



Ingeniería en
**Energías
Renovables**

**ESTABLECIMIENTO,
MANEJO Y
APROVECHAMIENTO
DE PLANTACIONES
DENDROENERGÉTICAS**

ESTABLECIMIENTO, MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS

AUTORES:

DR. DAGOBERTO ARIAS AGUILAR, pH. D.
*COORDINADOR DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN
DENDROENERGÍA, TECNOLÓGICO DE COSTA RICA*

MARIO GUEVARA, M. Sc.
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

RECONOCIMIENTO TÉCNICO:

CÉSAR AUGUSTO ALVARADO
SANDRA ELIZABETH CERRATO

DICIEMBRE 2017

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
CONCEPTO DE PLANTACIÓN DENDROENERGÉTICA.....	7
PROPIEDADES ENERGÉTICAS DE LA MADERA Y PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD.....	9
CICLO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTACIÓN DENDROENERGÉTICA	14
IMPORTANCIA DEL MANEJO DE LA DENSIDAD	17
CONCEPTO DE DENSIDAD	17
LÍNEA DE CIERRE DE COPAS.....	19
¿POR QUÉ EL USO DE ALTAS DENSIDADES?	20
ESPACIAMIENTOS DE SIEMBRA	21
SISTEMA DE SIEMBRA	23
SIEMBRA MANUAL Y TIPO DE MATERIAL SEGÚN LA PRODUCCIÓN EN VIVERO	23
DISEÑOS DE SIEMBRA.....	24
CICLOS DE COSECHA.....	29
ASPECTOS DE MANEJO.....	31
PREPARACIÓN DEL SITIO	31
ELIMINACIÓN DE LA VEGETACIÓN	32
TÉCNICAS DE MECANIZACIÓN	32
CONTROL DE ARVENSES.....	34
RECOMENDACIÓN PARA EL TRAZADO Y MARCACIÓN	37
IMPORTANCIA DEL MATERIAL GENÉTICO	38
FERTILIZACIÓN.....	40
ASPECTOS SOBRE EL MANTENIMIENTO INICIAL.....	41
CIERRE DEL DOSEL.....	42
CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	42

COSECHA DE LAS PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS	43
TIEMPO PARA EL APROVECHAMIENTO.....	43
LA CORTA DE LOS ÁRBOLES	44
POSIBILIDADES DE MECANIZACIÓN.....	45
ASPECTOS SOBRE EL MANEJO DEL TOCÓN	48
DECISIONES DE MANEJO DEL REBROTE.....	49
SEGUNDO CICLO DE LA PLANTACIÓN	49
OTROS ASPECTOS SOCIALES Y AMBIENTALES.....	53
CADENA DE PRODUCCIÓN: ASTILLAS	55
ASTILLADO EN EL CAMPO.....	55
PROCESO DE FABRICACIÓN DE ASTILLAS.....	55
EQUIPOS PARA EL ASTILLADO	55
ALMACENAMIENTO.....	59
SECADO DE LAS ASTILLAS	60
USOS DE LAS ASTILLAS.....	61
TRANSPORTE DE LA BIOMASA.....	65
DISTANCIAS DE TRANSPORTE.....	65
VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE BIOMASA	66
BIBLIOGRAFÍA.....	69

INTRODUCCIÓN

La producción, aprovechamiento, transformación de biomasa para energía es un tema ampliamente estudiado y documentado en diferentes partes del mundo. Sin embargo, en los países de la región centroamericana todavía representa un modelo de negocio relativamente nuevo al no existir suficientes proyectos a mayor escala que utilicen el biocombustible sólido a partir de la madera, para la generación eléctrica.

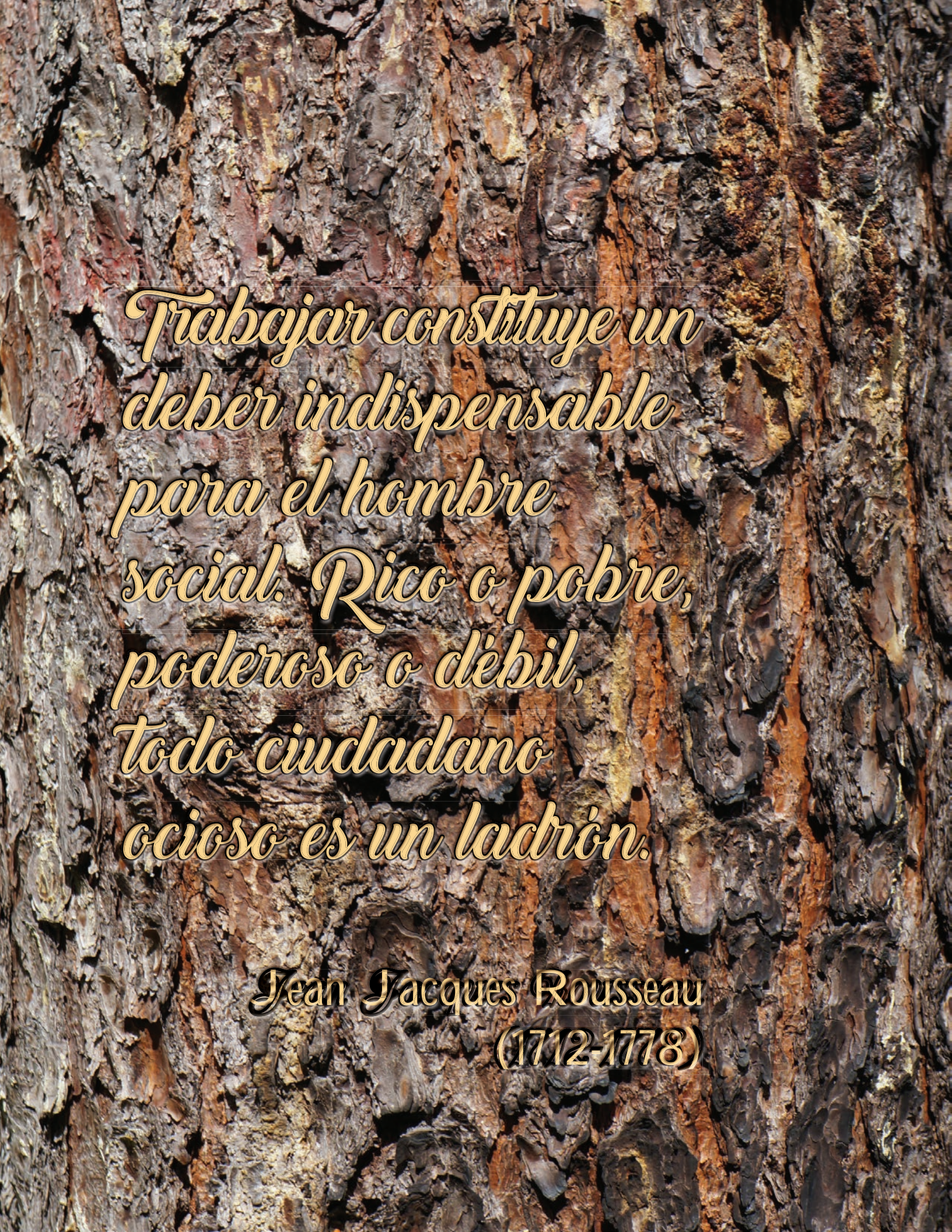
Todavía se está en una fase muy incipiente sobre el entendimiento del ciclo de vida de los proyectos dendroenergéticos y son muchos los vacíos de información validada y no se tienen respuestas a muchas interrogantes sobre la factibilidad técnica, financiera, tampoco sobre los métodos de trabajo que los analistas puedan utilizar como punto de partida. Sin embargo, estas condiciones ofrecen también la posibilidad para la innovación y diversificación de la matriz energética de los países de la región, ya que a la fecha no se ha implementado ningún proyecto basado en biomasa forestal para la generación de energía productivo ni demostrativo, basado en plantaciones dendroenergéticas. El potencial del sector forestal es grande y se cuenta con la madurez técnica para ofrecer nuevas alternativas hacia un nuevo vector energético basado en la madera.

Los desafíos que debe afrontar un proyecto de este tipo en el marco de la sostenibilidad incluyen:

- 1) El manejo de plantaciones forestales con fines energéticos, para reducir los costos de la biomasa y con ello el costo de producción de energía, y asegurar la sostenibilidad en el suministro de combustible;
- 2) La creación de un mercado regulado de biomasa para establecer precios de la materia prima que permitan evaluar la viabilidad de los proyectos bioenergéticos e implementar análisis financieros y evaluación de riesgos (financieros, ambientales y sociales);
- 3) La caracterización de la biomasa como biocombustible sólido y su ajuste a los requerimientos de una planta de transformación en función de la potencia y el proceso (tamaño de partícula, humedad, densidad aparente, entre otros);
- 4) La reducción del costo capital mediante incentivos tributarios, ingeniería inversa o desarrollos tecnológicos propios que minimicen la inversión y, con ello, el costo de generación.

Como punto central en busca de la viabilidad, es necesario definir un modelo de negocio apropiado para las características del mercado energético y de la biomasa a nivel nacional; este es el principal reto para promover el desarrollo de este tipo de proyectos.

En este manual se le explica al usuario paso a paso, toda la secuencia de producción de la biomasa, el establecimiento, mantenimiento y cosecha de las plantaciones dendroenergéticas. Se hace énfasis en los sistemas, los procesos y la maquinaria disponible para convertir los árboles en un biocombustible sólido a partir de las astillas y la transformación siguiente en otros productos de mayor valor calórico.



*Trabajar constituye un
deber indispensable
para el hombre
social. Rico o pobre,
poderoso o débil,
todo ciudadano
ocioso es un ladrón.*

*Jean Jacques Rousseau
(1712-1778)*

CONCEPTO DE PLANTACIÓN DENDROENERGÉTICA

Las plantaciones dendroenergéticas (PDE), también se conocen con los nombres de plantaciones silvoenergéticas o plantaciones de alta densidad, son modelos de cultivo sembrados a altas densidades donde se busca la acumulación de biomasa en el menor tiempo posible. Los cultivos energéticos incluyen especies herbáceas y leñosas. Para la obtención de la biomasa energética, los cultivos leñosos se siembran en altas densidades y por consiguiente los turnos para la cosecha de material son mucho más cortos en comparación con los cultivos maderables. Estas plantaciones se conocen en inglés como Short Rotation Forestry (SRF) y en alemán Kurzumtriebplantagen (KUP).

En la década de 1990, en diferentes países comienzan a desarrollarse masivamente ensayos de plantaciones dendroenergéticas para estimar los rendimientos de la producción de la biomasa. Las densidades de plantación aún hoy siguen cubriendo un amplio rango que van desde 1.500 hasta 36.000 individuos ha^{-1} (Figura 1). En el oeste norteamericano se reconoce un modelo de espaciamientos medios, con densidades de 1,500 a 2,200 individuos ha^{-1} , en rotaciones de cinco a siete años. Este modelo ha sido llamado “modelo norteamericano” o MRF (medium rotation forestry); se estudia en Estados Unidos con híbridos del género *Populus* sp. y también en Europa, aunque en menor medida. El llamado “modelo europeo” o SRF (short rotation forestry) consiste en densidades de plantación desde unos 5,000 individuos ha^{-1} hacia arriba, en períodos de rotación usuales de dos años. Este modelo se estudia en la mayor parte de los países de Europa y en el noreste de Estados Unidos usando principalmente híbridos de *Populus* sp. e híbridos de *Salix* sp.



FIGURA 1. ENSAYO DE DENSIDADES Y DE ESPECIE-PROCEDENCIA PARA EL DESARROLLO DE LAS PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS.



*El Arte es "yo"; la
Ciencia es "nosotros".*

Claude Bernard (1813-1878)

PROPIEDADES ENERGÉTICAS DE LA MADERA Y PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD



La madera, según su naturaleza, puede contener entre 4,200 y 5,000 kcal/kg. Esta cantidad de energía no puede ser totalmente utilizada en la práctica. Los rendimientos energéticos típicos oscilan entre 3,500 Kcal/Kg (con humedad del 15%) y 2,200 kcal/kg (con humedad del 50%).

La madera podría provenir de dos lugares diferentes: de un bosque natural, de un bosque secundario o de plantaciones forestales. En el caso de la madera de un bosque, puede tener un rendimiento de 250 m³/ha, es decir, de 180 a 200 t/ha. Estas cifras indican que sería necesario manejar y aprovechar anualmente un área de unas 1,000 hectáreas para abastecer una central de 25 MW y otra de 4,000 ha, para el caso de una planta de 100 MW. En las realidades de Centroamérica, el aprovechamiento de los bosques naturales para energía es inviable y las legislaciones en la mayoría de los países prohíben la talarraza, siendo que la bioenergía es un subproducto que le daría un valor agregado a los residuos del aprovechamiento sostenible de los bosques y una alternativa de manejo muy interesante en la caso de los bosques secundarios.

Si el abastecimiento del dendrocombustible proviene de plantaciones forestales energéticas de crecimiento rápido (40 m³/ha), será necesario disponer de un área de 6,700 ha en un turno de cinco años que permita una cosecha anual de 1,340 ha para abastecer una central de 25 MW. Similarmente, sería necesario atender un área de 26,700 ha totales con un aprovechamiento de 5,340 ha/año para el caso de una central de 100 MW. Dependiendo de las condiciones bajo las cuales se efectúa la producción de energía, se puede aproximar que con una tonelada de madera se reemplaza de 1/4 a 1/3 de tonelada de fuel-oil, y que con el empleo de una hectárea de plantación de rápido crecimiento se genera anualmente una producción energética equivalente de 5,000 a 7,000 litros de petróleo.

En la conversión de madera en energía, un kilogramo de madera verde equivale aproximadamente a 0.25 kWh, mientras que un kilogramo de madera al 15% de humedad generará aproximadamente 0.4 kWh. A manera de ejemplo, se puede señalar que una pequeña central eléctrica con biomasa de 400 kW, operando 10 horas durante 300 días del año genera una energía de 1,200 MWh por año y necesitará para su aprovisionamiento 5,000 toneladas de madera verde ó 3,000 t de madera seca a 15% de humedad por año de operación. Esto equivale a utilizar 250 y 150 ha respectivamente con una producción de 20 toneladas/ha. La Figura 2 muestra otras equivalencias aproximadas de la conversión de pellets de madera en otras formas de energía.



FIGURA 2. VALOR DE LOS BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS A PARTIR DE MADERA EN OTRAS EQUIVALENCIAS DE ENERGÍA.

Si la opción es utilizar plantaciones nuevas, se consideran los cultivos energéticos leñosos a aquellos en los que se utilizan especies de crecimiento rápido (leucaena, melina, teca, eucaliptos, entre otras posibilidades), bajo un sistema de manejo intensivo y con un turno de corta que puede variar entre 1 y 10 años. Las densidades de plantación son elevadas y el cultivo puede llevarse a cabo como fustes individuales o múltiples, después de haber realizado la primera cosecha.

El aprovechamiento de especies bajo el sistema de manejo de rebrotes, viene siendo utilizado por el hombre desde la antigüedad, principalmente con el objetivo de obtención de leña y carbón vegetal. Los cultivos de turno corto y alta densidad a los que nos referimos, son cultivos realizados con especies de crecimiento rápido, en contraste con los aprovechamientos tradicionales de especies para producción de madera (teca a los 20 años), y los turnos de corta son frecuentemente más reducidos con el objetivo de obtener una gran cantidad de materia leñosa por superficie, destinada a la producción de energía.

En nuestras latitudes, las especies como *Gmelina arborea*, *Gliricidia sepium*, y del género *Eucalyptus sp* son idóneas para ser utilizadas en cultivos dendroenergéticos, ya que cumplen muchos de los requisitos necesarios para la viabilidad de este tipo de cultivo, como son:

- Facilidad para el establecimiento de la plantación (vegetativamente a partir de estaquillas, con bajo coste de producción y alto porcentaje de arraigo).
- Oferta abundante de material genético mejorado y la posibilidad de que éste se incremente en el futuro. Teca y Melina tienen importantes avances de mejoramiento genético y silvicultura clonal.
- El hecho de ser especies de crecimiento rápido con elevadas producciones potenciales.
- Producir un rebrote vigoroso después de la corta.
- Presentar balances energéticos positivos.
- La baja necesidad de agroquímicos, en comparación con especies agrícolas.
- Soportar altos niveles de competencia.
- La posibilidad de otros usos ambientales complementarios (p. ej. filtros verdes, diversificación del paisaje agrícola, resguardo de fauna silvestre, etc.).

CICLO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTACIÓN DENDROENERGÉTICA

Los ciclos de producción de una plantación dendroenergética son diferentes a una plantación comercial tradicional. Al utilizarse densidades muy altas por hectárea, los turnos de producción se reducen a desde 1 a 5 años dependiendo de la especie seleccionada. Acá el silvicultor tiene también la posibilidad de manejar la densidad para obtener una dimensión de producto que maximice su conversión a energía. Se inicia con la siembra de árboles y su cuidado hasta la primera cosecha, donde todos los árboles serán cortados y extraídos del lugar ya sea en forma de fuste o de astillas, luego se continua el manejo de los nuevos brotes hasta la segunda cosecha y así continua el ciclo (Figura 3).

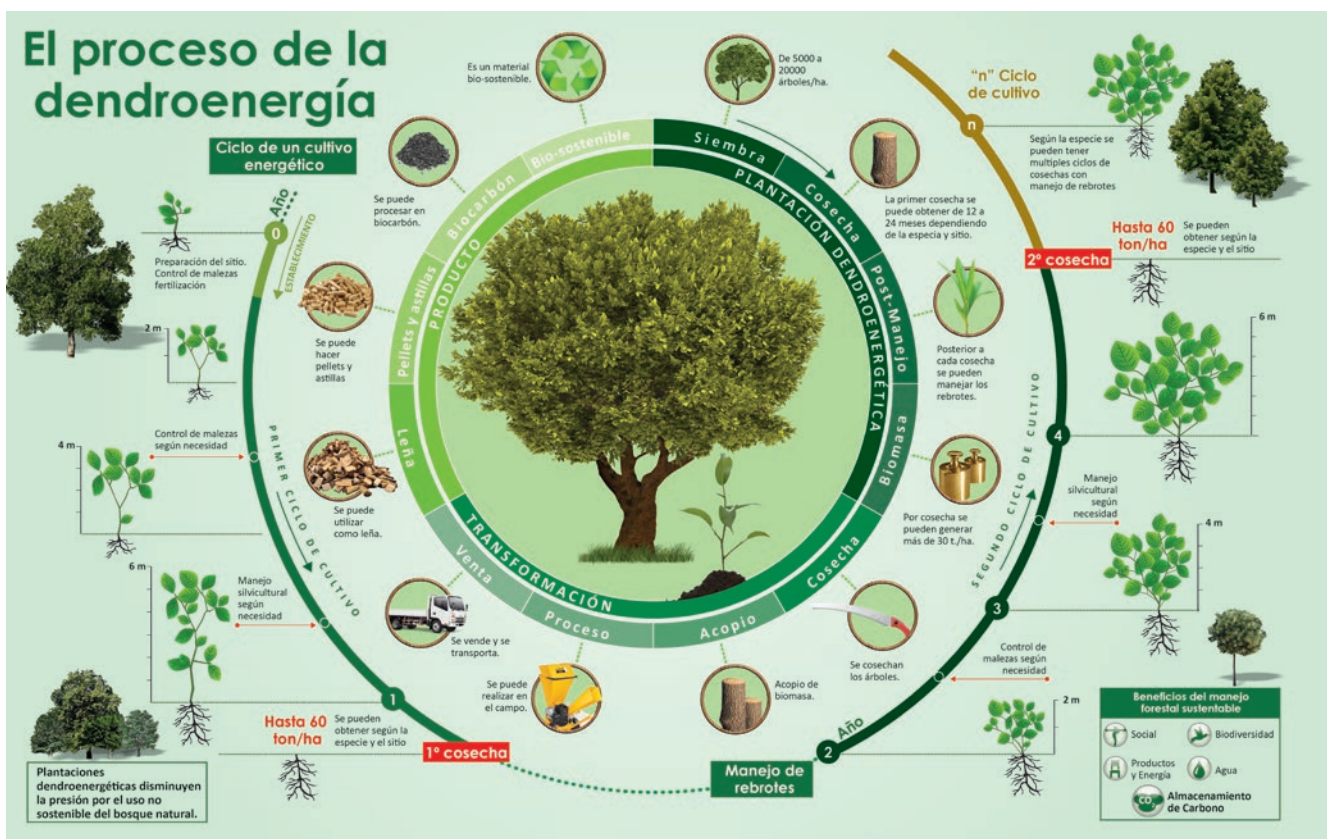


FIGURA 3. CICLO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTACIÓN DENDROENERGÉTICA

La eficiencia y el grado de éxito en el manejo silvicultural de las plantaciones dendroenergéticas atiende al menos los siguientes aspectos:

- Elección del sitio de plantación, considerando una ubicación que permita el desarrollo de los árboles según las exigencias propias de las especies y la posible mecanización del cultivo.
- Preparación del terreno, atendiendo al acondicionamiento del suelo, el control de la vegetación competidora y el estado de fertilidad del mismo.

- Adquisición de material genético adecuado y árboles de calidad, de tal forma que se garanticen el éxito en la plantación.
- Instalación de la plantación a la densidad óptima y con el diseño apropiado, procediendo a un replanteo previo del área en función de una previsión para una futura cosecha de forma mecanizada.
- Aplicación de los tratamientos culturales necesarios tales como: control de la vegetación, en las etapas iniciales del cultivo y considerando la preemergencia de las malas hierbas y su control hasta el cierre de las copas.
- Riego en aquellas condiciones de carencia de humedad, aplicado preferentemente mediante sistemas de alta eficiencia y adecuado a las características del sitio y del material vegetal utilizado.
- Fertilización, realizada de manera preferentemente con base en el análisis de suelo y nutricional a nivel de hoja.
- Control de plagas y enfermedades, realizando tratamientos cuando el umbral de daño así lo aconseje y procurando la selección de material genético resistente.
- Corta de los tallos a una altura aproximada de 5 cm. del suelo.
- Manejo de los rebrotes en función de las densidades deseadas, si así lo aconseja la evolución del primer período vegetativo, valorando la conveniencia de un nuevo tratamiento de control de malezas así como de la aplicación de fertilización.

Las plantaciones dendroenergéticas tienen una alta acumulación de biomasa en comparación con las plantaciones tradicionales. La Figura 4 muestra las diferencias en la acumulación de biomasa en ambos modelos de plantaciones.

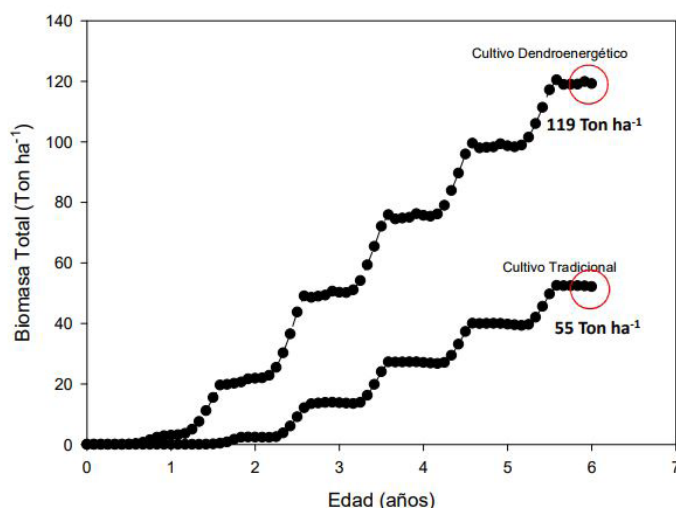



FIGURA 4. ACUMULACIÓN DE BIOMASA TOTAL DE UNA PLANTACIÓN DENDROENERGÉTICA EN COMPARACIÓN CON UNA PLANTACIÓN TRADICIONAL.



*La ciencia que se
aparte de la justicia
más que ciencia
debe llamarse
astucia.*

Cicerón (106 AC-43 AC)

IMPORTANCIA DEL MANEJO DE LA DENSIDAD

CONCEPTO DE DENSIDAD

Existen varios métodos para evaluar la densidad de un rodal, algunos de ellos incluyen variables muy fáciles de estimar como el número de árboles por hectárea, el área basal del rodal y otros más elaborados como los índices de competencia. Quizás el método más conocido y utilizado son los diagramas de densidad.

Los diagramas de manejo de la densidad (DMD) son modelos matemáticos que representan gráficamente las relaciones entre la densidad, la altura dominante, el diámetro medio cuadrático y el volumen medio para rodales coetáneos, también puede utilizarse la biomasa total (Archibald & Bowling, 1995; Newton, 1997; Álvarez-González *et al.*, 2005). De acuerdo con Newton (1997), el manejo de la densidad es el proceso de control de la competencia para alcanzar los objetivos de manejo específicos.

En las plantaciones de alta densidad, los DMD permiten, entre otras cosas, determinar el espaciamiento inicial o determinar los esquemas de manejo de la competencia, necesarios para cumplir varios objetivos:

- Minimizar el tiempo para conseguir el objetivo final (Newton & Weetman, 1994).
- Control de arbustos y malezas durante el establecimiento del rodal (Smith, 1989) optimizar el hábitat para otras especies en su relación predador-presa (Sturtevant *et al.*, 1996).
- Controlar la susceptibilidad del rodal al ataque de plagas y enfermedades (Whitehead *et al.*, 2001).
- Reducir la susceptibilidad de daño por el viento (Mitchell, 2000; Castedo *et al.*, 2009).
- Aumentar la diversidad del rodal (Powelson & Martin, 2001), entre otros.

Los DMD están basados en la ley del auto-raleo y en la definición de distintos niveles de densidad que permiten definir condiciones de crecimiento del rodal (Drew & Flewelling, 1979). Los DMD emplean relaciones funcionales empíricas que relacionan la densidad y el rendimiento, y reflejan el efecto acumulativo de varios procesos subyacentes de competencia en el proceso de crecimiento (Drew & Flewelling, 1979; Newton & Weetman, 1994).

Los índices de densidad relativa, que se expresan como distintos niveles de ocupación en relación con un rodal de igual diámetro medio cuadrático en la llamada línea de auto-raleo (Figura 5), en conjunto con la calidad del sitio, explican la dependencia temporal de estos procesos, y consecuentemente los DMD se pueden utilizar para predecir la trayectoria de la densidad de distintas opciones de manejo (Newton, 1997).

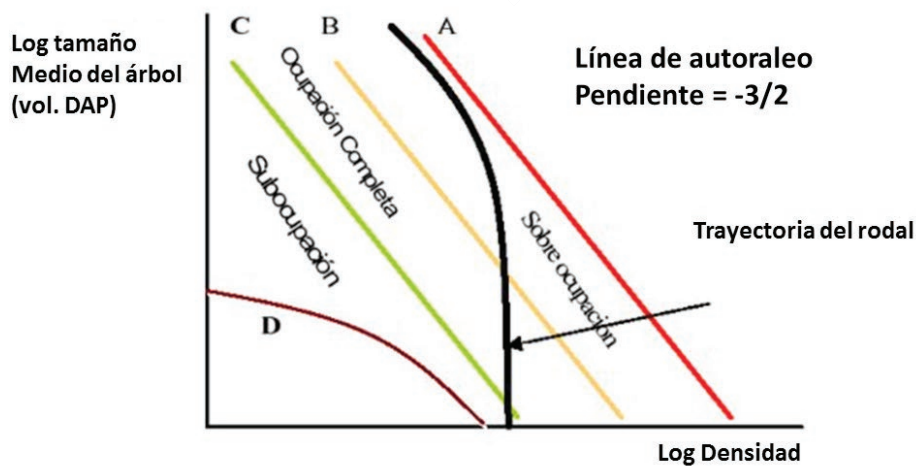


FIGURA 5. DIAGRAMA DE MANEJO DE LA DENSIDAD DEL RODAL APLICABLE PARA EL ESTUDIO DE LA COMPETENCIA EN PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS

Las zonas a las que hace referencia (la figura 5) representan: (A) zona sobre la línea de máxima relación tamaño-densidad, (B) zona bajo el límite inferior de inminente mortalidad por competencia, (C) zona que cumple la condición tamaño-densidad en la que se alcanza la máxima producción del rodal, (D) zona bajo la línea de cierre de copas. Para el objetivo de producción de biomasa, las plantaciones deben mantenerse en el límite inferior de la zona B.

LÍNEA DE CIERRE DE COPAS

Cuando los árboles crecen libres, desarrollan todo su potencial de crecimiento, al disponer de recursos sin limitación. Krajicek & Brinkman (1957) desarrollaron el siguiente concepto: si, dado un espacio ilimitado de crecimiento, los árboles de cierta especie y diámetro desarrollan copas de casi idéntico tamaño, ¿por qué entonces no utilizar la ocupación plena de esas copas como medida de densidad para los rodales? En ese mismo trabajo, Krajicek & Brinkman (1957) introducen el concepto de “factor de competencia de copas” (CCF) y lo definen como el porcentaje del espacio aéreo que ocupa un rodal cualquiera de una cierta especie y diámetro medio (DAP) en relación con un rodal teórico compuesto solo por árboles de la misma especie y diámetro medio que crecen libremente y que cubren por completo la misma área equivalente.

Las plantaciones de alta densidad si son evaluadas periódicamente en intervalos de 6 meses, recolectando la información necesaria para construir los DMD, se dispondría de una herramienta muy útil para evaluar los espaciamientos óptimos y para determinar el momento ideal para la cosecha de la biomasa cuando se alcance la máxima producción de biomasa (Figura 6).

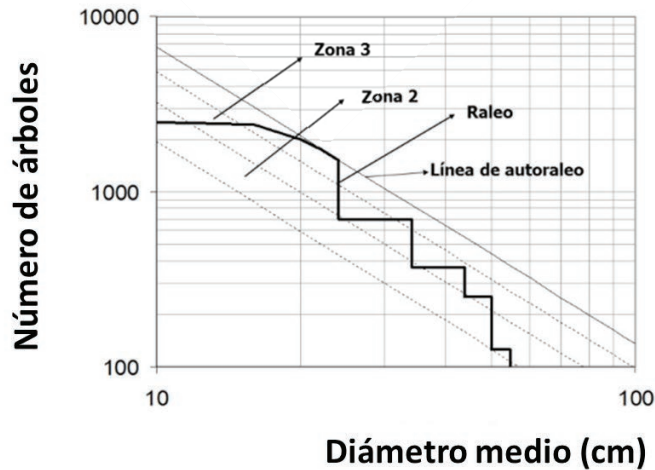


FIGURA 6. EJEMPLO DE UN DIAGRAMA DE MANEJO DE LA DENSIDAD CONSIDERANDO LAS ZONAS DE DENSIDAD Y LA MANERA DE REDUCIR EL ESTADO DE COMPETENCIA A TRAVÉS DE ACLAREOS O BIEN MEDIANTE LA DENSIDAD INICIAL O CONTROL DEL DIÁMETRO.

¿POR QUÉ EL USO DE ALTAS DENSIDADES?

El uso de las altas densidades está asociado a la forma de acumular biomasa en los tallos en el menor tiempo posible, haciendo del cultivo una concentración de biomasa que pueda aprovecharse al menor costo posible. El cierre del dosel en estas plantaciones disminuye los costos de control de malezas y la decisión de cuantos árboles plantar por hectárea permitirá el control de los diámetros de los tallos.

En definitiva las altas densidades es una condición para la producción de biomasa en corto tiempo como se puede observar en la Figura 7.



FIGURA 7. EFECTO DE LA ALTA DENSIDAD SOBRE EL CONTROL DE LAS MALEZAS Y EL DIÁMETRO DE LOS TALLOS

ESPACIAMIENTOS DE SIEMBRA

La elección del espaciamiento de siembra es una de las decisiones que se debe estudiar para cada especie según su comportamiento y arquitectura de sus copas.

Una vez seleccionado el sitio en el que va a realizarse la plantación, hay que responder a la pregunta, ¿qué densidad de plantación vamos a utilizar?, ¿con qué diseño? y ¿cuál será el turno de corta más conveniente? Esta decisión no es sencilla y requiere de experimentación en el campo. Por ejemplo pueden iniciarse ensayos experimentales bajo el diseño de bloques completos al azar que abarquen un rango de densidades desde 2,500 árboles, 5,000, 10,000 hasta 20,000 árboles por hectárea y evaluar los efectos en la producción de la biomasa y sostenibilidad del suelo.

En las plantaciones consideradas de alta densidad y corta rotación, las posibilidades de espaciamientos a utilizar son muy amplias. Es frecuente encontrar información relativa a aumentos de producción asociados a densidades mayores, y de hecho la experiencia ha ido en muchos casos en esta dirección.

Sin embargo, cada vez más, en un contexto de buscar la rentabilidad económica y la eficiencia energética y ambiental, surgen interrogantes como los siguientes:

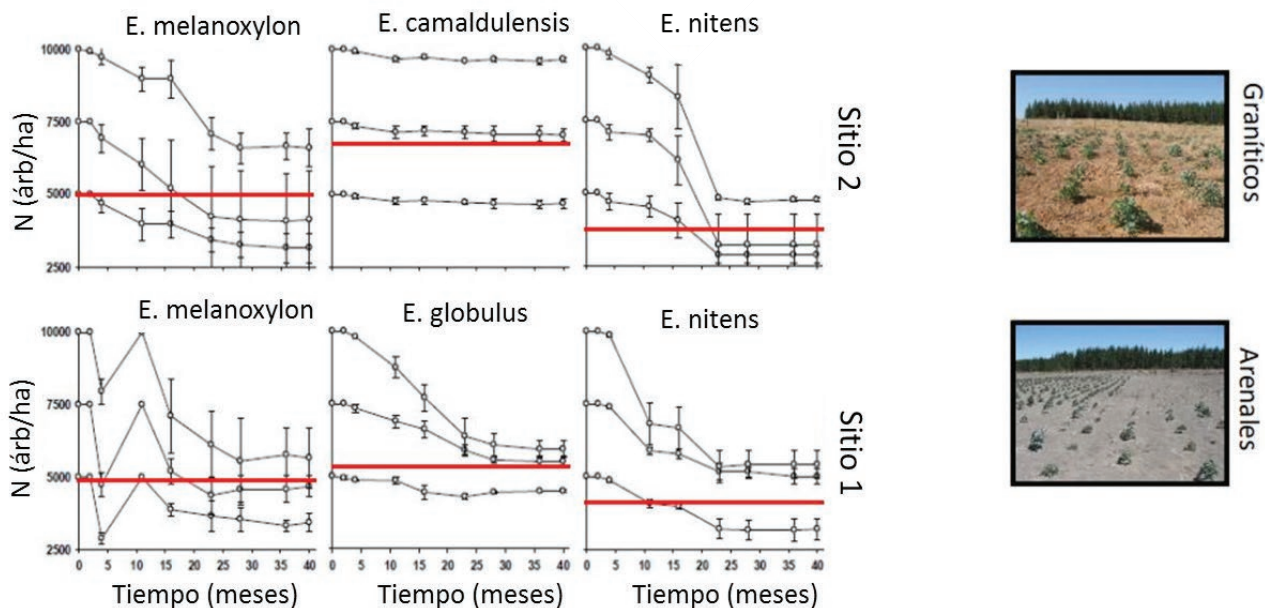
- ¿Compensan los aumentos posibles de producción el mayor costo del material vegetal, las labores de plantación y los posteriores cuidados culturales?
- ¿Se conoce bien qué prácticas culturales pueden verse incrementadas o disminuidas para la densidad elegida?
- ¿Se dificulta el manejo de la plantación en función de la densidad?
- ¿Es la calidad energética de la madera influenciada por la densidad a utilizar?
- ¿Cuáles son las limitaciones que en la actualidad impone la oferta y la demanda, el precio de la biomasa para decidir utilizar la maquinaria de corta existente y accesible en el mercado?

Muchas de estas cuestiones tienen fácil respuesta, otras sin embargo, necesitarán en el corto plazo de una valoración cuantitativa exhaustiva. En el momento presente, y hasta que la tarea experimental y el desarrollo de más experiencias sobre mecanización arrojen nuevos datos, se sugieren como densidades deseables entre 5,000 y 10,000 árboles/ha. Estas densidades se utilizan, por ejemplo, en Costa Rica y se consideran fuertemente ligadas a la capacidad operativa de la maquinaria de recolección existente. En la Figura 8 se muestra un ensayo de espaciamientos con *Gmelina arborea* en Costa Rica.



FIGURA 8. ENSAYO DE ESPACIAMIENTOS DE GMELINA ARBOREA EN DENSIDADES DE 5,000, 10,000 Y 20,000 ÁRBOLES POR HECTÁREA

Experiencias en Chile muestran otra manera para determinar el espaciamiento óptimo por especie según el concepto de capacidad de carga. La capacidad de carga o capacidad de sustentación de una plantación la podemos definir como “número promedio de árboles que pueden ser mantenidos en una unidad de superficie en forma productiva por un determinado período de tiempo, sin dar lugar a que el sistema deteriore”. En la Figura 9 se ilustra el manejo de la capacidad de carga para diferentes especies de potencial dendroenergético en dos sitios diferentes en Chile.



Sandoval et al. 2013

FIGURA 9. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA (LÍNEA ROJA) PARA DIFERENTES ESPECIES PLANTADAS DESDE 2,500 HASTA 10,000 ÁRBOLES/HA EN DOS CONDICIONES DE SITIO DIFERENTES.

SISTEMA DE SIEMBRA

SIEMBRA MANUAL Y TIPO DE MATERIAL SEGÚN LA PRODUCCIÓN EN VIVERO

En la mayoría de los países europeos son preferibles las especies que se reproducen por estaquillas (tales como *Salix sp* y *Populus sp*) por la facilidad de la reproducción y la posibilidad de emplear la siembra mecánica. No obstante, en nuestros países se acostumbra todavía el sistema tradicional de siembra manual, en muchos casos utilizando el sistema de la bolsa de polietileno. Hoy en día hay múltiples posibilidades para el empleo de nuevos sistemas de producción en el vivero, para ello es indispensable buscar sistemas de producción eficientes y de bajo costo. El empleo del jiffy (pastillas de turba prensada, que se hinchan al contacto con el agua) y la utilización de estaquillas enraizadas (clones) es una posibilidad real muy utilizada en Costa Rica para disponer de material para las siembras de alta densidad (Figura 10).



FIGURA 10. ÁRBOLES EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN JIFFY. CUALQUIER ESPECIE POR SEMILLA O ESTAQUILLA SE ADAPTA A ESTE SISTEMA DE REPRODUCCIÓN.

DISEÑOS DE SIEMBRA

El espaciamiento de una plantación puede también expresarse en diferentes distribuciones espaciales o diseños de siembra. Estas distribuciones pueden ser regulares o irregulares. Las distribuciones regulares son aquellas en donde todas las filas e hileras están a la misma distancia. Sus principales ejemplos son el diseño cuadrado y el diseño a tresbolillo (pata de gallo). Por otra parte, en las distribuciones irregulares al menos una distancia (hileras) es diferente a la de las filas.

A continuación se describen algunos de los diseños más utilizados

TRADICIONAL (CUADRANGULARES)

El diseño de siembra cuadrado es uno de los diseños más utilizados, donde el distanciamiento tiene una distribución cuadrada, con 4 plantas configurando un cuadrado de lado "a" que se repite en toda la superficie de la plantación.

El trazado en cuadro consiste en colocar cada planta en el vértice de un cuadrado, cuya longitud de lado es igual a la de la distancia determinada para la siembra.

La densidad de plantación se determina mediante la siguiente fórmula:

Fórmula de cálculo de la densidad de plantación:

Densidad de plantación por ha = $10,000 / (a \times a)$

Detalle de fórmula:

a = Distancia entre línea de plantas.

DISEÑO DE SIEMBRA EN CALLES

Posiblemente sea la más usada hoy en día, ya que hace compatible una alta densidad de plantación y la mecanización de las labores. Sigue un patrón similar al cultivo de la caña. En esta disposición cada 4 plantas configuran un rectángulo de lados "a" y "b".

La densidad de plantación se calcula así:

Fórmula cálculo de densidad de plantación:

Densidad de plantación por ha = $10,000 / (a \times b)$

Fórmula de cálculo de la densidad de plantación:

a = Distancia entre línea de plantas.

b = Distancia entre calles de plantas.

DISEÑO DE SIEMBRA AL TRESBOLILLO

En esta disposición cada 3 plantas conforman un triángulo equilátero de lado "s". Presentan una mayor uniformidad que la disposición en un arreglo cuadrangular, ya que para una misma separación de las plantas la densidad de plantación es mayor. Se prefiere este arreglo porque se pueden colocar más árboles por unidad de área.

Fórmula cálculo de densidad de plantación:

$$\text{Densidad de plantación} = 10,000 / (0.866 \times S \times S)$$

Fórmula de cálculo de la densidad de plantación:

S = Distancia entre plantas.

La Figura 11 ilustra los diseños más empleados en la silvicultura tradicional de plantaciones comerciales en Centroamérica

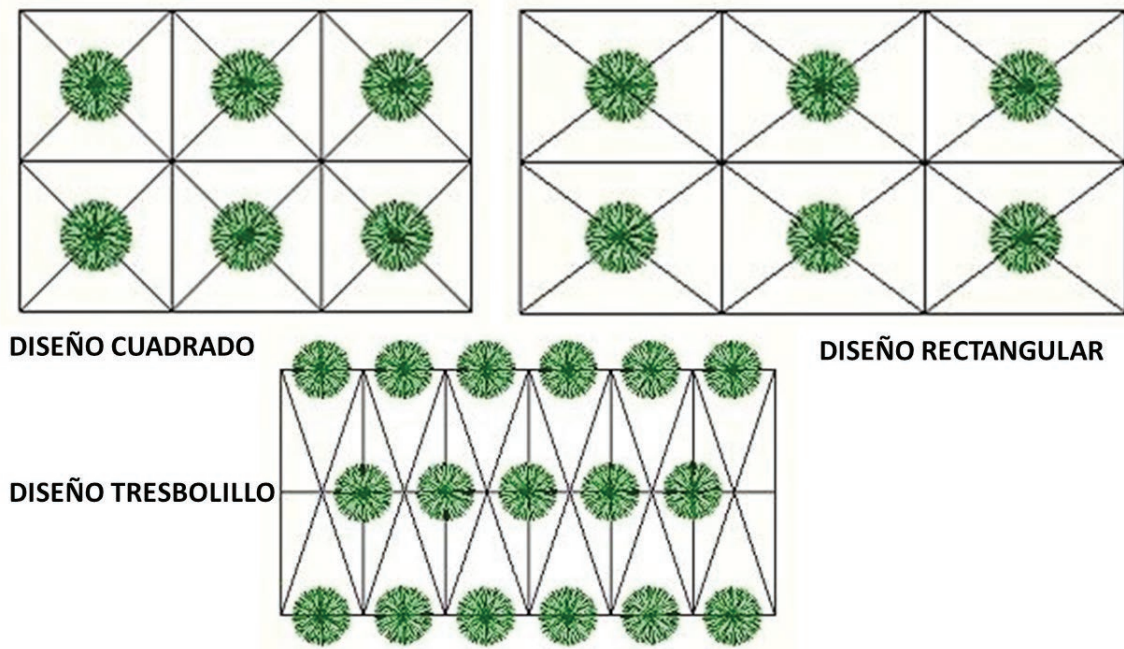


FIGURA 11. DETALLE DE LOS ARREGLOS DE SIEMBRA MÁS UTILIZADO EN PLANTACIONES FORESTALES EN CENTROAMÉRICA.

DISEÑOS AJUSTADOS PARA COSECHA MECANIZADA

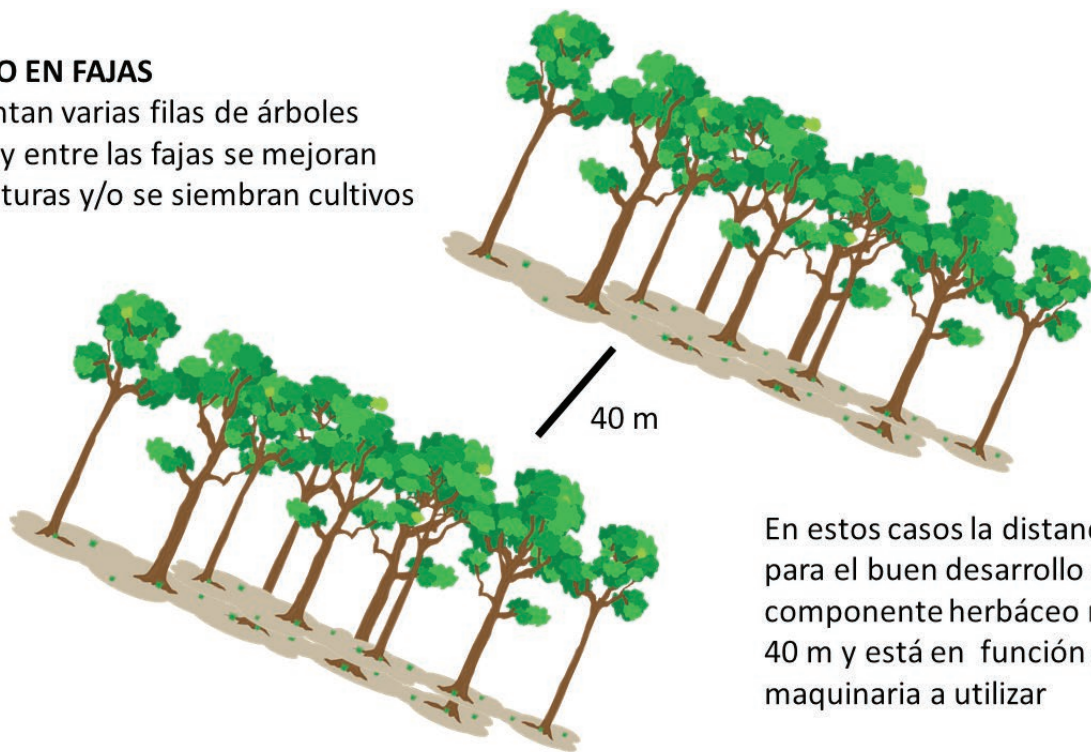
La mejor posibilidad en cuanto al diseño de una plantación dendroenergética es la utilización de un arreglo en filas, existiendo dos posibilidades:

- Disposición en Filas Simples, modelo al que se atribuye una mayor facilidad de manejo en las tareas del cultivo.
- Disposición en Filas Dobles, considerado mejor para la tarea de la recolección.

El uso de estos diseños aplica tanto para plantaciones puras como para sistemas silvopastoriles. En la Figura 12 se ilustra un sistema silvopastoril que puede combinar pasturas con árboles y dentro del componente arbóreo se podrían manejar muchos individuos a alta densidad para biomasa y forrajes y dejar unos cuantos árboles por hectárea que serán conservados para la producción de madera de alto valor agregado; este modelo asegura alta rentabilidad a los productores.

DISEÑO EN FAJAS

Se plantan varias filas de árboles juntas y entre las fajas se mejoran las pasturas y/o se siembran cultivos

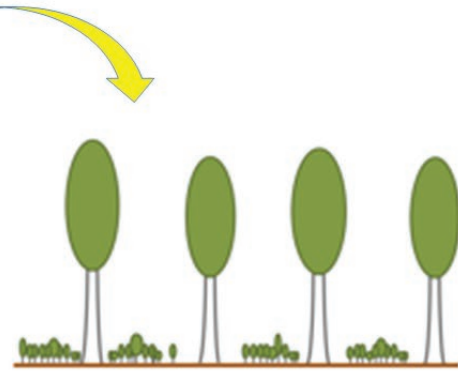


En estos casos la distancia ideal para el buen desarrollo del componente herbáceo ronda los 40 m y está en función de la maquinaria a utilizar

FIGURA 12. SISTEMA DE PLANTACIONES DE ÁRBOLES EN HILERAS EN COMBINACIÓN CON PASTURAS DONDE SE PUEDE PRODUCIR MADERA, BIOMASA Y FORRAJES SIMULTÁNEAMENTE.

La longitud de las filas no debe ser inferior a 100-150m, lo que optimiza el uso de la maquinaria al reducir el número de maniobras a realizar. Longitudes superiores no son aconsejables si la corta va acompañada de un astillado simultáneo de la biomasa, ya que puede completarse el remolque antes de finalizar la corta de la fila, lo que puede volver lenta la operación.

La Figura 13 ilustra un sistema de aprovechamiento de madera y de biomasa basado en la regeneración natural a partir de los árboles seleccionados para la producción de madera y que también funcionan como árboles semilleros. Un sistema similar es el que se recomienda en los trópicos para manejar dentro de los bloques de plantaciones dendroenergéticas, una cantidad de hasta 100 árboles por hectárea, de la misma especie o de especies valiosas, distribuidos de tal manera que no se corten ni resulten dañados durante las cortas sucesivas del resto de árboles que son la materia prima para la biomasa de ciclo corto, a este sistema se le puede denominar "Plantaciones de alta densidad con dosel maderable superior (PADDS)". Esta alternativa es especialmente recomendable para los pequeños reforestadores que buscan producir biomasa en ciclos cortos y necesitan rentabilidad en sus proyectos a través de producción de madera. Este diseño sugerido por los autores abre toda una línea de investigación nueva.



Se inicia con una plantación de alta densidad

Se deja una cantidad de árboles para producir madera y se manejan los rebrotes para biomasa

FIGURA 13. ILUSTRACIÓN DE UNA PLANTACIÓN DE ALTA DENSIDAD CON UN DOSEL MADERABLE SUPERIOR (PADDS).



*Cuán terrible es lo
que los científicos
guardan en sus
portafolios.*

Nikita Jrushchov (1894-1971)

CICLOS DE COSECHA

La elección del turno de corta va ligada a la densidad inicial y viceversa. En general, las densidades muy elevadas implican turnos más cortos, pues la competencia por agua, luz y nutrientes se produce antes y el turno más corto evita mortalidad natural ligada a la competencia por los recursos (ley del autoraleo). Los turnos frecuentemente utilizados en la actualidad en plantaciones de biomasa con fines energéticos se encuentran en un rango entre uno y cinco años. Puesto que el objetivo principal de estas plantaciones es producir la mayor cantidad posible de biomasa, en general, el turno elegido será aquel con el que se maximiza el crecimiento medio a lo largo de la vida de la plantación. No obstante, para la estimación del turno hay que tener en cuenta el ciclo de vida del cultivo, en el que se realiza, entre otros, una valoración económica de cada uno de los componentes del mismo.

El tamaño medio de los árboles al final del turno interviene en la determinación del momento óptimo de la corta. La extracción de la biomasa debe realizarse de manera manual o mecanizada y con un elevado rendimiento de extracción para conseguir una mayor rentabilidad. Hasta el momento, las máquinas utilizadas para cosechar los cultivos energéticos leñosos son adaptaciones realizadas a partir de maquinaria agrícola, por lo que frecuentemente presentan limitaciones en cuanto al diámetro de corta (15cm como máximo), condicionando también este factor la elección del turno.

En la Figura 14 se muestra el detalle del uso de siembra en doble hilera, planificando el paso de la maquinaria para el momento de la cosecha.

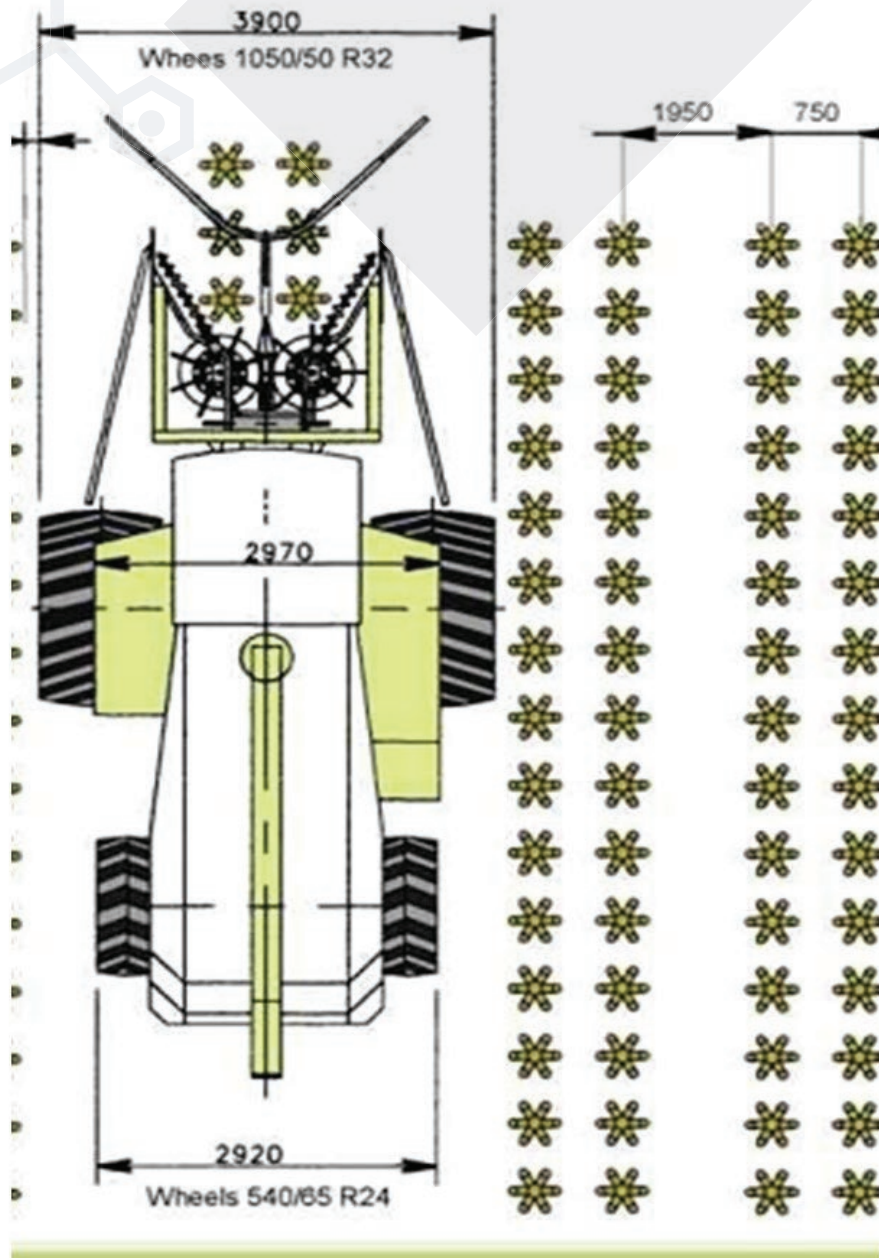


FIGURA 14. ARREGLO DE SIEMBRA COMPATIBLE CON EL USO DE MAQUINARIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA.

ASPECTOS DE MANEJO

PREPARACIÓN DEL SITIO

Una adecuada preparación del sitio es una parte determinante para el buen desarrollo de una plantación. Las actividades más importantes que se incluyen son la eliminación de vegetación que pueda causar competencia con el cultivo y el aflojamiento del suelo mediante técnicas de mecanización. También incluye la eliminación de todo tipo de obstáculos en caso que en el futuro se decida una cosecha mecanizada. El trazado de caminos, la protección del área de bosque y el manejo de cauces de agua, quebradas y ríos forman parte de estas tareas (Figura 15).



FIGURA 15. ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA PREPARACIÓN INICIAL DEL SITIO PARA UNA NUEVA PLANTACIÓN DENDROENERGÉTICA (LIMPIEZA DEL SITIO, OBSTÁCULOS, RED DE CAMINOS Y PROTECCIÓN DE ÁREAS DE BOSQUE Y CAUCES DE RÍOS).

ELIMINACIÓN DE LA VEGETACIÓN

Se deben eliminar cualquier tipo de arbustos, malezas, rastrojos, entre otros obstáculos que puedan interferir con el crecimiento inicial de la plantación y su eventual cosecha mecánica. Estas prácticas se pueden hacer de forma manual o mecánica. La forma manual consiste en la eliminación de la vegetación con la ayuda de herramientas tales como cuchillos, palas o cualquier otro instrumento manual. Este tipo de actividad para áreas grandes puede demandar mucha mano de obra y puede resultar en alto costo.

Si se realiza de forma mecánica, el tractor de oruga es la maquinaria más utilizada y muy disponible en el área centroamericana por su versatilidad en la construcción y mantenimiento de caminos (Figura 16).



FIGURA 16. TRACTOR DE ORUGA REALIZANDO ACTIVIDADES DE ELIMINACIÓN DE MALEZA Y LIMPIEZA DEL TERRENO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS

TÉCNICAS DE MECANIZACIÓN

Siendo que la intención de las plantaciones dendroenergéticas es no competir en terrenos agrícolas, hay por lo tanto muy pocos sitios para el desarrollo de plantaciones dendroenergéticas donde el suelo no requiera un tratamiento para descompactarlo, antes de proceder con las actividades de establecimiento. Al ser estas plantaciones un cultivo donde se requiere obtener la mayor cantidad de biomasa en el menor tiempo posible y adicionalmente se requieren varios ciclos de cosecha en el mismo sitio, entonces se deben realizar actividades de labranza que preparen el suelo para el establecimiento del cultivo. Estas actividades se dividen en procedimientos de pre-labranza, labranza primaria y labranza secundaria.

PRE-LABRANZA

Las actividades de pre-labranza se hacen antes de empezar la preparación del suelo. Normalmente se inicia con una limpia o chapia general, eliminando toda la vegetación arbustiva, residuos de árboles caídos, troncos y árboles sin valor comercial o para la fauna. Otras labores consisten en la nivelación del terreno y la eliminación de obstáculos. Dependiendo del tipo de vegetación y de la topografía del terreno, la limpia inicial puede hacerse manual, mecánica o combinada.

LABRANZA PRIMARIA

La labranza primaria consiste en el rompimiento de las capas superficiales del suelo. Este rompimiento permite mejorar la aireación, así como aumentar la porosidad y la capacidad de infiltrar el agua. Entre los principales implementos utilizados en esta fase se encuentran las rastras y los palines mecánicos

LABRANZA SECUNDARIA

Esta fase consiste en afinar (desmenuzar) el terreno y prepararlo para el establecimiento de la plantación. Se busca nivelar el terreno para evacuar aguas superficiales y eliminar posibles encharcamientos. Los implementos más utilizados son las rastras afinadoras, rotadoras (rotavator) y en los encamadores (Figura 17).



FIGURA 17. IMPLEMENTOS UTILIZADOS PARA LA LABRANZA SECUNDARIA. A LA IZQUIERDA EL ROTAVATOR Y A LA DERECHA EL EMCAMADOR.

En Costa Rica se ha hecho uso de un aditamento para un tractor agrícola que hace la operación de subsolado y al mismo tiempo confecciona los llamados “camellones” o también “lomillos”, sobre los cuales se siembran los árboles. Resulta un procedimiento muy práctico y efectivo para la preparación del suelo (Figura 18).



FIGURA 18. USO DEL IMPLEMENTO PARA EL LOMILLADO DURANTE EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS Y COMERCIALES.

CONTROL DE ARVENSES

Las arvenses son todas aquellas plantas que crecen en forma silvestre en campos cultivados o ambientes antropogénicos. Su presencia puede tener efectos negativos o no sobre el cultivo. El control de arvenses es una actividad de importancia para el buen desarrollo de una plantación, desde la siembra del árbol hasta el cierre de las copas. La presencia de malezas puede causar retrasos en crecimiento hasta la pérdida total de las plantas. Existen distintos métodos de control de malezas, manual, mecánico, químico, entre otros; sin embargo, el control químico ha sido exitoso en el establecimiento y manejo de plantaciones dendroenergéticas en el trópico; no obstante, requiere un compromiso ambiental y de seguridad laboral para los trabajadores.

La aplicación de controles químicos se puede realizar en cuatro distintos niveles y dependerá de la capacidad económica de cada productor. Estos cuatro niveles se dividen en el control antes de la siembra, el control a nivel de rodaja, a nivel de banda o finalmente una aplicación en toda el área de plantación.

El éxito de un programa de control de malezas depende de una serie de tareas que demandan la adecuada coordinación de distintas entidades dentro de la organización de la empresa. Para una correcta aplicación de herbicidas se deben seguir los siguientes pasos (Figura 19):



FIGURA 19. PROTOCOLO PARA LA APLICACIÓN DE HERBICIDAS EN PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS.

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El primer paso consiste en realizar un inventario de malezas para determinar que especies hay en el sitio de plantación (gramíneas u hoja ancha), ¿qué altura? y ¿qué grado fenológico (vegetativo, floración) poseen? Es importante mencionar que las gramíneas son más dañinas para la plantación que las especies de hoja ancha.

HERBICIDAS Y DOSIS

Los herbicidas pueden clasificarse de acuerdo a su modo de acción o de acuerdo al momento de aplicación. Existen herbicidas post-emergentes y pre-emergentes, con diferentes modos de acción para el control de malezas. Los pre-emergentes requieren de un riego o precipitación para situarse en los primeros 5cm de profundidad del suelo, donde germina la mayoría de las semillas de maleza. Los productos post-emergentes se aplican cuando la plantación ya está establecida y la maleza tiene cierta altura, normalmente se utilizan métodos manuales con bomba de espalda para garantizar un círculo libre de malezas alrededor del árbol (Figura 20). También dependiendo del diseño de siembra se puede prever un control mecanizado con ayuda de tractor agrícola (Figura 21).



FIGURA 20. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE UN HERBICIDA POST EMERGENTE A NIVEL DE RODAJA



FIGURA 21. USO DE TRACTOR AGRÍCOLA PARA APLICACIONES DE HERBICIDA CUANDO LAS CONDICIONES DEL TERRENO LO PERMITEN.

RECOMENDACIÓN PARA EL TRAZADO Y MARCACIÓN

El trazado de la plantación debe considerar diferentes posibilidades que se ilustran en la Figura 22. Las plantaciones dendroenergéticas no solamente se manejan en bloques puros, sino que también consideran la combinación con cultivos agrícolas, las zonas de protección y los sistemas agroforestales y silvopastoriles. De esta manera el cultivo de árboles para energía puede combinarse con la diversificación productiva de una región.

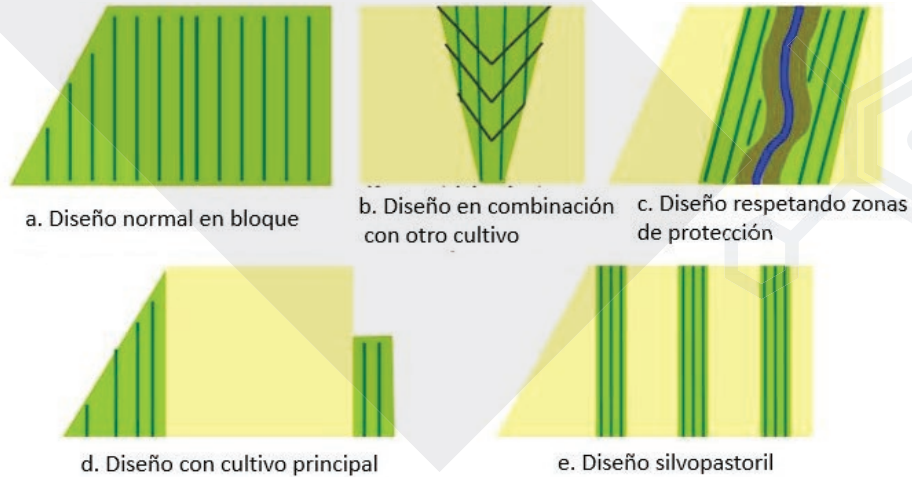


FIGURA 22. DISEÑOS DE PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS Y SUS POSIBILIDADES DE COMBINACIONES CON OTROS CULTIVOS O EN SISTEMAS GANADEROS (E).

En aquellos casos donde no se disponga de información sobre los mejores espaciamentos de siembra para una especie en particular, siempre serán válidos los ensayos Nelder que aportan múltiple información para la toma de decisiones (Figura 23). La rueda de Nelder (y otros diseños llamados clinales similares con alineamiento en forma de abanico común, abanico rectangular y diseño cuadrangular) es un método eficiente y económico de estudiar una amplia gama de espaciamentos en una superficie pequeña. El bloque en forma de rueda se coloca con un ángulo selecto fijo entre los radios. La distancia entre los árboles de un radio aumenta con la distancia del centro. La progresión lógica más común mantiene la distancia entre los árboles en un radio igual a la distancia entre los radios a esa distancia específica del centro, pero se pueden usar otras proporciones de rectangularidad si se desea.

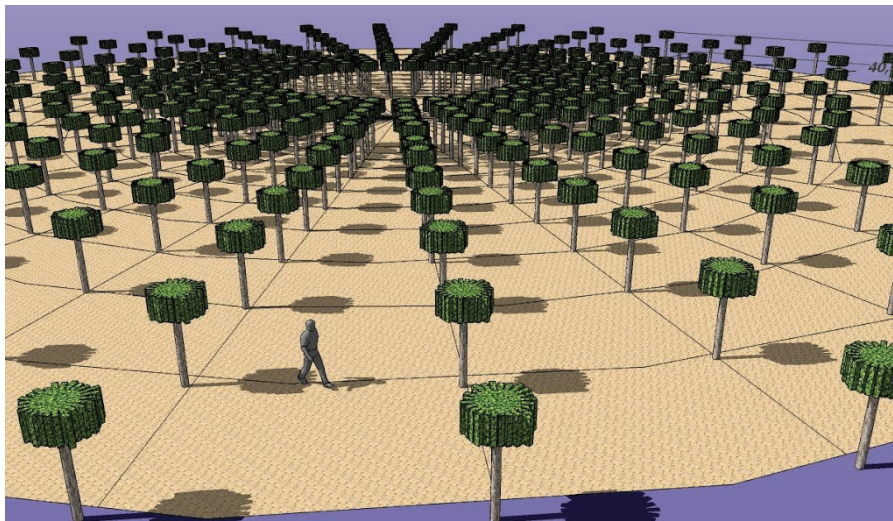


FIGURA 23. DETALLE DEL PRINCIPIO DE UN ARREGLO DE ANILLOS NELDER PARA EL ESTUDIO DE ESPACIAMENTOS EN ÁREAS MUY REDUCIDAS.

IMPORTANCIA DEL MATERIAL GENÉTICO

Después del estudio y la selección de los sitios para los proyectos dendroenergéticos, el paso siguiente es la escogencia de las especies y la obtención de germoplasma apropiado a nivel de las mejores procedencias y si se dispone también de los mejores clones altamente productores de biomasa. El enfoque, la estrategia y los métodos utilizados dependerán de los conocimientos del hábitat natural de las especies potenciales y de los ensayos existentes. Pero es siempre una necesidad el establecimiento de ensayos específicos a nivel de campo que confirmen la elección de especies y procedencias (Figura 24).



FIGURA 24. MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LAS ESPECIES DE EUCALIPTO, QUE A SU VEZ TIENEN ALTO POTENCIAL PARA PRODUCCIÓN DE BIOMASA.

Cuando no se dispone de material genético adecuado de una especie con alto potencial dendroenergético, el proceso de la mejora genética comienza con la selección de especies y procedencias, a través de la selección de individuos, hasta llegar al establecimiento de áreas de producción de semillas, huertos semilleros, selección y desarrollo de clones superiores y diversos niveles de polinización controlada y producción de híbridos. La etapa más avanzada puede incorporar técnicas de ingeniería genética.

Por ejemplo, el género *Populus* sp presenta alrededor de una treintena de especies adaptadas a una gran diversidad de condiciones edafoclimáticas, lo que revela una amplia plasticidad genética. La habilidad del género *Populus* para producir híbridos intra e interespecies, tanto en forma espontánea como controlada, posibilita la creación de un gran número de subespecies e híbridos simples y complejos que se están usando en varias partes del mundo.

La secuencia de mejoramiento puede resumirse tal como se presenta en el Cuadro 1. La Figura 25 ilustra el proceso de multiplicación de plantas con el uso de técnicas biotecnológicas.

CUADRO 1. DIFERENTES MÉTODOS UTILIZADOS EN LA MEJORA GENÉTICA APLICABLES A LOS CULTIVOS DENDROENERGÉTICOS

Selección de especies	
Selección de procedencias	
Selección de árboles plus	Establecimiento de rodales semilleros
	Ensayo de clones
Huertos semilleros, jardines clonales y polinización controlada	
Técnicas avanzadas de mejora genética	
Ingeniería genética	

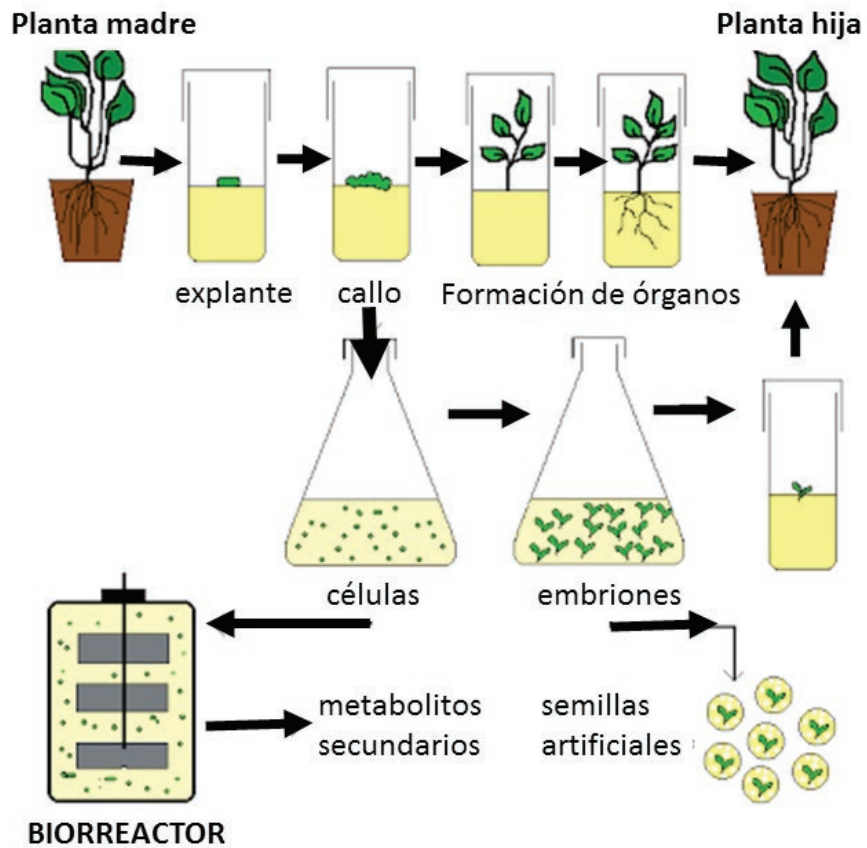


FIGURA 25. OBTENCIÓN DE PLANTAS Y SUBPRODUCTOS POR MULTIPLICACIÓN MASIVA MEDIANTE USO DE LA BIOTECNOLOGÍA.

FERTILIZACIÓN

La fertilización es una actividad de manejo que se realiza por lo general al momento del establecimiento de la plantación; sin embargo, los árboles van requiriendo nutrientes durante el ciclo de vida y aparecen las deficiencias nutricionales que para cada especie deben ser estudiadas. Conociendo las deficiencias y su interpretación a nivel de hoja, se puede optimizar el programa de fertilización (Figura 26). Entre los beneficios de la fertilización se encuentran:

- Suplir deficiencias nutricionales de los árboles
- Mantener o mejorar la fertilidad del suelo
- Asegurar que el árbol tenga las mejores condiciones de nutrición para estimular el desarrollo radical y un crecimiento inicial que supere pronto la etapa de competencia de las malezas
- Incrementar la producción de biomasa y consecuentemente mejorar la rentabilidad del proyecto
- En caso de segundos o terceros ciclos, restituyen los nutrimentos extraídos por las actividades de aprovechamiento

Para que la fertilización sea viable, debe realizarse a bajo costo, el fertilizante debe ser de lenta solubilidad y estar disponible varios años en el suelo y proveer el mayor número de nutrimentos, como es la roca fosfórica. En todo caso la decisión de la formulación y de la dosis estará respaldada por el análisis de suelos. El abonado y el encalado puede incrementar el crecimiento, bajo ciertas condiciones pero en general es recomendable una dosis de fertilizante para el inicio del crecimiento después de la siembra. Si el sitio tiene problemas de insectos comedores de raíces, se recomienda la aplicación de plaguicida más recomendado también al fondo del hoyo (Figura 27). Tomar en cuenta que algunas especies requieren de micorrizas, las cuales deben inocularse desde el vivero.

SINTOMAS DE DEFICIENCIAS

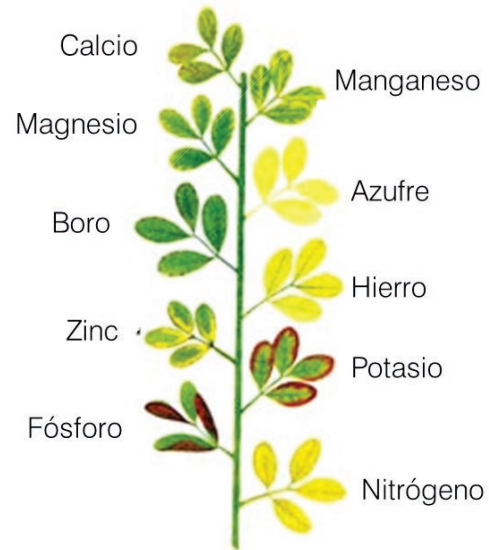


FIGURA 26. SINTOMAS DE DEFICIENCIAS

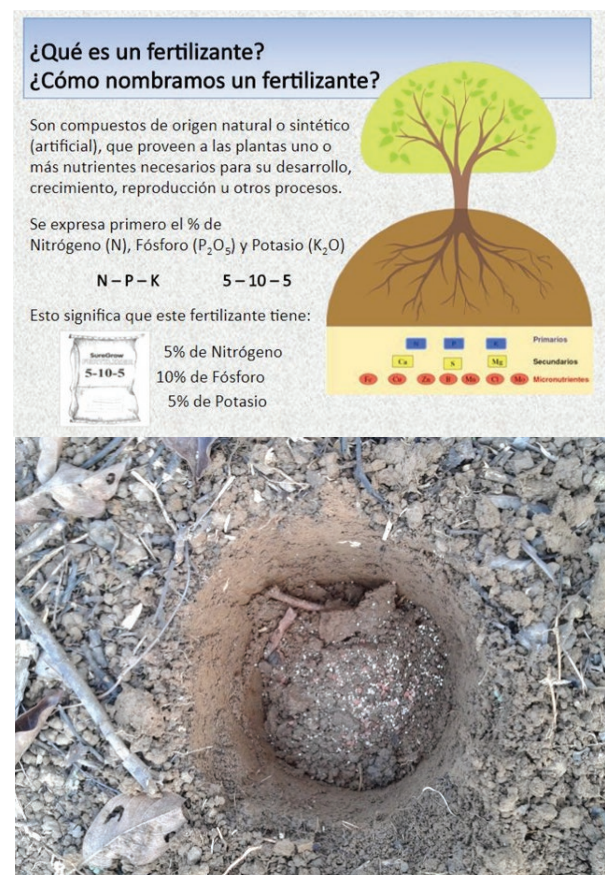


FIGURA 27. DEFINICIÓN DE FERTILIZACIÓN Y APLICACIÓN DE FERTILIZANTE Y PRODUCTOS CONTRA LOS INSECTOS DEVORADORES DE RAÍCES AL MOMENTO DE LA SIEMBRA

ASPECTOS SOBRE EL MANTENIMIENTO INICIAL

El manteniendo inicial consistirá en todas aquellas actividades para mantener al árbol libre de la competencia de las malezas y garantizar que los árboles lleguen hasta el punto de cierre de las copas. En la Figura 28, se muestra una condición ideal de establecimiento de una plantación dendroenergética establecida en Costa Rica en donde los árboles tienen todas las condiciones para crecer óptimamente.



FIGURA 28. ESTABLECIMIENTO INICIAL DE UNA PLANTACIÓN DENDROENERGETICA DE GMELINA ARBOREA CON TODO EL PAQUETE TECNOLÓGICO (MECANIZACIÓN DEL TERRENO + USO DE CLONES + USO DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN).

Una práctica que no es común en plantaciones forestales en Centroamérica es el uso del riego donde las experiencias son mínimas y casi nulas si hablamos del fertiriego. No obstante, las condiciones climáticas y su variabilidad hacen necesario investigar sobre las mejores prácticas para el uso racional del agua. En sector agrícola y específicamente en el cultivo de la caña de azúcar se cuenta con las mejores experiencias. Existen además otras experiencias en diferentes partes del mundo sobre el uso de riego para plantaciones dendroenergéticas (Figura 29).



FIGURA 29. USO DE DIFERENTES SISTEMAS DE RIEGO PARA OPTIMIZAR LA PRODUCTIVIDAD DE LAS PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS

CIERRE DEL DOSEL

El cierre del dosel es una etapa clave en las plantaciones dendroenergéticas. Marca el punto de inicio de extrema competencia por recursos y la eliminación por completo de las malezas, es también el punto clave de suministro de materia orgánica en la hojarasca y ramas que van muriendo. También es el cambio de los requerimientos nutricionales de los árboles, por lo tanto requiere del monitoreo de los nutrientes a nivel de las hojas.

Por lo tanto el elemento clave es el control total de malezas hasta el cierre de copas más la fertilización inicial y otra fertilización al cierre de copas.






CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

A pesar de que el ataque de plagas y enfermedades en plantaciones dendroenergéticas puede presentarse en cualquier etapa del ciclo de producción, existen una serie de medidas que facilitan la prevención de las mismas


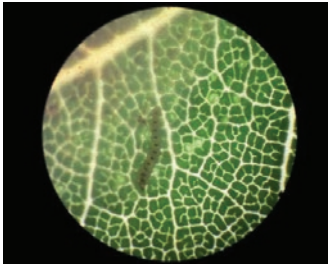



- Plantar únicamente material de alta calidad
- Selección adecuada de la especie a plantar
- Realizar inspecciones periódicas para detectar posibles problemas
- Tener un registro de las principales plagas y enfermedades que afectan a la especie seleccionada
- Tener información sobre posibles métodos de control

Naturalmente el diagnóstico debe realizarse por un especialista y llevar el registro documentado de las incidencias. A manera de ejemplo se muestran los primeros reportes de plagas y enfermedades realizados en plantaciones dendroenergéticas en Costa Rica para las especies madero negro, melina y eucalipto.

CUADRO 2. REPORTE DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS EN COSTA RICA.

Especie	Fecha	Tipo de daño	Agente causal	Val. ¹
Eucalipto	Set 2015	Mancha/follaje	<i>Cylindrocladium</i> sp.	E
Se caracteriza porque presenta dos tipos de manchas: pequeñas áreas necróticas redondeadas dispersas en la lámina foliar y áreas necróticas más extensivas desde el borde de la lámina foliar. Ambas son pardo claro.				
Especie	Fecha	Tipo de daño	Agente causal	Val.
Melina	Set 2015	Mancha/follaje	<i>Cercosporangita</i> (mancha angular de la melina)	E
Las lesiones son irregularmente circulares, distribuidas al azar, de color pardo oscuro. Conforme se desarrollan, se forma un área central de color gris claro, y apenas es perceptible un pequeño halo clorótico. En lesiones adyacentes puede ocurrir coalescencia y formarse lesiones de mayor tamaño. Una lesión individual puede medir hasta 1 cm de diámetro. Los síntomas son bastante característicos y predominan en hojas maduras. Hasta el presente no se reportan defoliaciones importantes.				
Especie	Fecha	Tipo de daño	Agente causal	Val.
Melina	Set 2015	Masticador externo/follaje	(Geometridae/Lep.)	R
Comeduras en perforaciones grandes de la lámina foliar. Larva lisa pardo claro.				
Especie	Fecha	Tipo de daño	Agente causal	Val.
Madero	Set 2015	Necrosis de follaje (Mildiu polvoso)	<i>Oidium</i> sp.	GL
Necrosis pardo difusa de la lámina foliar (mayormente visible por el envés de las láminas foliares, que puede llegar a secar la hoja y producir defoliaciones. Se caracteriza por la presencia de crecimientos miceliales blanquecinos sobre la lámina foliar afectada del hongo.				
				

¹Valoración del problema: E: esporádico. GL: generalizado-leve. GS: generalizado severo. R: registrado al menos una vez.

Especie	Fecha	Tipo de daño	Agente causal	Val.
Madero	17 set. 15	Minador extensivo/follaje	Sp. no id. (Lep.)	R
<p>La larva se alimenta del parénquima del foliolo por debajo de la cutícula superior. El área minada es de aproximadamente 1 cm².</p>				
Especie	Fecha	Tipo de daño	Agente causal	Val.
Madero	17 set. 15	Mancha/follaje		R
<p>Pequeñas manchas de hasta 3 mm de diámetro pardo claro con borde pardo oscuro. Pueden haber hasta 8 en el foliolo.</p>				
Especie	Fecha	Tipo de daño	Agente causal	Val.
Madero	17 set. 15	Chupador de tejidos tiernos	Aphididae, Hom.	E
<p>Congregaciones de individuos en todos los estados en las partes tiernas de las plantas, lo que puede producir leves clorosis y epinastías. Los áfidos con color negro. Se observaron larvas y adultos de crisomélidos dentro de las congregaciones, los cuales son depredadores de esta plaga.</p>				

COSECHA DE LAS PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS

TIEMPO PARA EL APROVECHAMIENTO

La determinación del momento de la corta de los árboles en una depende de una serie de factores intrínsecos y extrínsecos en relación con la masa. Unos se basan en la capacidad productiva de la plantación, como resultado de las condiciones físicas, biológicas, silvícolas, entre otros. Otros se derivan de las contingencias de los diversos mercados de productos, de los factores de producción, de los capitales, etc. Depende también de la densidad inicial de plantación, las características del sitio y material vegetal utilizado.

Un tema clásico y específico de las ciencias forestales, consiste en determinar el momento óptimo de corta de una masa forestal plantada. El momento óptimo de la cosecha de una plantación se lo conoce con el nombre de "turno forestal óptimo". La importancia económica y la complejidad técnica que conlleva la determinación del turno forestal óptimo hacen necesario que el tema se aborde en forma detenida.

De esta manera, si se considera solamente el valor económico de la plantación, la rotación puede modificarse, según se apunte a la cantidad o a la calidad de los productos. Para la mayoría de las empresas, el objetivo de la política de manejo forestal es maximizar el valor económico del recurso forestal, en términos de la producción de productos (en este caso biomasa).

El primer paso para determinar el turno que maximice la renta de una empresa forestal es estimar todos los costos e ingresos que se generan. Normalmente, el valor de la madera se expresa por su rentabilidad efectiva, es decir, por el valor de la biomasa para algún uso al que será destinada en un centro de distribución o de procesamiento, descontados los costos de producción, almacenamiento y transporte. Este será el precio máximo que un consumidor, en condiciones normales de mercado, estará dispuesto a pagar por el producto. En una masa forestal intervienen otros dos costos que se pueden agrupar bajo el concepto de costo de oportunidad: el costo del capital y el costo de la tierra. Es así como algunos de los factores de la producción forestal, tales como la tierra y el capital en forma de árboles, deben valorar sus costos en función del uso que se les dé.

LA CORTA DE LOS ÁRBOLES

Las operaciones de corta normalmente se realizan durante el periodo de receso vegetativo, en algunas regiones será en la estación de menos lluvias, después de la caída de las hojas y antes de que las nuevas yemas empiecen a brotar, y deben efectuarse en un momento en el que el suelo sea capaz de soportar el paso de la maquinaria sin que se produzca una compactación excesiva del mismo.

La altura del tocón no afecta el número, ni el vigor de los rebrotes; sin embargo, afecta el rendimiento de la plantación. Es importante asegurar la futura viabilidad del tocón, realizando el corte a una altura que en ningún caso debe exceder los 10cm sobre al suelo (Figura 30), siendo incluso recomendable alturas de corte inferiores, con el fin de procurar que con los sucesivos ciclos de cultivo el tocón no dificulte las tareas de corta sucesivas.



FIGURA 30. CORTA DEL TOCÓN PARA UNA ADECUADA BROTAÇÃO EN LA ESPECIE GLIRICIDIA SEPIUM

El aprovechamiento manual es el sistema más utilizado en la región centroamericana debido a su bajo costo y a la disponibilidad de equipo. Por lo general es una labor muy intensiva y es más apta de utilizar en terrenos pequeños en condiciones de pendiente media. Las actividades de cosecha son llevadas a cabo por dos personas: una que corta los árboles y otra que se encarga de apilarlos para facilitar su posterior arrastre (Figura 31).



FIGURA 31. EJEMPLO DE LA COSECHA MANUAL DE LA BIOMASA Y SU APILADO PARA FACILITAR EL PROCESO SIGUIENTE DE CARGA.

POSIBILIDADES DE MECANIZACIÓN

Las experiencias en otras latitudes indican que las operaciones de corta o aprovechamiento pueden realizarse de manera mecanizada (Figura 32), ya que dependiendo de la escala de producción, una corta manual es inviable desde el punto de vista económico y de logística.



FIGURA 32. SISTEMA ACTUAL DE CORTA Y APROVECHAMIENTO MECANIZADO DE LAS PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS EN DIFERENTES PARTES DEL MUNDO

Sin embargo, en nuestros países de la región centroamericana no se dispone de un desarrollo industrial sustentado en la producción y transformación de la biomasa para energía, lo más cercano y tecnificado es la cosecha mecanizada de la caña de azúcar, que por la escala de producción, requiere de equipos de alto rendimiento y de alta inversión (Figura 33 a). No significa que los equipos forestales disponibles en otras partes del mundo, en algún momento se puedan utilizar en el ámbito de Centroamérica. Similar situación se da con las cosechadoras de alto rendimiento (Figura 33 b) para el aprovechamiento de madera en países como Brasil.

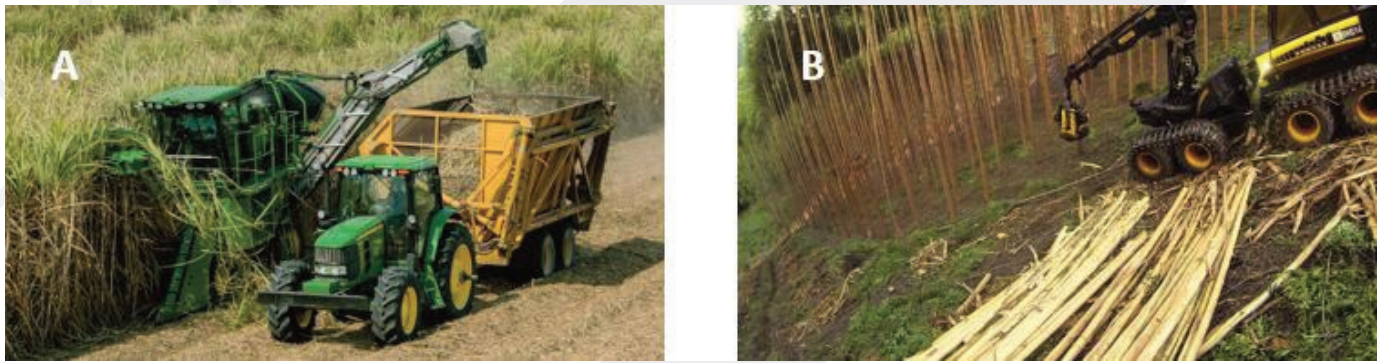


FIGURA 33. COSECHADORAS INDUSTRIALES DEL ALTO RENDIMIENTO. A. COSECHADORA PARA LA CAÑA DE AZÚCAR, B. COSECHADORA PARA PLANTACIONES DENDROENERGÉTICAS

Existe otro tipo de maquinaria de menor costo que puede ser ensayada para obtener los detalles de su rendimiento y costos. Se trata de cortadoras de sierra que pueden ser operadas en el campo (Figura 34).

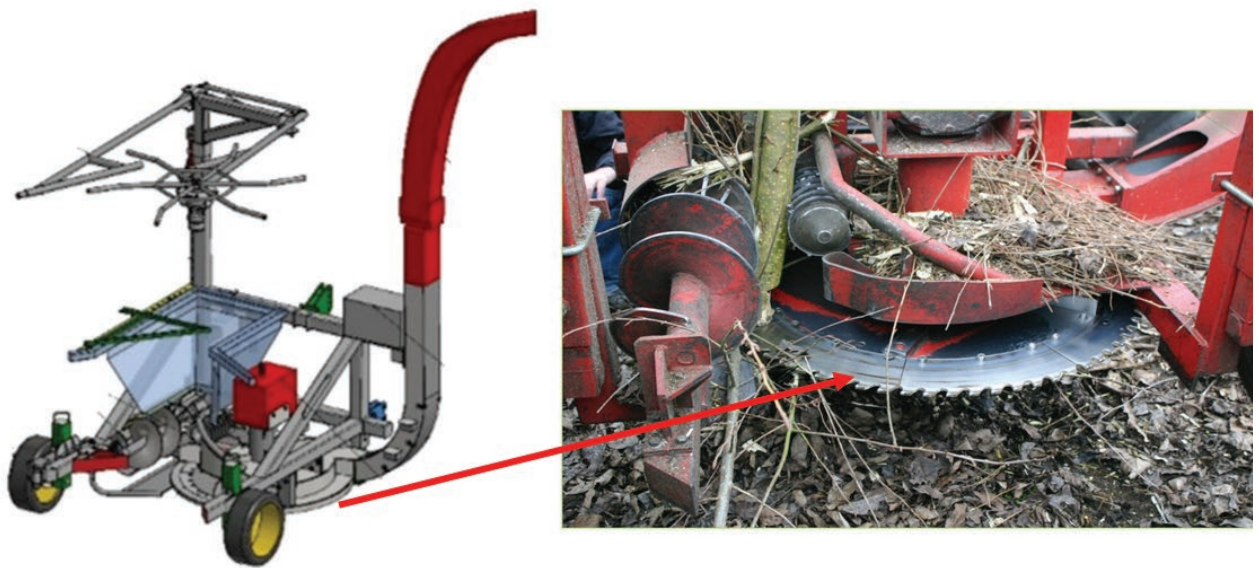


FIGURA 34. CORTADORAS DE ÁRBOLES DE MENOR DIMENSIÓN DE MENOR COSTO

La Figura 35 ilustra las diferentes combinaciones para el uso de maquinaria desde la corta que puede ser manual o mecanizada hasta el sistema de carga y transporte. Las realidades en nuestros países todavía consideran el uso intensivo de la mano de obra y se cuenta con una cadena de aprovechamiento sumamente ineficiente, con la posibilidad de optimizar el proceso cuando la escala de producción lo permita (Figura 36).



FIGURA 35. DIAGRAMA DE POSIBILIDADES PARA EL APROVECHAMIENTO, APILADO, ASTILLADO CARGA Y TRANSPORTE DE LA BIOMASA



FIGURA 36. SISTEMA TÍPICO DE CARGA Y TRANSPORTE DE LA BIOMASA EN LOS PAÍSES DE CENTROAMÉRICA

ASPECTOS SOBRE EL MANEJO DEL TOCÓN

Una vez realizadas las operaciones de corta y aprovechamiento, hay que garantizar el inicio de un nuevo ciclo de cultivo asegurando el rebrote de las cepas, procurando la ausencia de competencia por malezas (Figura 37), así como el control del estado de fertilidad suficiente, como ya se ha comentado.

Si antes de la brotación de los tocones, la presencia de maleza es importante, es posible utilizar combinación de control mecánico y químico, inclusive herbicida de post-emergencia, que actúa por contacto, no translocable y autorizado para su empleo forestal. Una vez controlada la hierba presente y antes de la brotación, se puede realizar una fertilización.



FIGURA 37. CUIDADO DE LOS TOCONES PARA ASEGURAR LA PRODUCCIÓN DE REBROTOS EN UNA PLANTACIÓN DENDROENERGÉTICA DE GMELINA ARBOREA EN COSTA RICA.

Una vez agotados el número de ciclos de producción óptimos de las cepas, se deberá proceder a la renovación de la plantación, destruyendo los sistemas radiculares así como los tocones mediante la utilización de la maquinaria disponible, por ejemplo mediante el empleo de retroexcavadora. No se tiene mucha información sobre la vida útil de un tocón sometido a múltiples ciclos de corta, la experiencia dicta que después de 5-6 cosechas es conveniente renovar la plantación.

DECISIONES DE MANEJO DEL REBROTE

La decisión de cuántos rebrotes se va a manejar por tocón, dependerá de las dimensiones y grosores de tallo que se desean. En la Figura 38 se muestra el efecto de dejar 1 hasta 9 rebrotes en tocones de *Gmelina arborea*.

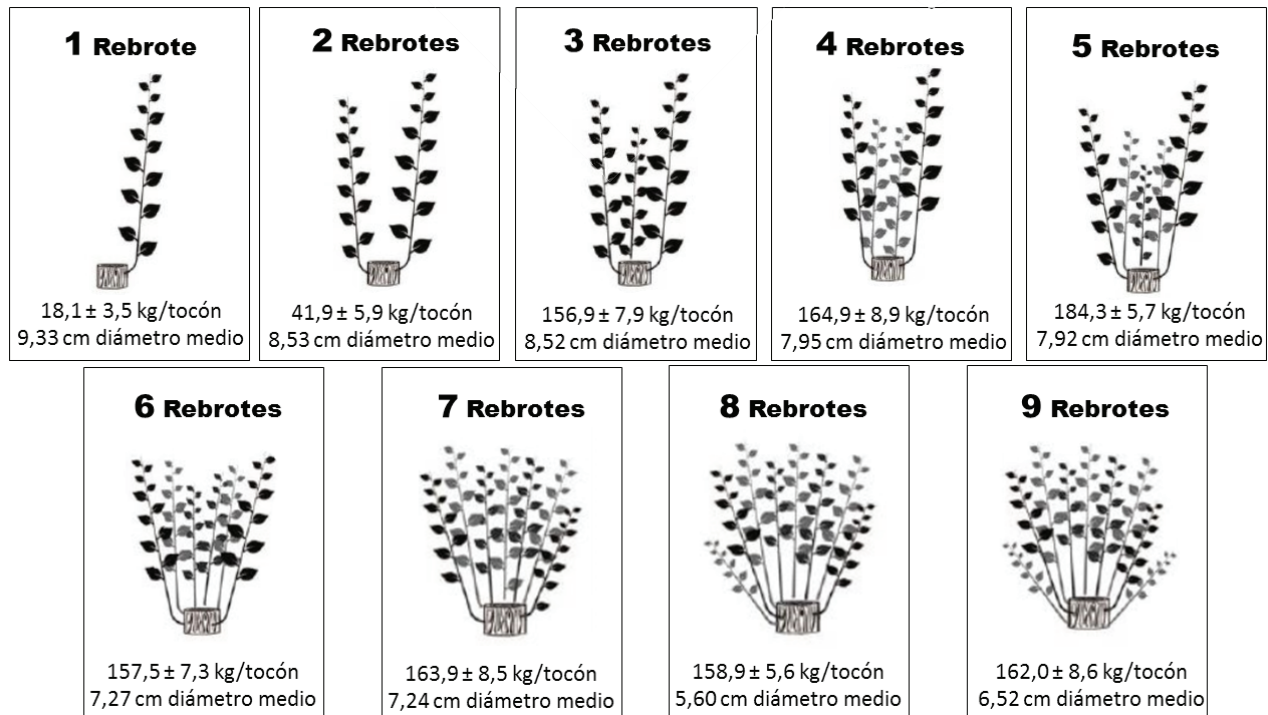


FIGURA 38. EFECTO EN LAS DIMENSIONES DE LOS TALLOS DE LOS REBROTOS AL DEJAR DESDE 1 HASTA 9 REBROTOS EN TOCONES DE *Gmelina arborea*.

SEGUNDO CICLO DE LA PLANTACIÓN

Es conveniente realizar un seguimiento de las plantaciones para determinar las intervenciones precisas en los momentos necesarios, así como disponer de datos que permitan efectuar una valoración final en términos económicos, energéticos y medioambientales. Una evaluación de la calidad de la corta y la condición de los rebrotes es fundamental y requiere una definición de los criterios de calidad (Figura 39).

Entre ellos podemos enumerar:

- Datos generales de la parcela: planos, registros, análisis de suelo, datos de cultivos o vegetación precedente, labores previas realizadas, etc.
- Replanteo adecuado de la parcela: distancia entre filas y entre árboles para garantizar la densidad deseada.
- Datos relativos a la adquisición y conservación del material vegetal.
- Información relativa a la tarea de plantación.
- Valoración del porcentaje de sobrevivencia, eficiencia del control de las malas hierbas y vigor general de la plantación.
- Instalación y aplicación adecuada del riego. Cuantificación del mismo.
- Seguimiento de daños bióticos o abióticos.
- Anotación de otro tipo de intervenciones realizadas en la parcela.
- Turno de las cepas.

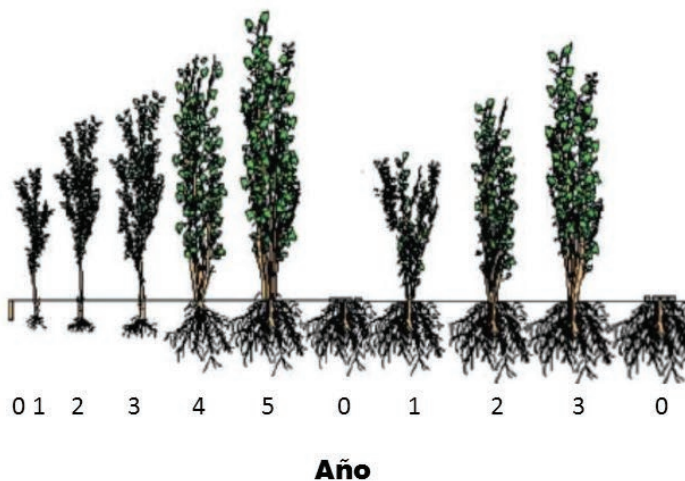


FIGURA 39. ESQUEMA BÁSICO DE MANEJO DE REBROTOS EN PLANTACIONES DE DENDROENERGÉTICAS.

A nivel mundial existen dos sistemas de aprovechamiento de plantaciones de alta densidad que se utilizan en la actualidad: el sistema de corte-arrastre-acopio y el sistema de corte y astillado en el lugar. Su uso dependerá de la escala de producción, del nivel de inversión y rentabilidad y de la maquinaria disponible.

EL SISTEMA DE CORTE-ARRASTRE-ACOPIO

Es una operación que consiste primero en cosechar el árbol entero y posteriormente arrastrarlo hasta un lugar donde pueda ser a su vez transportado o bien astillado para su almacenaje (Figura 40).



FIGURA 40. SISTEMA SIMPLIFICADO DE CORTA Y CARGA DE MADERA PARA EL TRANSPORTE A UNA CORTA DISTANCIA Y SU ACOPIO.

SISTEMA DE CORTE Y ASTILLADO

Esta es una operación en donde se corta el árbol e inmediatamente la maquinaria de transformación convierte los fustes en astillas (Figura 41).

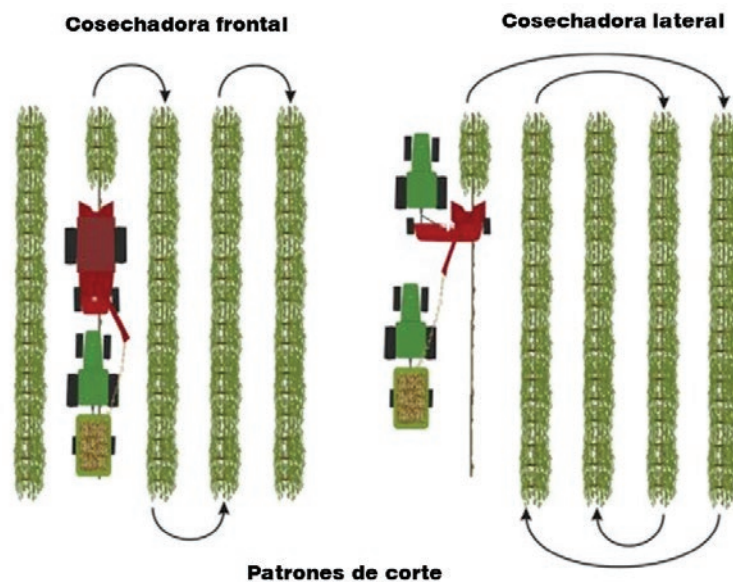


FIGURA 41. SISTEMA INTEGRADO DE CORTA Y ASTILLADO DE MADERA PARA EL TRANSPORTE DE LAS ASTILLAS HASTA SU LUGAR DE ALMACENAMIENTO. SE OBSERVAN DOS OPCIONES FRONTAL Y LATERAL DE PROCESAMIENTO.



*El placer que
acompaña al
trabajo pone en
olvido a la fatiga.*

Horacio (65 A.C. - 8 A.C.)

OTROS ASPECTOS SOCIALES Y AMBIENTALES

Existe una discusión muy amplia sobre aspectos más globales de la producción intensiva de biomasa para energía. Un cálculo aproximado sobre la generación de un MW de electricidad al año (para producir calor y otros usos) indica que se requieren aproximadamente 13,000 toneladas de madera verde.

Una instalación de 50 Megavatios quemará, según esta estimación, unas 650,000 toneladas de madera por año (50 x 13,000). Considerando, por ejemplo, Brasil con el mayor índice de productividad de madera por hectárea en el mundo con las plantaciones de eucalipto (44 m³/ha/año), se necesitarán 14,700 hectáreas. En Suecia, con una productividad de madera de 6 m³/ha/año, serían necesarias por ejemplo 108,300 hectáreas. Considerando el consumo total de electricidad del Reino Unido en el 2,010, 1,636 TWh, si se fuera a abastecer esta demanda con pellets de plantaciones de madera, se necesitaría en el caso de las plantaciones más “productivas” (de Brasil) cerca de 55 millones de hectáreas de monocultivo de eucalipto. Estos números sugieren el impacto ya conocido de la expansión de los monocultivos más productivos para la alimentación mundial.

A pesar que la escala de nuestros países es relativamente pequeña, un proyecto de 15,000 hectáreas de cultivos dendroenergéticos conllevaría en el caso de Costa Rica impactos sociales, económicos y ambientales con la dificultad de localizar tierras adecuadas para un proyecto de esta embergadura, lo cual hace pensar en la capacidad de un país y enfoque nacional basado en la biomasa. Proyectos basados en biomasa forestal hasta 5 MW tienen posibilidad de desarrollo.



*La ciencia rivaliza
con la mitología en
milagros.*

Emerson (1803-1882)



CADENA DE PRODUCCIÓN: ASTILLAS

ASTILLADO EN EL CAMPO

Las astillas o chips son pequeños trozos de madera, resultantes del proceso de corte y astillado de troncos y ramas de árboles que se utilizan, principalmente, para fabricar celulosa, fuente de materia prima para tableros de partículas y tableros de densidad media o para bioenergía. Hoy, la producción de astillas se presenta como una alternativa de uso para los residuos leñosos, producto tanto del manejo de frutales, como de la cosecha de plantaciones forestales. También como una oportunidad para que la industria forestal incremente la utilización de árboles, que de otra forma se desperdiciarían.

La FAO tiene un manual que publicó en 1,978 y que aborda la mayoría de los temas de interés sobre el proceso de astillado (ver <http://www.fao.org/docrep/016/ae227s/ae227s00.pdf>) La actualidad viene a través del desarrollo de nuevos equipos desde pequeños hasta los de mayor capacidad y rendimiento.

PROCESO DE FABRICACIÓN DE ASTILLAS

El astillado constituye un proceso que actúa físicamente sobre la biomasa, reduciendo el tamaño del material y, con ello, el volumen que ocupa. En una primera etapa se reduce el tamaño de los residuos leñosos, obteniendo astillas (chips) con un tamaño máximo de partícula que posibilita el manejo, almacenaje, carga y transporte de los residuos de una forma técnicamente viable.

En términos generales hay una oferta de equipos desde los pequeños equipos eléctricos de jardinería, siguiendo por las astilladoras de madera empujadas o remolcadas por tractores agrícolas o forestales, o montados sobre camiones, existiendo también en el mercado unidades

autopropulsadas denominadas trituradoras de gran escala. Estos equipos de astillado existentes en el mercado son de características muy variadas. Así, se puede elegir entre equipos más o menos sofisticados, dotados o no de sistemas automáticos, para realizar las diferentes fases de que consta el proceso de astillado (alimentación, trituración y recolección de astillas). La Figura 42 ilustra ampliamente el proceso de obtención de astillas.

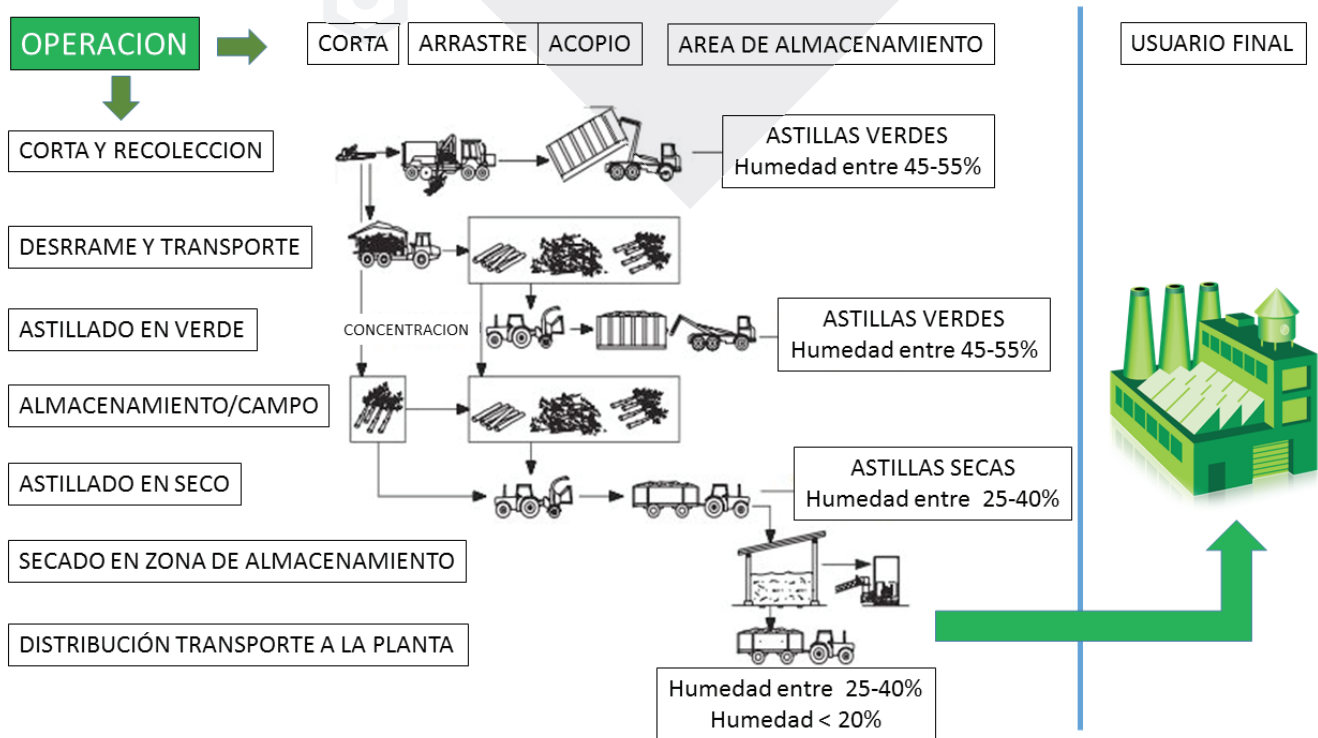


FIGURA 42. PROCESO GENERAL DE OBTENCIÓN DE ASTILLAS Y DETALLE DE SU CONTENIDO DE HUMEDAD.

EQUIPOS PARA EL ASTILLADO

Se pueden distinguir tres tipos de equipos de astillado, usados para residuos forestales post-cosecha:

- **En primer lugar, las astilladoras móviles.**

Son arrastradas mediante tractores forestales y accionados desde la toma de fuerza (Figura 43). Son capaces de llegar hasta lugares de difícil acceso, gracias a su elevado grado de maniobrabilidad, pero las producciones suelen ser muy bajas y, generalmente, requiere la intervención de varios operarios para realizar la alimentación de residuos a la máquina.



FIGURA 43. EQUIPO DE ASTILLADO DE USO FRECUENTE EN LA REGIÓN CENTROAMERICANA Y TRANSPORTADO POR UN TRACTOR AGRÍCOLA

También hay astilladoras que van montadas sobre la parte frontal del tractor y actúan recorriendo las vías donde, previamente, se han alineado los residuos. Otra variante de este tipo de maquinaria son las astilladoras dotadas de autocontainer o tolva donde se depositan las astillas para su posterior extracción del terreno.

- **El siguiente nivel en equipos de astillado corresponde a las astilladoras autopropulsadas.**

Al estar dotadas de su propio sistema de tracción, pueden desplazarse más rápido y presentan algunas ventajas de tipo técnico sobre las astilladoras arrastradas (Figura 44).



FIGURA 44. EQUIPO DE ASTILLADO AUTÓNOMO DE 540 CV DE POTENCIA Y HASTA 220 M³/H.

- **Finalmente, existen las astilladoras fijas o semifijas.**

Se utilizan sólo en lugares donde la envergadura de la cosecha y los elevados volúmenes de residuos manejados hacen amortizable este tipo de instalaciones (Figura 45). Actualmente, en países como Canadá, EEUU o Suecia existen astilladoras que a partir del árbol entero, proceden a su poda, descortezado, corta en piezas de escuadrías comerciales y astillado del residuo generado, pero se trata de equipos muy costosos.



FIGURA 45. EQUIPO DE ASTILLADO BANDIT BEAST 2680 DE HASTA 540 CV Y HASTA 56 T/H ES UN EQUIPO MUY POTENTE Y FÁCIL DE TRANSPORTE, UTILIZADO EN ALGUNOS PAÍSES DE CENTROAMÉRICA.

Cuando por motivos técnicos o financieros no se pueden astillar los residuos en el lugar de cosecha, se pueden usar empacadoras de residuos (Figura 46). Éstas permiten empacar las ramas para posteriormente ser trasladadas hasta los puntos donde serán astilladas (transformadas en chips), ya sea con chipeadoras como las indicadas en el punto anterior o en la industria. También existen máquinas chipeadoras de menor envergadura, para ser utilizadas en actividades que producen residuos menores (ramas) en jardines, parques y huertos frutales.



FIGURA 46. EQUIPO DE EMPACADO DE RESIDUOS FORESTALES PARA SU RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE POSTERIOR

ALMACENAMIENTO

La mejor manera de almacenar y secar astillas es disponerlas en una superficie impermeable (cemento y/o asfalto) protegidas por un techado en un lugar soleado y ventilado. La estructura arquitectónica del lugar para almacenamiento (Figura 47) debe maximizar la ventilación del material almacenado y facilitar la rotación y manipulación de las astillas.



FIGURA 47. EJEMPLOS DE INFRAESTRUCTURA DESARROLLADA PARA EL ALMACENAMIENTO Y SECADO DE LAS ASTILLAS.

Otra posibilidad es la utilización de lonas de protección específicas para astillas; eficaces tanto para el secado de astillas verdes como para el almacenaje de astillas con un contenido en humedad menor del 30% (Figura 48). La lona es transpirable y aleja el aire saturado de agua durante la fase de calentamiento espontáneo de la masa. Las astillas deben colocarse en una superficie impermeable y la pila debe tener una forma cónica para que el agua de lluvia se deslice por la superficie de la lona.



FIGURA 48. EMPLEO DE LONAS DE PROTECCIÓN DE MATERIAL ESPECIAL PARA EL SECADO DE LAS ASTILLAS.

SECADO DE LAS ASTILLAS

SECADO PROVOCADO POR EL CALOR DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN

El calor que se origina en los procesos de destrucción de la sustancia leñosa presente en las pilas de astillas crea un movimiento de convección cuya consecuencia es que el aire frío pasa por la parte inferior y los laterales. Por lo tanto, un pavimento ventilado funciona especialmente bien en los lugares de almacenamiento. En cuanto a las astillas de tamaño medio y fino, el calentamiento espontáneo tiene un efecto considerable en el secado de astillas si se combina con sistemas de ventilación forzada. El aire saturado de agua originado al calentarse espontáneamente las astillas se mantiene alejado y la masa se enfría.

En estructuras en las que se utilizan sistemas de circulación de aire forzado, los ciclos de ventilación se regulan mediante las diferencias de temperatura. Un ΔT interno-externo de 5 a 10°C es suficiente para favorecer la circulación natural de aire y, en consecuencia, reducir la cantidad de energía necesaria para forzar la circulación del aire.

VENTILACIÓN FORZADA CON AIRE PRECALENTADO CON ENERGÍA SOLAR

Con independencia de las medidas técnicas (externas) que se tomen para aumentar, aunque sea ligeramente, la temperatura del aire dentro de la masa de astillas, se provoca la circulación del aire y por tanto se facilita el secado de la madera.

Si los lugares de almacenamiento techados se utilizan fundamentalmente para secar astillas, su construcción podría planificarse de forma que dispongan de sistemas de ventilación forzada Figura 49 con aire precalentado situado en un espacio específico bajo el techado. El aire precalentado por el sol se introduce en una chimenea de ventilación y con un ventilador se le fuerza a pasar por debajo de las pilas de astillas. Gracias a estos sistemas se puede reducir el contenido de humedad de 150m³ aparentes de astillas aproximadamente de un 50% a un 30% en una semana

Paso 1

Calentamiento del aire exterior mediante colectores solares

Efecto del calentamiento espontáneo de la biomasa



Paso 2

Aire precalentado se introduce en la biomasa con un ventilador

El aire extrae el agua en la biomasa

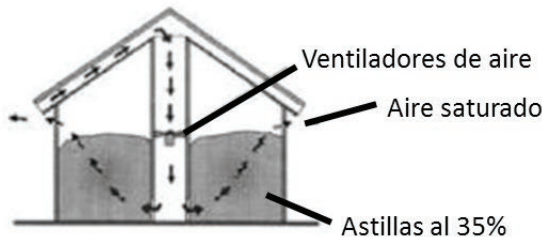


FIGURA 49. DIAGRAMA DEL PRINCIPIO DEL PROCESO DE SECADO DE BIOMASA MEDIANTE ENERGÍA SOLAR PULSATORIA

USOS DE LAS ASTILLAS

Actualmente en Costa Rica, los residuos producidos en los sistemas forestales tradicionales, así como las cortas de árboles producto de la limpieza de líneas de transmisión eléctrica o manejo de la foresta urbana no se usan para la producción de bioenergía, salvo en algunas regiones donde existe una demanda de empresas agroindustriales que promueven el uso de biomasa. Existen diversas dificultades técnicas en su extracción, manipulación y transporte y especialmente de mercado; pero, al disponer de la tecnología indicada en este manual, algunas empresas se puede interesar en un nuevo vector energético donde se le puede dar un valor agregado a la biomasa forestal en forma de astillas.

Aparte del uso para bioenergía, las astillas pueden ser distribuidas en el terreno en forma homogénea, para incorporar la materia orgánica al suelo con procesos de descomposición y fermentación más rápidos que dejando las ramas y troncos enteros. Esta acción permite mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo y por ende la productividad del sitio.

El chip proveniente de ramas de jardines, parques y huertos frutales también permite su uso como combustible o enriquecedor del suelo.

Al igual que el aserrín, las astillas son utilizadas para la fabricación de pellets y briquetas, para ser usadas en estufas domiciliarias y calderas industriales. También son usadas como materia prima para fabricar carbón artificial para combustión y para generar energía eléctrica.

PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE LA MADERA: UNA POSIBILIDAD FUTURA

La industria químico-forestal en otros países utiliza las astillas como materia prima para producir etanol. El interés por el uso de materiales lignocelulósicos como materia prima en procesos de transformación por microorganismos es importante desde hace varias décadas.

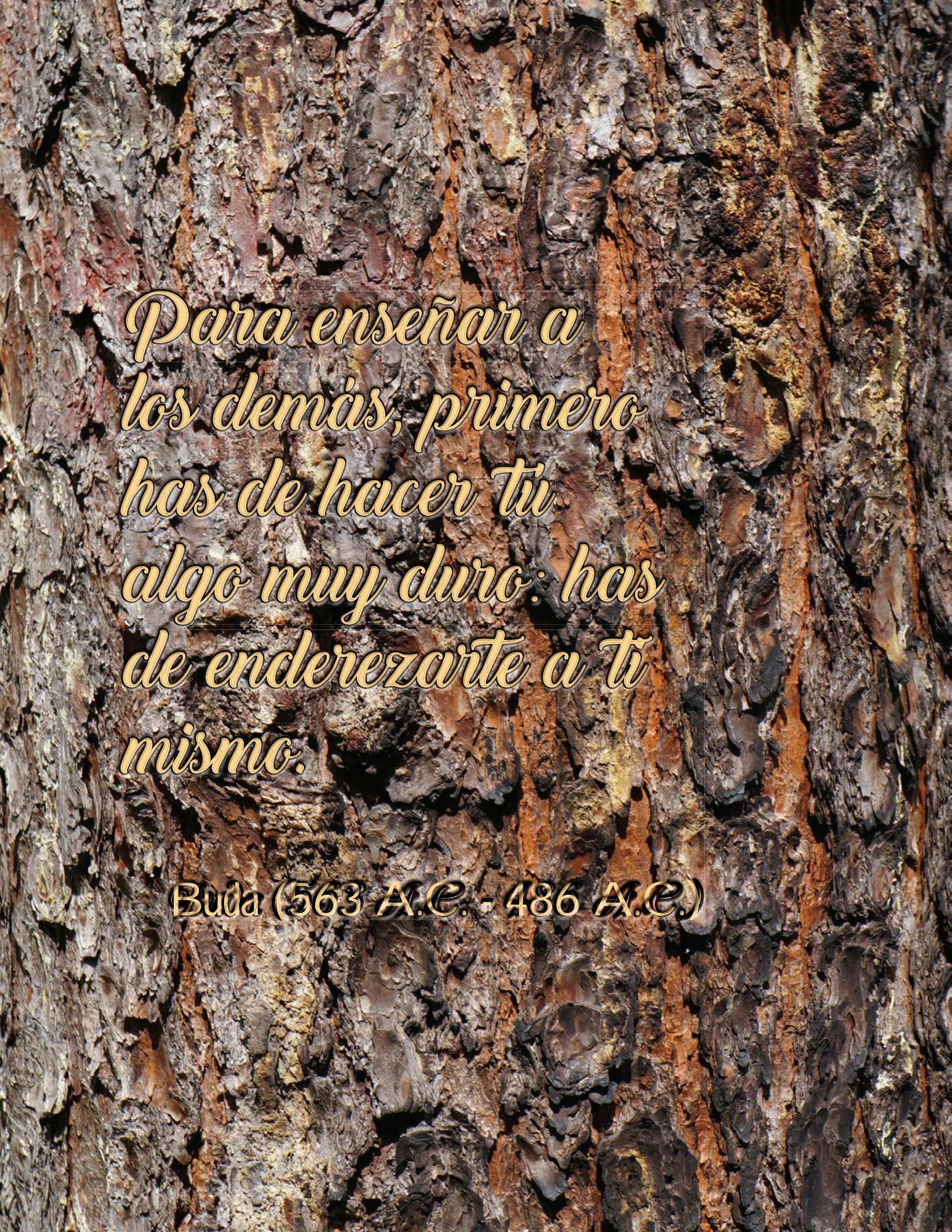
Entre las razones fundamentales se tienen que:

- La materia lignocelulósica es el producto agroindustrial de mayor abundancia.
- Es una fuente de materia prima renovable, por constituir una parte estructural en el reino vegetal.
- Los materiales lignocelulósicos son menos costosos que los materiales convencionalmente utilizados para producir etanol.

Sus tres mayores constituyentes (celulosa, hemicelulosas y lignina) encuentran aplicaciones prácticas apreciables: celulosa y hemicelulosas para obtener etanol y/o biomasa y lignina como fuente de combustible, adhesivos o inmunoadyuvantes. Las fracciones más importantes para la obtención de etanol y otros productos químicos a partir de la biomasa lignocelulósica son las hemicelulosas (15 al 30% del peso seco del material) y la celulosa (35 al 50% del peso seco del material). La biomasa lignocelulósica es menos costosa que los materiales convencionalmente utilizados para producir etanol. Entre los materiales lignocelulósicos más utilizados o estudiados para la obtención de etanol se hallan los residuales agrícolas y forestales. Entre los residuos agrícolas, se encuentran los de la industria azucarera, siendo el bagazo de la caña de azúcar, el material más utilizado y estudiado debido a que es un residuo abundante, renovable y de bajo costo, en suplementos alimenticios carbohidratados, minerales y proteicos para animales. Otra gran posibilidad son los residuos del café y de la piña.

BENEFICIOS DEL USO DE LAS ASTILLAS

- Contribuyen a reducir el consumo de combustibles fósiles, responsable de la generación de emisiones de gases efecto invernadero;
- Son una alternativa viable al agotamiento ya sensible de energías fósiles, como el gas y el petróleo;
- Pueden obtenerse a partir de cultivos forestales propios de una región, permitiendo producción local;
- A través del astillado de árboles defectuosos o enfermos es posible disminuir el material combustible, aminorando el peligro de incendios forestales;
- Mayor productividad del suelo al dejar las astillas en terreno, retornando el nitrógeno de la atmósfera al suelo y aumentando la actividad biológica de la micro-fauna del suelo;
- De la venta de astillas a empresas consumidoras de este biocombustible, se obtiene un ingreso monetario.



*Para enseñar a
los demás, primero
has de hacer tu
algo muy duro: has
de enderezarte a ti
mismo.*

Buda (563 A.C. - 486 A.C.)

TRANSPORTE DE LA BIOMASA

DISTANCIAS DE TRANSPORTE

La biomasa forestal es un recurso que presenta dispersión territorial y una escasa densidad energética, por lo que se debe diferenciar por un lado las zonas con mayor aptitud para el aprovechamiento de la demanda de biomasa forestal, y por otro lado la oferta de lugares potenciales para las instalaciones donde explotar el recurso. Tanto la estimación del recurso como la selección de los emplazamientos para las instalaciones requieren de un análisis multicriterio (SIG: Análisis Espacial, Análisis de Redes, Análisis Geoestadístico, Hidrología y otros) que se describe en el siguiente esquema (Figura 50) :

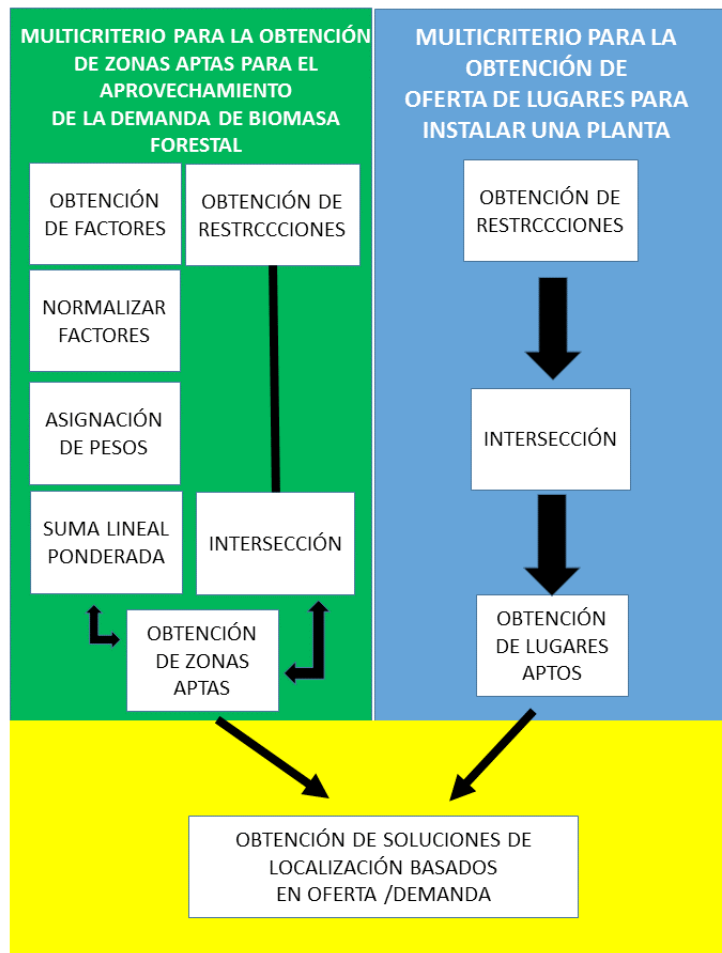


FIGURA 50. PROCESO BÁSICO DE UN ANÁLISIS MULTICRITERIO UTILIZANDO TODA LA INFORMACIÓN DISPONIBLE BASADO EN EL USO DE SIG.

En la Figura 51 se muestra un resultado de las distancias máximas de transporte de la biomasa para optimizar su procesamiento y transformación en energía.

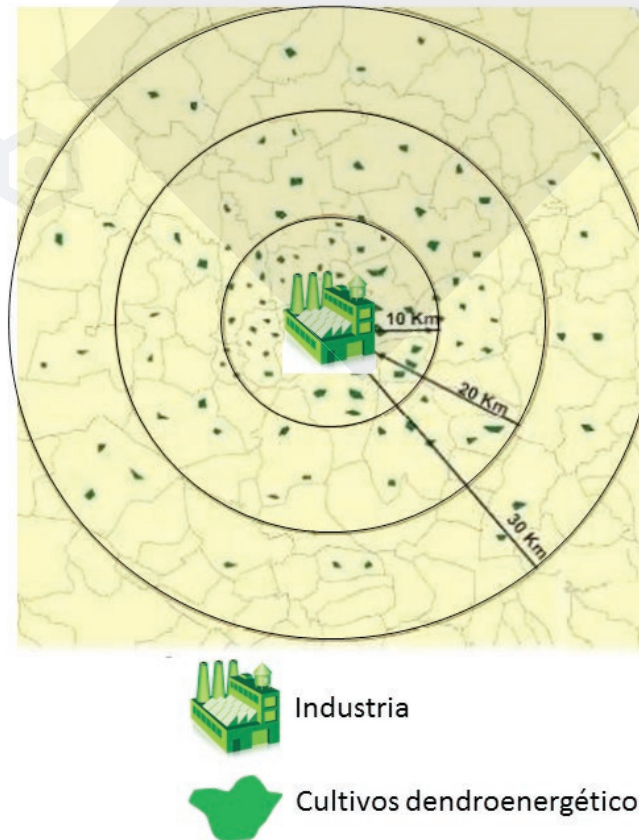


FIGURA 51. EJEMPLO DE LAS DISTANCIAS MÁXIMAS DE TRANSPORTE DE LA BIOMASA DENTRO DEL ANÁLISIS DE UN PROYECTO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE UNA AGROINDUSTRIA.

VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE BIOMASA


Esta labor es realizada normalmente por camiones provistos de carrocerías con capacidad de transporte de astillas. Hay una amplia variedad de posibilidades y en muchos casos se utiliza el equipo de transporte disponible. El ciclo de trabajo comienza con el acomodo del camión al lado del astillador, se hace la carga de las astillas, el viaje cargado hacia la planta de destino, la descarga de las astillas (la cual se realiza manualmente o bien por sistemas hidráulicos), y el viaje vacío de retorno al predio, donde se ubica en posición de espera de carga. Hay equipo más especializado que facilita especialmente la labor de descarga (Figura 52) y también hay sistemas que se pueden implementar directamente en la planta o industria que recibe las astillas (Figura 53).



FIGURA 52. DETALLE DE UN VEHÍCULO QUE TRANSPORTA LAS ASTILLAS Y LA DESCARGA DEL MATERIAL.



FIGURA 53. SISTEMAS DE DESCARGA EN LA INDUSTRIA Y QUE OPTIMIZA LA LABOR DE TRANSPORTE DE LAS ASTILLAS



*Todo hombre que
conozco es superior
a mí en algún
sentido.*

*En ese sentido,
aprendo de él.*

Emerson (1803-1882)

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-González, J.; Ruiz González, A.; Rodríguez-Soalleiro, R. & BarrioAnta, M. 2005. Ecoregional-based stand density management diagrams for *Pinus pinaster* L. in Galicia (northwest Spain). *Annals of Forest Science*. 62:115-127.
- Archibald, D. & Bowling, C. 1995. Jack pine density management diagram for boreal Ontario. OMNR, Northeast and Northwest Science and Technology. TN-005 (NWST TN-31).
- Baettig, R., Yáñez, M., & Albornoz, M. (2010). Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: estado del arte. *Bosque (Valdivia)*, 31(2), 89-99.
- Candilo, M.D., Ranalli, P., Cedaretti, P., 2004. «Non-food crops: their use to provide energy now a reality», *Informatore Agrario*, 60 (1), 34-38.
- Castedo, F.; Crecente, F.; Álvarez, P. & Barrio, M. 2009. Development of a stand density management diagram for radiate pine stands including assessment of stand stability. *Forestry*. 82(1).
- Coleman MD, DR Coyle, J. Blake, K Britton, M Buford, RG Campbell, J. Cox, B Cregg, D Daniels, M Jacobson *et al.* 2004 b. Production of Short-Rotation Woody Crops Grown with a Range of Nutrient and Water Availability: Establishment Report and First-Year Responses. Asheville, NC 28802: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 21 p.
- Corcuera L, C Maestro, E Notivol. 2005. La ecofisiología como herramienta para la selección de clones más adaptados y productivos en el marco de una selvicultura clonal con chopos. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 14(3): 394-407.
- Crow P, TJ Houston. 2004. The influence of soil and coppice cycle on the rooting habit of short rotation poplar and willow coppice. *Biomass and Bioenergy* 26: 497-505.
- Dominguez, A. 1997. «Plantaciones Forestales», en *Tratado de Fertilización*, Ediciones Mundi Prensa, 518-522.
- Dowell R, D Gibbins, J Rhoads, S Pallardy. 2008. Biomass production physiology and soil carbon dynamics in short-rotation-grown *Populus deltoides* and *P. deltoides x P.nigra hybrids*. *Forest Ecology and Management* doi:10.1016/j. foreco.2008.08.023
- Drew, T. & Flewelling, J. 1977. Some recent Japanese theories of yield-density relationships and their application to Monterrey pine plantations. *Forest Science*, 23(4): 517-534.

- Drew, T. & Flewelling, J. 1979. Stand density management: An alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Science*. 25: 518-532.
- EUBIA (Editor) (2008): Short Rotation Plantations: Opportunities for Efficient Biomass Production with the Safe Application of Wastewater and Sewage Sludge. Brussels: European Biomass Industry Association (EUBIA).
- Gigler, J.K; van Loon W.K.P; van den Berg, J.V.; Sonneveld, C.; Meerdink G.(2000). Natural wind drying of willow stems. *Biomass Bioenergy*, 19, pp. 153-163
- Hansen E, D Netzer. 1985. Weed control using herbicides in short-rotation intensively cultured poplar plantations. St. Paul, MN: US Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 6 p.
- Krajicek, J. E., & Brinkman, K. A. (1957). Crown development: an index of stand density. USDA Forest Service. Central States Forest Experiment Station. Station Note 108.
- Larsson, S; Weibull, S; Cuignet, C; Clause, P; Jacobsson, I; Aronsson, P; Pertuu, K; Rosenquist, H; Dawson, M; Wilson, F; Backlund, A; Mavrogianopoulos, G; Riddel-Black, D; Calander, A; Stenstroem, T; Hasselgren, K. (2003): Short-rotation Willow Biomass Plantations Irrigated and Fertilised with Wastewaters. (= Sustainable Urban Renewal and Wastewater Treatment, 37). Denmark: Danish Environmental Protection Agency, Danish Ministry of the Environment.
- Loo Van S., Koppejan, J. LOO VAN S., KOPPEJAN J., 2003 - Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing. Ed. Twente University Press (NL).
- Marcos F. 2006. Generación de energía eléctrica con biomasa a medio y largo plazo. *Anales de mecánica y electricidad*: 22-27.
- Mezzalana, G., Brocchi, M., 2002. «La coltivazione del genere Paulownia nel ondo», *L'Informatore Agrario*, 1, 66-73.
- Mitchell, S. 2000. Forest health: preliminary interpretations for wind damage. Forest Practice Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, B.C. Stand Density Management Diagrams.
- Newton, P. 1997. Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. *Forest Ecology and Management*. 98:251-265.
- Newton, P. & Weetman, G. 1994. Stand density management diagram for managed black spruce stands. *Forestry Chronicle*. 70:65-74.
- Padro, A., Orensanz, J. 1987. El chopo y su cultivo, Serie Técnica, MAPA, Madrid, 446 pp. IDAE, 2004. Plan de fomento de energía renovable (2005-2010). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, MITC, 347 pp.

- Pecenka, R; Ehlert, D; Lenz, H. (2014). Efficient harvest lines for short rotation coppices (SRC) in agriculture and agroforestry. *Agron Res*, 12, pp. 151-160.
- Powelson, A. & Martin, P. 2001. Spacing to increase diversity within stands. Forest Practice Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, B.C. Stand Density Management Diagrams.
- Schweier, J.; Becker, G. (2012). Harvesting of short rotation coppice - harvesting trials with a cut and storage system in Germany. *Silva Fenn*, 46, pp. 287-299
- Sixto, H., Hernández, M.J., Barrio, M., Carrasco, J., Cañellas, I. 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos», investigación Agraria. *Sistemas y Recursos Forestales*, 16 (3), 277-294.
- Smith, N. 1989. A stand-density control diagram for western red cedar, *Thuja plicata*. *Forest Ecology and Management*. 27:235-244.
- Sturtevant, B.; Bissonette, J. & Long, J. 1996. Temporal and spatial dynamics of boreal forest structure in western Newfoundland: Silvicultural implications for marten habitat management. *Forest Ecology and Management*. 87:13-25.
- Volk TA, T Verwijst, PJ Tharakan, LP Abrahamson, EH White. 2004. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(8): 411-419.
- Whitehead, R.; Martin, P. & Powelson, A. 2001. Forest health: reducing stand and landscape susceptibility to mountain pine beetle. Forest Practice Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, B.C. Stand Density Management Diagrams.



Ingeniería en
Energías
Renovables