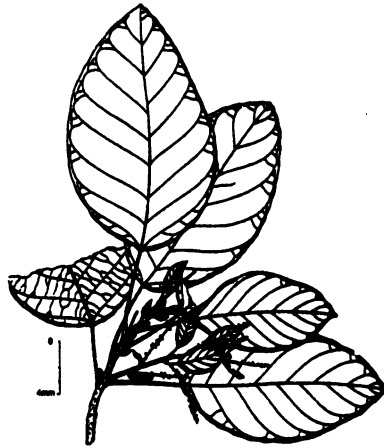


Figura 3. Forma de las hojas de *Hyeronima alchomeoides*
Fuente: Flores (1993)



Figura 4. Frutos de *Hyeronima alchomeoides*
Foto: Andrés Sanchún

Madera

Características generales

El duramen es de color marrón rojizo y la albura más clara (Fig. 5), con un tono rosado o anaranjado claro. De olor y sabor no característicos. El lustre es medio o bajo, textura fina. Las fibras tienden a rasgarse con el cepillado debido al grano entrecruzado en bandas anchas y angostas. Es una madera densa y pesada (peso específico de 0,59 a 0,86). En contacto con el suelo es moderadamente resistente a la pudrición, así como al ataque de termitas subterráneas y de madera seca. Sin embargo, es una de las maderas más resistentes a los taladradores marinos. No es buena para preservar bajo el método vacío-presión, pero sí se preserva fácilmente por el método de difusión. Algunos estudios indican que seca rápidamente al aire, mientras otros la clasifican como de secado lento - 25 días para alcanzar menos del 20% de humedad en tablas de una pulgada de espesor. Suele presentar ligeras torceduras, colapsos y grietas durante el secado. Se clasifica como moderadamente difícil de trabajar con maquinaria y herramienta manual (Cordero y Boshier 2003).



Figura 5. Corte tangencial que muestra el color de la madera seca de *Hyeronima alchorneoides*

Fuente: Álvarez (2005)

Madera de plantación

En un ensayo de progenies de *H. alchorneoides* de diez años de edad realizado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) en San Carlos, se cortaron diez árboles con el fin de recabar información sobre las caracte-

rísticas de la madera de plantaciones (Bonilla, 1999). Solís y Moya (2004) informan de las siguientes características y comparaciones con madera proveniente de bosque natural:

- La madera de plantación tiene un duramen de color rojizo (Fig. 6a) con una marcada diferencia entre la albura y el duramen (Fig. 6b); la albura presenta un color rosado claro.
- Al comparar el olor y sabor de la madera de bosque natural con la de plantaciones, estas tienden a confundirse ya que ninguna de las dos presenta olor o sabor distintivo.
- La textura de madera de plantación es de media a baja, de grano recto; no se aprecia la presencia de grano entrecruzado como sucede con la madera de bosque natural. Esto tiene la ventaja de que la textura es más fina en la madera de plantación.
- El brillo de la madera de plantación es bajo, tanto de la albura como del duramen.
- En promedio, la madera de plantación tiene 21% de duramen en la sección transversal y un diámetro de 4,46 cm hasta una altura de muestra de 3 m. Los árboles de bosque natural tienen valores de duramen del 65% (Carpio et ál. 1996).
- El color de la madera proveniente de bosque natural es rojizo más intenso que la madera de plantación. La madera de albura no mostró diferencias en la tonalidad al compararlas.
- La madera proveniente de plantaciones posee un tamaño considerable de médula, la cual no se observa en trozas provenientes de bosque natural. En árboles con un diámetro promedio de 12 cm, el diámetro de la médula está entre 1,0 y 1,5 cm, lo que trae como consecuencia que cuando la troza es aserrada se produce un alto porcentaje de madera con presencia de médula y, por lo tanto, de baja calidad (Fig. 7) y poco aceptada en los mercados.
- Los defectos en el proceso de secado no son significativos: pequeñas grietas por cabeza y por las caras de la madera aserrada (Fig. 8). En algunas muestras se detectó algún grado de arqueado.

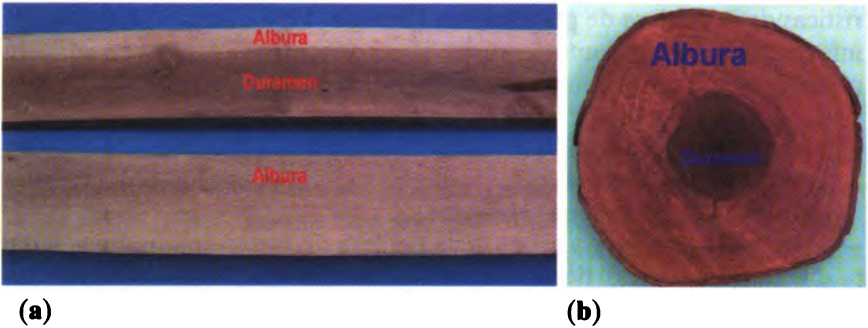


Figura 6. Características de la madera de plantaciones de *Hyeronima alchomeoides* de diez años de edad (a) madera aserrada, (b) rodaja de troza
Fuente: Solís y Moya (2004)

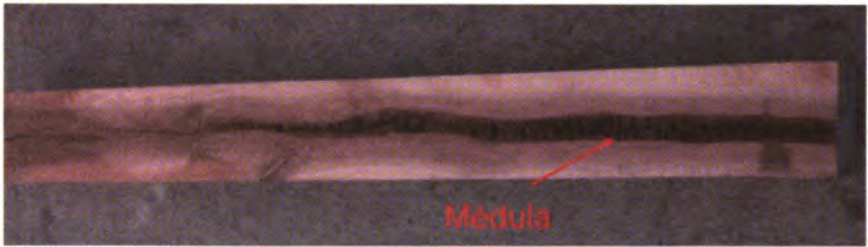


Figura 7. Presencia de médula en madera aserrada de plantaciones de *Hyeronima alchomeoides* de diez años de edad
Fuente: Solís y Moya (2004)

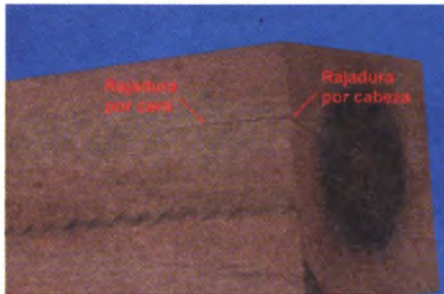


Figura 8. Defectos en la madera durante el proceso de secado de madera de *Hyeronima alchomeoides* de plantación: rajaduras por cabeza y reventaduras por las caras
Fuente: Solís y Moya (2004)

En cuanto a la utilización de madera de plantaciones en Costa Rica, en la actualidad se aserran las trozas con tecnología adecuada para el procesamiento de trozas y se comercializan productos de madera de cuadro (2,5x7,5 cm; 5,0x7,5 cm; 5,0x15,0 cm y 2,5x5,0 cm)¹. Los productos se emplean en interiores de casa, donde la madera no esté en contacto con el agua o el suelo.

Usos

La madera de *H. alchorneoides* es de gran valor por su densidad y durabilidad. Se usa en construcción pesada, durmientes de ferrocarril, pilotes de fundación de edificios, puentes, horcones, vigas, carrocerías de camiones y construcción de embarcaciones. La capacidad de encolado con cola blanca es excelente si la madera está bien seca. De fácil aserrío y buena capacidad para aguantar clavos y tornillos, aunque con ciertas limitaciones para la fabricación de muebles y gabinetes, paneles decorativos, cajas y embalajes y tornería. Muy durable y resistente a termitas por lo que se recomienda para postes de cercas, estacas y construcción marina (Cordero y Boshier 2003).

Los taninos de la especie se utilizan en la preparación de tintes y curtido de cueros. En Guayana se usa la cocción de la corteza como jarabe para la tos. El aceite que se extrae de las semillas parece tener propiedades como medicamento contra las lombrices en humanos. Es también una fuente de alimento para pájaros y animales del bosque que consumen sus frutos (Cordero y Boshier 2003).

En Costa Rica, la madera de *H. alchorneoides* tiene una gran demanda debido a su versatilidad, y se usa para elaborar productos de ebanistería que se exportan a Centroamérica y el Caribe. Se estima que los precios de la madera irán en aumento conforme se reduzca la disponibilidad de individuos del bosque natural, lo cual hace atractivo el establecimiento de plantaciones por parte de pequeños finqueros (Cordero y Boshier 2003). Según Solís y Moya (2004), hasta el año 2002 el área plantada con *H. alchorneoides* era de 807 ha, principalmente en la zona Atlántica (59% de lo reforestado a nivel nacional), Sarapiquí (21%) y la zona de San Carlos (20%).

¹ Dr. Róger Moya Roque. Agosto, 2006. Profesor, Investigador, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Comunicación personal.

Vivero

Manejo y almacenamiento de la semilla

En Costa Rica hay zonas en las que ocurren dos picos de floración de la especie, uno de abril a julio y otro menor de setiembre a diciembre, e incluso enero. En otras zonas hay un solo pico: de enero a febrero en el noreste y de julio a octubre en el suroeste. La época de floración también muestra variaciones de año a año. La producción de frutos, por lo tanto, ocurre a lo largo de un periodo extenso: de enero a abril y de agosto a octubre (Cordero y Boshier 2003).

Para almacenar la semilla, se debe remover la pulpa. Esto se logra colocando los frutos en agua durante tres días, la cual se cambia todos los días, y luego restregando en una zaranda. También pueden colocarse en una licuadora con suficiente agua, accionando a baja velocidad por unos pocos segundos. Las semillas luego deben lavarse y secarse hasta que alcancen 5 a 10% de humedad y almacenarse a 4°C hasta por seis meses; el porcentaje de germinación es del 50%. Después de un año, este porcentaje se reduce a cerca del 20% (CATIE 1997, COSEFORMA 1998, Jiménez et ál. 2002, Cordero y Boshier 2003).

Propagación

Se ha observado que existen dos clases de árboles, según el tamaño de las hojas; se recomienda recolectar semilla de árboles con hojas más grandes, ya que su crecimiento es mejor tanto en vivero como en plantación. Esta variación en el tamaño de las hojas requiere de una investigación más profunda; según Reich et ál. (2004), el tamaño de la hoja disminuye al aumentar la edad del árbol.

La recolección de las semillas se realiza cortando las ramas del árbol; por lo pequeño del fruto se aconseja extender una lona en el suelo. Los frutos maduros se reconocen fácilmente por su color rojo, que luego pasa a púrpura (Fig. 9). Se debe hacer la recolección cuando hay aproximadamente un 20% de frutos color púrpura (COSEFORMA 1998). Debido a lo pequeño del fruto y difícil manipulación, para la siembra se aconseja no extraer la semilla. Los frutos maduros se separan manualmente y se siembran frescos. La separación manual resulta en mejores porcentaje de germinación. Como tratamiento pregerminativo se recomienda el lijado, o

inmersión en agua durante 3 a 7 días, cambiando el agua dos veces al día (CATIE 1997). Otra forma de uniformizar la germinación es lavando los frutos en agua con jabón y luego dejándolos 24 horas en agua.

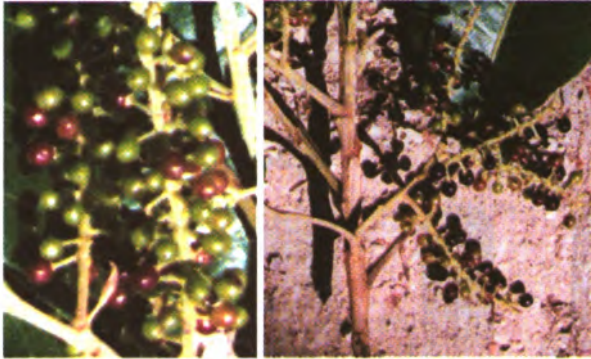


Figura 9. Frutos maduros de *Hyeronima alchorneoides*
Fuente: Cordero y Boshier 2003

Producción de plantas

En un sustrato arenoso o tierra bien suelta, se siembran los frutos y se cubren con el sustrato. La germinación es epígea y tarda de 15 a 60 días, dependiendo del tratamiento pregerminativo, aunque puede extenderse hasta por 200 días.

La producción en bolsa es el método más utilizado, aunque también se ha producido por pseudoestaca. Requiere sombra inmediatamente después del repicado, la cual se elimina a los 30 días. Las pseudoestacas requieren de 5-6 meses en vivero, mientras que en bolsa, con un buen sustrato, las plantas están listas para salir al campo en 3-5 meses. También es posible reproducir fácilmente la especie mediante enraizamiento de estacas juveniles.

En los viveros forestales siempre se observa cierta variabilidad en el desarrollo de las plantas. Si el sistema de producción de plantas lo permite, es importante eliminar las no deseables para contar con una producción más uniforme. Hay que prestar atención a la calidad de las plantas también en el momento de despacharlas al campo; no debería llevarse al campo ninguna planta que no cumpla con las características deseadas (Fig. 10). La

eliminación de plantas no deseables y defectuosas se denomina “selección” y se debe realizar durante el desarrollo de las plantas, antes de su transporte y durante el establecimiento en el campo, para asegurar que en la nueva plantación solo se incluyan plantas de buena calidad (Galloway 2003).

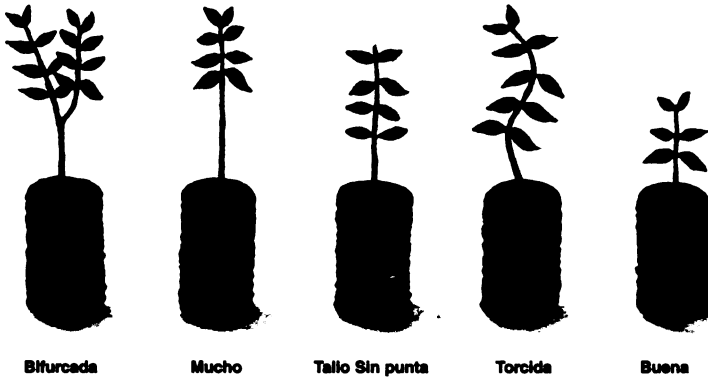


Figura 10. Selección de material a plantar

Fuente: Cordero y Boshier (2003)

Avances en genética

El ITCR, por medio de su Laboratorio de Semillas Forestales y con el apoyo de la cooperación alemana (GTZ), desarrolla un proyecto sobre localización de árboles semilleros y recolección de semillas. En este proceso, se ubicaron treinta árboles semilleros que han sido utilizados para iniciar los estudios sobre el material genético de la especie (Badilla et ál. 2002).

Los potreros o pequeñas áreas de bosque a orillas de fuentes de agua son actualmente las principales fuentes de semilla de árboles aislados. En un futuro, las plantaciones establecidas serán de suma importancia para el establecimiento de rodales semilleros. El ITCR está realizando clonaciones con material reproductivo de esta especie (Fig. 11a y b), con resultados bastante prometedores para la producción de material de calidad para el establecimiento de plantaciones (Solís y Moya 2004).



a



b

Figura 11. Clones en la etapa de desarrollo (a) y jardín clonal (b) de *Hyeronima alchorneoides*

Fotos: Gerardo Bermúdez

Establecimiento de plantaciones

Selección de sitio

El buen crecimiento en una variedad de suelos, incluyendo suelos ácidos, indica su aptitud para la reforestación de terrenos degradados. Su sistema radicular con gran cantidad de raicillas finas la hace menos susceptible a suelos con baja fertilidad y escasos nutrientes. Además, su copa densa y la gran cantidad de luz que es capaz de capturar le permite eliminar la competencia que crece bajo ella (Quesada y Jiménez 1993, Cordero y Boshier 2003, Reich et ál. 2004).

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 (30x30x30 cm) y plantar el árbol al centro (Fig. 12). En suelos muy compactos sería conveniente analizar la posibilidad de usar preparación mecánica (pocas veces factible). Hay que evitar hoyos superficiales y cónicos (Galloway 2003).

Una buena práctica es invertir el suelo, para que la capa superficial (A), típicamente más rica en nutrientes, quede en contacto con las raíces de las plantas desde la primera etapa de desarrollo (Fig. 13) (Galloway 2003). 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 por lo menos 20 cm de diámetro y 25 cm de profundidad en sitios no compactados.

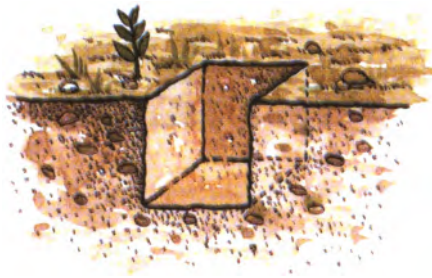


Figura 12. Forma más adecuada de los hoyos para plantar
Fuente: Cordero y Boshier (2003)

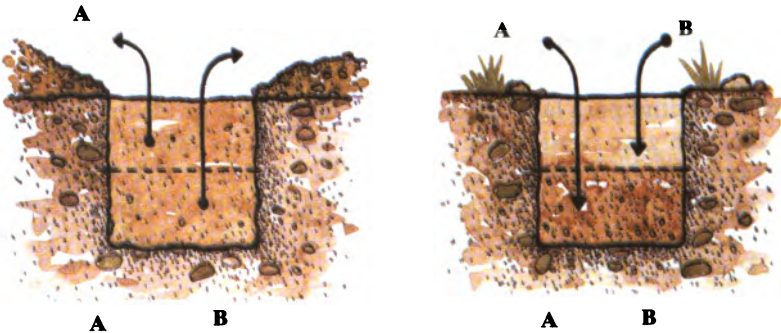


Figura 13. Forma correcta de abrir un hoyo y depositar la tierra para aprovechar la capa superficial (A)
Fuente: Cordero y Boshier (2003)

Fertilización

La especie tiene muy buena respuesta a la fertilización al momento del establecimiento y seis meses después. Se usan 50-60 g de una fórmula completa (p.ej. 10-30-10) por árbol, o fertilizante completo al momento del establecimiento y nitrogenado unos tres meses después. En suelos muy ácidos se han obtenido buenos resultados con una aplicación inicial de carbonato de calcio y fertilizante dos meses después (Cordero y Boshier 2003).

Establecimiento

En Costa Rica *H. alchorneoides* está tomando auge como especie para reforestación en bloque, sola o mezclada con otras especies. Sin embargo, también se recomienda para reforestación en claros abiertos en el bosque por la corta de árboles maduros, o en asocio con otra especie maderable como sombra para café. En zonas de ladera del trópico húmedo al norte de Honduras se asocia con plátano (*Musa paradisiaca*); esto ayuda a conservar el suelo, aprovechar mejor el terreno y obtener ingresos desde el primer año de establecimiento (Quesada y Jiménez 1993, Cordero y Boshier 2003). También se usa en linderos con cultivos promisorios o tradicionales.

Los espaciamientos usados dependen del sistema de plantación: desde muy amplios (p.ej. 10x10 m) en sistemas agroforestales o enriquecimiento de bosque, hasta 3x3 m en plantaciones en bloque. También se han obtenido buenos resultados con espaciamientos de 4x5 m (con mayor manejo en cuanto a poda y chapia), lo cual elimina la necesidad de un primer raleo temprano.

Control de malezas

En general, durante los primeros años las plantaciones forestales no toleran la competencia de plantas herbáceas, arbustivas y leñosas. Con las limpiezas se logra evitar la competencia, plagas y enfermedades y además se reduce el riesgo de incendios. Aunque *H. alchorneoides* 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 chapias durante el primer y segundo año. Cuando las copas se han cerrado, se reduce considerablemente el crecimiento de malezas.

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 chapias, o química con herbicidas. El uso de uno u otro método depende de las condiciones económicas del productor, de las condiciones del terreno y forma

de establecimiento de la plantación. Así, el control manual ofrece aspectos sociales positivos (generación de empleo e ingresos) 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.

Crecimiento y productividad

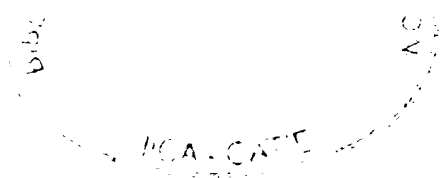
Crecimiento en diámetro y altura

En Costa Rica, en plantaciones puras y mixtas de *H. alchorneoides* se obtuvieron a los dos años crecimientos en altura de 5,9 m y 5,4 m y de 6,9 cm y 7,7 cm en diámetro (dap), respectivamente. La sobrevivencia fue alta en ambos sistemas: 98% en promedio. En plantaciones de seis años de edad y con buen manejo, el crecimiento medio anual fue de 2,3-2,5 m en altura y 2,2-2,5 cm en dap (Piotto et ál 2002). Sin embargo, a los nueve años estas cifras bajaron a 1,8 m en altura y 1,7 cm en dap, con una productividad entre 8,5-10,2 m³/ha/año (Cordero y Boshier 2003).

En plantaciones de 6 y 11 años, en la zona norte de Costa Rica, en promedio se obtuvieron tasas anuales de crecimiento de 1,7 m en altura y 1,8 cm en dap, e incrementos medios anuales en volumen de 10,2 m³/ha/año. Se estima un turno de 20 a 25 años para la obtención de 250-300 árboles por hectárea con un dap promedio de 40 cm.

Para el presente trabajo se recopilieron datos de crecimiento de la especie en las zonas sur y norte de Costa Rica; en esta última es donde más se ha plantado. La Fig. 14 muestra el desarrollo de la especie tanto en dap como en altura total, desde medio año hasta 12 años de edad. Si bien se encontró muy poca información de la zona sur, al comparar el crecimiento en ambas zonas no se manifestaron diferencias en el crecimiento de las dos variables.

Para modelar el crecimiento maderable de las plantaciones de *H. alchorneoides* se utilizaron dos enfoques. El primero consiste en la evaluación del crecimiento en diámetro y altura total; a partir de esta información se puede calcular el volumen maderable, la biomasa y el carbono. El segundo usa modelos de crecimiento referidos a la unidad de superficie



(ha) para modelar variables como índice de sitio, área basal, supervivencia (mortalidad) y volumen por hectárea. Ambos enfoques ofrecen dos posibles opciones para predecir el crecimiento y la productividad de las masas forestales de *H. alchorneoides*, dependiendo de la información disponible.

Crecimiento promedio en diámetro y altura

Para describir adecuadamente el crecimiento promedio en diámetro y altura se utilizó el modelo de Schumacher modificado por Bailey y Clutter (1974) -también conocido como el modelo de Korf de la forma:

$$Y = \exp\left(a - \frac{b}{E^c}\right) \quad (1)$$

donde

Y = dap (D) o altura promedio (H) de la parcela de medición

E = edad de la plantación en años

a, b, c = parámetros del modelo a estimar

$\exp(.)$ = función exponencial

El ajuste para diámetro en centímetros y altura total en metros por regresión y los parámetros estimados en cada caso se ilustran en el Cuadro 1. En la Fig. 14 aparece en forma gráfica el ajuste obtenido para altura total y diámetro promedio, muy similares a los obtenidos por Montero y Kanninen (2003) para *Terminalia amazonia*.

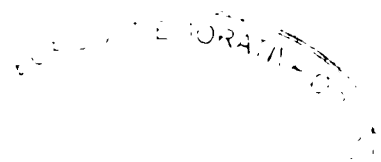
Cuadro 1. Bondad del ajuste y parámetros estimados para el diámetro y altura promedio para *Hyeronima alchorneoides* en Costa Rica

Variable	Parámetros y significancia estadística			n	CME	r ²
	a	b	c			
H	4,387 (<,0001)	-4,133 (<,0001)	0,432 (<,0001)	500	5,178	0,83
D	5,449 (<,0001)	-4,626 (0,0001)	0,254 (0,0212)	470	9,542	0,69

n: número total de observaciones usadas

CME: cuadrado medio del error

r²: coeficiente de determinación



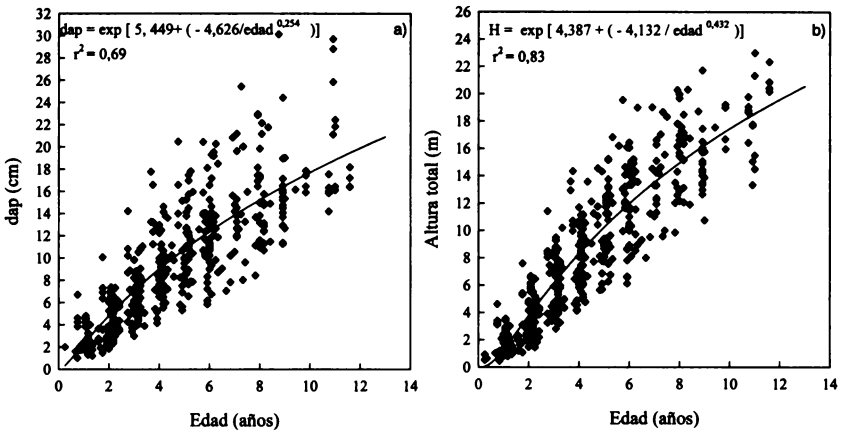


Figura 14. Crecimiento en diámetro (a) y altura total (b) de *Hyeronima alchomeoides* en Costa Rica

Los modelos de diámetro y altura descritos nos permiten estimar el crecimiento promedio en dap y H y son de utilidad para planificar el establecimiento de nuevas plantaciones. Sin embargo, es posible que el interés sea proyectar el crecimiento de una plantación en función de las características presentes. Para ello se plantea una expresión de proyección basada en el modelo (1) de la forma:

$$Y_2 = Y_1 \times \exp \left(b \times \left(\frac{1}{E_1^c} - \frac{1}{E_2^c} \right) \right) \quad (2)$$

De esta forma, si se conoce la edad del árbol y su diámetro/altura, se pueden proyectar sus dimensiones futuras con mayor precisión que si se usa la curva promedio solamente. Con base en los parámetros obtenidos en el Cuadro 1, los modelos respectivos para diámetro y altura serían:

$$D_2 = D_1 \times \exp \left(4,62 \times \left(\frac{1}{E_1^{0,25}} - \frac{1}{E_2^{0,25}} \right) \right) \quad (3)$$

$$H_2 = H_1 \times \exp\left(4.13 \times \left(\frac{1}{E_1^{0.43}} - \frac{1}{E_2^{0.43}}\right)\right) \quad (4)$$

donde

D_2 = diámetro proyectado a partir del diámetro inicial D_1 y su edad inicial

E_2 = edad de proyección

H_2 = altura proyectada partir de la altura inicial H_1 .

La base de datos recopilada permitió calcular los incrementos medios anuales (IMA) y los incrementos corrientes anuales (ICA) para las variables dap y altura total (Fig. 15). En esta figura se puede observar que las dos variables muestran un comportamiento del desarrollo muy similar. Un $\text{IMA} > 2 - 3,5$, e $\text{ICA} > 1,5$ denota que la plantación tiene un manejo relativamente bueno y se ubica en un sitio adecuado para la especie.

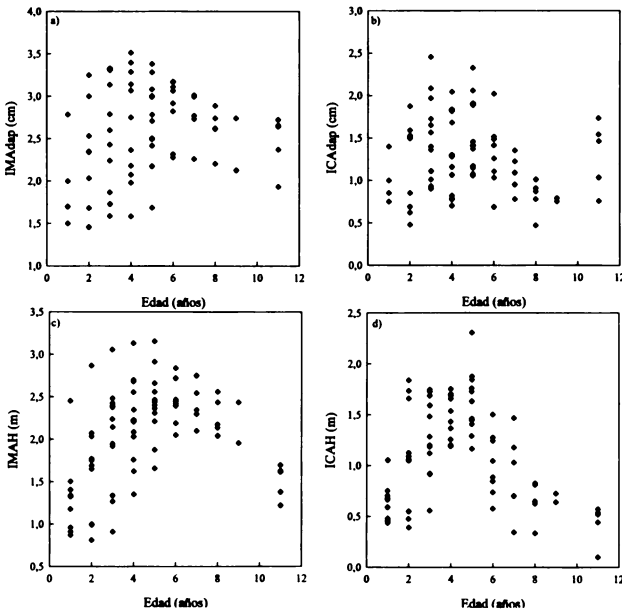


Figura 15. Incremento medio anual en diámetro y altura (a) y (c); incremento corriente anual en diámetro y altura (b) y (d) de *Hyeronima alchorneoides* en Costa Rica

El IMA y el ICA pueden ser estimados una vez que se haya obtenido el ajuste con el modelo (1), con la siguiente ecuación:

$$IMA = \frac{Y}{E} = \frac{\exp\left(a - \frac{b}{E^c}\right)}{E} \quad (5)$$

para el ICA es necesario obtener la primer derivada de Y de la forma:

$$ICA = \frac{dY}{dE} = \exp\left(a - \frac{b}{E^c}\right) \times \frac{b \times c}{E^{c+1}} \quad (6)$$

El turno técnico o edad en la cual ICA=IMA se puede obtener fácilmente usando las expresiones anteriores y resolviendo para E. De esta forma se

observa que el turno técnico ocurre a la edad: $E = (b \times c)^{\frac{1}{c}}$.

Las curvas de IMA e ICA obtenidas a partir de las ecuaciones 5 y 6 ajustadas se presentan en la Fig. 16.

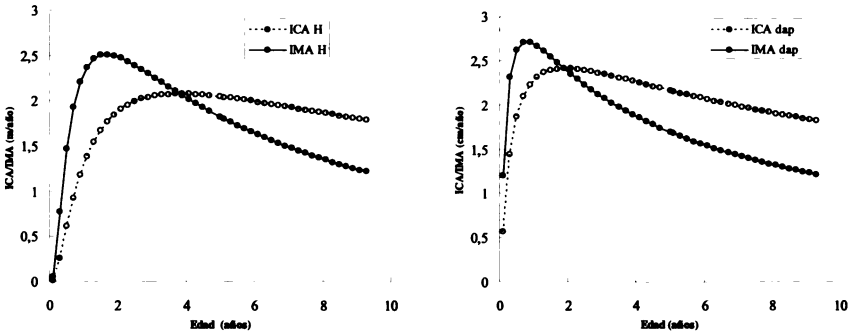


Figura 16. Curvas promedio de ICA e IMA para altura total (H) y diámetro (dap) promedio de *Hyeronima alchorneoides* en Costa Rica

En la Fig. 16 se puede observar que el turno técnico para dap ocurre antes que el turno en altura; esto probablemente tiene que ver con el hecho de

Cuadro 4. Parámetros y estadísticas del modelo ajustado (14) para estimar la biomasa aérea seca de los componentes de cada árbol en función del dap para *Hyeronima alchorneoides*

Componente	n	Parámetros		r ²	r ² ajustado	CME	FC
		a	b				
fuste	7	- 3,136 s	2,591 as	0,96	0,95	0,029	1,01
ramas	6	- 8,615 as	4,234 as	0,98	0,98	0,027	1,01
hojas	6	- 6,404 s	2,876 as	0,95	0,93	0,034	1,02
Total	5	- 1,696 s	2,224 as	0,98	0,98	0,008	1,00

n: número de observaciones a y b: parámetros estimados s: estadísticamente significativo (P < 0.05) as: altamente significativo (P < 0.01) r²: coeficiente de determinación r²ajustado: coeficiente de determinación ajustado CME: cuadrado medio del error FC: factor de corrección

Otra forma de calcular el FEB es usando el valor del parámetro a (Cuadro 4) de los modelos generados en función del diámetro de la siguiente forma:

$$\text{FEB} = \frac{\text{Biomasa total}}{\text{Biomasa de fuste}} = \frac{\exp(a_T)D^a}{\exp(a_f)D^a} = \frac{\exp(-1,696)D^{2,224}}{\exp(-3,136)D^{2,591}} = \frac{\exp(1,44)}{D^{0,367}}$$

Esta simplificación a partir del diámetro es solo aplicable para dap <40 cm, ya que después de esta categoría la biomasa de fuste tiende a ser mayor que la biomasa total (Fig. 18). A medida que aumenta el diámetro, el fuste acumula biomasa de manera exponencial respecto a los otros compartimentos aéreos.

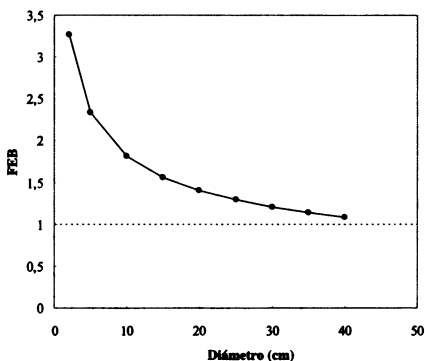


Figura 18. FEB variable para los modelos del Cuadro 4, tomando como variable el dap (cm)

Redondo (2006), por medio de los modelos de Montero y Montagnini (2005), realizó una estimación de la productividad en biomasa y el cálculo del carbono, asumiendo que este es el 50% de la biomasa aérea seca en plantaciones de la zona Atlántica. En el Cuadro 5 se presentan los resultados de algunas plantaciones con edades entre 9 y 12 años ubicadas en sitios de Sarapiquí y San Carlos. Obsérvese la diferencia marcada entre regiones en cuanto a productividad en biomasa y carbono. Los valores de IMA superiores en Sarapiquí son el resultado de las buenas prácticas de manejo llevadas a cabo por FUNDECOR. Esto refuerza la importancia de aplicar prácticas silvícolas apropiadas, como las podas y raleos.

Cuadro 5. Biomasa y carbono de plantaciones de *Hyeronima alchorneoides* en dos sitios de la zona Atlántica de Costa Rica

Región	Componente	Edad (años)	Fracciones (Mg/ha)				Total	IMA (Mg/ha/año)
			Fuste	Ramas	Follaje			
Sarapiquí	Biomasa	9 - 10	72,1	53,8	6,7	132,7	13,3	
		11 - 12	47,7	40,7	4,5	93,0	8,5	
	Carbono	9 - 10	36,1	26,9	3,4	66,3	7,1	
		11 - 12	24,9	20,3	2,3	46,5	4,0	
San Carlos	Biomasa	9 - 10	35,6	18,0	3,1	56,6	6,3	
		11 - 12	37,3	17,1	3,2	57,6	5,2	
	Carbono	9 - 10	17,8	9,0	1,5	28,3	2,8	
		11 - 12	18,6	8,5	1,6	28,8	2,5	

Fuente: Redondo (2006).

Podas

Se deben realizar podas entre el primero y segundo año de edad para eliminar ramas bajas y ejes dobles. Mientras el árbol crece en altura, las hojas de las ramas inferiores reciben cada vez menos luz, por lo que las hojas sombreadas pierden energía y mueren. En muchos casos, estas ramas caen por efecto de la gravedad; esta poda natural es fuente de materia orgánica para el suelo. Sin embargo, la poda natural puede provocar heridas en el fuste e infectarse, lo que reduce la calidad de la madera.

En función del sitio, hay plantaciones que requieren de poda mucho antes. Por eso, la observación continua del desarrollo de la plantación es importante para determinar la edad y altura indicadas (Fig. 19).

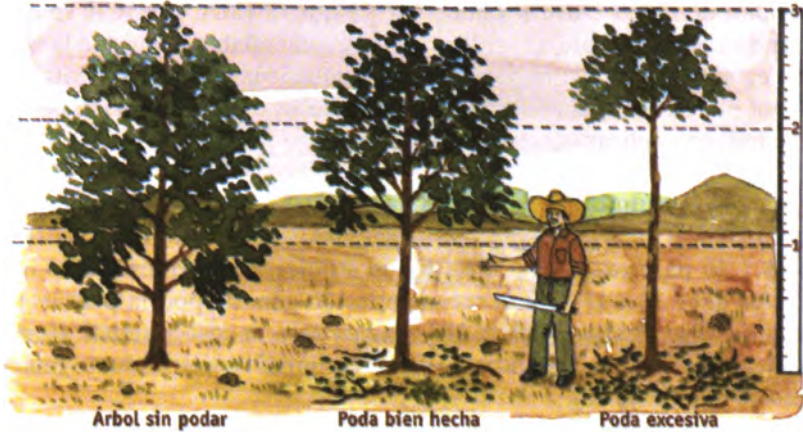


Figura 19. Forma y altura de cómo se debe realizar una poda
Fuente: Cordero y Boshier (2003).

Raleos

Para que los árboles crezcan bien en grosor deben tener copas grandes, pues las hojas son la fuente de energía para el desarrollo de un árbol. En plantaciones densas, las copas tienden a ser esbeltas y pequeñas, lo que favorece la forma y la poda natural del fuste. Sin embargo, una vez que las ramas se entrecruzan, las masas tienden hacia el autoaclareo; la competencia por espacio lleva a la masa a perder individuos por competencia intra-específica. Este es el fundamento biológico del aclareo: distribuir los recursos limitados del sitio entre los mejores árboles (los silviculturalmente deseables).

Existe un fundamento económico detrás del raleo. Cuando no se tienen fuentes conocidas de semillas, el aclareo permite eliminar árboles cuyos fenotipos no son adecuados y así garantizar una cosecha con productos de mejor calidad. Los raleos son también una fuente de ingresos periódicos que incrementan, de manera considerable, la calidad de la cosecha final y por ende su valor comercial.

En plantaciones de *H. alchorneoides*, el primer raleo en sitios buenos se realiza en el segundo año de edad y el segundo raleo entre los años 3-5, con una intensidad del 50%. Veamos el ejemplo de dos plantaciones con incrementos muy buenos por el manejo recibido. Los datos muestran la necesidad de raleo entre los años 3-5, ya que el IMA y el ICA se están cruzando casi en el 5 año (Fig. 20). No es recomendable dejar que la situación llegue hasta ese punto para no perder mucho crecimiento y evitar que el árbol pierda energía en la recuperación de su dinámica inicial; por eso se recomienda aplicar el raleo entre el 3 y 4 año.

Un manejo oportuno, entonces, sería un primer raleo entre los años 4 y 5 para extraer el 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. Como recomendación general podría pensarse en turnos de 20 a 25 años y 180 a 250 árboles para la cosecha final. Con un buen manejo se obtendrán árboles de mayor grosor y un producto final de buena calidad (Fig. 21).

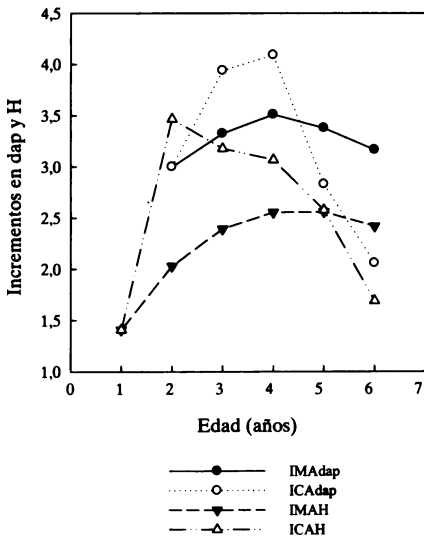


Figura 20. Incremento medio anual (IMA) y corriente (ICA) en diámetro (dap cm) y altura total (H m) de dos parcelas de *Hyeronima alchorneoides* (el cruce de los incrementos es el indicador de la necesidad de raleo)



Figura 21. Árboles de buena calidad y distribución adecuada después del raleo
Fuente: Cordero y Boshier (2003).

Para guiar los raleos de manera biológica se han diseñado herramientas como las guías de densidad. Ellas ofrecen medidas de densidad relativa de forma tal que la densidad meta pueda programarse con la ayuda de las funciones de crecimiento presentadas en este trabajo, o con aproximaciones sobre el crecimiento promedio. A partir de este criterio, en secciones posteriores se presentan varias estrategias de aclareo usando las guías de densidad construidas para *H. alchorneoides*.

Modelos de crecimiento

Sistema de rendimiento a totalidad de rodal

Cuando se tienen plantaciones uniespecíficas la forma más eficiente de modelar su crecimiento es a través de modelos de totalidad del rodal. Una ventaja de estos modelos es que sirven para estimar el volumen por hectárea de forma fácil. Un sistema de rendimiento maderable describe cada componente del rodal usando una ecuación de predicción y otra de proyección. El modelo de proyección es la parte más relevante del sistema, ya que nos permite estimar el crecimiento del rodal en función de las condiciones iniciales del mismo encontradas durante el inventario y estimar con mayor precisión el rendimiento esperado. Por otra parte, las curvas de predicción promedio nos sirven para estimar el rendimiento medio esperado en áreas

no forestadas que se desea plantar; en este sentido se complementan con los modelos de proyección.

Para efectos de este estudio, se usaron datos de parcelas con remediciones para las variables de totalidad de rodal: altura dominante (índice de sitio), área basal, supervivencia/ha y volumen/ha.

Modelos de crecimiento en altura dominante

El modelo ajustado para *H. alchorneoides* parte de un grupo de modelos de estimación basados en la curva como punto de partida para crear la familia de curvas que representa a los datos observados. Para aprovechar las remediciones de la altura dominante, se ajusta de manera simultánea la curva de predicción (curva guía) y la curva de proyección. El modelo promedio que se usa en este caso es el de Chapman-Richards; para la proyección (índice de sitio -IS) se usa una de las curvas polimórficas que probó ser la mejor de las posibles familias de proyección. La edad de los modelos se manejó en meses, ya que por efecto de la escala estos produjeron mejores resultados durante el ajuste. Si se desea usar la edad en años, la variable E (edad) debe multiplicarse por 12 para obtener la equivalencia adecuada. La edad base de 100 (8 años y 4 meses) se usa para producir las gráficas de IS del modelo.

El sistema de predicción-proyección para la altura dominante se ajustó simultáneamente para asegurar la compatibilidad (Cuadro 6):
donde

$$A = \alpha_0 \times (1 - \exp(-\alpha_1 E))^{\alpha_2} \quad (15)$$

$$A_2 = \alpha_0 \times \left(1 - \left(1 - \left(\frac{A_1}{\alpha_0} \right)^{\alpha_2} \right)^{\frac{E_2}{E_1}} \right)^{\alpha_2} \quad (16)$$

A = altura dominante (m)

E = edad en meses

A_1 = altura dominante a la edad E_1

A_2 = altura dominante proyectada a la edad E_2

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ = parámetros a estimar

Es evidente que a partir del modelo de proyección la ecuación de IS es:

$$IS = \alpha_0 \times \left(1 - \left(1 - \left(\frac{A_i}{\alpha_0} \right)^{\alpha_2} \right)^{\frac{E_b}{E_i}} \right)^{\alpha_2} \quad (17)$$

donde

IS = índice de sitio (m)

E_b = edad base en meses

Para generar la familia de curvas polimórficas se usó el modelo (15), pero se varió el parámetro ' α_1 ' y se mantuvieron fijos los parámetros ' α_0 ' y ' α_2 '. La desviación estándar (raíz cuadrada del CME de la curva guía 2.3 m) del modelo (15) permitió estimar el ancho entre una curva y otra. Por razones prácticas se ilustran cuatro curvas de IS (13, 17, 21 y 25) a una edad base de diez años (120 meses) que delimitan tres posibles categorías de índice de sitio. De esta forma y con intervalos de clase de 4 m se tiene que los sitios pobres presentan alturas dominantes de 13-17 m; los sitios promedio, IS 17-21 m y los sitios excelentes, >21 m (Fig. 22).

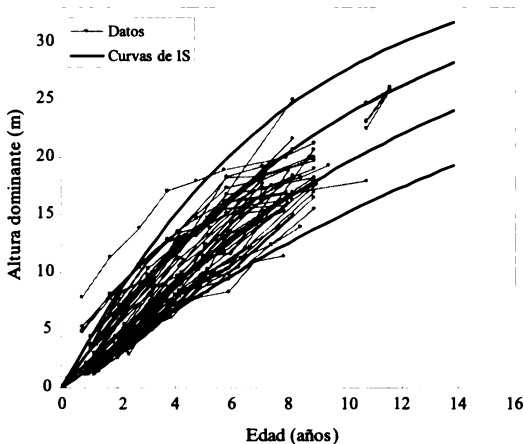


Figura 22. Alturas dominantes observadas con la familia de curvas de índice de sitio bajo, medio y alto a la edad base de 8 años y 4 meses (100 meses) para *Hyeronima alchomeoides* en Costa Rica

Modelo de área basal

La estructura lineal del modelo de Schumacher probó ser eficiente para describir los datos de área basal; el modelo de predicción sería, entonces:

$$\ln AB = \beta_0 + \beta_1 \times \ln A + \beta_2 \times \ln N + \beta_3 \times E^{-1} + \beta_4 \times E^{-1} \times A + \beta_5 \times E^{-1} \times N \quad (18)$$

donde

AB = área basal (m^2/ha)

N = número de árboles/ha

\ln = logaritmo natural

β_i = parámetros a estimar

Y su modelo de proyección bajo la diferencia algebraica es de la forma:

$$\ln AB_2 = \ln AB_1 + \beta_1 \times (\ln A_2 - \ln A_1) + \beta_2 \times (\ln N_2 - \ln N_1) + \beta_3 \times (E_2^{-1} - E_1^{-1}) + \beta_4 \times (E_2^{-1} \times A_2 - E_1^{-1} \times A_1) + \beta_5 \times (E_2^{-1} \times N_2 - E_1^{-1} \times N_1) \quad (19)$$

donde

AB_1 = área basal (m^2/ha) a la edad de medición E_1

AB_2 = área basal (m^2/ha) a la edad de proyección E_2 ,

N_1 = número de árboles/ha a la edad de medición E_1

N_2 = número de árboles/ha a la edad de proyección E_2

Al igual que el modelo de crecimiento en altura dominante, el modelo de proyección simultáneamente se ajustó con el de proyección (Cuadro 6). Para ilustrar de mejor manera las proyecciones sobre el AB se usan los datos para contrastar las proyecciones del AB en cada uno de las clases de IS definidas para los modelos de proyección (Fig. 23).

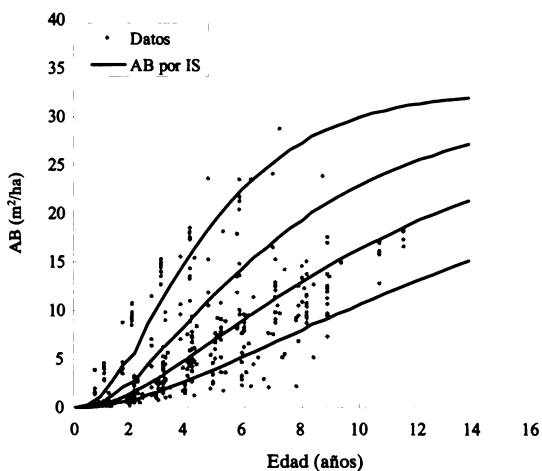


Figura 23. Áreas basales promedio para los IS 13, 17, 21 y 25 a una densidad inicial de 1200 árboles/ha para *Hyeronima alchorneoides* en Costa Rica

Modelo de mortalidad

El siguiente modelo de mortalidad probó ser eficiente para modelar la disminución paulatina en el número de árboles por hectárea (Rose et ál. 2004).

$$N_2 = N_1 \times \left(\frac{1 + \eta_1 \times E_2}{1 + \eta_1 \times E_1} \right)^{\eta_1} \left(\frac{1 + \eta_1 \times E_2}{1 + E_1} \right)^{\eta_2} \exp\left(\frac{\eta_3}{2} \times (E_2^2 - E_1^2) \right) \quad (20)$$

donde

η_i = parámetros del modelo (las demás variables ya fueron definidas)

Sin embargo, y a pesar de sus buenas propiedades estadísticas, las simulaciones del modelo sugieren una mortalidad demasiado acelerada para densidades mayores a 1500 árboles/ha, por lo que se decidió combinar este modelo con uno de la forma:

$$N_2 = N_1 \times \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{\eta_4} \exp(-\eta_5 \times (E_2 - E_1)) \quad (21)$$

A través de variables indicadoras fue posible ajustar ambos modelos de forma simultánea. La tendencia promedio de los modelos se ilustra en la Fig. 24 donde se aprecia que la mortalidad a altas densidades, una vez que se presenta, es acelerada.

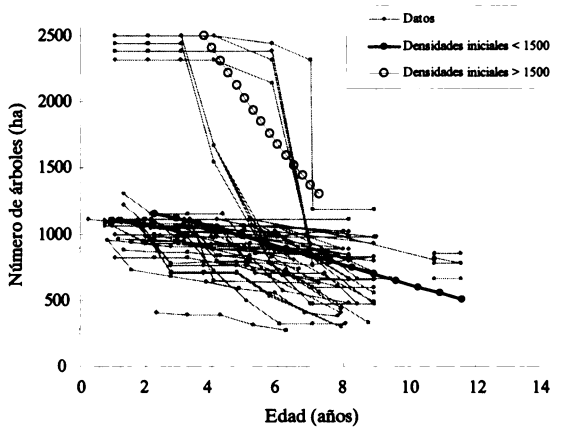


Figura 24. Mortalidad en parcelas de *Hyeronima alchorneoides* en Costa Rica

Modelo de volumen/ha

Con la estructura no lineal de Schumacher se llegó a la siguiente estructura para el modelo de predicción de volumen por hectárea.

$$V = \gamma_0 \times A^{\gamma_1} \times N^{\gamma_2} \times AB^{\gamma_3} \times \exp \left(\left(\gamma_4 + \gamma_5 \times A + \gamma_6 \times AB + \gamma_7 \times N \right) \times E^{-1} \right) \quad (22)$$

donde

V = volumen del rodal (m^3/ha)

γ_i = parámetros a estimar

El modelo de proyección queda de la siguiente forma:

$$V_2 = V_1 \times \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{\gamma_1} \times \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^{\gamma_2} \times \left(\frac{AB_2}{AB_1} \right)^{\gamma_3} \times \exp \left\{ \begin{array}{l} \gamma_4 \times (E_2^{-1} - E_1^{-1}) + \gamma_5 \times (E_2^{-1} \times A_2 - E_1^{-1} \times A_1) \\ + \gamma_6 \times (E_2^{-1} \times AB_2 - E_1^{-1} \times AB_1) \\ + \gamma_7 \times (E_2^{-1} \times N_2 - E_1^{-1} \times N_1) \end{array} \right\} \quad (23)$$

donde

$V_{1:}$ = volumen de fuste (m^3/ha) a la edad de medición E_1

$V_{2:}$ = volumen de fuste (m^3/ha) a la edad de proyección E_2

Al igual que en los modelos anteriores, el modelo de predicción simultáneamente se ajustó con el de proyección (Cuadro 6). Para ilustrar de mejor manera las proyecciones sobre el volumen se usan las clases de IS definidas y la densidad inicial promedio de 1200 árboles/ha, y se aplica la curva de supervivencia a partir de los 24 meses (Fig. 25).

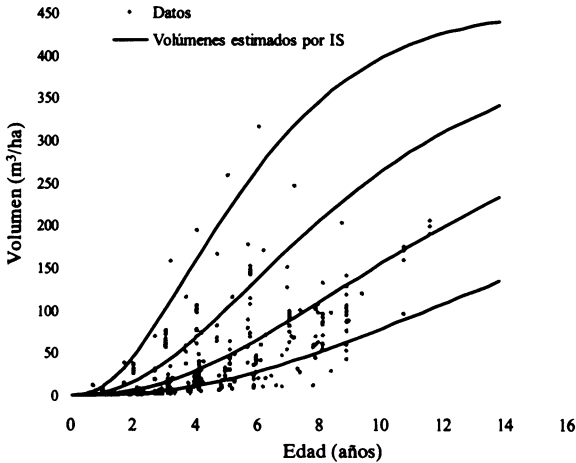


Figura 25. Rendimiento maderable promedio para los IS 13, 17, 21 y 25 a una densidad inicial de 1200 árboles/ha para *Hyeronima alchomeoides* en Costa Rica

Ajuste del sistema

A continuación se presentan las condiciones de ajuste, así como los parámetros estimados por componente:

Cuadro 6. Características de ajuste y parámetros estimados para el sistema de rendimiento maderable por hectárea de *Hyeronima alchomeoides* en la zona Atlántica de Costa Rica

Componente	G.L. Modelo	G.L. Error	SCE	CME	r ²	r ² ajustada
A ₁	2,0	265	1391,200	5,250	0,79	0,79
A ₂	1,0	266	515,300	1,9374	0,93	0,93
ln(AB ₁)	3,5	246,5	23,726	0,096	0,93	0,92
ln(AB ₂)	2,5	247,5	14,332	0,058	0,91	0,91
V ₁	4,5	245,5	3640,300	14,828	0,99	0,99
V ₂	3,5	246,5	8803,600	35,714	0,98	0,98
N ₂	5,0	262	10338388	39459,500	0,84	0,84

Parámetros del sistema

Parámetro	Estimado	Error estándar	Valor de t calculado	Valor de Rechazo (P> t)
α_0	37,845	4,293	8,82	<,0001
α_1	0,007	0,001	5,09	<,0001
α_2	1,071	0,055	19,5	<,0001
β_0	-5,785	0,461	-12,55	<,0001
β_1	1,518	0,071	21,42	<,0001
β_2	0,556	0,055	10,03	<,0001
β_3	-16,510	3,007	-5,49	<,0001
β_4	1,687	0,388	4,35	<,0001
β_5	0,007	0,001	5,71	<,0001
γ_0	1,271	0,227	5,59	<,0001
γ_1	0,719	0,062	11,58	<,0001
γ_2	-0,121	0,016	-7,73	<,0001
γ_3	1,190	0,042	28,54	<,0001
γ_4	7,982	2,796	2,86	0,0047
γ_5	0,830	0,278	2,99	0,003
γ_6	-0,582	0,201	-2,9	0,0041
γ_7	0,003	0,001	4,05	<,0001
η_1	1,019	0,041	25,04	<,0001
η_2	-0,985	0,109	-9,07	<,0001
η_3	-0,000	0,000	-2,79	0,0057
η_4	0,470	0,073	6,45	<,0001
η_5	0,023	0,002	9,46	<,0001

Cuando no se cuenta con el dato de la edad se pueden obtener estimaciones a nivel de hectárea con el modelo de la forma:

$$V = \gamma_0 \times A^{\gamma_1} \times AB^{\gamma_2} \quad (24)$$

Cuyo ajuste se presenta en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Modelo (24) para estimar volumen en m³/ha sin conocimiento de la edad para *Hyeronima alchomeoides* en la zona Atlántica de Costa Rica

Variable	G.L modelo	G.L Error	SCE	CME	r ²
V (m ³ /ha)	3	302	21428,1	70,954	0,97
Parámetros estimados					
Parámetro	Valor estimado	Error estándar	Valor de t	Pr > t	
γ_0	0,402	0,036	11,05	<,0001	
γ_1	1,070	0,023	47,23	<,0001	
γ_2	0,949	0,032	29,58	<,0001	

Guías de densidad

Los datos de mortalidad en altas densidades denotan un fenómeno de sumo interés para el silvicultor: el autoaclareo. Con estos datos es posible generar una guía de densidad para la especie, la cual ayude a programar los raleos en términos silvícolas. Durante este estudio se construyeron la guía tradicional de Reineke y el modelo de Yoda. Para ello se usó la información de máxima densidad encontrada en los datos, que es donde el efecto de autoaclareo es mayor (Fig. 26).

Para construir la guía usamos los valores al límite del autoaclareo; con base en el modelo de regresión básico de cada relación se obtienen los valores de los parámetros. Para Reineke, la regla de densidad es la siguiente:

$$N = 10^{\phi_0} D_q^{\phi_1} \quad (25)$$

que de forma lineal es:

$$\log_{10}(N) = \phi_0 + \phi_1 \times \log_{10} D_q \quad (26)$$

El modelo que mejor describió la tendencia en los datos fue el no lineal; sus características de ajuste se dan en el Cuadro 8.

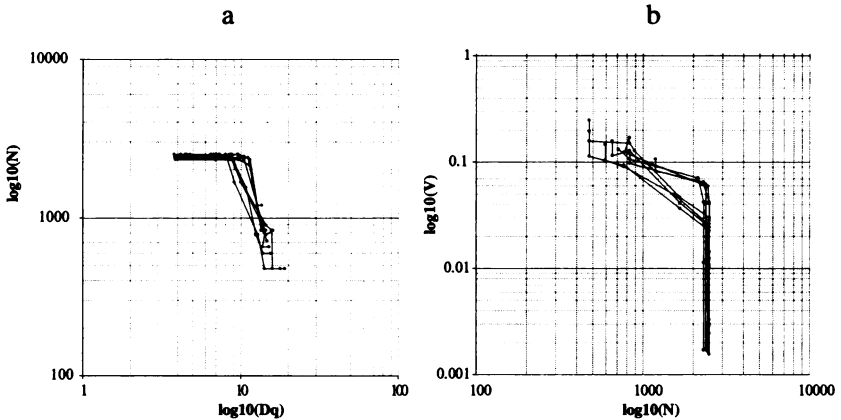


Figura 26. (a) Datos de densidad para el modelo de Reineke basados en la densidad/ha (N) y el diámetro cuadrático (Dq) **(b)** Datos de densidad para el modelo de Yoda basados en la densidad/ha (N) y el volumen promedio por árbol (V)

Cuadro 8. Ajuste y parámetros estimados en la formulación de Reineke para *Hyeronima alchomeoides* en la zona Atlántica de Costa Rica

Variable	G.L. modelo	G.L. Error	SCE	CME	r ²
N	2	35	5159736	147421	0,77
Parámetros estimados					
Parámetro	Valor estimado	Error estándar	Valor de t	Pr > t	
λ_0	5,329	0,216	24,7	<,0001	
λ_1	-2,043	0,213	-9,6	<,0001	

Para el modelo de auto aclareo de Yoda se usa el modelo lineal de la forma:

$$\ln(\bar{V}) = \lambda_0 + \lambda_1 \times \ln(N) \quad (27)$$

Los resultados del modelo se dan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Ajuste y parámetros estimados para la formulación de Yoda para *Hyeronima alchorneoides* en la zona Atlántica de Costa Rica

Variable	G.L. modelo	G.L. Error	SCE	CME	r ²
ln(V)	2	35	3.2004	0,091	0,78
Parámetros estimados					
Parámetro	Valor estimado	Error estándar	Valor de t	Pr > t	
λ_0	3,977	0,593	6,7	<,0001	
λ_1	-0,923	0,084	-11,0	<,0001	

Para calcular el índice de densidad relativa de Reineke (IDR) se usa la fórmula:

$$IDR = N \times \left(\frac{10}{D_q} \right)^{\lambda_0} = N \times \left(\frac{10}{D_q} \right)^{-2.043}$$

Si se desea estimar el número de árboles para un IDR dado, entonces:

$$N = IDR \times \left(\frac{10}{D_q} \right)^{-\lambda_0} = IDR \times \left(\frac{10}{D_q} \right)^{2.043}$$

Para el índice de Yoda (IDY) se toman, como referencia, 100 árboles por hectárea para el cálculo en función de volumen promedio.

$$IDY = V \times \left(\frac{N}{100} \right)^{\lambda_1} = V \times \left(\frac{N}{100} \right)^{-0.923}$$

Al igual que Reineke, es posible calcular el volumen promedio del árbol residual en función del IDY como:

$$V = IDY \times \left(\frac{N}{100} \right)^\lambda = IDY \times \left(\frac{N}{100} \right)^{0.923}$$

Con estas fórmulas fue posible construir los nomogramas conocidos como guías de densidad (Fig. 27 a y b). La línea roja indica la densidad máxima posible, las densidades en azul indican la zona de mortalidad natural inminente, la zona en verde es la zona de ICA constante de Langsaeter y la zona en gris representa en crecimiento libre sin mortalidad.

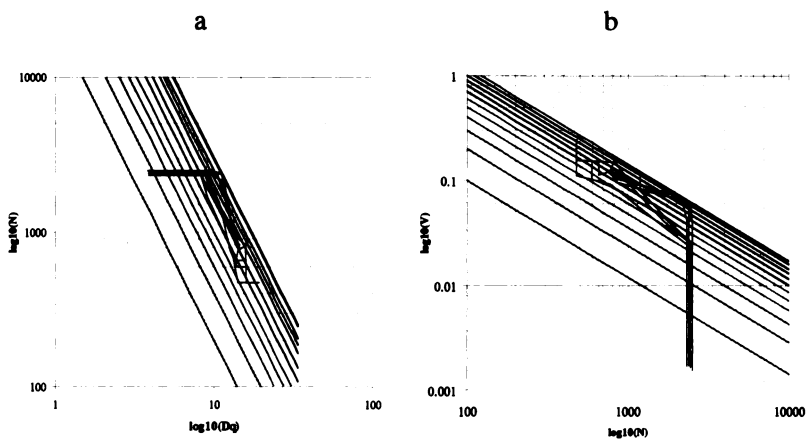


Figura 27. Guía de densidad basada en (a) el IDR de Reineke y (b) IDY para *Hyeronima alchorneoides* en Costa Rica

Ejemplos de alternativas de aclareo

Alternativa 1.- De manera general, en las plantaciones de *H. alchorneoides* establecidas a espaciamentos de 3x3 m (1100 árboles/ha), el primer raleo debe realizarse entre los 3 y 4 años de edad (área basal de 9 m²/ha, D_q=10 cm) para eliminar el 50% de los árboles (densidad residual de 550 árboles/ha). Como este es un aclareo por lo bajo, los árboles residuales tienden a tener un D_q mayor que el original, el cual se puede situar en 12 cm. Mediante el IDR, vemos que una densidad meta de D_q=11 y N=550, lo que corresponde a un IDR= 668. En este punto, es posible proyectar el siguiente punto dentro de la zona de ICA constante que nos sugiere que cuando

la masa alcance un $D_q \approx 15$ es necesario realizar otro aclareo. Esto implica

dejar un número de árboles de $N = 668 \times \left(\frac{10}{15}\right)^{2.043} = 291$. Sin embargo, sabemos que el D_q en un aclareo por lo bajo tiende a ser mayor; por eso es más

adecuado considerar un $D_q = 17$, así que el residual sería $N = 668 \times \left(\frac{10}{17}\right)^{2.043}$. Entonces, dos intervenciones para eliminar el 50% de los fustes en raleos por lo bajo están dentro de los límites de ICA constante (Fig. 28). Un tercer raleo a un $D_q = 25$ es todavía posible dejando 102 árboles/ha. En este caso -y dado que los árboles ya son de dimensiones comerciales- es posible, a través de una selección cuidadosa, dejar el mismo D_q al cortar árboles en los dos extremos de la distribución diamétrica.

Dependiendo de la calidad de sitios, su evaluación y monitoreo debe ser cuidadoso para lograr cumplir con la estrategia de raleo. Sitios muy buenos requieren una intervención un poco antes de los tres años, pero en sitios de baja calidad esta primera intervención puede darse después de los siete años en rodales plantados a 1100 árboles/ha. Los rodales de calidad intermedia deben intervenir entre el 4 y 5 año.

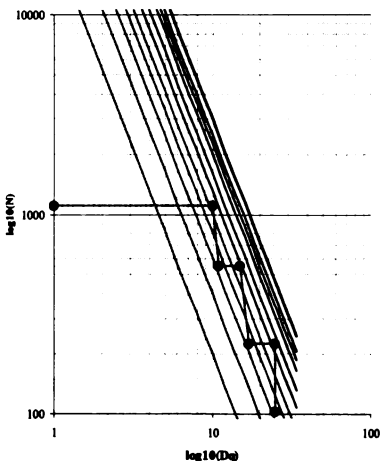


Figura 28. Alternativa de aclareo 1 usando el IDR para *Hyeronima alchorneoides* en Costa Rica

Alternativa 2.- En general es muy difícil manipular la densidad en la zona de ICA constante; además, es deseable intervenir el rodal en menos ocasiones y tener productos comerciales más rápidamente. En este caso, solo se aplican dos aclareos pero en el segundo ya existe una mayor proporción. En un sitio bueno, el primer raleo se realiza en el cuarto año (área basal de 14,6 m²/ha, $D_q=13$ cm) y se dejan 250 árboles/ha y un $D_q=15$ cm. En esta situación, se deja crecer el rodal sobre la zona de autoaclareo para forzar la poda natural y mejorar la forma de los fustes. El segundo aclareo se hace con un $D_q=25$ cm para dejar un total de 100 árboles/ha (Fig. 29). Si bien se deja crecer el rodal por encima de la zona de mortalidad, se difiere el gasto de un aclareo no comercial y se obtiene una estructura meta muy parecida a la alternativa 1.

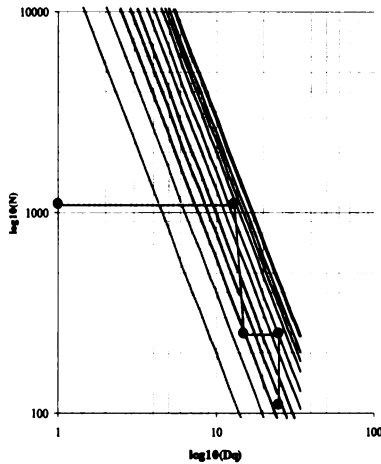


Figura 29. Alternativa de aclareo 2 usando el IDR para *Hyeronima alchorneoides* en Costa Rica

Alternativa 3.- En altas densidades es deseable dejar que se manifieste el autoaclareo ya que los árboles sobrevivientes han colonizado los mejores nichos del sitio. Este escenario es posible con una densidad de 2500 árboles/ha. El rodal se deja en proceso de autoaclareo hasta que la densidad alcance 1200 árboles vivos por hectárea; a partir de este punto se reduce la densidad mediante cortas a 200 árboles/ha y un $D_q=16$ cm. Este rodal se puede dejar crecer en ICA constante hasta alcanzar un $D_q=25$ cm. Un

último aclareo para dejar una densidad de 100 árboles/ha deja preparada la cosecha final a un $D_q=35$ cm (Fig. 30).

Las reducciones en el tercer y cuarto aclareo muy probablemente sean extremas y descubren el terreno de manera exagerada al disminuir la cobertura de copa en exceso. El uso de intensidades extremas puede provocar, adicionalmente, cambios severos de temperatura que fomenten la mortalidad en la masa residual. Estos escenarios pueden pensarse en turnos de 20 años en rodales buenos y hasta 40 años en sitios pobres, con cosechas finales de 180 a 250 árboles a fin de mantener la cobertura y reducir el impacto de la vegetación competidora.

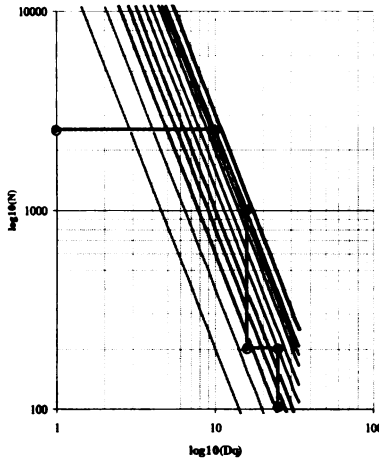


Figura 30. Alternativa de aclareo 3 usando el IDR para *Hyeronima alchomeoides* en Costa Rica

Principales plagas y enfermedades

Los venados comen la corteza y el ápice principal del árbol en plantaciones jóvenes, lo que causa bifurcaciones del fuste principal. Los árboles jóvenes son atacados por una gran variedad de insectos defoliadores, lo cual puede reducir el crecimiento. En plantaciones en Turrialba, Costa Rica, árboles jóvenes fueron defoliados severamente por el adulto de *Phyllophaga* sp. Se han identificado algunas plagas a nivel de follaje; entre

las más importantes están: *Taeniopoda* sp., insecto del orden Saltatoria que come el follaje; las larvas de *Discentria violacens*, *Rothschildia lebeau*, *Eacles imperiales decoris*, *Automeris* sp., *Parasa* sp. y *Phobetron* sp. También se han reportado ataques de ácaros *Tetranychus* sp. (Arguedas et ál. 1995, COSEFORMA 1998).

En un estudio en la estación de la Organización de Estudios Tropicales en Sarapiquí, se encontró un total de 19 especies de herbívoros en árboles de *H. alchorneoides*. Entre las especies encontradas y reportadas están: *Atta* sp., *Exophtalmus jekelianus*, *Hylesia continua*, *Oiketicus kirbyi*, *Spodoptera* sp., y *Taeniopoda* sp. (Mata 2002).

En algunas plantaciones de la zona de Sarapiquí, técnicos de FUNDECOR han encontrado árboles atacados por una bacteria no identificada (Fig. 31) que provoca un daño importante en la primera troza del árbol.



Figura 31. Árboles en plantaciones de *Hyeronima alchorneoides* atacado por bacteria no identificada

Foto: Andrés Sanchún

Literatura citada

- Acuña, SP. 2001. Manual para la estimación de volumen comercial para *Hieronima alchorneoides* Allemao. y *Vochysia guatemalensis* J.D. Smith. en la Zona Norte de Costa Rica. COSEFORMA. 37 p.
- Alvarez, SL. 2005. Clases de maderas (en línea). Consultado el 04/11/05. Disponible en http://www.fortunecity.es/bohemia/artnouveau/235/rincon/madera_clases1.htm
- Arguedas, M; Chaverri, P; Quirós, L. 1995. Problemas fitosanitarios en especies forestales nativas en Costa Rica. *In Memoria* [Primer Taller Nacional sobre especies forestales nativas, 4-5 de abril, 2002. Sarapiquí, Costa Rica]. Heredia, CR, Universidad Nacional - INISEFOR. p. 41-48.
- Badilla, Y; Murillo, O; Obando, G. 2002. Posibilidades de reforestación con especies nativas en las zonas altas de Costa Rica. *In Memoria* [Primer Taller Nacional sobre especies forestales nativas, 4-5 de abril, 2002. Sarapiquí, Costa Rica]. Heredia, CR, Universidad Nacional - INISEFOR. p. 92-96.
- Bailey, RL; Clutter, JL. 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. *Forest Science* 20(2):155-159.
- Bonilla, M. 1999. Estudio tecnológico de la madera de dos especies nativas de plantación de la Región Huetar Norte de Costa Rica: *Hyeronima alchorneoides* y *Vochysia guatemalensis*. Informe de Práctica de Especialidad. Cartago, CR, ITCR - Escuela de Ingeniería Forestal. 103 p.
- Carpio, MI; Arroyo, O; Sánchez, E. 1996. Anatomía y ultraestructura de 20 especies maderables de importancia comercial en Costa Rica. Informe Final del Proyecto INII-110-96. San José, CR, UCR - Laboratorio de Productos Forestales - Instituto de Investigaciones en Ingeniería y Unidad de Microscopía Electrónica. 96 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1997. *Hyeronima alchorneoides* Fr. Allem. Turrialba, CR, CATIE. Manejo de Semillas Forestales no. 16: 2 p.
- Cordero, J; Boshier, D. 2003. (eds.). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford, UK, OFI/CATIE. 1079 p.
- COSEFORMA (Cooperación en los Sectores Forestal y Maderero). 1998. Pilón en la zona norte de Costa Rica. San José, CR, Convenio Costarricense - Alemán. 20 p.
- Flores, E. 1993. Árboles y semillas del neotrópico. San José, CR, Museo Nacional, Dpto. Historia Natural, Herbario Nacional. Vol. 2 (2) 73 p.
- Francis, KJ. 1991. *Hyeronima clusioides* (Tul.) Muell.-Arg. Cedro macho. SO-ITF-SM- 45. New Orleans, LA, US. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 3 p.
- Franko, P. 1990. The genus *Hyeronima* (Euphorbiaceae) in South America. *Botanische Jahrbücher für Systematik und Pflanzengeographie* 111(3): 297-346.
- Galloway, G. 2003. Plantaciones forestales a pequeña escala. *In Cordero, J; Boshier, D. 2003. (eds.). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford, UK, OFI/CATIE. 243-282.*
- González, J. 1995. Manual para la flora de Costa Rica: Euphorbiaceae. San José, CR, INBio.
- Hartshorn, GS; Hammel, B. 1982. *Trees of La Selva*. San José, CR, OET.
- Jiménez, MQ; Rojas, RF; Rodríguez, SL. 2002. Árboles maderables de Costa Rica: ecología y silvicultura. San José, CR, INBio. p. 158-163.

- Jøker, D; Salazar, R. 2000. *Hyeronima alchorneoides*. Humlebaek , Dinamarca, Danida Forest Seed Centre. Seed Leaflet. no. 47. 2 p.
- Mata, A. 2002. Diagnóstico de los insectos herbívoros en las plantaciones puras de pílón, cedro y laurel en la Estación Biológica La Selva. *In Memoria* [Primer Taller Nacional sobre especies forestales nativas, 4-5 abril 2002, Heredia, Costa Rica, Sarapiquí, Costa Rica]. Heredia, CR, Universidad Nacional - INISEFOR. p.129-131.
- 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* no. 39-40: 50-55.
- Montero M, M; Kanninen, M. 2003. Índice de sitio para *Terminalia amazonia* en Costa Rica. *Rev. Agronomía Costarricense* 27(1): 29-35.
- Montero M, M; Montagnini, F. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* no. 45: 118-125.
- Müller, E. 1997. Investigaciones en frutos y semillas de árboles individuales de cinco especies forestales de la Región Huetar Norte de Costa Rica, con especial consideración en el almacenamiento. San José, CR, COSEFORMA. Documento del Proyecto No. 51. 236 p.
- Piotto, D; Montagnini, F; Kanninen, M; Ugalde, L; Viquez, E. 2002. Comportamiento de las especies y preferencias de los productores en plantaciones forestales en Costa Rica y Nicaragua. *Revista Forestal Centroamericana* no. 38:59-66.
- PROECEN (Proyecto Estudio de Comportamiento de Especies Maderables Nativas de Interés Comercial del Bosque Húmedo Tropical de Honduras). snt. Rosita (*Hyeronima alchorneoides* Fr. All). Colección de Maderas Tropicales de Honduras, Ficha Técnica No. 3. 4 p.
- Quesada, R; Jiménez, Q. 1993. Manual de campo: principales características morfológicas de las especies comerciales más importantes de la zona norte de Costa Rica. San José, CR, COSEFORMA - DGF/GTZ. 51 p.
- Redondo, BA. 2006. Aboveground biomass, carbon sequestration, and growth estimations of native tree plantations in humid regions of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. Submitted on February 21, 2006.
- Reich A, N; Holbrook, NM; Ewel, JJ. 2004. Developmental and physiological correlates of leaf size in *Hyeronima alchorneoides* (Euphorbiaceae). *American Journal of Botany* 91(4): 582-589.
- Rose Jr., E; Clutter, L; Shiver, D; Hall, B; Borders, B. 2004. A generalized methodology for developing whole-stand survival models. *Forest Science* no. 50(5):686-695.
- Solis, CM; Moya, RR. 2004. *Hyeronima alchorneoides* en Costa Rica. San José, CR, FONAFIFO - Ministerio de Energía y Ambiente de Costa Rica. 98 p.
- Torres, G; Luján, R; BARCA, SA. 2002. Especies forestales nativas para la reforestación en las regiones Brunca y Pacífico Central de Costa Rica. *In Memoria* [Primer Taller Nacional sobre especies forestales nativas, 4-5 abril 2002, Sarapiquí, Costa Rica]. Heredia, CR, Universidad Nacional - INISEFOR. p.101-104.



