

CULTIVO DEL ALMENDRO



CULTIVO DEL ALMENDRO

YORLENY BADILLA VALVERDE | OLMAN MURILLO GAMBOA
SERAFÍN FILOMENO ALVES-MILHO | MARIO GUEVARA BONILLA
MARÍA RODRÍGUEZ SOLÍS

Escuela de Ingeniería Forestal

634.55

B136m

Badilla-Valverde, Yorieny, autora.

Cultivo del almendro (*Dipteryx oleifera*) Benth. / Yorieny

Badilla-Valverde, Olman Murillo-Gamboa, Serafin Filomeno Alves-Milho, Mario Guevara-Bonilla, Maria Rodriguez-Solis

-- 1 edición. -- Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, 2025.

50 páginas; 13.97 x 21.59 cm: ilustraciones, fotografías, gráficos.

Incluye Bibliografía.

ISBN: 978-9930-617-91-5

1. Árboles 2. Almendro -- Cultivo 3. Manejo de plantaciones forestales

4. Manejo de bosques 5. Manejo de plantaciones -- Mantenimiento

6. Cultivo de almendro -- Plagas -- Control 7. Cultivo de almendro -- Enfermedades -- Control 8. Plantaciones -- Costo -- Producción

I. Murillo-Gamboa, Olman, autor II. Alves-Milho, Serafin Filomeno, autor

III. Guevara-Bonilla, Mario, autor IV. Rodríguez-Solis, María, autora

V. Título.

Comité Editorial, Escuela de Ingeniería Forestal

Luis Acosta

Dorian Carvajal

Ruperto Quesada

CULTIVO DEL ALMENDRO

Contenidos

Introducción.....	1
Establecimiento del cultivo del almendro.....	3
Evaluación inicial del sitio a plantar	3
¿Cómo se realiza?.....	3
Factores limitantes para el desarrollo de plantaciones de almendro.....	4
Estado de la fertilidad del suelo.....	4
Espaciamiento inicial	6
Preparación del terreno para el establecimiento de la plantación.....	7
Limpieza del sitio	7
Preparación del suelo	8
Corrección de la acidez del suelo.....	10
¿En qué consiste el encalado?	11
Métodos y épocas de aplicación de la cal.....	12
Cálculo de dosis de encalado	13
Con base en el análisis de suelos se realizan los siguientes pasos:.....	14
El uso del mejor material genético disponible.....	15
Evaluación de la calidad del establecimiento.....	16
Fertilización de la plantación	20
Resiembra	21

Mantenimiento y manejo de la plantación.....	22
Control de malezas	22
¿Cuándo y con qué frecuencia realizar el control de malezas?.....	22
Estrategias de control de malezas.....	23
Acciones de conservación de suelos	26
La poda	27
Manejo de plagas y enfermedades.....	29
Raleos y cosecha de la plantación.....	33
Costos de plantación.....	35
Crecimiento esperado del almendro en plantación.....	39
Producción esperada de una plantación y uso de la madera	41
Agradecimientos	44
Literatura.....	45

Introducción

El almendro, almendro amarillo o almendro de montaña (*Dipteryx oleífera* Benth.) anteriormente *Dipteryx panamensis* Pittier, es un árbol leguminoso de la familia *Fabaceae* y representa una de las especies nativas con mayor potencial para el desarrollo de plantaciones forestales de alto valor en la región. Su distribución natural se extiende desde la vertiente caribe de Nicaragua hasta Colombia (Flores 1992) aunque se registran varias especies taxonómicamente cercanas en la cuenca del Amazonas (Jiménez 2018). Los árboles de esta especie son por lo general dominantes y codominantes y considerados como especies claves desde el punto de vista ecológico y como piedra angular en el flujo de biodiversidad, aves, mamíferos, insectos y plantas (Hanson T. 2006). Su madera es considerada dura y pesada (Filomeno 2018), con excelente durabilidad natural, lo que la ubica dentro del grupo de las llamadas maderas “gourmet”. La importancia comercial de las especies de este género radica en su alta demanda en el comercio internacional para pisos, uso estructural y alto potencial de fijación de carbono y uso energético (Gaitán 2015, Rodríguez *et al.*, 2022). En Costa Rica se le ha declarado en veda por su relación alimenticia con aves en vía de extinción, que motivó una declaratoria de la Sala Constitucional (Sentencia 2008-13426) que veda el aprovechamiento de la especie en el territorio nacional (Camacho 2015). Por estas razones y debido a su alto precio en el mercado de la madera, se considera al almendro como una de las especies nativas prioritarias para ser cultivada en el país (Murillo 2018).

Los primeros estudios en plantación ocurrieron durante la década de los años 80 (Butterfield & Espinoza 1995) que motivaron su cultivo y estudios de crecimiento en numerosos proyectos a pequeña escala en las Zonas Norte y Caribe (Delgado *et al.*, 2003, Piotto *et al.*, 2003, Petit y Montagnini 2006, Redondo 2007, Montagnini 2010), Pacífico Sur del país incluyendo Darién en Panamá (Schmidt 2009).

La especie ha sido objeto de un programa de mejoramiento genético de baja intensidad en el país desde el 2010 (Jiménez & Murillo 2019), donde se ha creado un nuevo huerto semillero, se ha investigado su potencial de mejoramiento (León *et al.*, 2014, Martínez *et al.*, 2015, Filomeno 2018), su potencial de propagación clonal (Badilla *et al.*, 2000,

Badilla *et al.*, 2002), se han desarrollado marcadores genéticos tipo ISSR para el estudio de poblaciones (Hanson *et al.*, 2008, Meza 2010), incluso fue la primera especie forestal del país en ser secuenciado su genoma (Jiménez 2018, Jiménez *et al.*, 2021).

Este documento tiene como objetivo poner a disposición del sector forestal el conocimiento generado en todos estos años y ofrecer una guía para el productor de madera de almendro, sobre cómo cultivar esta valiosa especie.

Establecimiento del cultivo del almendro

Evaluación inicial del sitio a plantar

Antes de establecer la plantación es conveniente realizar una inspección del área a utilizar, con el objeto de determinar condiciones de sitio que puedan ser factores limitantes para su cultivo. Esta información es importante para definir cómo se superarán las limitaciones encontradas. En esta visita se debe tomar muestras de suelo, determinar el área neta plantable, así como también buscar información adicional sobre el sitio y la región.

¿Cómo se realiza?

1. Se recorre el sitio para determinar la necesidad de zonificar por diferencias topográficas (sectores planos, levemente ondulado, fuertemente ondulado), por el uso anterior de la tierra y grado de limpieza (ganadería combinada con bosque secundario, ganadería, cultivos o plantaciones forestales), además se registra la presencia cercana de ríos, humedales y de vías de acceso interna a cada sector dentro de la finca. Con base en esta información se define la mejor zonificación o conformación de lotes o futuros rodales homogéneos, que se constituirán en las unidades de manejo de la propiedad.
2. Mediante un adecuado muestreo de suelo en cada uno de los lotes definidos en el paso anterior, se determina la fertilidad del sitio, requerimientos de encalado y fertilización. Así como necesidad de drenar y subsolar para eliminar posibilidad de encharcamiento y reducir compactación de sitio.
3. Se identifica otros factores limitantes potenciales de sitio como existencia de lomas largas erosionadas, con presencia de cárcavas, zonas con tabla de agua superficial, sectores con exposición del horizonte "C" del suelo, etc.

Factores limitantes para el desarrollo de plantaciones de almendro

Como típica especie leguminosa, el almendro muestra un notable potencial para su cultivo en sitios con condiciones edáficas limitantes. Esta especie ha demostrado buen desempeño en zonas donde predominan suelos de baja fertilidad, compactados, con un nivel moderado de problemas de drenaje, suelos con alta saturación de aluminio. Incluso en suelos arcillosos con carencias de fósforo condiciones que resultan restrictivas para muchas otras especies forestales, el almendro logra establecerse y desarrollarse adecuadamente (COSEFORMA, 1999). Sin embargo, a pesar de su alto potencial de desarrollo en sitios marginales, no debe olvidarse que es de suma importancia eliminar o reducir cualquier factor limitante presente.

Estado de la fertilidad del suelo

El muestreo de suelos y su análisis químico es el primer paso para diagnosticar la fertilidad natural del sitio y revisar la presencia de otros factores limitantes, como profundidad efectiva, compactación, tabla de aguas superficial, entre otros. La toma de la muestra de suelos debe seguir las siguientes consideraciones:

- Se debe recorrer el sitio a plantar para sectorizar en áreas con características similares para conformar unidades homogéneas, por ejemplo, con base en similitud topográfica (plano, ondulado y pendiente), sitios con problemas de drenaje, presencia de límites naturales como una quebrada o río. Esta sectorización creará el conocido lote o rodal y se convertirá en la unidad de manejo y administración de la finca.
- En cada lote se debe tomar entre 16 y 20 submuestras de suelo a dos profundidades cada una (0 a 20 cm y 20 a 40 cm), posteriormente, las submuestras de cada profundidad serán combinadas en una sola muestra compuesta, que será la que se llevará al laboratorio de suelos. Una sola muestra compuesta puede representar entre 1 y 20 hectáreas (ha) de extensión, siempre y cuando estas sean homogéneas.
- Procedimiento para la toma de muestras del suelo

1. La toma de la muestra inicia con una limpieza de toda la vegetación superficial existente (Figura 1.1 y 1.2).
2. Con el palín o barreno se toma una muestra de 0 a 20 cm de profundidad y una segunda muestra independiente de 20 a 40 cm. Cada porción de tierra se deposita por separado en un balde o bolsa (Figura 1.3).



Figura 1. Pasos para la toma de muestras de suelo en plantaciones forestales. 1. Limpieza de vegetación. 2. Extracción de la muestra con barrero o palín a dos profundidades (0 a 20 y 20 a 40 cm). 3. Depósito de las submuestras en una bolsa o balde. 4. Mezcla de todas las submuestras y “cuarteo”. 5 y 6. Empaque y rotulación de la muestra.

3. Se recorre todo el lote para tomar de 16 a 20 submuestras.
4. Con todas las submuestras se procede a mezclarlas para lograr la mejor homogenización posible. Esta mezcla se divide en cuatro partes, procedimiento conocido como “cuarteo”; de donde se

tomará una de las cuatro partes como la muestra final que se enviará al laboratorio para su análisis. Esta muestra debe ser de entre 0,5 y 1 Kg (Figura 1.4).

5. Cada muestra compuesta se debe colocar en una bolsa plástica con su debida rotulación, donde se anota la fecha de muestreo, la profundidad de muestreo (0 a 20, 20 a 40 cm), el número o nombre del lote, el sitio geográfico donde se ubica la propiedad, el cultivo presente cuando proceda como pastura, cultivo agrícola, bosque secundario, etc. (Figura 1.5 y 1.6).

Espaciamiento inicial

El almendro es una especie de ciclo largo de crecimiento que comprende un periodo de manejo de 16 a 18 años para alcanzar un diámetro medio de al menos 30 cm. Dado que con el almendro el objetivo es promover un mayor crecimiento diamétrico, se deberá plantar a una densidad inferior a los 800 árboles/ha. Con el avance de mejores prácticas silviculturales, el distanciamiento recomendado es de 4 x 3,5 m (714 árboles/ha). Se puede también plantar a 4 x 4m (625 árboles/ha) con resultados de crecimiento similares. Una mayor cantidad de árboles inicial puede lograr un cierre de copas más temprano y ayudar a controlar la aparición de malezas. Otros criterios para elegir el espaciamiento deseado son aquellos que optimicen el crecimiento diamétrico (productividad), con la mejor calidad de fuste producto de la competencia, que logre producir el mayor ingreso económico, con el menor costo de manejo. Por lo general, con menor densidad de plantación (< cantidad de árboles) el diámetro del árbol crecerá más rápido, con tendencia a desarrollar menor altura comercial, con una leve disminución en la rectitud del fuste y tardará un año más en alcanzar el cierre de copas.

Por el contrario, a mayor densidad de plantación la competencia aumentará más rápidamente y se requerirá iniciar con el primer raleo un año antes, con productos de muy baja rentabilidad.

Preparación del terreno para el establecimiento de la plantación

Una adecuada preparación de sitio es necesaria para garantizar un buen crecimiento inicial de los árboles y mantener limpio de malezas durante más de dos meses. Entre las labores más importantes se encuentran la limpieza inicial del sitio o barrido cuando haya presencia de vegetación abundante, la construcción de drenajes (cuando sea necesario) y la labranza o ruptura del suelo para disminuir compactación y mejorar drenaje interno del suelo.

Limpieza del sitio

Cuando el sitio a plantar posee arbustos, malezas u otro tipo de vegetación que imposibiliten plantar los árboles, es necesario una intervención de tipo barrido que idealmente se deberá realizar con ayuda de maquinaria (Figura 2). La selección del método de limpieza dependerá del área y pendiente del terreno, de la disponibilidad de mano de obra y/o maquinaria y del presupuesto disponible. Así también, la construcción de drenajes primarios y secundarios se emplea en sitios con excesiva humedad, ya que el agua no puede encharcarse alrededor del árbol (Figura 3).



Figura 2. Sitio con buena limpieza inicial apto para mecanizar y plantar, Zona Norte de Costa Rica.



Figura 3. Construcción de drenajes primarios y secundarios en terrenos planos con exceso de lluvia. Pacífico Sur de Costa Rica.

Preparación del suelo

Una de las técnicas que se utilizan cuando se quieren mejorar las limitaciones físicas de un suelo es la preparación mecanizada o labranza. Los objetivos de esta actividad buscan mejorar la estructura del suelo, reducir la densidad aparente o compactación, mejorar la aeración, el movimiento superficial e interno del agua, e inclusive mejorar la disponibilidad de nutrientes. A pesar de sus grandes beneficios no todos los suelos pueden ser mecanizados; por ejemplo, sitios con pendiente mayor a 25-30%. Por tal motivo una evaluación previa de las condiciones del sitio es fundamental para la toma correcta de decisiones en preparación del terreno.

Las actividades de labranza utilizadas en plantaciones forestales varían desde la preparación del suelo en profundidad con el uso de subsoladores de hasta 90 cm, hasta una labranza menor que utiliza rastra de discos o arado de cincel. Una opción para reducir costos consiste en la preparación exclusivamente de la franja o banda de siembra de los árboles, de aproximadamente 1m ancho (Figura 4).



Figura 4. Preparación del terreno con rastra exclusivamente en la línea o banda de plantación, de aproximadamente 1m de ancho. Zona Norte de Costa Rica.

Algunas empresas han incursionado en la construcción de camellones o lomillos, que son comunes en cultivos agrícolas para facilitar la salida del agua (Figura 5). Esta técnica busca crear un ambiente adecuado para el desarrollo radicular ya que mejora la aireación, la disponibilidad de nutrientes, aumenta el volumen de suelo disponible y reduce el riesgo de encharcamiento.

Una mala ejecución de las prácticas de mecanización podría generar efectos adversos como aumento en los procesos de erosión o alteración de las propiedades físicas del suelo y hasta una degradación del perfil del suelo. Como buena práctica, se debe preparar el terreno en dirección transversal a la pendiente para reducir la velocidad del agua y su efecto erosivo. El principio es promover técnicas que favorezcan la conservación del suelo.

En terrenos con pendientes fuertes o superiores al 20%, es recomendable la construcción de cajones o gavetas rectangulares, en forma perpendicular a la pendiente, con las que se espera se logre reducir la velocidad del paso del agua.



Figura 5. Preparación óptima de suelos, incluye subsolado, rastreado y lomillado para evitar encharcamiento del agua. BaumInvest, Sarapiquí, Zona Norte.



Figura 6. Uso de la hoyadora para lograr una preparación mínima del suelo alrededor del árbol, en sitios donde no sea posible el uso de maquinaria.

El uso de la hoyadora o perforadora manual individual, ha permitido un grado de preparación importante alrededor del árbol, de gran valor en aquellos sitios donde no es posible realizar una preparación mecanizada del terreno (Figura 6). Con estos equipos se logra romper la compactación mediante la abertura de un cilindro de suelo suelto alrededor del arbolito, que puede alcanzar 30 a 40 cm de profundidad y 15 a 20 cm de diámetro.

Corrección de la acidez del suelo

La acidez del suelo es uno de los problemas más comunes en zonas tropicales con alta precipitación. La acidez excesiva comúnmente se registra en los análisis de suelo como una saturación alta de aluminio (> 20%) o un pH con valores < 5,5. A pesar de que el almendro es tolerante a suelos marginales y de condición ácida, un pH muy bajo en el suelo impide que la planta pueda adsorber los nutrientes del suelo, aun

cuando estén presentes. Es decir, podría potenciar su desarrollo si se corrige este factor limitante. La acidez producirá una reducción en el crecimiento de los árboles, podría disminuir su vigor y con esto, favorecer el ataque de plagas y enfermedades. Esto significará un menor volumen comercial y menor ganancia para el productor. Sin embargo, aún no se han realizado estudios sobre el efecto del manejo del suelo en el desarrollo del almendro en plantación.

¿En qué consiste el encalado?

El encalado es el método más común y efectivo para corregir suelos con pH inferiores a 5,5 y que presentan problemas de acidez. Consiste en la aplicación o incorporación de enmiendas calcáreas, como por ejemplo el carbonato de calcio. Las fuentes carbonatadas tienen un efecto residual prolongado de uno o más años, con las que se busca lograr neutralizar la acidez y mejorar la adsorción de nutrientes por parte de los árboles. De manera ideal, la cal deberá aplicarse al menos un mes previo al establecimiento, con esto se podrá fertilizar al momento de plantar los árboles.



Figura 7. Encalado en la rodaja alrededor del árbol al momento de la plantación. Zona Norte de Costa Rica.

Métodos y épocas de aplicación de la cal

La cal se puede aplicar de varias formas, desde alrededor del árbol (rodajea), en la línea de los árboles (banda) o en la totalidad del terreno como se muestran en la Figura 8. La forma más efectiva de aplicación de la cal es la incorporación en los primeros 15-20 cm de suelo, con el propósito de asegurar una buena penetración y contacto máximo del producto con la capa arable del suelo. Esto se logra colocando la cal al fondo del hoyo y alrededores de la planta al momento de la siembra.

En la mayoría de los casos la cal se aplica al menos un mes antes de plantar los árboles, con el propósito de lograr que la reacción de neutralización de la acidez ya haya ocurrido al momento de plantar los árboles. Algunas organizaciones realizan el encalado de manera mecanizada al mismo tiempo en que se prepara el terreno, con lo que se logra una mayor profundidad de penetración del producto en el suelo.

Previo al encalado, es necesario asegurarse de que no haya malezas para evitar su desperdicio y que sean los árboles los que reciban su mayor aprovechamiento.

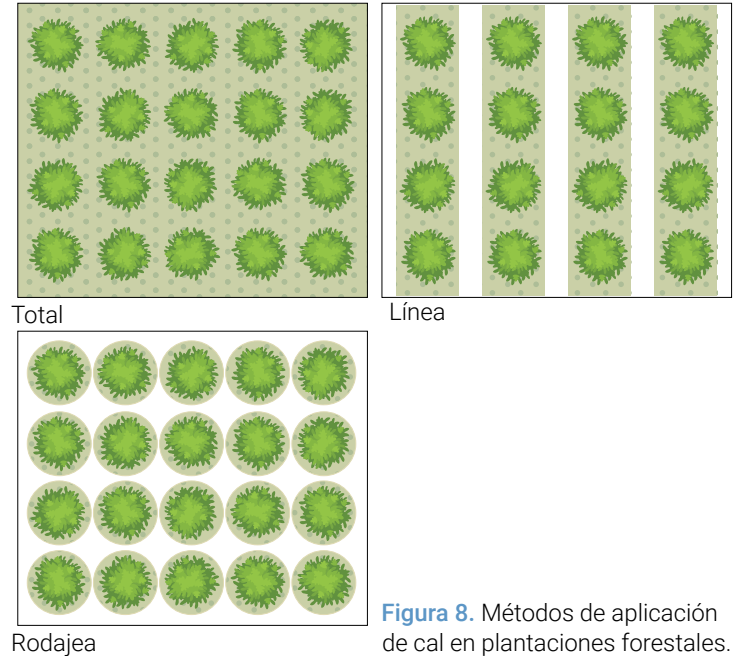


Figura 8. Métodos de aplicación de cal en plantaciones forestales.

Cálculo de dosis de encalado

Existen distintas formas para determinar la cantidad de cal necesaria que se debe aplicar a los árboles para corregir los problemas que causa la acidez en la asimilación de nutrientes en los árboles. El criterio más utilizado actualmente para calcular la dosis adecuada es utilizar una fórmula basada en el porcentaje de saturación de acidez, que fue adaptada del cultivo de café:

$$\frac{Ton}{ha} \text{ de material encalante} = \frac{1,5 (\%SA - RAS) \times CICE}{PRNT}$$

Donde

%SA = Porcentaje de saturación de acidez que se obtiene del análisis de suelos. Si no está en el reporte del suelo se puede estimar de la siguiente manera: %SA = (acidez/CICE)*100

CICE = suma de las bases más la acidez (Ca+Mg+K) + Acidez intercambiable (Al+H)

RAS = Porcentaje de saturación de acidez deseado o tolerado por el cultivo.

PRNT = Poder relativo de neutralización total del material encalante.

Ejemplo de aplicación

Se seleccionó un sitio en Pital de San Carlos para el establecimiento de una plantación donde el análisis de suelo correspondiente se muestra a continuación.

Cuadro 1. Resultados del análisis químico completo del suelo en Pital de San Carlos, Zona Norte de Costa Rica.

Análisis químico de suelos														
Solución Extractora: KCl-Olsen Modificado		pH	cmol(+)/L					%	mg/L					
		H2O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,5	4	1	0,2	5	SA	10	3	1	10	5	
PITAL - 0-20 cm.	S-17-08563	5,0	1,56	2,87	1,60	0,22	6,25		25	1	2,9	11	187	154

Con base en el análisis de suelos se realizan los siguientes pasos:

Paso 1: Identificación del problema o grado de acidez. Como se ve en el análisis de suelos el sitio registró un pH ácido (5,0), el porcentaje de saturación de acidez (SA%) es alto (25 %) y la acidez es mayor al máximo recomendado (1,56>0,5), por lo que se necesita realizar una corrección de la acidez.

Paso 2. Definición del material encalante a utilizar: Para este caso el valor de calcio (Ca) es menor al mínimo recomendado, mientras que el valor de magnesio (Mg) es superior al valor recomendado. Por tal motivo se recomienda aplicar carbonato de calcio, cuyo producto registra un PRNT de 84,8%. Con otro tipo de cal más fina el PRNT puede superar el 90%.

Paso 3. Definición del porcentaje de saturación de acidez deseado (RAS). De acuerdo con Molina y Alvarado (2012), un porcentaje de saturación de acidez del 15% es el límite máximo adecuado para el establecimiento de plantaciones forestales.

Paso 4. Aplicación de la fórmula

$$\frac{\text{Ton}}{\text{ha}} \frac{\text{de material}}{\text{encalante}} = \frac{1,5 (25 - 10) \times 6,25}{84,8} = 1,65$$

Se requiere aplicar 1,65 toneladas/ha de cal para disminuir el porcentaje de saturación de acidez de un 25% a un 15%. Dependiendo del método de aplicación, así se deberá analizar la cantidad de cal por aplicar. Si se aplica, por ejemplo, 100 g al fondo del hoyo y alrededor en la rodajea, y si se planta 715 árboles/ha x 100g = 71,5 k de producto. Por lo general, la cal se compra en presentaciones de 50k, entonces se requerirá comprar 2 sacos de cal por hectárea.

Si la cal se aplica en la banda de siembra con un metro de ancho, se asume que en una hectárea imaginaria plantada a 4 x 3,5m de distancia habrá $100/4\text{m} = 25$ callejones de 100 m de largo. Entonces 25 bandas x 1m de ancho x 100 m de fondo = 2500 m² de superficie, que equivale a un 25% de una hectárea. Por tanto, si la recomendación es la de aplicar 1,65 Ton/ha (10 000 m² de superficie), se necesitará un 25% de ese valor, que corresponde con $1,65/4 = 0,41$ Ton o 400 k de cal. Si la cal se oferta en sacos de 50 k, entonces se necesitará aplicar 8 sacos de cal por hectárea.

La frecuencia de aplicación de la cal es otro elemento importante para decidir, ya que puede variar en relación con el tipo de producto. Por lo general, se ha observado que es mejor fraccionar la aplicación de la cal en dos eventos, un mes antes de plantar los árboles y, 3 a 4 meses después de plantados.

El uso del mejor material genético disponible

Al igual que todo cultivo agrícola o actividad ganadera, el uso del mejor material genético disponible es esencial para el éxito de la plantación con almendro. Los árboles plus o individuos de excepcional crecimiento y forma de tronco, garantizan una tasa de productividad mayor así como un árbol con mejores características para su industrialización final. Un árbol plus es un individuo que ha superado varios filtros de evaluación de campo, por lo que representa una forma segura de iniciar con un cultivo de madera de almendro. Esta especie presenta por lo general un fuste levemente torcido y baja dominancia apical cuando se utiliza semilla sin ningún grado de selección (Figura 9).



Figura 9. Árbol común a partir de semilla sin selección (izq.), con baja altura comercial, fuste con torcedura. Árbol plus de almendro seleccionado en el huerto semillero de progenie (der.), Campus del Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, Zona Norte.

La calidad genética tiene varios niveles de excelencia, desde semilla procedente de rodales semilleros o árboles plus (propio de programas de mejoramiento genético iniciales), hasta semilla de huertos semilleros y mejor aún, de clones que hayan sido evaluados o verificados por su excelencia en campo. Sin embargo, con almendro no se cuenta aún con clones de árboles plus, pero si se tiene un huerto semillero que entrará en producción a partir del 2026, en el campus del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en Santa Clara, San Carlos (Zona Norte del país).

Evaluación de la calidad del establecimiento

Para determinar si una plantación fue establecida correctamente, se pueden evaluar criterios relacionados con el establecimiento y con la calidad del árbol que llegó al campo (Cuadro 2). Mediante un procedimiento de muestreo se puede verificar la calidad de los árboles plantados. De manera ideal, este procedimiento se debe realizar en las primeras ocho a diez semanas después de establecida la plantación (Figura 10).



Figura 10. Árbol de almendro con alrededor de 10 semanas de plantado, con buenas características iniciales de crecimiento. Aún se observa la rodajea inicial. San Carlos, Zona Norte de Costa Rica.

El muestreo se puede realizar con parcelas temporales en forma de "L" como se muestra en la Figura 11. El método consiste en establecer de una a dos parcelas por hectárea a partir de algún método aleatorio para localizar el árbol inicial de la parcela. Este árbol será evaluado y los siguientes siete continuos (vivos y muertos) en la columna y otros siete árboles (vivos y muertos) en la fila, lo cual da como resultado 15 posibles árboles en la parcela si no hubo mortalidad. Para localizar la primera parcela de muestreo se debe ubicar una esquina o algún árbol

de borde como referencia. Se elige un número aleatorio del 0 al 9, por ejemplo # 7, se debe entonces avanzar hasta localizar el árbol #7, el cuál será el vértice o punto inicial de la parcela de muestreo. De esta figura de parcela en "L" se evaluarán todos los árboles presentes.

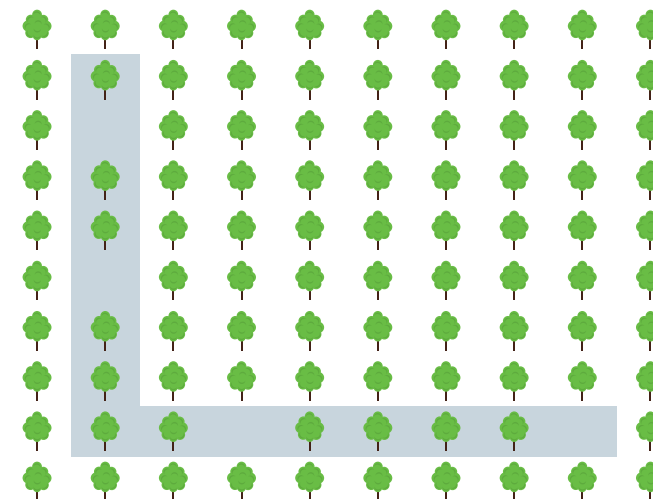


Figura 11. Parcela de muestreo en "L" con 8 árboles en la columna y 7 en la fila (Rojas 2014).

La siguiente parcela de muestreo se deberá ubicar unos 50 a 100 metros de distancia, avanzando sobre la misma línea de árboles. Si la distancia de plantación fue de 4m x 3,5m, a los 25 o 28 árboles se habrá recorrido aproximadamente 100 m, donde se podrá ubicar la siguiente parcela de muestreo. Observe que el conteo de las plantas se realizará a pesar de que haya alguna faltante.

A cada árbol incluido en la muestra se le evalúan todos los criterios indicados en el Cuadro 2. Los primeros cinco criterios de izquierda a derecha verifican la calidad de la planta que llegó a campo. Se evalúan las cinco variables y se obtiene una sola calificación denominada **Calidad de la Planta**, en una escala de 1 a 3. Donde un valor de "1" corresponde con una planta de la más alta calidad o idónea y un valor de "3" para una planta no aceptable para plantar. Por ejemplo, una planta recién establecida no debe haber llegado bifurcada de vivero (se califica con

"2"). Una planta con deficiencia nutricional recibirá una calificación de "2", pero no se debe considerar como una situación grave o discriminante, ya que es una situación corregible. Una planta excesivamente alta (> 30-35 cm) puede dañarse durante el transporte y en las labores de plantación. Una planta excesivamente pequeña (< 15 cm) tiene un riesgo alto de mortalidad a pesar de haber sido lignificada de manera adecuada.

A la derecha siguen cinco criterios de evaluación para verificar la calidad de establecimiento de la plantación, que, de igual manera, se integran al final en una variable denominada **Calidad de Siembra**, que se califica en una escala de 1 a 3. Un valor de "3" corresponde con una planta que fue establecida en campo de manera inaceptable. Una inclinación severa es un criterio descalificante, así como una planta en riesgo de inundación, una planta floja, que en estos tres casos debe ser calificado con una calidad de siembra "3" o de rechazo.

Con los resultados puede realizarse un análisis simple para determinar la calidad de las plantas o la calidad de establecimiento o siembra de la plantación. Si por ejemplo, en la calidad de plantas se registró que 12 eran de muy alta calidad ($n1 = 12$), tres de aceptable calidad ($n2 = 3$) y una planta de rechazo ($n3 = 1$), la calidad de las plantas será:

$$\text{Calidad de plantas} = \frac{n1 * 1 + n2 * 2 + n3 * 3}{n1 + n2 + n3} = \frac{12 * 1 + 3 * 2 + 1 * 3}{12 + 3 + 1} = 1,31$$

Si transformamos este valor de 1,31 en una escala de 1 a 100 para facilidad de análisis e interpretación = $(1 + (1 - 1,31)/2) * 100 = 84,5$ que es una calificación de buena calidad de plantas. Un valor inferior a un 70% o más de un 10% de plantas de calidad 3 (dos plantas por parcela) debe considerarse como inaceptable. Esto requerirá revisar si el origen de baja calidad provino desde el vivero u ocurrió durante el transporte o la manipulación final de las plantas en la finca.

Cuadro 2. Plantilla de evaluación sugerida con los criterios de evaluación de la calidad de establecimiento de la plantación forestal

Plan	h total (cm)	No. hojas	Bifurcación (1 ó 2)	Deficiencia nutricional	Sanidad (1 o 3)	Calidad de la planta (1 a 3)	Daño mecánico	Inclinación severa	Daño en el ápice (1 ó 2)	Riesgo de inundación	Planta floja (1 ó 2)	Calidad de siembra (1 a 3)
1												
2												
3												
4												

El mismo análisis se debe realizar sobre la calidad del establecimiento de las plantas. Donde por ejemplo, se podría haber registrado que nueve plantas fueron correctamente establecidas en campo ($n1 = 9$), otras cinco aceptablemente plantadas ($n2 = 5$) y solamente una planta fue mal establecida ($n3 = 1$), la calidad de la siembra se obtiene:

$$\text{Calidad de siembra} = \frac{9 * 1 + 5 * 2 + 1 * 3}{15} = 1,47$$

Este valor se transforma a una escala de 1 a 100 = $(1 + (1 - 1,47)/2) * 100 = 76,5$ que es una calificación buena. Un valor inferior al 70% o más de 2 plantas incorrectamente sembradas, debe considerarse como inaceptable y requerirá capacitar al personal de campo.

Fertilización de la plantación

La decisión de cuál fertilizante utilizar y en qué dosis debe fundamentarse en un análisis de suelo. Por lo general se recomienda fertilizar al momento de la plantación o un mes posterior al encalado. Se inicia con dosis de entre 75 y 100 g de fertilizante granular alto en fósforo (NPK 10-30-10 / 12-24-12), aplicado mediante el método de espeque, con uno o dos hoyos a 10 cm de distancia del árbol (Figura 12). Se puede reforzar a los 3 meses dependiendo de la dosis indicada y el análisis de fertilidad del suelo. Si el encalado se realizó un mes antes de la plantación, entonces se podrá fertilizar al momento de plantar los árboles. En este caso parte del fertilizante puede ir al fondo del hoyo y el resto se distribuye alrededor de la planta.



Figura 12. Fertilización aplicada mediante el método del espeque, con la abertura de uno o dos hoyos a unos 10 cm a cada lado del arbolito.

La cantidad de fertilizante por aplicar en el suelo dependerá del estado de desarrollo de las plantas. Al momento de la plantación el sistema radicular estará en los próximos 20-30 cm alrededor de la planta, por lo que la cantidad de fertilizante no debería exceder los 100 gramos por árbol. Debe recordarse que **el tipo de fertilizante** deberá estar

fundamentado en el análisis químico del suelo. Si la decisión técnica recomienda volver a fertilizar a los 3 meses, entonces la cantidad de fertilizante deberá aumentar en proporción al desarrollo y a la superficie de copas de los arbolitos, ya que las raíces se habrán extendido al menos un metro alrededor del árbol.

Como principio general se debe tener como meta, incrementar el crecimiento de los árboles hasta lograr alcanzar el cierre de copas lo antes posible. Con esto, **se reducirá el costo del control de malezas** que es la actividad más costosa del cultivo del almendro. La fertilización traerá entonces dos objetivos importantes, aumentar las dimensiones de los árboles y reducir el gasto en el control de malezas.

Resiembra

Es normal que al momento de plantar árboles ocurra mortalidad causada por factores bióticos (plagas y/o competencia con malezas), por factores abióticos como el efecto del viento, encharcamiento o inundación, sequía prolongada, alta temperatura o por una mala ejecución del proceso de plantado. La resiembra es una actividad con un costo significativo, por lo tanto, si la mortalidad es menor a un 10% y no ocurre de forma localizada por sectores, sino que se distribuye por toda la plantación, no es relevante y no tiene mayor efecto en el crecimiento, ni en el volumen final esperado.

Cuando la mortalidad supere significativamente un 10% de los árboles plantados, o también, si ocurre en sectores dejando espacios amplios sin árboles, entonces se recomienda resembrar en los primeros 60 días. Posterior a los dos meses, no se recomienda la resiembra ya que los árboles de reemplazo no alcanzarán a los ya establecidos y se convertirán a futuro en árboles de raleo, lo que no sería rentable para el productor.

Mantenimiento y manejo de la plantación

Control de malezas

Las malezas son plantas sin valor económico para el productor que crecen dentro de la plantación y que pueden afectar su crecimiento y productividad en general. Se debe realizar su control porque pronto competirán por espacio, agua, luz y nutrientes. Además, dificultan el acceso a la plantación y pueden ser hospederos de plagas y enfermedades. El control de malezas debe planificarse bien, ya que puede representar hasta casi un 30% de los costos totales de una plantación en todo su ciclo.

¿Cuándo y con qué frecuencia realizar el control de malezas?

La cantidad y frecuencia de las actividades de control dependerá de las condiciones climáticas (lugares con mayor precipitación requerirán mayor frecuencia de control), del espaciamiento inicial utilizado y del tipo de maleza presente. La presencia frecuente de gramíneas (pastos) implica una competencia muy agresiva para los árboles. Los pastos son especies de plantas muy eficientes, que poseen la capacidad de adaptarse con facilidad a sitios con distintas condiciones, con un sistema radicular muy denso y una alta velocidad de crecimiento y reproducción. Si no se interviene desde el inicio la plantación, los pastos pueden competir por recursos con los árboles hasta el punto de poder causar su muerte, por lo que su control debe ser muy intenso durante el primero y segundo año. Esto es particularmente **severo en plantaciones de almendro**, ya que su copa rala permite el ingreso de luz y su tasa de crecimiento inicial es muy lenta.

El bejuco es un tipo de maleza sumamente peligroso por su agresividad, velocidad de crecimiento, persistencia y capacidad de estrangular, torcer o matar al arbolito en pocos meses. Su propagación ocurre muy rápidamente y su control es sumamente difícil.

Estrategias de control de malezas

Esta actividad es la de mayor costo en el mantenimiento de una plantación de almendro, dado que esta especie tiene un lento crecimiento inicial y permite el paso de la luz. Con el fin de reducir el alto costo que puede representar y mejorar la eficiencia de control, se deberá planificar bien la estrategia de acción.

1. Durante la preparación del terreno se deberá lograr un control total de la maleza, principalmente la gramínea. En esta etapa donde aún no ingresan los árboles, se podrá utilizar un control químico generalizado o en las líneas de plantación (por lo general, un metro de ancho cada 4m). Los productos preemergentes serán los más indicados, donde los más utilizados son el glifosato, el metsulfurón methyl, el de contacto paraquat, así como herbicidas preemergentes como el Oxifluorfen. Si hubo una buena estrategia de acción, el terreno deberá mantenerse libre de arvenses durante al menos los dos primeros meses de establecida la plantación.

2. Control inicial de las malezas. A los dos meses de plantado, una buena práctica es la de realizar una rodajea manual de al menos 1m alrededor de cada arbolito. Para esto se utiliza el azadón o la pala y se debe procurar dejar en tierra alrededor de cada planta. Debe recordarse que no basta con chapear, recortar la maleza en su parte aérea, pues será como realizar una poda aérea, mientras que **su sistema radicular persiste intacto y compitiendo de manera agresiva en la rizosfera del arbolito (subsuelo)**. Debe tenerse especial cuidado con el uso de la motoguadaña u otro método mecánico que podría dañar la base del arbolito. Una buena planificación puede ser una combinación inicial con una rodajea, para luego continuar con una motoguadaña que chapeará el resto de la línea de siembra y la entrecalle.

El uso de herbicida puede también realizarse en esta primera etapa, aunque deberá aplicarse con sumo cuidado mediante el uso de herramientas como la campana, para proteger la planta y evitar la quema del arbolito por la deriva (gas) del herbicida. O también, mediante el uso de la lona húmeda (*Ecoweeder*) que si puede ofrecer un mejor control de aplicación del herbicida y reducir el volumen del producto.



Figura 13. Control de malezas en la franja de siembra y con rodaje alrededor del arbolito de almendro al momento del establecimiento (Zona Norte de Costa Rica).

3. Control periódico de malezas durante los primeros 6 a 9 meses o 1,5m de altura de los árboles. En zonas muy húmedas (Zona Norte, Caribe, Pacífico sur) se deberá intervenir aproximadamente cada dos meses. Aquí podrá realizarse un control diferenciado entre la zona inmediata de crecimiento del árbol (en la línea de siembra de alrededor de 1m de ancho), del control de malezas en la entrecalle. Si las plantas no superan aún 1,5 m de altura total, el uso del herbicida debe continuar siendo aplicado de manera cuidadosa. El costo del control es determinante en esta etapa y reducir la cantidad de jornales será esencial. Dependiendo de la disponibilidad de recursos, del acceso a la plantación y de la pendiente del terreno, se podrá realizar un control mecánico de la entrecalle mediante el uso de un tractor agrícola con aditamentos. La motoguadaña podrá ser utilizada en caso alternativo. Mientras que el control en el metro alrededor del árbol deberá seguir siendo mediante el uso de un herbicida con campana o de la lona para evitar la quema de los arbolitos.

4. Control de malezas generalizado. Con el fin de reducir costos y lograr eficiencia en el control de malezas, por lo general se utiliza el control químico aplicado con motobomba y utilizando la boquilla adecuada. Este equipo permite una alta eficiencia, alto rendimiento (2 horas/hectárea aproximadamente), menor uso de agroquímico y mejor logística de trabajo con el acarreo de agua. Al final del primer año de plantación y durante el segundo año, se deberá intervenir al menos cada

3 a 4 meses, hasta que el crecimiento de los árboles vaya alcanzando el cierre de copas y contribuyan con su sombra a reducir el crecimiento de la maleza.

Como estrategia alternativa y con menor disponibilidad de recursos, se podrá aplicar el método de control químico mediante la bomba de espalda o mochila, pero con una mayor cantidad de jornales. Algunas organizaciones han logrado adaptar el control químico de forma eficiente mediante el uso de la lona (*Ecoweeder*), que permitirá al menos reducir significativamente el uso del agroquímico y con una logística de apoyo mucho más eficiente.

Como podrá observarse, no es recomendable el uso de la motoguadaña por no ofrecer un verdadero control integral de la maleza, sino una reducción aérea que no impedirá que continúe ocurriendo la competencia por recursos en el subsuelo (rizosfera).

5. Control de malezas durante el desarrollo de la plantación. El almendro es una especie que desarrolla una copa muy rala y poco agresiva que permite el paso de la luz durante todo su ciclo de producción. Una estrategia mediante el uso del control químico será aplicar herbicida al menos dos veces al año para evitar que alcancen un alto crecimiento. Si se realiza el control una vez al año la vegetación habrá crecido de manera exuberante y tendrá un costo significativamente mayor. Si la maleza está compuesta por plantas de hoja ancha, platanilla, con ausencia de gramínea, se podría valorar cambiar por un control mecánico generalizado mediante el uso del tractor agrícola con chapeadora o la motoguadaña.

6. Utilización de coberturas: Es una opción válida en muchos sitios que se fundamenta en la siembra de alguna planta rastrera de baja competencia con el árbol. Por lo general se utilizan plantas leguminosas y cubren toda la superficie de la plantación, además de aportar nitrógeno atmosférico al suelo. Entre las más comunes se encuentran *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea* y *Vigna radiata*.

7. Desarrollo de algún cultivo agrícola debajo para apoyar el control de malezas. Esta opción no se ha explorado aún con el almendro, pero claramente es **una especie ideal para el desarrollo de sistemas agroforestales**. De particular importancia podría ser combinar los dos primeros años de la plantación con cultivos anuales como frijol, yuca, tubérculos, maíz, etc. que podrían no solo aportar beneficios económicos, sino que podrían asumir los costos del control de malezas y fertilización inicial. A mayor desarrollo de la plantación, se podría explorar la opción de cultivar especies ornamentales que requieran sombra.

Acciones de conservación de suelos

En nuestra silvicultura convencional no es común la incorporación de acciones de bajo costo para la conservación de suelos. Esto aplica principalmente en terrenos con pendientes superiores al 10%, en lomas cortas y en regiones de alta precipitación. El principio básico es reducir la velocidad del agua superficial o de escorrentía para evitar la pérdida del recurso suelo. Como elemento básico, la línea de plantación o la entrecalle, debería establecerse en contorno (siguiendo la curva de nivel) y transversal a la pendiente.

Otra acción simple y de bajo costo consiste en establecer con la pala una mini terraza alrededor del árbol, con inclinación hacia el lado interno de la ladera. El árbol debe quedar plantado ligeramente por encima del nivel del terreno.

Cuando se realice la labor de rodajea o limpieza alrededor del árbol, el excedente de tierra o malezas se debe colocar del lado opuesto a la pendiente del terreno. Otra acción eficiente es la de mantener alguna vegetación en la entrecalle, preferiblemente no gramínea (pasto), que evite que el terreno quede desnudo. En este sentido, el control de malezas debería realizarse de una manera menos agresiva. Esto podría también incluir la siembra de alguna vegetación o cobertura que controle la gramínea u otro tipo de malezas.

Los caminos que va abriendo el paso del agua deben ser reducidos o neutralizados. El mismo terreno irá indicando por donde está pasando el agua con mayor velocidad. En estos caminos de agua se pueden abrir gavetas transversales a la pendiente, semejantes a las que se utilizan en el cultivo del café, de modo que sirvan de trampa o disminución de la velocidad del agua.

La poda

La poda tiene como objetivo eliminar ramas o también corregir la pérdida de dominancia apical (guía principal) para aumentar el valor futuro de la madera del árbol. La poda eliminará la presencia de nudos en la madera comercial que se obtendrá durante el aserrío y podrá también, aumentar la altura comercial de un árbol que tuvo una bifurcación temprana.

Las plantaciones de almendro pueden tener al menos tres tipos de poda.

1) La poda de formación (eliminación temprana de bifurcaciones u horquetas) por lo general se realiza durante los primeros 6 a 9 meses cuando sea requerido. La causa de este daño puede ser desde el ataque por hormiga, alguna otra plaga, efecto del bejuco, viento o cualquier otro factor que dañe la yema terminal. A temprana edad es todavía posible recuperar un tronco recto de una bifurcación en la mayoría de los casos. En caso extremo donde no se observe una recuperación de la dominancia apical del árbol, se recomienda cortar el arbolito por debajo de la bifurcación para estimular el surgimiento de un nuevo rebrote.

2) La segunda poda consiste en la eliminación de ramas, iniciando desde la base hacia arriba, en tramos alrededor de 2,5m de longitud, que será el largo comercial de las trozas a futuro. Debe tenerse el cuidado de no podar más del 50% de la altura de la copa del árbol, para evitar un efecto negativo en el crecimiento del árbol. Entonces, si se desea podar 2,5m de altura, la altura total del árbol deberá superar los 5 o 6m. Esta poda se podrá realizar aproximadamente entre 1,5 a 2 años. Un año después se podrá subir la poda hasta completar dos trozas libres de nudos, que aproximadamente será hasta los 5m de altura. De nuevo, se deberá respetar la regla de no sobrepasar el 50% de la altura de copa. Subir la poda hasta una tercera troza (7,5m de altura), se justifica solamente en árboles meta (cosecha final) y si el mercado demanda esta madera y sus productos, que serán sin duda de mayor calidad. Para realizar esta poda alta se deberá marcar previamente los árboles meta de la plantación, que corresponde con los mejores 300 a 400 individuos por hectárea.

3) Poda de rama gruesa. Este defecto si ocurre con frecuencia en almendro debido a que aún no se cuenta con semilla genéticamente mejorada. La rama gruesa consume recursos del árbol y crece a mayor velocidad que las demás ramas y producirá un nudo de gran magnitud si

no se le elimina a temprana edad. Aparece por lo general en los primeros 5 a 6m de altura y puede observarse desde los dos años.

Con respecto al corte de las ramas debe ser lo más limpio posible y dejar un segmento pequeño o tocón. Debe evitarse realizar un corte muy profundo que elimine la garganta de la rama (arrugas visibles por debajo de la rama) ya que puede retrasar el proceso de cicatrización en el árbol y permitir fenómenos de pudrición o ataque de insectos. Dejar un pequeño tocón o segmento de rama (1 cm expuesto) por lo general facilita la cicatrización. Es recomendable utilizar algún sellante para la herida de poda, con el objetivo de prevenir alguna infección causada por hongos o bacterias o ingreso de insectos barrenadores. La herramienta por utilizar dependerá de factores como grosor de rama, ángulo de inserción de las ramas (entre más inclinada más difícil será el corte), altura de poda deseado, dureza de la madera entre otros. Dado que el almendro tiene una alta densidad de su madera, la poda deberá ser realizada con ayuda de una motosierra pequeña, que tiene un rendimiento mayor que otras herramientas y produce un mejor corte.

La mejor época del año para realizar la poda es a inicio o al final del periodo lluvioso, ya que disminuye la actividad fisiológica del árbol. Se logra también una mejor cicatrización de la herida en el fuste y disminuye los problemas fitosanitarios asociados.

Una pregunta importante es si se justifica la realización de la poda. Esta actividad tiene un costo y debe recordarse que a mayor altura, menor rendimiento del operario y aumenta el costo. Esta inversión deberá ser entonces compensada a futuro con un mejor precio en la venta de la madera libre de nudos. Si el mercado mantiene un mismo precio por la madera futura con o sin nudos, no tiene justificación su ejecución. Sin embargo, puede haber otros criterios que justifiquen realizar esta poda aun cuando el mercado no reconozca el costo en el precio de la madera.

Manejo de plagas y enfermedades

El manejo integrado de plagas (MIP) en plantaciones es importante para garantizar la sanidad del cultivo y optimizar su desarrollo. Este concepto consiste en la aplicación de un conjunto de estrategias de prevención, control y monitoreo que buscan mantener la plantación libre de plagas y enfermedades. Entre las tácticas de control se encuentran el manejo silvicultural (podas, raleos, encalado, otros), biológico (aplicación de *Trichoderma*, bioinsumos de varios tipos) y la aplicación de productos químicos (insecticidas, fungicidas, bactericidas, entre otros) cuando sea requerido.

De manera ideal se debe realizar todo el esfuerzo posible para prevenir la aparición de plagas y enfermedades. Una vez que aparece algún problema fitosanitario, su impacto en la calidad del árbol, en el valor de la madera y en los costos de su control será mucho mayor. Enfermedades sin control pueden llegar a provocar mortalidad y pérdidas importantes en la plantación. Por lo tanto, el principio es no escatimar esfuerzos ni recursos en acciones de prevención, para evitar tener que aplicar medidas correctivas, que a veces no logran evitar la muerte del árbol o imposibilitan la comercialización futura de su madera.

En el almendro las principales plagas encontradas en plantaciones son el cipresillo y la antracnosis, así como la susceptibilidad a la quema del follaje por la radiación solar en sus primeros meses de desarrollo.

***Automeris* sp (Saturniidae)**

Nombre científico: *Automeris* sp.

Nombre común: Cipresillo

Daños:

El cipresillo es una larva de mariposa que se alimenta del follaje del árbol, afectando su capacidad fotosintética. Esta larva causa un daño en toda la lámina foliar y pueden encontrarse de forma individual o en grupos (Figura 14).

Manejo:

Es posible manejar el ataque de esta plaga con hongos o bacterias entomopatógenas como por ejemplo *Beauveria bassiana* o *Bacillus thuringiensis*, que se comercializan ampliamente y su aplicación se hace con bombas de aspersión. El uso de insecticidas piretroides es apropiado para matar adultos que se estén alimentando de estas hojas, pero se recomienda hacerlo en última instancia en incidencias severas.



Figura 14. Daños producidos por *Automeris* sp. en plantaciones de almendro.

***Colletotrichum* sp. (Glomerellaceae)**

Nombre científico: *Colletotrichum* sp.

Nombre común: Antracnosis

Daños:

Colletotrichum es un hongo patógeno que se hospeda en muchas plantas en climas tropicales y subtropicales, más ampliamente identificado en frutos. Este hongo es el agente causal de la enfermedad que se ha denominado como antracnosis (Barquero, Peres y Arauz, 2013). En el almendro esta enfermedad afecta las hojas de árboles jóvenes en vivero o recién plantados.

El síntoma que produce son puntos pardos en las hojas y peciolas de follaje joven, que empiezan desde el margen o borde de los folíolos (hojitas) hacia el interior y van aumentando su tamaño y necrosando hasta lograr la caída de la hoja (Figura 15)



Figura 15. *Colletotrichum* sp. y daños producidos en plántulas de almendro.

Manejo:

La principal forma de control de *Colletotrichum* spp. es a través del uso de productos químicos sintéticos. Sin embargo, la resistencia a los fungicidas y la presión regulatoria respecto a residuos de pesticidas y la preocupación por la salud humana está en aumento. Los productos biorracionales como los extractos vegetales, son soluciones naturales que han aumentado su importancia y aplicación en las últimas tres décadas por el conocimiento de sus propiedades, utilizadas para defender a las plantas de microorganismos e insectos (Landeró *et al*, 2016).

El control biológico es otra estrategia para manejar esta enfermedad mediante el uso de microorganismos que actúan como antagonismo contra diversos patógenos como *Rodhotorula minuta*, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* spp. (Janisiewicz y Korsten, 2002).

Susceptibilidad a quemadura por el sol

Se ha observado que las plántulas de almendro requieren de un cuidado especial al momento de salir del vivero, ya que suelen ser muy susceptibles a marchitarse por recibir la radiación directa del sol. Esta situación no es realmente una plaga, sin embargo, es importante tener

precaución para evitar que sufran un rezago e incluso muerte en las primeras semanas de plantación.

Manejo:

El procedimiento adecuado consiste en permitir la exposición directa al sol paulatinamente antes de salir de las condiciones de vivero. Esta adaptación o endurecimiento progresivo se debe realizar durante al menos dos semanas previas al establecimiento de la plantación.

Raleos y cosecha de la plantación

Los árboles están sometidos a una competencia por nutrientes, agua, luz y espacio, cuya intensidad dependerá de la densidad del área plantada. Los árboles continuarán con su crecimiento y desarrollo normal de acuerdo con su biología. El concepto clásico de silvicultura promueve iniciar con una densidad relativamente alta de árboles, que luego con el tiempo, conforme se vayan engrosando, se debe ir eliminando a los de menor desempeño para abrirle espacio y recursos a los árboles de mayor crecimiento y valor futuro de madera. Por tanto, cada 5 años aproximadamente se deberá reducir la cantidad de árboles en pie, donde se utiliza como criterios eliminar a los árboles de menor diámetro y altura comercial, de menor calidad de tronco y árboles enfermos. El raleo implica también un posible ingreso económico para el productor, con excepción del primer raleo donde los árboles aún tienen dimensiones de poco valor comercial, por lo que normalmente se busca posponerlo al menos por un año más.

La cantidad de árboles a ralear (intensidad del raleo) se determina con base en el parámetro conocido como área basal, que se obtiene de la suma del diámetro de todos los árboles en pie en una hectárea. Este parámetro es un indicador de la capacidad máxima de sitio, que no debe permitirse que sobrepase un 75% porque los árboles perderán su tasa de crecimiento, iniciarán a morir (autoraleo), se podrán enfermar, y el DAP crecerá muy poco. Este valor de área basal máxima oscila entre los 30 y 35 m²/ha aproximadamente. Por tanto, alrededor de los 20 m²/ha es normalmente el valor utilizado para decidir que es tiempo de realizar la intervención o aclareo. También es posible utilizar indicadores visuales de la necesidad del raleo como el entrecruce de copas, aparición de árboles suprimidos o rezagados en altura, entre otros. De manera general, los raleos inician con una intensidad alta (45 a 50%) y van disminuyendo con los siguientes raleos. En el Cuadro 3 se muestra un programa general de raleos para el almendro.

¿Cómo elegir en campo cuáles y cuántos árboles deben ser eliminados? El método más simple es mediante la creación de grupos imaginarios de 9 árboles (3 x 3 individuos o caja de 9). Donde se deberá marcar con pintura visible cuáles son los 4 o 5 árboles de los 9 originales (45 a 55% de intensidad de raleo) con el menor potencial productivo. Esto se repite a lo largo y ancho de la plantación de manera sistemática, con lo que se evita dejar grandes espacios vacíos sin árboles.

Cuadro 3. Programa de raleos y cosecha para un espaciamiento inicial de 4 x 3,5 m en una plantación de almendro (*Dipteryx panamensis*) en Costa Rica.

Actividad	Edad (años)	Intensidad (%)	Densidad inicial (árboles/ha)	En pie (árboles/ha)
I raleo	5-6	50	714	350
II raleo	9-10	33	350	235
III raleo	13-14	33	235	150
Cosecha final	16-18	100	150	0

Como se observa en el Cuadro 3, el primer raleo se ejecutaría en el año 5 con la eliminación de un 50% de los árboles en pie (350), de donde solamente unos 200 individuos tendrán algún valor comercial marginal. Del segundo raleo se obtendrían aproximadamente 107 árboles/ha que si tendrán algún valor comercial. El tercer y último raleo elimina 80 árboles/ha con un valor comercial importante, para dejar los mejores 150 a 160 individuos para la cosecha final. Dado el crecimiento lento de la especie (aproximadamente 1,6 cm en DAP por año) se estima que los árboles superarán los 25 cm de DAP a los 16 años y, alcanzarán en promedio 29-30 cm de DAP si se mantiene la cosecha hasta los 18 años. Con estas dimensiones ya es posible obtener en la primera troza del árbol de cosecha, lo que se conoce como madera gruesa o útil para producir piezas de 10 pulgadas de alto valor. Las piezas de madera con estas dimensiones son de suficiente dimensión y calidad para la obtención de todo tipo de producto como piso, vigas, etc. Por lo que se puede planificar su cosecha final a esta edad y dimensiones de DAP.

Costos de plantación

Los costos de producción de una hectárea de almendro pueden llegar a variar entre regiones del país, ya que en zonas muy lluviosas como en el Caribe y zonas del Pacífico Sur, el control de malezas aumenta. El rubro de control de malezas representa la actividad más costosa con un 26% (¢665 000/ha) del total. Actualmente se investiga opciones para reducir los costos de esta actividad mediante la introducción de mejores técnicas de preparación del terreno, introducción de posibilidades de mecanización y la incorporación de equipos de fumigación más eficientes.

Las plantas tienen un valor que varía entre ¢270 y ¢325 (8-9% del costo global) pero es importante considerar no solamente el costo, sino también el origen genético y la calidad de material. Árboles que sean certificados con mejoramiento genético, asegurarán un desarrollo óptimo que impacta positiva y directamente la rentabilidad y seguridad del proyecto. Por lo que la inversión en plantas de una mejor calidad genética, se traduce en el éxito a mediano y largo plazo.

La asistencia técnica tiene un costo aproximado de ¢81 000/ha (alrededor de un 3,3% del costo global, Cuadro 4), pero con un impacto muy alto en el éxito del cultivo. Dentro de este rubro se incluyen todas las gestiones de trámites legales y de incentivos (PSA) que promueve el profesional forestal, así como la información técnica y toma de decisiones valiosas para el buen desarrollo de la plantación. La relación costo beneficio de contar con la asistencia técnica, será sin duda muy beneficiosa con el proyecto de inversión.

La actividad de encalado y fertilización corresponde a un 20% de la inversión total aproximadamente (¢504 913 o poco más de \$980 por hectárea (\$1 = ¢515).

En el Cuadro 4 se resume el detalle de gastos y actividades por hectárea en el que se debe incurrir para desarrollar una plantación de almendro.

Cuadro 4. Costos de producción de una hectárea de plantación de almendro, en un ciclo de 18 años con la descripción de algunas actividades a realizar, Zona Norte de Costa Rica. No incluye gastos administrativos.

Año	Rubro	Mano de Obra	Insumos	Herramientas	Servicios	Total
Año 0	Formulación del proyecto	₡14 448			₡2 857	₡17 305
Año 0	Preparación y establecimiento	₡243 190	₡319 137	₡20 833	₡157 500	₡740 660
Año 1	Mantenimiento (Rodajea, chapea, deshija, poda formación)	₡145 748	₡134 345		₡0	₡280 093
Año 2	Mantenimiento (Chapea, repaso químico, poda baja, control plagas, fertilización)	₡84 117	₡143 677	₡10 000	₡0	₡237 795
Año 3	Mantenimiento (Chapea, control químico, control plagas, poda media, fertilización y encalado)	₡40 259	₡82 199	₡0	₡0	₡122 458
Año 4	Mantenimiento (Chapea, control químico, fertilización, poda alta)	₡150 662	₡15 653	₡0	₡0	₡166 315
Año 5	Mantenimiento (Chapea, control químico, control plagas) Ejecución de 1er raleo	₡24 525	₡12 920	₡0	₡0	₡37 445
Año 6-8	Mantenimiento (Chapea, control químico, cercas y corta fuego)	₡25 525	₡12 920	₡0	₡0	₡38 445 por año
Año 9	Mantenimiento (Chapea, control químico) Ejecución de 2do raleo	₡31 918	₡12 920	₡0	₡0	₡44 838

Año	Rubro	Mano de Obra	Insumos	Herramientas	Servicios	Total
Año 10-13	Mantenimiento (Chapea, control químico, cercas, corta fuego y drenajes)	₡31 918	₡12 920	₡0	₡0	₡44 838 por año
Año 14	Mantenimiento (Chapea, control químico, cercas, corta fuego y drenajes) Ejecución de 3er Raleo	₡32 140	₡12 920	₡0	₡0	₡45 060
Año 15-17	Mantenimiento (Chapea, control químico)	₡31 918	₡12 920	₡0	₡0	₡44 838 por año
Año 18	Mantenimiento (Chapea, control químico)	₡117 976	₡23 092	₡0	₡0	₡141 068
Total		₡1 184 984	₡886 063	₡30 833	₡160 357	₡2 262 237
		\$2 300	\$1 720	\$59.87	\$311	\$4 812 588

En general, el costo total de plantar y manejar una hectárea de almendro es de alrededor de \$4800 por hectárea (1\$ = ₡515), que podría ser reducido significativamente si se trabaja de manera planificada e incorporan técnicas modernas de aplicación de agroquímicos (ejemplo, uso de motobomba) con lo que podría lograr reducir el costo de la inversión en alrededor de US \$ 4500 por hectárea. Estos costos se basan en las experiencias con pequeños y medianos finqueros en proyectos menores a 10 ha.

El modelo de costos se basa en la premisa de que es necesario realizar un control de malezas una o dos veces por año, durante casi todo el ciclo de producción. Ya que el almendro es una especie que no logra sombrear y reducir la aparición de malezas, lo que hace más costoso su cultivo. Por tanto, toda innovación o incorporación de técnicas de control de malezas podrán mejorar sustancialmente el costo de cultivo de esta especie.

Por otra parte, en el análisis del Cuadro 4 se puede observar que la inversión en el año 1 puede alcanzar alrededor del 45% de los costos totales, y 10% en el año 2. Es decir, el año 1 y 2 juntos representan más del 55% de todos los costos de la plantación. Basado en esto se puede entender que la edad temprana de la plantación es la que más necesita atención, planificación y buena asistencia técnica ya que esto tendrá impacto en todo el desarrollo de la inversión.

Cuadro 5. Distribución de costos para una hectárea de plantación de almendro en las actividades principales, en un ciclo de 16 a 18 años.

Concepto	Costo (₡)	Costo (\$)	Proporción
Asistencia técnica	₡80 801	\$154	3,57
Mano de Obra	₡1 354 996	\$2581	60
Insumos	₡977 398	\$1862	43,20
Herramientas	₡55 209	\$105	2,44

** \$1USD = ₡515.

En este modelo de costos, puede observarse que la mano de obra representa el 60% de los costos totales (Cuadro 5). Este valor ya incluye el 40% de las cargas sociales (menos la cesantía) y el 4,61% de la póliza de riesgos del INS. Costa Rica es el país en la región con la mano de obra más cara (₡353 000 o \$672 salario mínimo mensual líquido). La investigación en marcha busca como simplificar procedimientos de campo, incluir nuevas tecnologías y la posibilidad de mecanización.

Crecimiento esperado del almendro en plantación

Un programa de silvicultura intensiva, con la ejecución de las actividades de manejo a tiempo y de calidad, pueden lograr que el almendro tenga una tasa mayor de crecimiento y desarrollo que el registrado hasta ahora (Figura 16). Con este modelo se puede determinar si la plantación lleva un buen crecimiento a una edad determinada. En el Cuadro 6 se puede relacionar el desarrollo del DAP a una edad deseada.

Plantaciones con un buen manejo silvicultural y con el uso de mejor calidad genética de la semilla, sin duda lograrán superar el umbral del DAP de 30 cm, lo que ocurrirá alrededor de los 16-18 años si mantienen un incremento promedio anual (IMA) de 1,7 cm/año. Cuando los árboles alcancen los 25 cm en DAP ya es una medida suficiente para obtener madera gruesa de buen rendimiento industrial y de donde se podrá obtener todo tipo de producto como piso y vigas. Es decir, para una especie dura como el almendro, el criterio de corta final debería estar relacionada con un DAP $\geq$ a los 25 o 30 cm. Para alcanzar este crecimiento promedio, la clave será la realización de los raleos oportunamente. En los trabajos de Filomeno (2018) se encontró que si se utiliza la mejor semilla del huerto semillero localizado en el campus del Tecnológico en San Carlos, el crecimiento puede aumentar entre un 20 a un 25% al observado en el modelo general (Figura 16).

Cuadro 6. Crecimiento esperado promedio del DAP en una plantación de almendro en la Zona Norte y Caribe de Costa Rica.

Edad (años)	Árboles/ha (N)	DAP (cm)
1	714	2,13
2	714	4,28
3	714	7,02
4	714	9,6
5 Raleo I	350	12,0
9 Raleo II	350>235	18,0
13 Raleo III	235	22,04
16	150	25,82
18	150	27,55
20	150	29,18

Por tanto, aproximadamente a partir de los 16 años, si la plantación ha logrado mantener un buen crecimiento y ya ha superado el umbral de los 25 o 30 cm en su DAP promedio, es un buen momento para planear su cosecha.

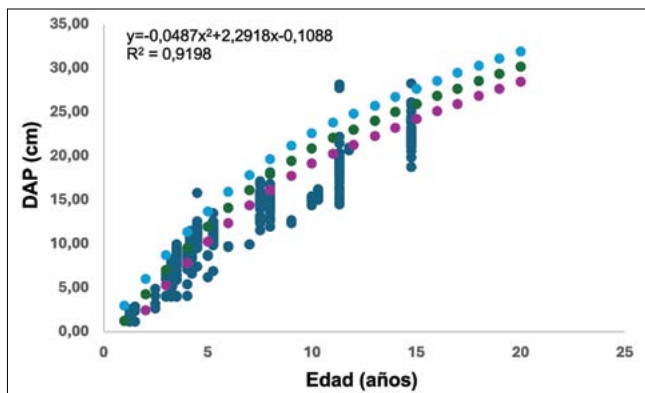


Figura 16. Modelo de crecimiento del DAP versus Edad en plantaciones de almendro en la Zona Norte y Caribe de Costa Rica. En verde el crecimiento promedio, en azul crecimiento superior y en color morado el límite inferior de crecimiento.

Producción esperada de una plantación y uso de la madera

El almendro es la especie forestal cultivada con la mayor densidad y resistencia mecánica de madera en Costa Rica. Su peso específico básico (densidad) puede alcanzar valores entre 0,7 a 0,8 (Filomeno 2018, Rodríguez-Pérez, 2019).

En los trabajos de Filomeno (2018) se desarrolló un modelo para estimar la densidad de la madera promedio del árbol, a partir de una muestra con barrenos Pressler de 5 mm de diámetro, conocida como tarugo. El modelo ajustado fue:

$$LN \text{ PE árbol} = -0,153 + -0,0045 \cdot \ln(\text{VolCom}) + 0,7192 \cdot \ln(\text{PEB Tarugo})$$

Donde, VolCom se refiere al volumen comercial de las primeras cuatro trozas comerciales de aproximadamente 2m de largo. El PEB del tarugo se tomó a la altura del DAP.

Se determinó también que el peso específico varía significativamente, donde la madera cercana a la médula tiene menor peso específico que la madera cercana a la corteza. La madera cercana a la base tiene mayor peso específico que la madera cercana a la copa. Estas características propias de la madera, hace que esta especie sea bien valorizada para uso de tipo estructural (piso, vigas, etc) y con alta resistencia al biodeterioro (Moya-Roque *et al*, 2021).

En el Cuadro 7 se muestra una buena aproximación del rendimiento esperado en madera y producto de una plantación de almendro en la Zona Norte y Caribe del país. El modelo se basa en una plantación que inicia con 714 árboles por ha (3,5 x 4 m), con tres raleos y una cosecha final al año 16-18 o hasta sobrepasar los 30 cm de DAP. Para la valoración se utilizó un precio de referencia, dado que la especie ha estado vedada los últimos 15 años y se desconoce su valor actual. Sin embargo, a nivel internacional el valor de la madera aserrada del género *Dipteryx* alcanza precios superiores a los \$600 por m³ (Filomeno 2018).

En el Cuadro 7 se puede observar que los árboles tendrán en promedio 12 cm de DAP a los cinco años. Sin embargo, los árboles del raleo tendrán un diámetro levemente inferior de alrededor de 10 cm (4 pulgadas madereras ticas o PMT), con los que se podrá obtener dos

trozas cortas por árbol (Cuadro 7, cuadros en color amarillo). Estas dimensiones resultan difícilmente útiles para aserrío, ya que por la alta densidad de la especie no es viable incluso para utilizarse en tarimas. No obstante, se considera que un 25% del total de árboles a cosechar se pueda comercializar como poste rollizo para cerca. El resto de los individuos del raleo no se comercializan debido a su bajo diámetro y defectos de forma.

Cuadro 7. Rendimiento esperado de una plantación de almendro en la Zona Norte y Caribe de Costa Rica. En amarillo se representan las trozas para tarima, en verde las trozas medianas para aserrío y en azul, la troza gruesa para aserrío.

Precio tarima ₡/PMT	70				
Precio aserrío mediano ₡/PMT	150				
Precio aserrío grueso ₡/PMT	300				
N En pie	714	357	239	160	
Aleo (árboles a cosechar/ha)		215	107	79	160
DAP (cm) Raleo		11	17	24	30
IMADAP	1.67				
% árboles comerciales		60%	90%	100%	100%

Volumen comercial					
Tarima PMT	9	10	18	28	65
Aserrío Mediano PMT (Bloque)		20	60	81	161
Aserrío Grueso PMT (Bloque)				39	39
Total PMT/árbol	9	30	78	148	265
PMT/ha	1935	3210	6162	23718	35025
(m³/ha)	5.35	8.87	17.02	65.52	96.75

Tarima ₡/ha	₡135 450	₡74 900	₡99 540	₡314 104	₡623 994
Aserrío Mediano ₡/h	0	₡321 000	₡711 000	₡1 947 126	₡2 979 126
Aserrío Grueso ₡/h	0	0	0	₡1 875 010	₡1 875 010
Total ₡/ha	₡135 450	₡395 900	₡810 540	₡4 136 241	₡5 478 131
Ingresos \$/ha	515	\$ 263.01	\$1 573.86	\$8 031.54	\$10 637.15

Raleo I	Raleo II	Raleo III	Cosecha	Total
Año 5-6	Año 9-10	Año 13-14	Año 16-18	
50%	33%	33%		

En el segundo raleo (9-10 años) se estima aprovechar el 60% de los árboles de corta, de los que se obtienen dos trozas (de 2,5 m) comerciales para aserrío (Cuadro 7 cuadros en color verde) de diámetros menores y dos trozas cortas de menor tamaño. Esta madera podría utilizarse en piezas estructurales de la construcción como forros, sobres y decorativa, sin

embargo, no de tipo estructural aún. Así mismo, se podría comercializar para la fabricación de piezas de soporte en muebles de alta calidad.

En el tercer raleo (12-13 años) se proyecta utilizar el 100% de los árboles que tendrán alrededor de 23-25 cm de DAP. De estos árboles se proyecta que se podrá obtener tres trozas de 2,5m de largo (en color verde) y dos trozas cortas (en color amarillo). A esta edad ya se podrá observar un buen porcentaje de duramen, la madera podrá ser utilizada en uso estructural para la construcción, carrocería de vehículos de carga y otro^s.

Finalmente, en la cosecha final se obtendrá en promedio cuatro trozas por árbol para aserrío (10 m de fuste comercial, en color verde) y dos trozas cortas (en amarillo), con diámetros y porcentaje de duramen que asegura un mejor precio en el mercado. El uso óptimo de esta madera es de tipo estructural, ya que soporta gran capacidad de carga, y se usa principalmente en, construcciones pesadas como pisos industriales, puentes, durmientes de ferrocarril, construcciones marinas, carrocerías de vehículos de carga entre otros.

Agradecimientos

Este manual formó parte del proyecto de investigación “**Incremento de la competitividad de la reforestación comercial en Costa Rica**” con el financiamiento de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) y de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Así también se extiende el agradecimiento al Centro de Investigaciones en Innovación Forestal (Escuela de Ingeniería Forestal) y a la cooperativa de mejoramiento genético forestal GENFORES, por el apoyo financiero, técnico, logístico y con material del ensayo de procedencia/progenie en Santa Clara de San Carlos.

A los Ingenieros Luis Garro y Adrián Solís, del proyecto ITTO, por el apoyo logístico y técnico que le dieron al borrador de este manual.

Literatura

Badilla, Y.; Rodríguez, L.; Murillo, O.; Obando, G. 2000. Avances en la clonación de cebo, botarrama, pilón y almendro. Programa de Mejoramiento y Conservación Genética de Especies Forestales. ITCR/FUNDECOR. Reporte de Investigación N° 1. Cartago, Costa Rica. 11 p.

Badilla, Y.; Murillo, O.; Obando, G. 2002. Reforestación con especies nativas en la zona norte del país. Presentado En: Seminario Nacional sobre Especies Nativas. 3-5 de abril, 2002. Universidad Nacional, INISEFOR. Heredia, Costa Rica.

Barquero, M., Peres, N., y Arauz, L. (2013). Presencia de *Colletotrichum acutatum* y *Colletotrichum gloeosporioides* en helecho hoja de cuero, limón criollo, papaya, carambola y mango en Costa Rica y Florida (Estados Unidos). *Agronomía Costarricense*, 37(1), 23-38.

Butterfield, R.; Espinoza, M. (1995). Screening trial of 14 tropical hardwoods with an emphasis on species native to Costa Rica: fourth year results. *New Forests*, 9: 135-145

Camacho Marlen 2015. Análisis de la restricción a la cosecha del almendro amarillo (*Dipteryx panamensis*). Consultoría “Fomento del manejo sostenible de los bosques naturales (MFS) para la mejora y conservación de las reservas de carbono” FONAFIFO, CR, 27pp

COSEFORMA. (1999). Almendro en la Zona Norte de Costa Rica. San José, Costa Rica. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342016000501189&lng=es&tlng=es.

Delgado A., Montero M., Murillo O., Castillo M. 2003. Crecimiento de especies forestales nativas en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 27(1): 63-78.

Filomeno Alves-Milho, S. 2018. Potencial de mejoramiento genético en *Dipteryx panamensis* Pittier (FABACEAE). Tesis, M.Sc. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 166 p.

Flores, E. (1992). Árboles y semillas del neotrópico. Museo Nacional de Costa Rica. San José, Costa Rica. 1(1): 64.

Gaitán-Álvarez J. 2015. Propiedades energéticas de biomasa torrefaccionada de *Dipteryx panamensis* Pittier y *Gmelina arborea*

Roxb. ex Sm. Rev For Mesoam Kurú. 13:57–62. doi:10.18845/rfmk.v13i30.2461.

Hanson, T.R. 2006. Effects of habitat fragmentation on the reproductive ecology and conservation genetics of the almendro (*Dipteryx panamensis*), a keystone rainforest tree. Tesis Ph.D. CATIE, Turrialba, Costa Rica. repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4931/Effects_of_habitat_fragmentation.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Hanson TR, Brunsfeld SJ, Finegan B, Waits LP. 2008. Characterization of microsatellite markers for the almendro (*Dipteryx panamensis*), a tetraploid rainforest tree. Mol Ecol Resour. 8:425–427. doi:10.1111/j.1471-8286.2007.01980.x.

Janisiewicz, W. J. y Korsten, L. (2002). Biological control of postharvest disease of fruits. Ann. Review Phytopathol. 40:411-441.

Jiménez, J.P. 2018. Next-Generation sequencing technologies in tree improvement and conservation genetics of *Dipteryx oleífera* Benth. Tesis Ph.D. Universidad Estatal de Carolina del Norte, Faculty of Forestry and Environmental Resources. USA. 128 p.

Jiménez, J.P., Murillo, O. 2019. Mejoramiento genético en almendro: Avances y Nuevas Tecnologías. En: II Simposio Especies Nativas. Estación Exp. For. Horizontes, Liberia, Guanacaste. 7-8 Nov 2019.

Jiménez, J., Murillo, O., Xiang, Q., Shear, T., Whetten. R. 2021. Next-generation sequencing technologies in tree improvement and conservation genetics of *Dipteryx oleífera* Benth. En: Congreso Nac. Cienc. Vida. XXVIII Reunión Científica ICBAR, 28-30 abril, Perú.

Landero-Valenzuela, Nadia, Lara-Viveros, Francisco Marcelo, Andrade-Hoyos, Petra, Aguilar-Pérez, Luis Alfonso, & Aguado Rodríguez, Graciano Javier. (2016). Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp. Revista mexicana de ciencias agrícolas 7(5), 1189-1198.

León, N; Murillo, O; Badilla, Y; Ávila, C; Murillo, R. 2017. Expected genetic gain and genotype by environment interaction in almond (*Dipteryx panamensis* (Pittier) Rec. and Mell) in Costa Rica. Silvae Genetica (2017) 66, 9-13. doi:10.1515/sg-2017-0002.

Martínez-Albán, V., Fallas-Valverde, L., Murillo-Gamboa, O., & Badilla-Valverde, Y. (2015). Potencial de mejoramiento genético en *Dipteryx panamensis* a los 33 meses de edad en San Carlos, Costa Rica. Revista

Forestal Mesoamericana Kurú, 13(30), 03–12. https://doi.org/10.18845/rfmk.v13i30.2455

Meza Natalia 2010. Validación del protocolo AFLP para Caracterización Molecular y análisis de diversidad genética en *Dipteryx panamensis* (Piittier) (Fabaceae). Tesis Ing en Biotecnología, Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 52pp.

Moya-Roque, R., Tenorio-Monge, C., Navarro-Mora, A., & Muñoz-Acosta, F. (2021). Mejoramiento de las condiciones de procesamiento primario, secado y usos estructurales de la madera de almendro (*Dipteryx panamensis*) y pilón (*Hieronyma alchorneoides*) de plantaciones forestales de Costa Rica. Código 1401025.

Murillo, O. 2018. ¿Cuáles especies forestales nativas debemos priorizar en el país? Ambientico Número 267, jul-set: 4-9

Murillo, J., Castellano, A., Silva, W., Aguirre, J. (2024). Manual 1 preparación y siembra plantaciones de balsa. Departamento Forestal Fucol Group Capital.

Petit B.; Montagnini F. 2006. Growth in pure and mixed plantations of tree species used in reforesting rural areas of the humid region of Costa Rica, Central America. Forest Ecology and Management 233, 338-343

Piotto D., Montagnini F., Ugalde I., Kanninen M. 2003. Growth and effects of thinning of mixed and pure plantations with native trees in humid tropical Costa Rica. Forest Ecology and Management. 177(2003a) 427-439.

Redondo-Brenes A. 2007. Growth, carbon sequestration, and management of native tree plantations in humid regions of Costa Rica. New For. 34:253–268. doi:10.1007/s11056-007-9052-9.

Rodríguez D., Moya, R., Murillo, O., Gaitán J., Badilla, Y. 2022. Variation and Genetic Control of the Heartwood, Sapwood, Bark, Wood Color Parameter, and Physical and Mechanical Properties of *Dipteryx panamensis* in Costa Rica. Forests 13, 106. doi.org/10.3390/f13010106.

Schmidt, F. (2009). The effect of site selection on the growth of *Dipteryx panamensis* in timber plantations in Costa Rica and Panama. University of Technology. Faculty of Forest, Geo and Hydro sciences. Institute of Forest Growth and Forest Computer Sciences. Dresden, Germany.



MANUAL DE CULTIVO DEL ALMENDRO

Escuela de Ingeniería Forestal