



# ESTUDIO DE PLANTACIONES ENERGÉTICAS EN LA PROVINCIA DE BOLÍVAR (ECUADOR)



**Borja Velázquez Martí (Coord.)**  
**Juan Gaibor Chávez**

**Amparo Moret Gimeno**  
**Isabel Ferrer Galiana**





ÀREA DE COOPERACIÓ AL  
DESENVOLUPAMENT

# ESTUDIO DE PLANTACIONES ENERGÉTICAS EN LA PROVINCIA DE BOLÍVAR (ECUADOR)

## Programa ADSIDEO-UPV

Borja Velázquez Martí (Coord.)

Juan Gaibor Chávez

Amparo Moret Gimeno

Isabel Ferrer Galiana

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Programa ADSIDEO UEB-UPV 2018-2020



Borja Velázquez Martí (Coord.)<sup>1</sup>  
Juan Gaibor Chávez<sup>2</sup>  
Amparo Moret Gimeno<sup>3</sup>  
Isabel Ferrer Galiana<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia (Spain)

<sup>2</sup> Departamento de Investigación, Centro de Investigación del Ambiente, Universidad Estatal de Bolívar, Av. Ernesto Che Guevara, Sector Alpachaca, Guaranda, (Ecuador)  
email: juanelogaibor@yahoo.com

<sup>3</sup> Departamento de Producción Vegetal, Universidad Politècnica de Valencia, camino de Vera s/n, 46022 Valencia (España)  
email: dmoret@prv.upv.es

Corresponding autor: B. Velázquez-Martí,  
borvemar@dmta.upv.es,  
Telf. 0034 655438581

Para citar esta publicación:

Velázquez Martí B., Gaibor Chávez J., Moret Gimeno A., Ferrer Galiana I. 2021. Estudio de Plantaciones Energéticas en la Provincia de Bolívar (Ecuador). Programa de investigación ADSIDEO-Cooperación Universitat Politècnica de València (UPV)-Universidad Estatal de Bolívar (UEB), 226 pp.:

ISBN: 978-84-121798-9-7

Impreso a demanda

# Prólogo

La Universidad Estatal de Bolívar es una universidad pública fundada el 22 de octubre de 1977. Posee como misión: “Formar profesionales humanistas y competentes, fundamentada en un sistema académico e investigativo que contribuye a la solución de los problemas de su contexto”. Según su visión es “Una institución de educación superior con liderazgo basado en la gestión por resultados, oferta académica pertinente, tecnologías diversas, investigación, talento humano competente, que contribuye a la solución de problemas del contexto”. La Universidad Estatal de Bolívar está ubicada en Guaranda la capital de la provincia de Bolívar (Ecuador) en la cordillera occidental de los Andes. El 68% la compone población rural, el 20% de la población total es indígena.

Existe una amplia trayectoria de cooperación con la Universitat Politècnica de València (UPV), principalmente en investigación y proyectos de desarrollo basados en el aprovechamiento energético de la biomasa. En 2011 la UEB y la UPV participaron junto otras cuatro universidades ecuatorianas de unas Acciones Integradas financiadas por una convocatoria del Programa de Cooperación Interuniversitaria (PCI) de la AECID del Ministerio de Asuntos exteriores de España. A razón de estas acciones se formó la red ECUMASA (Red Ecuatoriana para la Investigación del Aprovechamiento Energético de la Biomasa) que ha favorecido la creación del Centro de Estudios de la Biomasa (CEB) en la UEB. Mantiene en la actualidad un proyecto del Programa ADSIDEO de Centro de Cooperación para el Desarrollo (CCD) de la UPV. Ha acogido un becario del Programa de Cooperación de la CCD en el año 2015 y cinco becarios del programa Meridies

en 2016 -2021, y cuatro técnicos de laboratorio PAS del programa MERIDIES PAS.

Una gran cantidad de biomasa para uso energético puede ser extraída de cultivos energéticos en la zona andina. La biomasa obtenida tanto en especies leñosas como en herbáceas es muy variable según especies, densidad de plantación o sistemas de cultivo, tamaño de los árboles, y clima. Actualmente estos cultivos pueden ser un complemento en zonas no competitivas para uso agrícola alimentario. Este proyecto va dirigido a la utilización de esta biomasa adicional de la agricultura andina como fuente de energía, como respuesta al cambio de la matriz energética planteada por el gobierno ecuatoriano, y conseguir ingresos adicionales para los agricultores que además de comercializar sus cosechas pueden obtener ingresos complementarios por los materiales energéticos. Esta fuente de biomasa no ha sido utilizada hasta ahora, debido a que presentan diferentes dificultades técnicas en su extracción, manipulación y transporte, así como por la carencia de suficiente información sobre la cantidad y procesamiento.

La Universidad Estatal de Bolívar con el apoyo de la Universitat Politècnica de València desde hace años está cooperando mediante proyectos de vinculación en el aprovechamiento de residuos agrícolas y ganaderos para uso energético, enfocado a fortalecer la sostenibilidad de explotaciones minifundistas.

El objetivo de este trabajo es reforzar, transmitir y capacitar en las actividades evaluación de cultivos energéticos y el análisis de la biomasa, vinculado a los trabajos de fomento del desarrollo social, igualdad de género y participación ciudadana.

Espero que los esfuerzos realizados sean incentivos para trabajos futuros e impulso para el emprendimiento empresarial y desarrollo

económico. Quiero agradecer a los investigadores de ambas universidades por los esfuerzos realizados en esta obra. Todos ellos ilusionados en poder sacar los mejores resultados para una sociedad que precisa soluciones factibles en el ámbito energético, y con un gran potencial de desarrollo. Fruto de ese empeño es esta obra. Me es muy grato que ellos sean catalizadores del avance a una sociedad con un mayor desarrollo económico, mejor gestión del territorio y de los recursos, y contribuyan a mejorar la calidad de vida.

Dr. Borja Velázquez-Martí  
Catedrático de Universidad  
Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria.  
Universitat Politècnica de València.



# Índice

Prólogo.....	3
Presentación del estudio de plantaciones energéticas en la provincia de Bolívar (Ecuador) .....	11
1. Introducción a los cultivos energéticos.....	11
2. Cultivos energéticos para biocombustibles .....	13
3. Plantación experimental Universidad Estatal de Bolívar.....	17
Álamo. <i>Populus alba</i> L.....	21
1. Descripción .....	21
2. Distribución.....	27
3. Exigencias del cultivo .....	29
4. Principales enfermedades y plagas.....	31
5. Técnicas de cultivo.....	35
6. Estudio económico .....	43
7. Características energéticas de la madera.....	47
8. Conclusiones .....	49
Referencias.....	51
Anexo.....	55
Referencias Anexo .....	61

Aliso. <i>Alnus acuminata</i> K.....	63
1. Descripción .....	63
2. Distribución.....	67
3. Exigencias del cultivo .....	69
4. Principales enfermedades y plagas.....	71
5. Técnicas de cultivo.....	75
6. Estudio económico .....	83
7. Características energéticas de la madera.....	87
8. Conclusiones .....	89
Referencias.....	91
Arupo. <i>Chionanthus pubescens</i> Kunth.....	93
1. Descripción .....	93
2. Distribución.....	101
3. Exigencias del cultivo .....	103
4. Estadios fenológicos.....	105
5. Principales enfermedades y plagas.....	107
6. Técnicas de cultivo.....	109
7. Estudio económico .....	115
8. Características energéticas de la madera.....	117
9. Conclusiones .....	119
Referencias.....	120

Lechero. <i>Euphorbia laurifolia</i> .....	123
1. Descripción .....	123
2. Distribución.....	129
3. Exigencias del cultivo .....	131
4. Estadios fenológicos.....	135
5. Principales enfermedades y plagas.....	137
6. Técnicas de cultivo.....	141
7. Estudio económico .....	149
8. Características energéticas de la madera.....	153
9. Conclusiones .....	155
Referencias.....	156
Tilo. <i>Sambucus Nigra</i> L.....	159
1. Descripción .....	159
2. Distribución.....	165
3. Exigencias del cultivo .....	167
4. Estadios fenológicos.....	169
5. Principales enfermedades y plagas.....	171
6. Técnicas de cultivo.....	173
7. Estudio económico .....	181
8. Características energéticas de la madera.....	185
9. Conclusiones .....	187

Eucalipto. <i>Eucalyptus</i> ssp.....	193
1. Descripción .....	193
2. Distribución.....	199
3. Exigencias del cultivo .....	201
4. Estadios fenológicos.....	203
5. Principales enfermedades y plagas.....	205
6. Técnicas de cultivo.....	209
7. Estudio económico .....	217
8. Características energéticas de la madera.....	221
9. Conclusiones .....	223
Referencias.....	225

# Presentación del estudio de plantaciones energéticas en la provincia de Bolívar (Ecuador)

## I. INTRODUCCIÓN A LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS

Se denominan plantaciones energéticas aquellas parcelas agrícolas o forestales cuya finalidad es la producción de materias primas destinadas a la elaboración de biocombustibles. En este sentido, las especies cuyas cualidades, ya sea por poseer un crecimiento rápido o por su bondad en la calidad energética de sus tallos, ramas o frutos, hacen rentable la producción de estos materiales primarios, son las que se definen como cultivos energéticos.

Los cultivos energéticos obedecen a la necesidad de producción de materias primas para transformar en biocombustibles sustituyentes de las fuentes tradicionales de energía no renovables derivados del petróleo y del carbón. El elevado volumen de producción requerido para satisfacer los requerimientos energéticos actuales provoca que la gestión y el aprovechamiento de residuos no resulte en ocasiones suficiente, necesiándose una fuente más abundante. Por tanto, la agricultura aparece como una alternativa eficaz proveedora de materias primas, en esta ocasión no alimentarias sino con uso energético.

Además de su necesidad para abastecer las necesidades energéticas actuales, estos cultivos pueden suponer una oportunidad de desarrollo en áreas donde la agricultura alimentaria tradicional no sea rentable. Por tanto, la sustitución de los cultivos tradicionales por cultivos energéticos puede ser interesante, o éstos pueden ser complementarios a las plantaciones alimentarias. De cualquier manera, su

introducción en la matriz productiva debe ser objeto de estudio y análisis. Por otra parte, su implantación requiere formación y divulgación entre los productores.

En este escenario se ha desarrollado el presente trabajo dentro del proyecto “Análisis de la implantación de cadenas aprovechamiento de biomasa en comunidades rurales la provincia de Bolívar (Ecuador)” del programa ADSIDEO2018, Proyectos de Investigación orientados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, de la Universidad Politécnica de Valencia (España) y la Universidad Estatal de Bolívar (Ecuador).

En la provincia de Bolívar han aparecido distintas iniciativas de desarrollo basadas en la artesanía y en la elaboración de productos alimentarios tales como que son productos lácteos, quesos, chocolates o confituras. Estos procesos requieren calor, principalmente en tratamiento de desinfección de instalaciones, que actualmente proviene de calderas convencionales, y por tanto, utilizan combustibles derivados del petróleo. Existe una posibilidad de sustituir tales calderas que proporcionan calor a los sistemas productivos por calderas de biomasa. El problema viene en el abastecimiento del combustible. La utilización de la biomasa para los sistemas productivos requiere una seguridad en el abastecimiento del combustible de tal manera que no exista la posibilidad de quedarse sin ella en un momento dado. Además, la producción de los materiales combustibles por las propias comunidades rurales es una alternativa de desarrollo rural que conviene estudiar.

## 2. CULTIVOS ENERGÉTICOS PARA BIOCOMBUSTIBLES

De acuerdo a su estado físico los biocombustibles se pueden clasificar en los que son sólidos, líquidos y gaseosos. Los biocombustibles sólidos se pueden combustionar en calderas para producir calor. Sin embargo, los biocombustibles líquidos y gaseosos pueden ser combustionados tanto en calderas como en motores térmicos. Estos motores pueden ser utilizados tanto para el transporte como para la producción de energía eléctrica si el motor está acoplado a un alternador. Los biocombustibles líquidos y gaseosos al poderse utilizar en motores se denominan conjuntamente biocarburantes.

Los biocombustibles sólidos se pueden clasificar en leñas y astillas, carbón vegetal y productos densificados (pélets y briquetas). Los biocombustibles líquidos se clasifican, según su proceso de obtención, en bioetanol, fruto de la fermentación de azúcares; y biodiesel, procedente de la transesterificación de triglicéridos. Los biocombustibles gaseosos se pueden clasificar como biogás, obtenido de la fermentación de residuos orgánicos; gas de síntesis (syngas), obtenido de la pirólisis de biomasa; y biohidrógeno obtenido de la hidrólisis del agua con energías renovables.

Los cultivos energéticos irán encaminados a la obtención de biomasa destinada a transformarse en estos biocombustibles. De acuerdo a su naturaleza tenemos cultivos energéticos específicos para producir biocombustibles sólidos, principalmente lignocelulósicos, que posteriormente se podrían transformar a líquidos o gaseosos. Por otro lado, tendremos los cultivos energéticos cuyos productos serán destinados a su transformación en biocombustibles líquidos. Estos serán los destinados a producir bioetanol si sus productos son ricos en azúcares, ya sea libre o en forma de almidón o celulosa; o cultivos

energéticos los destinados a producir biodiesel, si sus frutos son materiales ricos en aceites con triglicéridos.

A continuación se detallan los cultivos energéticos más comunes clasificados de acuerdo al tipo de biocombustibles a los cuales van destinada su producción.

## Cultivos energéticos para producir materiales lignocelulósicos

### Árboles

- Eucalipto (*Eucalyptus* spp.)
- Sauce (*Salix* spp.)
- Chopos (*Populus* spp.)
- Pawlonia (*Pawlonia* spp.)
- Mimosa azulada (*Acacia saligna*).
- Falsa acacia (*Robinia pseudoacacia*).

### Arbustos

- Retama o xesta (*Cytisus striatus*)
- Escobón o xesta (*Cytisus scoparius*)
- Tojo (*Ulex* spp.)
- Miscanto (*Miscanthus x giganteum*)
- Cardo (*Cynara cardunculus*)
- Sorgo (*Sorghum bicolor*)
- *Phalaris* spp.
- Switchgrass (*Panicum virgatum*)
- Maíz con rastrojo (*Zea mays*)

## Cultivos energéticos oleaginosos para biodiésel

- Girasol (*Helianthus annuus*)
- Colza (*Brassica napus*)
- Soja (*Glycine max.*)
- Palma aceitera (*Elaeis guineensis*)
- *Jatrofa curcas*
- Cacahuete (*Arachis hipogaea*)
- Cardo (*Cynara cardunculus*)
- Cártamo o alazor: (*Carthamus tinctorius*)
- Coco (*Cocos nucifera*)
- Lino oleaginoso (*Linum usitatissimum* L )
- Mostaza amarilla (*Sinapis alba*)
- Nabo francés (*Camelina sativa*)
- Repollo etíope (*Brassica carinata*)

## Cultivos energéticos azucareros para bioetanol

- Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)
- Cebada (*Hordeum vulgare*)
- Maíz (*Zea mays*)
- Pataca (*Helianthus tuberosus*)
- Patata (*Solanum tuberosum*)
- Remolacha (*Beta rubra*)
- Sorgo dulce (*Shorgum bicolor* L. Moench)
- Trigo (*Triticum aestivum* L.)

En este trabajo presentamos los resultados de la puesta en cultivo a nivel experimental de 6 especies de cultivos energéticos que se podrían desarrollar en la provincia de Bolívar. El objetivo es estudiar y demostrar la viabilidad del sistema, para que las comunidades rurales

lo tengan como ejemplo de su aplicación como posibilidad de una actividad que pueden realizar para su desarrollo.

Junto con sus características y descripción, se analizan los costes de producción y la productividad de los mismos. Todas las especies estudiadas se caracterizan por su crecimiento rápido, y su cultivo va encaminado a la producción de leñas y astillas que podrán utilizarse en las calderas ya empleadas en industrias artesanales, o cocinas domésticas.

Estos cultivos pueden tener un uso secundario en las parcelas tradicionales, tales como su empleo en zonas de pendiente para fijar el suelo, o como cercas delimitadoras de la plantación, o ambos usos simultáneamente.

A continuación se presentan el álamo, el aliso, el arupo, el árbol del lechero, el tilo y el eucalipto, cultivados en la provincia de Bolívar (Ecuador).

### 3. PLANTACIÓN EXPERIMENTAL UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

#### 1ª Fase: Estudio y planificación de la plantación

Se realizó el estudio previo de 8 especies. Se descartaron 3 de ellas (arupo, arrayán y cepillo rojo) por no ser viables, sobre todo por los largos tiempos de crecimiento que requieren. Dos de ellas, el álamo y el eucalipto, se contaban ya con experiencias previas con numerosas plantaciones experimentales e industriales. Las 3 restantes, el tilo o saúco, el aliso y el lechero, fueron las seleccionadas para configurar la plantación.

Se planificó la plantación de 16 saúcos, 16 alisos y 16 lecheros.

#### 2ª Fase: Obtención de las plántulas

Las plántulas de saúco y aliso se compraron en un invernadero privado de la ciudad de Guaranda, puesto que el invernadero municipal trabajaba un proyecto de reforestación de los montes para el que se iban a usar alisos.

Las plántulas de saúco y aliso tenían una altura de 50 centímetros aproximadamente, y un precio de 30 centavos de dólar la unidad.

El lechero se obtiene por estacas, y no se vende en ningún invernadero. Tradicionalmente se obtienen de la planta madre cuando esta pierde todas las hojas. Entonces se cortan las estacas para su enraizamiento. No existe información fiable sobre si la obtención en otras condiciones es exitosa o no.

### 3ª Fase: Ahoyamiento

Debido a la pendiente del terreno, la utilización de cualquier tipo de maquinaria se descartó. Se realizaron entre 3 personas, utilizando barras para ahoyar y azadones.

### 4ª Fase: Plantación

Se plantaron las 16 plántulas de saúco y las 16 de aliso. No se utilizó ningún tipo de abono ni enraizante, las plántulas venían en fundas de sustrato. Se rellenaron los hoyos con tierra y se compactaron. Se regaron abundantemente todas las plántulas

De cada cultivo se formaron 4 bloques de ensayo aleatoriamente situados en una parcela.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de la distribución de una parcela de ensayo con uno de los cultivos indicados, donde C, A, M y B son los bloques distintos cultivos.

Cada bloque tendrá una extensión mínima de 10 x 10 plantas.

C	B	M	A
M	A	B	M
A	C	B	C
C	M	C	A

Las variables medidas serán:

- Peso de la producción
- Tamaño de la planta
- Nivel de infestación de las plantas de cada parcela frente a enfermedades (botritis, oídio, royas, fusarium y virus)
- Nivel de infestación de las plantas de cada parcela frente a plagas de insectos y ácaros
- Contenido de N en la planta

Los resultados obtenidos fueron evaluados a lo largo del tiempo.

### **5ª Fase: Riego y seguimiento**

Hubo que regar las plántulas 3 veces durante la semana siguiente a la plantación, cada 2 días aproximadamente. Al no disponer de sistema de riego por goteo o alguna manguera que alcanzara, se usaron baldes de agua. A partir de ahí, empezó a llover cada día, en la tarde, con lo que se omitió el riego para no causar podredumbre en las raíces.

Tras 1 mes y medio desde la plantación, todas las plántulas estaban vivas y aparecían brotes nuevos. El crecimiento era imperceptible aún.



# Álamo. *Populus alba* L.

## I. DESCRIPCIÓN

### Características generales

El *Populus alba* L., conocido comúnmente como álamo blanco o álamo plateado, es un árbol muy rústico, caducifolio, de crecimiento muy rápido lo que le faculta para ser cultivado en plantaciones energéticas. Puede alcanzar los 30 metros de altura y vivir hasta los 60 años. Su tronco es recto y cilíndrico, y su madera, ligera.

Se caracteriza por sus hojas blanquecinas, que se tornan completamente amarillas al llegar el otoño, y su tronco, normalmente recto y con corteza de color blanco.



Figura 1. Álamo blanco en parque



Figura 2. Álamo blanco en plantación regular

Habitualmente se utiliza como árbol ornamental y decorativo de manera aislada, en parques y jardines, ya que su amplia copa ofrece buena sombra. También se encuentra en arceles de caminos y carreteras, como cerca viva y como cortavientos, para detener la erosión y delimitar parcelas. Su uso en plantaciones para uso maderero se ha incrementado con los nuevos procesos de coloración, que emulan tonalidades de otras maderas, pero con unos costes muy inferiores.



Figura 5. Corteza del Álamo

El *Populus Alba* L. pertenece a la familia de las Salicaceae. Dentro del género *Populus* se agrupan unas cuarenta especies, adaptadas a las condiciones climáticas de cada zona. Los más comunes son el *Populus alba* L., el *Populus nigra* L., y el *Populus tremula* L. Todos

comparten función ornamental y uso maderero en caso de plantación regular. También tienen un uso muy extendido los híbridos entre estas especies, especialmente los del *Populus nigra*, por su tronco recto, su rápido crecimiento y su adaptación al suelo.

### Sistema radicular

El álamo blanco tiene un sistema radicular amplio y potente, con numerosas raíces secundarias largas y superficiales que se sitúan a una profundidad de entre 10 y 20 cm. Al crecer el árbol, pueden asomar y ser un obstáculo para las máquinas utilizadas en la plantación. Se desaconseja por ello la plantación próxima a las casas y a otros árboles que crezcan más despacio.

### Tallo

Su tronco es cilíndrico, que suele ser bastante recto y grueso, pudiendo llegar a superar incluso 1 metro de diámetro. La corteza es lisa en la parte más joven y presenta grietas longitudinales en la parte más vieja.

Puede rebrotar desde la base y presentar múltiples tallos. La capacidad de rebrote es una cualidad ventajosa para utilizar este árbol en plantaciones energéticas para la obtención de biocombustibles sólidos.

La copa es amplia, irregular y abierta, formada por ramas cilíndricas. Las ramas más jóvenes son delgadas, elásticas y ligeramente pilosas.

A diferencia del álamo negro, este no emite chupones, pero sí que rebrota desde el tocón tras talarlo. Si se poda, las ramas dejarán una cicatriz negra característica en el tronco.



Figura 3. Tronco único



Figura 4. Tronco bifurcado

## Hojas

Las hojas unidas al tallo por un peciolo generalmente cilíndrico son simples, alternas y caducas, de unos 3 a 9 cm de largo. Tienen forma palmado-lobulada, con el borde ligeramente serrado. Al brotar, pueden tener entre 3 y 5 lóbulos.

Cuando son jóvenes, se caracterizan por un limbo piloso en ambas caras y que, al ser adultas, se torna en verde oscuro y lampiño en el haz (sin vello), y blanco y piloso en el envés.



Figura 6. Hojas jóvenes de álamo



Figura 7. Hojas adultas de álamo

### Yemas y flores

Las yemas invernantes tienen forma cónica y aguda, son ligeramente pilosas. Inicialmente tienen un tono blanquecino, que evoluciona a rojizo y glabro.

Las flores se disponen en inflorescencia colgante de tipo amento. Los amentos masculinos son cortos, de 3 a 6 centímetros, y lanosos. Las flores tienen hasta 10 estambres de filamento corto y antera rojiza, que se vuelve amarillenta al madurar. Los amentos femeninos, más largos y delgados que los anteriores, disponen las flores de forma caída, sin apenas pelos, de color amarillo verdoso y con un ovario caracterizado por dos estigmas bifurcados.



Figura 8. Inflorescencia colgante del Álamo blanco

La época de floración, en regiones estacionales, se da entre febrero y abril, antes de que broten las hojas.

### Frutos

El fruto tiene forma de cápsula cónica, de hasta 4 milímetros, ligeramente rugoso, sin pelos, siendo primero verde y posteriormente rojizo. En su interior se hallan las semillas, que cuentan con conjunto plumoso llamado vilano que le sirve para facilitar que el viento las transporte.

## 2. DISTRIBUCIÓN

Se le considera oriundo de Asia Central, pero el álamo blanco crece en ambos hemisferios. Tiene una presencia importante en toda Europa hasta el Norte de África y en América, desde Canadá hasta el sur de Argentina, bien para uso ornamental en las ciudades como en plantaciones regulares.

Se han encontrado ejemplares vegetando bien hasta los 2500 metros de altitud, en latitudes cercanas a la línea del Ecuador.



### 3. EXIGENCIAS DEL CULTIVO

#### Temperatura mínima y máxima, rango óptimo

El álamo tiene un crecimiento óptimo en zonas cálidas, en torno a los 20°C de manera continua. Pero el rango de temperaturas que aguanta es muy amplio, como se puede deducir de todas las zonas en las que vegeta. Tolerará heladas con temperaturas de hasta -17°C, y el calor cuando supera los 30°C, siempre que esto no afecte al suministro hídrico.

Crecerá en lugares fríos, pero probablemente su velocidad de crecimiento será más lenta que en climas cálidos.

#### Fotoperiodo

Es exigente en cuanto a las necesidades lumínicas, por lo que solo puede vegetar en zonas con exposición directa al Sol.

#### Necesidades de agua

Dada su vegetación en terrenos húmedos, las necesidades exactas no han sido establecidas. Es importante un buen drenaje, pues el encharcamiento sí que puede suponer un problema. Además, en caso de no disponer de riego, si las necesidades se cubren únicamente con la lluvia, esta ha de ser uniforme a lo largo del año, para evitar largas épocas de sequía.

En épocas de sequía, las plantas tendrán que ser regadas semanalmente en primavera y verano.

Según las ubicaciones en las que se tiene constancia de su vegetación, soporta unas precipitaciones máximas de entre 2000 a 4000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> por temporada, y unas precipitaciones mínimas, en climas más áridos, de 600 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Es recomendable calcular la evapotranspiración del cultivo, ya que aportaciones superiores no incrementan la producción de biomasa (Sixto *et al.*, 2001), pero no cubrir sus necesidades repercute en una mayor incidencia de plagas y enfermedades.

Esta especie se ha usado en humedales y zonas con exceso de agua para secar el terreno. En caso de existir déficit de agua, las hojas se tornarán amarillentas y caerán, y su crecimiento se ralentizará.

### **Necesidades nutricionales**

El álamo blanco es una especie poco exigente, por lo que el abonado no sería necesario en suelos frescos y con una riqueza normal.

En plantaciones regulares se recomendaría un abono orgánico al establecer la plantación y un complemento mineral fraccionado a lo largo del cultivo.

Se aconseja un análisis del suelo tras la tala de la plantación, para evaluar hasta que punto se ha agotado este.

### **Exigencias de suelo**

Es un árbol que crece en todo tipo de suelos, sean arenosos o calcáreos, siempre que estén bien drenados. No se desarrolla en terrenos pedregosos pues sus raíces no alcanzan la humedad. Vegeta también, aunque con dificultad, en las cercanías del mar con intrusiones de agua marina, aunque su preferencia son suelos frescos, ricos en materia orgánica y húmedos.

No requiere de suelos nivelados para su plantación.

## 4. PRINCIPALES ENFERMEDADES Y PLAGAS

Los daños causados por plagas y enfermedades no suelen ser importantes en el álamo y sólo se requerirá su tratamiento químico si el nivel de ataque disminuye o anula el crecimiento del árbol.

### Insectos

*Leucoma salicis* L.: es un lepidóptero que causa la defoliación del árbol. Sus larvas se alimentan del tejido parenquimal, y al crecer, las orugas se comen la hoja al completo. Es una plaga importante en los sauces españoles. Si no se trata, la defoliación durante varios años podría causar la muerte del árbol. Temperaturas extremas pueden causar la muerte de las larvas, en caso de que sobrevivan, se pueden tratar con antiquitinizantes.

*Melasoma populi*: es un coleóptero que se alimenta de las hojas del álamo, causando la defoliación, que en plantas jóvenes puede provocar la muerte. Debido a su color rojizo en fase adulta son fáciles de localizar. Para tratarlo se debe pulverizar Cipermetrina al inicio de la primavera, antes de la puesta de huevos.

*Leucoptera sinuella*: este insecto, conocido como polilla del álamo, causa la defoliación del árbol debido a las galerías producidas por sus larvas en la parénquima de la hoja, impidiendo la fotosíntesis. Es frecuente en Japón, China, el norte de África, Europa, y desde hace unos 5 años, está presente en Sudamérica. Por el momento carece de enemigos naturales, se combate con insecticidas de contacto como el Clorpirifos.

*Lepidosaphes ulmi* L.: es un insecto que se alimenta de la savia del árbol a la vez que le inyecta toxinas. Si no se previene, acabará secando las ramas y causando el decaimiento general del árbol. Las larvas

pueden eliminarse con pesticidas, pero en fase adulta son inmunes a estos.

*Saperda carcharis* L.: es un coleóptero conocido como perforador del chopo. Ataca a árboles de todas las edades. Sus larvas causan galerías de gran tamaño en el tronco, y los insectos adultos se alimentan de las hojas y yemas. Es una plaga común en Europa y Asia. Su detección es fácil pues se aprecian las virutas en las entradas de las galerías. Se tratan los dos primeros metros del tronco con Fenitrotion antes de la puesta de huevos.

*Cryptorhynchus lapathi*: también conocido como gorgojo barrenador del álamo. Sus larvas, de 12 mm de longitud, perforan galerías en los conductos de savia, llegando a provocar la muerte del árbol. Los síntomas son similares a los del perforador del chopo, y su tratamiento es exactamente igual.

*Melanophila picta* Pall.: conocido como cabezudo del chopo, en estado larvario se alimenta de la madera y la corteza. Se aprecia descortezamiento por allá donde pasan sus galerías. Se combate rociando la parte baja del tronco con Cipermetrina, justo tras la eclosión de los huevos, pero antes de que las larvas entren en la corteza. También es importante que el riego sea correcto, pues la sequía favorece su instalación.

*Megaplatypus mutatus*: llamado comúnmente taladro de los forestales, mide 11 mm de longitud en su último estadio larval, y 8 mm de largo por 2,5 mm de ancho en estado adulto. Los machos excavan galerías dentro del tronco, a una velocidad de unos 15 centímetros por mes. Posteriormente, las hembras ponen sus huevos en el interior de los conductos, y las larvas se alimentan también de la madera, perforando nuevas galerías. Se observan aserrín en las entradas de las

galerías. El tronco puede llegar a caer. Hay que eliminar los troncos dañados y rociar los demás con insecticidas como el Clorpirifós.

*Oiketicus moyanoi*: lepidóptero conocido como bicho del cesto. Sus larvas se alimentan de las hojas, causando una defoliación leve, que no suele suponer un problema para el árbol. Las larvas construyen sus cestos, de hasta 6 centímetros, colgando de las ramas, con lo que se facilita la detección de la plaga. Hay que eliminar los cestos manualmente, puesto que los insecticidas no atraviesan la pared de estos.

*Rhytodus decimusquartus*: o chicharrito del álamo. Mide en torno a 7,5 mm de longitud al llegar a adulto. No llega a considerarse plaga y no afecta a otros árboles. Sus larvas se alimentan del parénquima de las hojas y reducen la función fotosintética. Si se observa una alta presencia, se deberá tratar con neonicotinoides. Afecta especialmente al *Populus nigra*.

Mosca blanca: se alimenta de la savia, produciendo el amarilleamiento foliar generalizado. Se previene su ataque plantando aromáticas cerca del árbol, pues su olor es repelente. Otra opción es aplicar una solución potásica, que debilita su exoesqueleto.

## Hongos

*Melapsora* sp.: roya del álamo, forma soros naranjas pulverulentos sobre las hojas, ataca especialmente a los híbridos interamericanos. Debido al contagio por esporas, se recomienda retirar las hojas caídas en otoño y aumentar la distancia entre plantas. En caso de infección grave se trata con fungicida cúprico.

Hongos del género *Marsonina* causan manchas secas de color café en las hojas, y, en infecciones extremas, pueden invadir y matar los brotes

nuevos. Su control incluye la quemad e las hojas caídas infectadas y la aplicación de fungicidas cúpricos.

Hongos del género *Fusarium* sp. afectan a la raíz en los primeros años de vida si la plantación está situada en zonas muy húmedas, causando podredumbre. Se trata aplicando fungicida cúprico. Es más común en los sauces.

El hongo Oídio cubre las hojas de un revestimiento pulverulento grisáceo o blanquecino. Se puede tratar con fungicida cúprico y sistémico.

La cancrrosis del álamo, causada por *Septoria* sp., provoca manchas negras redondas internerviales. Causan defoliación y cancro en el tronco y ramas. Los tratamientos son preventivos, como buscar zonas libres de enfermedad y comprar estacas de árboles sanos.

## 5. TÉCNICAS DE CULTIVO

Para algunos híbridos, aplicando turnos de corte cada 2 años en cultivos de alta densidad, la cantidad de biomasa seca obtenida puede llegar a 24 t/ha al año (Marcos *et al.*, 2002). Para el *Populus alba* no existen datos en plantaciones de tan corta rotación.

Sin embargo, es muy conveniente porque no es un cultivo que requiera excesivas labores, ya que no requiere poda y es bastante resistente. No obstante, la aparición de enfermedades y plagas puede encarecer sustancialmente los costes de plantación.

### Tecnología de preparación del suelo

La primera operación antes de la plantación es realizar un desbroce para eliminar competencia sobre las plántulas recién incorporadas. Este desbroce se puede realizar mediante desbrozadoras de cadenas, bien con un herbicida de amplio espectro.

A continuación, hay que realizar un laboreo superficial. Si existe riesgo de encharcamiento, habitualmente se realiza un drenaje. En el caso de los álamos, se puede evitar, ya que es una especie capaz de absorber ese exceso de agua. En otros lugares se ha utilizado para desecar zonas excesivamente húmedas.

Finalmente se realizarán los hoyos para el trasplante. Éstos se pueden realizar bien de forma manual o con una ahoyadora. Otra alternativa es acompañar el desbroce con la escarificación con un rejón acoplado al tractor (*ripper*) realizando un asurcado profundo donde se realizará la plantación. El ahuecado del suelo conseguido, facilita el enraizamiento y el almacenamiento de agua. Esta operación en pendiente es recomendable seguir curvas de nivel.

Hay que tener en cuenta que, debido a la palatabilidad del álamo, la plantación puede ser atacada por mamíferos, especialmente en los primeros años, cuando la planta es más tierna. Para evitar este riesgo, habrá que dimensionar un vallado alrededor de la zona de plantación.

### **Marco de plantación**

En plantaciones energéticas en suelo fértil, generalmente se utilizan marcos de plantación de 2 x 3 m (1666 plantas por hectárea). Para las nuevas plantas híbridas, el marco de plantación aconsejado es de 1 x 2 m (5000 plantas por hectárea) por la mejora obtenida en cuanto a tiempo de crecimiento y necesidades, pero en plantaciones para bioenergía experimentales en Mendoza (Argentina), se están manejando densidades de plantación de entre 10000 y 20000 pies por hectárea.

### **Deshierbado**

Se recomienda hacer un deshierbado mecánico previo a la plantación. En el primer año de instalación de esta, se llevará a cabo un tratamiento químico si la ocupación del suelo así lo requiere, con un herbicida adecuado y a dosis bajas (con objeto de reducir la competencia mineral con las raíces de los árboles).

En años posteriores, y gracias al cierre de copas, este requerimiento no suele darse, pues la presencia de hierbas es prácticamente nula.

### **Tecnología de fertilización**

Si las características del suelo lo requieren, se deberá añadir un abono orgánico previamente a la plantación. También existe la posibilidad

de añadir lodos residuales de depuradoras en lugar de un abono nitrogenado.

El abonado a lo largo de la vida del álamo blanco no es necesario en un principio, pero según la densidad de plantación, el suelo podría agotarse, así que hay que realizar un seguimiento. En algunas plantaciones de híbridos sí que se opta por aplicar un abono foliar 9:18:27, unos 300 kilogramos por hectárea.

El abonado del terreno no es necesario si el suelo tiene unas porciones asimilables de N:P: K de 5:30:100 mg/kg respectivamente (Sixto *et al.*, 2007). En ocasiones, se realiza una aportación durante los primeros años para incrementar la velocidad de crecimiento en el caso de plantaciones intensivas o si el suelo no cubre los requerimientos mínimos. En cualquier caso, siempre es recomendable el fraccionamiento del abonado en el tiempo.

Hay que tener en cuenta la remineralización del suelo debido a las hojas y ramas, por ello se recomienda triturar y dejar una fracción de los restos de plantaciones anteriores, en lugar de retirarlos todos completamente.

## Tecnología de propagación y plantación

La reproducción puede ser tanto sexual como asexual, con similar tasa de éxito.

- Reproducción por semillas: se realiza cuando no es importante mantener la identidad con el parental. Las semillas se recolectan maduras, siendo un trabajo difícil debido a que van unidas a un vilano blanquecino que las desplaza más o menos lejos según el viento.

Una vez recolectadas, se humectan un par de días en un recipiente y se les adiciona un sustrato mineral, para favorecer la germinación. A continuación, se colocan en refrigeración, en torno a 5 °C, por varios meses. El proceso de estratificación imita las condiciones invernales de inactividad. Al sacarlas del frigorífico y aumentar su temperatura, se les activa el metabolismo de germinación.

Por último, se plantan en recipientes de turba con perlita, hacia el final del invierno (febrero en el hemisferio norte, julio en el hemisferio sur), coincidiendo con el aumento de temperatura primaveral. En caso de que las temperaturas no aumenten, se debe germinar en invernadero. El uso de turba permite manipularlo fácilmente y garantiza un buen drenaje. Las macetas se dejan a la intemperie, en zonas soleadas hasta la germinación.

El riego de macetas es aconsejable hacerlo mediante un sistema de goteo, en días alternos, para mantener la turba hidratada.

El trasplante se realiza hacia el otoño, es decir, unos 7 u 8 meses más tarde, según el clima de la zona. Al ser plántulas más pequeñas que las obtenidas por esquejes, los hoyos han de ser menos profundos, o bien han de rellenarse con compost o turba antes de la plantación.

- Reproducción por estacas: se define como estaca cualquier fragmento vegetativo que, separado de la planta progenitora, es capaz de enraizar formando una nueva planta independiente. Las partes con mejores características para este tipo de propagación se encuentran generalmente en la parte superior del tallo, seleccionando los 4 o 5 varas más vigorosas de unos 3 a 4 centímetros de diámetro y de 40 a 70 cm de largo. Se obtienen durante el descanso de la planta, es decir, tras perder las hojas.

En cada vara se eliminan las puntas realizando un corte a bisel. Se dejan 2 días con su base sumergida en agua, plantándose posteriormente, enterrando 20 centímetros. En 2 o 3 meses se obtiene el esqueje enraizado. También se pueden enterrar en posición horizontal envueltas en una lona, hasta ser plantadas. Se pueden almacenar un máximo de 20 a 30 días. Otra opción es la conservación en una cámara frigorífica, a 2-4°C y con un 80% de humedad.

Para la producción de estacas, las varas pueden plantarse en viveros a 0,3 m entre sí y 1 m entre filas. Las estacas se entierran 20-25 cm en suelo mullido dejando afuera 2 o 3 yemas, cuidando que las yemas queden hacia arriba.

Las estacas deben ser delgadas. Tras 1 o 2 años, se desnudan y trasplantan a la parcela definitiva.

### **Sistema de riego**

Al terminar la plantación, se recomienda regar cada ejemplar con 10-20 litros de agua. Durante el tiempo que dure la plantación, hay que aportar entre 2000 y 3000 l/m<sup>2</sup> al año. El sistema de riego suele ser por aspersión.

Según la pluviometría de la zona, habrá que modificar el riego para que se complemente con la lluvia. También es importante el cálculo de la evapotranspiración, que permitirá ajustar el riego, evitando déficits o excesos.

## Poda

Para uso maderero, se suelen podar las ramas inferiores, consiguiendo una mayor altura de tronco neto. En el caso de que tenga destino energético, no es necesario.

Aunque no requiere poda, se eliminan las ramas rotas por el aire, secas o enfermas, a finales de invierno. Nunca realizar una poda severa del árbol.

## Tecnología de cosecha

La plantación destinada a la producción de biomasa requerirá un turno de corte recomendado bianual (tala en años alternos), permitiendo que rebrote y crezca la planta.

Una rotación recomendada puede ser cada dos o tres años, replantando tras el turno de corte, aunque puede mantenerse la misma hasta 15 años, haciendo 5 ciclos con los cortes cada 2 o 3 años según la planta o híbrido que se utilice.

## Tala

La tala del árbol se realiza tradicionalmente mediante motosierra en zonas de difícil acceso. En terrenos llanos la opción mecanizada sería utilizar una taladora apiladora.

Las taladoras apiladoras son máquinas autopropulsadas que mediante un brazo articulado y pluma es capaz de apeaar árboles separados de la máquina hasta 7-8 metros. Poseen un cabezal dotado de dos grapas que cogen fuertemente el árbol por la parte inferior del tronco, posteriormente un dispositivo de corte lo tala. Una vez el árbol es cortado el brazo articulado lo deja apilado en una zona próxima al

apeo y vuelve a dirigirse a otro árbol, para repetir el ciclo (Velázquez-Martí, 2017).

El sistema de corte del cabezal puede ser un disco aserrado, una motosierra oscilante, o una cuchilla afilada que corta el tronco por cizalla.

El tren de rodaje de estas máquinas puede ser ruedas neumáticas o de cadenas. Sobre el bastidor va montada la cabina de mando que posee capacidad de movimiento giratorio de 360°. La transmisión de estas máquinas suele ser hidrostática tanto para el accionamiento de los elementos de trabajo como para el tren de rodaje.

## Desembosque

La extracción de las piezas hasta el área de acopio se puede hacer con un tractor arrastrador o un tractor autocargador. Según el marco de plantación se dispondrá de caminos para el paso de máquinas de gran capacidad u otras de menor tamaño.

## Astillado y transporte

El astillado se realiza en el área de acopio o cargadero. Se suele utilizar una astilladora transportable. Es decir, una astilladora montada sobre un camión que trabaja sin desplazarse en la pista forestal, en el área de acopio.

Estas astilladoras poseen un deflector emisor de la astilla, que la conduce directamente a un contenedor de transporte.

Los contenedores de transporte pueden estar montados sobre el chasis de los camiones, o ser traccionados por tractores o *trailers*.



## 6. ESTUDIO ECONÓMICO

Para el análisis económico en Ecuador se han considerado los siguientes costes unitarios:

Tabla 1. Precios unitarios del estudio económico.

Materias primas	
Plantones	0,25 \$/unidad
Maquinaria	
Retroexcavadora	40,20 \$/h
Taladora apiladora	50,10 \$/h
Tractor autocargador	35,48 \$/h
Astilladora transportable	75,95 \$/h
Contenedor de transporte	3,00 \$/h
Mano de obra	
Jornal	2,5 \$/h

### Precio de mercado

De acuerdo a los informes Argus Media (2019), el precio de mercado de la astilla en el norte de Europa es de 147,63 \$/t. Este precio ha sido el utilizado para el análisis.

### Contabilización de costes

El balance económico se realiza para una plantación de 2 x 3 m, es decir, 1667 plantas/ha. La evaluación se de costes diferirá bastante si las tareas se realizan de manera manual o se pueden mecanizar,

decisión que dependerá de las características de la parcela en la que se realice la plantación.

**Tabla 2. Costes de plantación manuales.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Desbroce	jornales/ha	8	15	120
Alquiler desbrozadora	ud/ha	8	4	32
Abertura de pozos	jornales/ha	25	15	375
Plantación	jornales/ha	14	15	210
Plántulas	ud/ha	2500	.	.

**Tabla 3. Costes de plantación mecanizados.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Desbroce	jornales/ha	1	15	15
Alquiler retroexcavadora	ud/ha	1	322	322
Ahoyado mecanizado	jornales/ha	3	15	60
Plantación	jornales/ha	14	15	280
Plántulas	ud/ha	2500	.	.

De acuerdo con Ghaffariyan y Brown (2011) para el cálculo de los costes de cosecha se ha considerado una productividad de la taladora apiladora de 45 t/h, una productividad de 4 t/h para el tractor autocargador (Cremer y Velázquez-Martí, 2007), y una productividad de 40 t/h en la asitilladora (Ghaffariyan y Brown, 2011).

**Tabla 4. Costes de cosecha manuales.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Tala	jornales/ha	10	15	150
Alquiler motosierra	ud/ha	10	22	220
Extracción	jornales/ha	30	15	450
Astillado	h/ha	0,5	79,85	40,00
Transporte	h/ha			

**Tabla 5. Costes de cosecha mecanizados.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Taladora apiladora	h/ha	0,45	50,10	22,55
Tractor autocargador	h/ha	5	35,48	177,40
Astillado	h/ha	0,5	79,85	40,00
Transporte	h/ha			

**Tabla 6. Resumen de costes manuales.**

Concepto	Medición	Unidad
Plantación	449,58	\$/ha
Poda	300	\$/ha
Cosecha y transporte	239,87	\$/ha

Tabla 7. Resumen de costes mecanizados.

Concepto	Medición	Unidad
Plantación	449,58	\$/ha
Poda	300	\$/ha
Cosecha y transporte	239,87	\$/ha

El coste total de la plantación resulta de 989,45 \$/ha. Los ingresos se estiman en 129,5 \$/t, que equivalen a 2590 \$/ha. Por tanto, el flujo de caja después del ciclo de cultivo, considerando de tres años, es de 1600,5 \$/ha, 80 \$/t.



## 7. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LA MADERA

Las propiedades termoquímicas de la madera del álamo son las siguientes:

Tabla 8. Propiedades termoquímicas de la madera del álamo.

Poder calorífico	18,33 ± 0,08 MJ/kg
Densidad a granel con P15	0,3625 t/m <sup>3</sup>
Porcentaje de cenizas	1,29 ± 0,04 %
Porcentaje de Volátiles	82,21 ± 0,32%
Porcentaje de carbono fijo	9,95 ± 0,46 %
Contenido en C	44,15 ± 1,04%
Contenido de H	0,64 ± 0,03 %
Contenido en N	1,14 ± 0,1 %
Contenido en S	0,87 ± 1,57 %
Contenido en Cl	0,014 %
Humedad en materia seca	6,55 ± 0,42%



## 8. CONCLUSIONES

En las plantaciones energéticas de *Populus Alba* L. con marcos de  $2 \times 2 \text{ m}^2$ , en los que se plantan 2500 árboles por hectárea se pueden obtener árboles de 8 cm de diámetro normal a los 3 años. Esto supone una producción de 18,5 kg/árbol, considerando exclusivamente la parte aérea, lo que equivale de hasta 46,2 t/ha de biomasa seca combustible.

Usando como referencia el precio del mercado europeo 129,5 \$/t, el coste de la producción se sitúa en 989,45 \$/ha, con un beneficio de 5000 \$/ha. Además, hay que valorar las bajas emisiones asociadas a la combustión del álamo.

Existen híbridos de *Populus* diseñados específicamente para el cultivo energético, con menores tiempos de crecimiento, resistencia a plagas y enfermedades, y marcos de plantación más pequeños. El uso de alguno de estos híbridos en lugar del *Populus Alba* L., abarataría los costes y mejoraría la productividad.

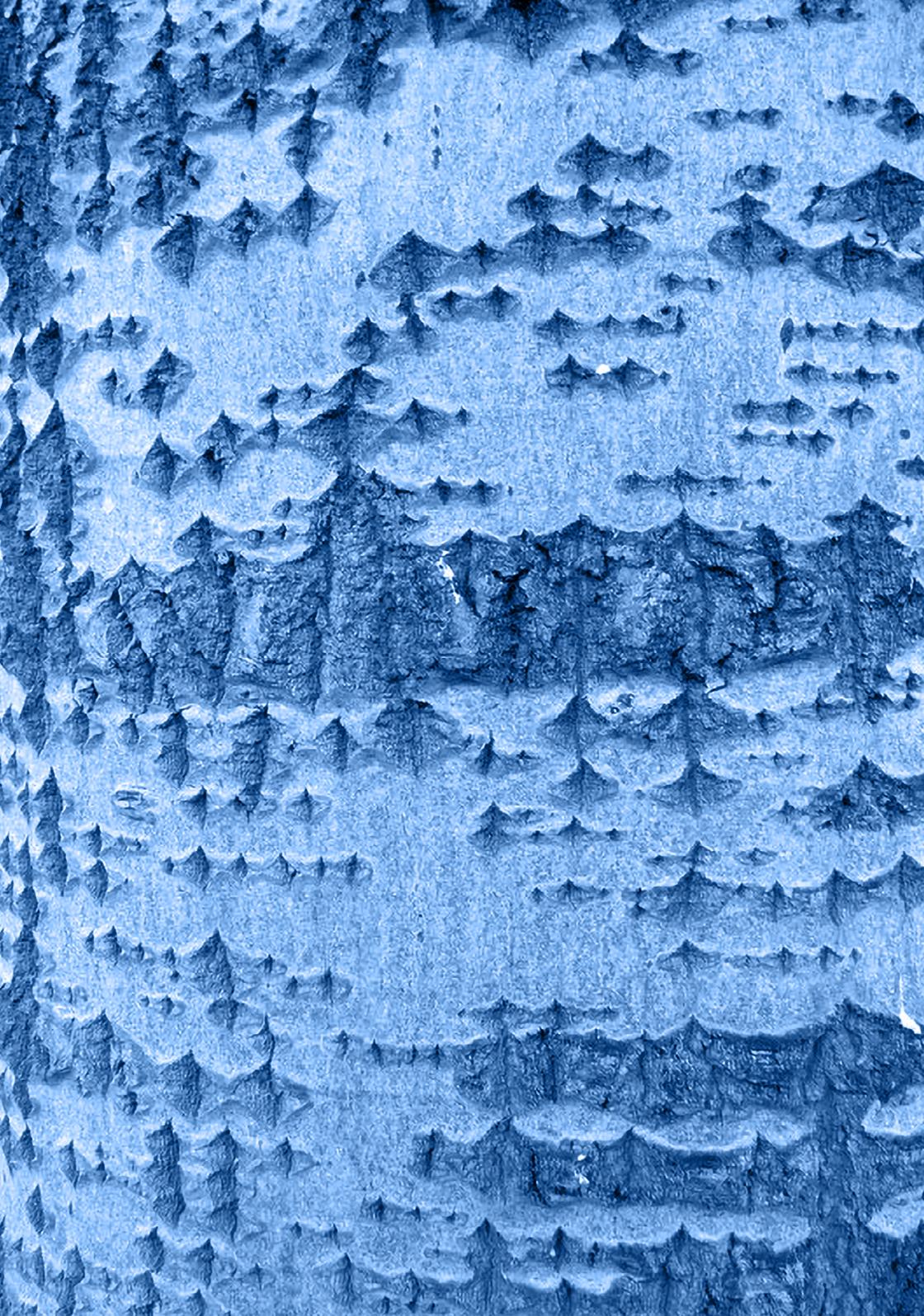


## REFERENCIAS

- Achinelli, F., Baridón, E., Coleman, M., Francisco, M., Aparicio, A., & Marlats, R. (2003). Estado nutricional y respuesta a la fertilización localizada en *Populus*. Resumen de la ponencia presentada al XII Congreso Forestal Mundial, Québec, Canadá. 0386-B4. <http://www.fao.org/3/XII/0386-B4.htm>
- Argus Media. (2019). <https://www.argusmedia.com/es/bioenergy>
- Atencia, M.E. (2016). Tabla De Densidad de maderas. Directorio Forestal Maderero. <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/tabla-de-densidad-de-maderas.html>
- Baettig P.R., Yáñez A.M., & Albornoz A.M. (2010) Short rotation woody crops of hybrid poplars for bioenergy in Chile: state of the art. *Bosque (Valdivia)*, 31 n.2 Valdivia. Versión On-line ISSN 0717-9200. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000200002>
- Comisión Nacional del Álamo de Argentina. (2012). Informe Nacional: Periodo 2008-2011. <http://www.fao.org/forestry/download/33551-0c31085383465eb296f62937806ac7449.pdf>
- Cremer, T., Velázquez-Martí, B. 2007. Evaluation of two harvesting systems for the supply chips in Norway spruce forest affected by bark beetles. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(2): 145-155. <https://hrcak.srce.hr/18249>
- Faustino, L.I., Rodríguez, M.E., Álvarez, J.A., Doffo, G.N., Cortizo, S.C., & Graciano, C. (2016). Rendimiento y extracción de nutrientes en estaqueros del Delta del Paraná fertilizados con nitrógeno o fósforo. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 115(1): 179-190. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5832633.pdf>

- Garau, A., Filippini de Delfino, S., Berrondo, G. (2000). Influencia de factores climáticos en las fechas de inicio de floración y brotación de clones de álamo en el Delta del Paraná, Argentina. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.*, 9(1): 170-176. <http://www.inia.es/IASPF/2000/vol9/garau.pdf>
- Ghaffariyan, M., & Brown, M. (2011). Efficiency of Biomass Harvesting in Poor Quality Stands of *Eucalyptus* in Western Australia. *34th Council on Forest Engineering*, June 12-15, 2011, Quebec City (Quebec).
- Marcos, F., Izquierdo, I., Gracia, R., Godino, M., Ruiz, J., & Vilegas S. (2002). Estudio de plantaciones energéticas de chopo (*Populus × euramericana* cv.I-214) a turnos muy cortos. Documento interno del Departamento de Ingeniería Forestal ETSI de Montes, Madrid. 30 pp. [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/article/download/16297/16140/](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/download/16297/16140/)
- Marcos, F., Godino, M., García, F., Izquierdo, I., & Villegas, S. (2005). Tallares de chopo I-214 a turnos muy cortos. IV Congreso Forestal Español. [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/article/view/16297](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/16297)
- Martín B.E., & Ibarra I.N. (2011) *Cryptorhynchus lapathi* L.: Gorgojo perforador de chopos. Plagas y enfermedades de las masas forestales españolas. Ficha N°24 de REDFORESTA. <http://www.redforesta.com/wp-content/uploads/2011/08/FICHA-N24-Cryptorhynchus-lapathi.pdf>
- Ministerio de agricultura y ganadería de Ecuador. Sistema de información pública agropecuaria. <http://sipa.agricultura.gob.ec>

- Precio de plantas y semillas por estación experimental. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://www.iniap.gob.ec/pruebav3/wp-content/uploads/2014/06/Listado-de-precios-plantas-y-semillas.pdf>
- Pozzo Ardizzi, M.C. (2013). Cancrosis del Álamo en Plantaciones Comerciales de la Región del Comahue. Estado Actual y Perspectivas. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Buenos Aires. 207pp. <http://www.patologiaforestal.com/descargas/Cancrosis%20%C3%A1lamos%20Patagonia.pdf>
- Sixto, H., Ruiz, V., Grau, J.M., & Montoto, J.L. (2001). Primeros resultados de un ensayo de riego en vivero de planta de chopo. *Ier Simposio del Chopo. Actas del Congreso*, Zamora. pp. 159-166. <http://www.pfcyl.es/sites/default/files/eventos/10comunicacion-9mesa2.pdf>
- Sixto, H., Grau, J., & Gonzalez-Antoñanzas, F. (2008). Populicultura (*Populus* spp. e híbridos). *Compendio de Selvicultura Aplicada en España* (pp.553-586) Editores: R. Serrada, G. Montero, J. Reque.
- Sixto, H., Hernández, M.J., Barrio, M., Carrasco, J., & Cañellas, I. (2007). Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 16(3), 277-294. <https://doi.org/10.5424/srf/2007163-01016>
- Thomas, E. (2011). Biología y manejo integrado de *Megaplatus mutatus* en los valles del norte de la Patagonia. Disertación. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas. <http://www.unsa.edu.ar/biblio/herbario/flora/vol4/pdf/14.%20CAPRIFOLIACEAE.pdf>



# ANEXO

Híbridos del *Populus*



En cultivos energéticos es común la utilización de híbridos de *Populus*, obtenidos con el único fin de incrementar la cantidad de biomasa seca por hectárea y año, a la vez que se reducen los costes de plantación. Para incrementar la biomasa obtenida, se buscan híbridos de crecimiento más rápido y que sean capaces de crecer en un marco de plantación menor. Se han estudiado densidades de hasta 40000 pies por hectárea, con los clones G3, G48 y G121 del *Populus deltoides* (Singh y Behl, 2001).

La utilización de un determinado clon no asegura el aumento del rebrote, pues se ve afectado por otros parámetros como la interacción con el medio o su genotipo. La decisión de replantación o utilización del rebrote se realizará en función de la densidad de plantación. Para plantaciones con densidades superiores a 1500 pies ha<sup>-1</sup>, es mejor plantar nuevas estaquillas (Tuskan, 1998), en caso contrario se puede aprovechar el rebrote para un segundo ciclo de producción.

Además de incrementar la productividad en muchas ocasiones los híbridos son seleccionados para que resistan las plagas y las enfermedades se evitan los tratamientos fitosanitarios, lo que reduce los costes de producción. Además, se busca también aumentar la tolerancia a los herbicidas. La propagación de malas hierbas o malezas en las plantaciones recientes provoca competencias y disminución de la velocidad de crecimiento y productividad. Ello obliga en ocasiones a utilizar herbicidas. La resistencia de los híbridos resistentes a éstos evita la posibilidad de que las plantas jóvenes mueran y se hayan de replantar. Así se abaratan los costes de las actividades silviculturales, especialmente en las zonas en pendiente, que requieren de un gran presupuesto de mano de obra.

Por otra parte, conviene seleccionar híbridos con mayor resistencia a las necesidades hídricas, de tal manera que puedan crecer mejor en suelos infértiles y permitirán la plantación en cualquier ubicación.

La optimización de estos parámetros puede cambiar según el emplazamiento y según el uso final del cultivo. La fácil hibridación permite encontrar el clon que mejor se adapte a las condiciones de cultivo. Para uso energético, las densidades de plantación son mayores, la poda es evitable, y los tratamientos fitosanitarios pueden reducirse, mientras no peligre la integridad de la planta.

El *Populus alba* no se usa comúnmente para la hibridación porque la reproducción asexual es más difícil que en otras especies, aunque es capaz de desarrollarse bien en plantaciones de alta densidad (Alba et al., 2006). En su lugar, se han estudiado las posibilidades de otras especies como:

- *Populus nigra*: es una especie común en Europa y oeste de Asia, y es capaz de crecer en casi cualquier tipo de suelo.
- *Populus deltoides*: es el álamo negro norteamericano, tiene mayores necesidades hídricas pero su crecimiento es más rápido.
- *Populus trichocarpa*: también es una especie norteamericana, que aporta una mayor resistencia frente a plagas y enfermedades.

Los híbridos que se han estudiado en diferentes países, condiciones climáticas, densidades de plantación, turnos de corte y rotación, han dado buenos resultados en cuanto a la producción de biomasa, en toneladas de materia seca por hectárea y año. Los más destacados fueron:

- I-214 (*P. deltoides* × *P. nigra*)
- 44-136 (*P. trichocarpa* × *P. deltoides*)

- I1-I1 (*P. trichocarpa* × *P. deltoides*)
- Beaupré (*P. trichocarpa* × *P. deltoides*)
- Raspalje (*P. trichocarpa* × *P. deltoides*)

Los resultados obtenidos difieren según los países, el clon estudiado, las densidades de plantación, los turnos de corte y la rotación. Según Sixto *et al.* (2007), el clon I-214, estudiado su cultivo en España, parece ser el más productivo, con una densidad de 5000 plantas ha<sup>-1</sup>, con turno de corte cada 2 años y primera rotación, fue capaz de producir 10,9 toneladas de materia seca por hectárea y año. Además, en general, presenta buena adaptación a diferentes suelos, y presenta buena tolerancia a plagas y enfermedades, sin ser exigente en cuanto a necesidades hídricas y nutricionales.

Con densidades de plantación superiores a 25000 pies por hectárea, Marcos *et al.* (2005) consiguió hasta 18 toneladas de materia seca por hectárea y año en la primera corta, e incluso superiores en la segunda.

Las características de la madera del clon I-214 son las siguientes:

**Tabla 9. Características energéticas del álamo I-214 (Marcos *et al.* 2005).**

Poder calorífico	17,556 MJ/kg
Densidad a granel con P15	0,3768 t/m <sup>3</sup>
Contenido en C	49,2 %
Contenido de H	6,3 %
Contenido en N	0,33 %
Contenido en S	0,02 %
Contenido en Cl	0,015 %

Para seleccionar el clon óptimo han de evaluarse las similitudes de temperatura, lluvia y tipo de suelo con la zona en la que se ha realizado el estudio.

La densidad de plantación prevista también puede ser decisiva en la elección, puesto que no todos los terrenos permiten densidades tan altas. Hay que calcular el mínimo necesario entre filas y pies para permitir el paso de la maquinaria necesaria o de los operarios que realizarán las tareas.

## REFERENCIAS

- Alba, N., Godoy, N., & Sixto, H. (2006). Growth and potential production of different *Populus alba* L. clones for biomass. *15th European Biomass Conference and Exhibition*. Berlín. pp. 728-729
- Marcos, F., Godino, M., García, F., Izquierdo, I., & Villegas, S. (2005). Tallares de chopo I-214 a turnos muy cortos. *IV Congreso Forestal Español*. [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/article/view/16297/16140](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/16297/16140)
- Marcos, F., García, R., García, F., Godino, M., Relova, I., & Villegas, S. (2005). Caracterización energética de la biomasa de chopo (*Populus x euramericana* I-214). *IV Congreso Forestal Español*. [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/article/view/16541/16384](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/16541/16384)
- Sixto, H., Hernández, M.J., Barrio, M., Carrasco, J., & Cañellas, I. (2007). Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 16(3), 277-294. <https://doi.org/10.5424/srf/2007163-01016>
- Singh, B., & Behl, H.M. (2001). Scope of *Populus deltoides* on marginal lands of Indo-Gangetic plains. *Indian forester* 127(1), 91-100.
- Tuskan, G.A. (1998). Short-rotation woody crop supply systems in the United States: what do we know and what do we need to know? *Biomass and Bioenergy* 14, 307-315. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10065-4](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10065-4)



# Aliso. *Alnus acuminata* K.

## I. DESCRIPCIÓN

### Características generales

El *Alnus acuminata*, conocido comúnmente como Aliso en Ecuador, es un árbol caducifolio. Alcanza entre 15 y 30 metros de altura, y entre 50 y 80 centímetros de diámetro. Su tronco es recto, es habitual que esté bifurcado, y la corteza es grisácea. La copa es estrecha e irregular.



Figura 1. Aliso



Figura 2. Corteza del Aliso

Su crecimiento es bastante rápido, aproximadamente 2 metros por año.

Su madera es de buena calidad, liviana y resistente. Es apta para la construcción y también se utiliza en artesanías. La pulpa se destina a la fabricación de papel y la corteza se emplea en el curtido del cuero

por su riqueza en taninos, y tanto la corteza como las hojas tienen aplicaciones medicinales.

Se planta para regenerar suelos, proteger cuencas hidrográficas y reducir la erosión. Su aplicación en sistemas silvopastoriles ha contribuido a aumentar su demanda.

El *Alnus acuminata* K. pertenece a la familia de las *Betulaceae*, dentro de la cual se hayan también los abedules. Existen especies de *Alnus* adaptadas a casi todos los lugares, como el *Alnus glutinosa* L. característico de Europa o el *Alnus incana* L. de Eurasia. Otras especies son apreciadas por las diferentes tonalidades de su follaje, y su uso es puramente ornamental, como el *Alnus incana* 'Aurea' (amarillo) o el *Alnus rubra* (rojo).

### Sistema radicular

Sus raíces son poco profundas, muy extendidas y, muchas de ellas, leñosas.

En los primeros 5 cm de tierra se hayan los nódulos que permiten fijar una gran cantidad de nitrógeno al suelo, siendo de las pocas plantas no leguminosas capaces de hacerlo. Por ello, se usa para reforestar y mejorar la calidad del sustrato.

### Tallo

El tronco es cilíndrico o ligeramente ovalado, y normalmente está ramificado. Su corteza es lisa y plateada en la juventud y, cuando crece, se vuelve más rugosa, de color grisáceo y presenta fisuras transversales.

La disposición y tamaño de las ramas depende de donde se presente el ejemplar. Si el árbol crece en plantaciones de alta densidad, las ramas crecen más arriba, dejando el tronco libre de nudos y creando

una copa triangular y angosta. En cambio, si crece libremente, la copa es más irregular y desde la base del tronco nacen ramas gruesas.

## Hojas

Las hojas son alternas y tienen entre 6 y 15 centímetros de largo, y de 3 a 8 centímetros de ancho. Su forma es ovada, con ambos márgenes serrados. Inicialmente son pilosas, con el haz ligeramente resinoso, para posteriormente volverse glabras, tanto en el haz como en el envés.



Figura 3. Hojas de Aliso

El haz verde oscuro brillante, y el envés es de una tonalidad más clara, con pelos de color rojizo. Los nervios resaltan en el envés en un tono amarillento.

## Flores

Las flores femeninas y masculinas aparecen bien diferenciadas, aunque ambas se disponen en inflorescencia de tipo amento. Las masculinas oscilan entre los 5 y 10 centímetros de largo, se agrupan de

tres en tres, y cuelgan desde el extremo de las ramas. Son cilíndricas y de color verde amarillento. Las femeninas son más cortas, entre 0,7 y 2,5 centímetros, también cilíndricas pero erectas. Inicialmente son verdes, y evolucionan a rojizas a medida que maduran.



Figura 3. Flores masculinas de Aliso

## Frutos

El estróbilo, resultado de la maduración de la flor femenina, alcanza entre 1,5 y 3 centímetros de largo, y entre 1 y 1,5 centímetros de diámetro. En este punto ya han adquirido una coloración marrón. Las escamas lignificadas son de unos 2 mm de largo y entre 0,2 y 1 mm de largo.

En las escamas están adheridas las semillas, entre 80 y 100 por cada fruto. Las semillas son marrones, planas, de alrededor de 1 mm de largo y muy ligeras.

## 2. DISTRIBUCIÓN

Es una especie nativa de las zonas de media y alta montaña de Centroamérica y América del Sur. Se extiende desde el norte de Argentina hasta el noroeste de México, teniendo presencia importante en los Andes peruanos y bolivianos. En las cordilleras Central y Oriental de Colombia se encuentra de manera natural, pero además se está propiciando su cultivo como alternativa en sistemas silvopastoriles.

Se ha logrado introducir en Nueva Zelanda y el sur de Chile, zonas de menor altitud pero temperaturas y precipitaciones similares.

Crece entre los 1700 y los 3500 metros sobre el nivel del mar, en bosques secos y húmedos.



### 3. EXIGENCIAS DEL CULTIVO

#### Temperatura mínima y máxima, rango óptimo

Su vegetación óptima se da en un rango de temperaturas entre 4°C y 20°C, soportando máximas de en torno a 27°C y mínimas de -2°C. Las altas temperaturas serán más perjudiciales para el crecimiento del aliso que las bajas, ya que es capaz de sobrevivir a heladas de hasta -10°C durante periodos muy cortos, aunque esto retrasará su crecimiento.

#### Fotoperiodo

Durante sus primeros meses de crecimiento requiere de luz solar directa para un desarrollo óptimo. Hay que evitar la competencia por luz con otras especies cercanas.

Posteriormente, cuando su sistema radical aumente, la semisombra producida por los otros árboles no supondrá ningún inconveniente para su evolución.

#### Necesidades de agua

Habitualmente vegeta de manera natural en las riberas de los ríos y en quebradas, por lo que el suministro hídrico está asegurado.

En otros emplazamientos, podemos usar la pluviometría anual para estimar las necesidades de agua. Las aportaciones oscilan entre 750 y 3000 mm anuales y, además, son regiones con estaciones secas que duran entre 2 y 5 meses. Estos datos indican que es capaz de aguantar largas temporadas sin agua, por lo que el riego en plantación regular no será necesario.

Sí que es sensible a las sequías en su desarrollo inicial, si se realiza la plantación en un año especialmente seco habrá que recurrir al riego

Se debe garantizar un buen drenaje, pues el encharcamiento sí que resulta problemático. No tolera inundaciones ni terrenos pantanosos, causarán la podredumbre y muerte del árbol.

### **Necesidades nutricionales**

El aliso necesita de un suelo fértil, rico en materia orgánica, especialmente tras la plantación. Posteriormente, al ser capaz de fijar el nitrógeno, enriquecerá los terrenos más pobres, y sus hojas son de rápida descomposición y sirven como abono.

### **Exigencias de suelo**

Crece en casi cualquier suelo, pero prefiere los limosos, francos, franco-arenosos, volcánicos o aluviales. Los factores determinantes son la riqueza en materia orgánica, la profundidad y un buen drenaje. Prefiere suelos ácidos, con un pH entre 4,5 y 6,0. Si se cumple esto, es capaz de vegetar hasta en arena, grava o arcilla. No vegeta en suelos pantanosos ni mal drenados.

Por su adaptación a diferentes suelos, se usa en suelos degradados, en los que tiene un desarrollo peor, para revitalizarlos y permitir un cultivo posterior.

## 4. PRINCIPALES ENFERMEDADES Y PLAGAS

El aliso, como la mayoría de los árboles, puede verse afectado por plagas. No se recomienda ningún tratamiento preventivo, es mejor esperar a tener constancia de la presencia de los insectos, pues según el clima de la zona de plantación pueden evitarse algunas plagas.

### Insectos

*Corthylus n. sp.*: es un coleóptero de la familia Scolytidae, conocido como barrenador del aliso, de unos 3 mm de largo. Produce un daño considerable al árbol al perforar galerías de unos 2 mm de diámetro en el tronco, visibles por el aserrín acumulado en la entrada. La calidad de la madera se ve reducida, y, además, a estos orificios se les asocian ciertos hongos que causan la podredumbre y muerte del árbol. Su presencia se puede detectar y controlar usando trampas con alcohol.

*Scolytodes alni*: también es un coleóptero de la familia Scolytidae, comúnmente se le conoce como descortezador del aliso. Es una plaga importante en Costa Rica. Causa gran mortandad en la plantación. Hay que eliminar los ejemplares afectados para evitar el contagio.

*Chalcophana sp.*: es un coleóptero de la familia Chrysomelidae, conocido como comedor de follaje del aliso. Las hembras son verde oscuro y alcanzan los 8 mm, mientras que los machos son dorados brillantes y de hasta 6 mm. Causan perforaciones irregulares entre las nervaduras principales de las hojas. La pérdida de hojas aumenta el estrés de la planta. En árboles jóvenes, pueden causar la defoliación total. El daño no es económicamente importante, por lo que no se trata como plaga ni existen métodos de control probados. Algunos estudios defienden el control biológico con el parásito *Enoggera reticulata*.

*Diabrotica* sp.: coleóptero de la familia Chrysomelidae, conocido como cucarroncito verde. Los adultos, de entre 4 y 6 mm, causan una leve defoliación. Las larvas, en cambio, se alimentan del cuello de la raíz, retardando el crecimiento, y en casos graves, el volcamiento y la muerte del ejemplar. Se elimina con insecticidas de contacto, que se pueden aplicar desde antes de la floración hasta la recolección de semillas, si se detecta la presencia de insectos adultos.

*Nodonota* sp.: es un coleóptero de la familia Chrysomelidae, comúnmente llamado tortuguita verde. Las larvas miden entre 7 y 9 mm y atacan las raíces y la corteza, favoreciendo la actuación de hongos que causan podredumbre. Los adultos, de 4 a 5 mm, se alimentan de los brotes y de las hojas, se detectan por las perforaciones circulares y el amarillamiento del follaje. Hay que tratar el árbol con insecticida de contacto, pues la plaga puede acabar con él si no se trata.

*Macrodactylus* sp.: coleóptero de la familia Melolonthidae, se le conoce como frailecito. El insecto adulto tiene una longitud de 10,4 mm. Se alimenta de los tejidos tiernos de yemas y hojas, dejando únicamente las nervaduras, lo que se conoce como esquelitización. Se previene con barreras mecánicas para que las larvas no suban del suelo a la copa. Se trata con insecticidas de contacto aplicados al final de la estación lluviosa y principios de la seca.

*Oxydia olivata*: lepidóptero de la familia Geometridae, conocido como defoliador del cerezo (otro de los nombres comunes del *Alnus Acuminata*). Los machos miden 2,1 cm y las hembras 2,3 cm. Ponen los huevos en el envés de las hojas. Sus larvas causan la defoliación total, pero tras el ataque, el árbol es capaz de renovar el follaje. Se capturan con trampas de luz blanca.

*Chaetocnema* sp.: es un coleóptero de la familia Chrysomelidae, conocido como pulguilla negra. Son muy comunes, pero poco dañinos. Se alimentan de las yemas y de las hojas jóvenes, perforándolas. La defoliación no es ni parcial ni total. El árbol se recupera tras perder las hojas antes de la floración. Puede resultar dañino en las plántulas de vivero. *Manopus biguttatus*: coleóptero de la familia Scarabaeidae, conocido como cucarrón de mayo. En estado adulto, se alimenta de la parte tierna de las hojas y causa la esqueletización de estas. Las larvas comen raíces, debilitando las plantas. Se capturan con trampas de luz blanca, también es recomendable la eliminación de las ramas afectadas.

## Hongos

*Fusarium solani*, *Fusarium* sp. y *Ceratocystis* sp.: están asociados al ataque de *Corthylus* n. sp. Causan chancros, marchitamiento y manchas café a lo largo de la galería, que afectan a los haces vasculares y a los tejidos del parénquima. Para evitarlos, hay que eliminar al barrenador del aliso, ya que existe relación directa entre insecto y hongos. El periodo de germinación y primer desarrollo es el más sensible a los hongos.

*Melampsoridium alni*: se conoce como “roya del jaúl” (otro de los nombres comunes del *Alnus acuminata*). Inicialmente causa manchas amarillentas irregulares en el envés de las hojas, que evolucionan a manchas pardas en ambos lados de la lámina foliar. También puede afectar a las yemas. Han de eliminarse las hojas afectadas y tratar la planta con fungicida cúprico.

*Phomopsis* sp.: provoca quemaduras pardas o negruzcas en la parte apical de los brotes, y avanza hacia el tallo, necrosando la corteza y en casos muy graves, matando al árbol. Se recomienda tratar con fungicidas cúpricos mientras el árbol está en reposo vegetativo.



## 5. TÉCNICAS DE CULTIVO

En cultivos madereros se realizan plantaciones de alta densidad, y a los dos años se extraen los ejemplares mal formados o con problemas fitosanitarios, hasta dejar unos 650 pies por hectárea.

Para cultivos energéticos y turnos de corte de 2 años no existen datos sobre el aliso.

Es un árbol resistente, lo que supone el ahorro de costes fitosanitarios. Los costes asociados al manejo silvicultural también son reducidos, dependen básicamente de las limpiezas del terreno, ya que no requiere poda.

### Tecnología de preparación del suelo

Previamente a la plantación habrá que hacer un desbroce de la parcela, bien de forma mecanizada con desbrozadora de cadenas, bien con un herbicida de amplio espectro.

Si existe riesgo de encharcamiento, se tendrá que hacer un drenaje mediante la apertura de zanjas que desvíen el agua.

El último paso de preparación del terreno será la realización de agujeros, bien de forma manual o con una ahoyadora. Otra alternativa es acompañar el desbroce con el subsolado con un *ripper* en la línea de plantación, que permite que el agua y las raíces se infiltren más fácilmente. En pendiente es recomendable seguir curvas de nivel.

### Marco de plantación

Los únicos datos existentes sobre plantación de aliso son en plantaciones para aprovechamiento de la madera, en sistemas agroforestales y como alternativa silvopastoril.

Para crear cortinas rompevientos se deja una distancia de 2 metros entre filas y 2 metros entre árboles, permitiendo que el árbol alcance grandes alturas y su copa se estreche. Como se desea un turno de corte cada 2 años, el marco de plantación de 2 x 2 metros (2500 plantas por hectárea) es una buena opción.

## **Deshierbado**

Se recomienda eliminar la maleza de manera mecánica o manual, según el terreno, antes de la plantación.

En el primer año de instalación de la plantación, se llevará a cabo la eliminación manual si la cantidad de maleza así lo requiere. El aliso es sensible a la falta de luz y a la competencia mineral en sus etapas iniciales.

En años posteriores, y gracias al cierre de copas, este requerimiento no suele darse, pues la presencia de hierbas es prácticamente nula, y las raíces se habrán desarrollado lo suficiente como para adquirir los nutrientes necesarios.

## **Tecnología de fertilización**

El abonado dependerá del terreno elegido para la plantación. Si el terreno no ha sido trabajado en mucho tiempo, no será necesario hacer nada. En cambio, si ha sido usado para pastoreo o para cultivos intensivos, se recomienda aportar materia orgánica directamente al fondo del hoyo, a razón de 0,5 a 1 kg por hoyo.

Durante la vida del aliso, el suelo verá aumentados sus nutrientes (fósforo, calcio, potasio y magnesio) y la cantidad de materia orgánica.

Se recomienda un análisis de suelo para evaluar el porcentaje de elementos menores, como el cobalto o el molibdeno, que sí que pueden afectar al correcto crecimiento del árbol.

## **Tecnología de propagación y plantación**

Es viable la reproducción sexual y asexual.

Reproducción sexual: las semillas han de recogerse antes de que el fruto caiga al suelo, pues ya habrá perdido la mayoría de las semillas fértiles. La recolección óptima se realiza en la estación seca, época en la que el fruto sea mitad verde, mitad marrón.

Según el destino de los árboles, han de seleccionarse aquellos de características más convenientes para la recolección de sus semillas. También es recomendable tomarlas de árboles que tengan como mínimo 10 años.

Los frutos se han de secar durante una semana en la semisombra para que suelten las semillas adheridas a las aletas y posteriormente separarlas.

Las semillas han de plantarse en germinadores elevados para evitar que se pudran por exceso de humedad. Hacen falta unos 40 m<sup>2</sup> por cada kilogramo de semillas. El sustrato empleado ha de estar suelto y ser homogéneo, con un alto porcentaje de arena (~75%).

Es conveniente usar algún tratamiento para proteger a las semillas frente a larvas y hongos, como rociarlas con insecticida de amplio espectro y dejarlas secar antes de plantarlas.

Las semillas se entierran a una profundidad de 0,5 centímetros, y se cubre el germinador con un protector, como protección frente a la

lluvia y al sol directo. Si se almacenan en lugar de plantarse directamente, el porcentaje de germinación desciende drásticamente. Tras 6 meses almacenadas, solo germina el 10% (Sánchez *et al.*, 2009). Sin tratamientos pregerminativos se logra una tasa de germinación de hasta el 70% en unas 2 semanas.

Cuando las plántulas desarrollan sus primeras hojas, se recomienda el tratamiento fitosanitario con fungicida sistémico de amplio espectro. Al alcanzar unos 7 centímetros de altura, se trasplantan a bolsas de unos 15 cm de profundidad, que será la longitud que alcancen sus raíces antes del trasplante definitivo. El sustrato de estas bolsas ha de tener un menor contenido de arena. A partir del primer mes en las bolsas, se pueden fertilizar para acelerar su desarrollo.

Tras 4 meses, las plántulas han de tener entre 20 y 25 centímetros de altura, y están listas para llevar a la plantación definitiva. Es aconsejable protegerlas del viento hasta que estén asentadas y hayan crecido un poco más.

Otra opción es usar las plántulas que crecen alrededor del árbol, tras la caída del fruto.

Reproducción asexual: el aliso se puede propagar por raíces, estacas o brotes.

Las estacas han de cortarse cerca de la base y han de tener entre 10 y 15 centímetros de longitud y de 0,5 y 2 centímetros de diámetro (CONIF, 2002). Debe haber tres yemas como mínimo por estaca, han de ser yemas activas para garantizar el enraizamiento.

Se plantan ligeramente inclinadas, enterrándolas 4 centímetros. En 6 meses, las plántulas medirán 80 centímetros, dependiendo del clima

y la altitud (Añazco, 1996). Se recomienda plantar en fundas llenas de un sustrato rico en materia orgánica. Las estacas enterradas en suelo con humus tienen un 58% de enraizamiento frente al 15% de las plantadas en suelo sin nada (Portilla, 2012).

Otra opción es la reproducción mediante los brotes del árbol. El aliso se caracteriza por tener en su base muchos brotes, tanto si el árbol está sano como si solo queda el tocón.

Los brotes han de cortarse 1 cm por encima del suelo, y realizarles el mismo tratamiento que a las estacas. Cuentan con la ventaja de un enraizamiento más rápido y la facilidad de obtención, pero se depende de la cantidad de brotes que pueda tener cada árbol.

La propagación vegetativa ofrece más crecimiento en menor tiempo, conserva las características del árbol inicial y tiene un costo de producción menor.

### **Sistema de riego**

Si se han abierto las zanjas para drenaje, el riego puede realizarse por inundación. Conviene observar que no se produce encharcamiento, pues causaría la muerte de la planta.

Se aconseja regar como mínimo una vez a la semana durante la estación seca, y el resto del año, hay que evaluar la necesidad en función de la lluvia.

### **Poda**

El aliso cuenta con poda natural, ellos mismos eliminan las ramas más delgadas.

## Tecnología de cosecha

La plantación destinada a la producción de biomasa requerirá un turno de corte recomendado bianual (tala en años alternos), permitiendo que rebrote desde el tronco y crezca la planta, o arrancando el árbol y replantando con ejemplares jóvenes.

Al no existir plantaciones energéticas de aliso, no se tienen datos sobre la mejor solución ni la densidad de plantación óptima para cada opción.

### Tala

La tala del árbol se realiza mediante motosierra en zonas de difícil acceso para las máquinas, por lo que los costes dependen casi exclusivamente de la mano de obra. En terrenos llanos, se mecaniza el proceso mediante una taladora apiladora.

Las taladoras apiladoras son máquinas autopropulsadas que poseen un brazo articulado con un cabezal dotado de dos grapas que cogen fuertemente el árbol, mientras por la parte inferior del mismo un dispositivo de corte lo tala. Una vez el árbol está cortado la pluma lo deja apilado en una zona próxima al apeo y vuelve a dirigirse a otro árbol, para repetir el ciclo (Velázquez-Martí, 2017).

El dispositivo de corte del que va dotado el cabezal puede ser una motosierra oscilante, un disco de corte o una cuchilla afilada que corta el tronco por cizalla. El brazo articulado y la pluma con el cabezal puede aprear árboles separados de la máquina hasta una distancia de 7-8 metros.

Estas máquinas pueden poseer tren de rodaje de cadenas o por neumáticos. Sobre el bastidor va montada la cabina de mando que posee

capacidad de movimiento giratorio de 360°. Estas máquinas presentan transmisión hidrostática tanto para el tren de rodaje como para el accionamiento de los elementos de trabajo.

## Desembosque

La extracción de los árboles aperados desde el área de corte hasta la zona de acopio se puede hacer con un tractor arrastrador o un tractor autocargador en terrenos llanos. Según el marco de plantación se dispondrá de caminos para el paso de máquinas de gran capacidad u otras de menor tamaño.

En plantaciones de difícil acceso, la extracción ha de ser manual hasta la vereda donde se puedan cargarse. Los costes de mano de obra dependerán del tamaño de los árboles.

## Astillado y transporte

El astillado se efectúa con una astilladora transportable en la zona de acopio o cargadero. Este tipo de astilladoras son montadas sobre un camión, que trabajando sin desplazarse en la pista forestal en la zona de acopio.

Estas astilladoras poseen un deflector emisor de la astilla, que la conduce directamente a un contenedor de transporte.

Los contenedores de transporte pueden estar montados sobre el chasis de los camiones, o ser traccionados por tractores o *trailers*.



## 6. ESTUDIO ECONÓMICO

Para el análisis económico se considerará que se trabaja con estacas enraizadas de unos 80 centímetros de altura. Estas se pueden obtener de manera gratuita de otros árboles, y realizar el enraizamiento personalmente, o comprarlas directamente de un vivero. En el análisis realizado en Ecuador se tomarán los siguientes costes unitarios.

Tabla 1. Precios unitarios del estudio económico.

Materias primas	
Plantones	0,5 \$/unidad
Maquinaria	
Retroexcavadora	40,20 \$/h
Taladora apiladora	50,10 \$/h
Tractor autocargador	35,48 \$/h
Astilladora transportable	75,95 \$/h
Mano de obra	
Jornal	15 \$/jornada

### Precio de mercado

El precio de mercado se ha obtenido de Argus Media (2019), que indica que el precio de astilla en el norte de Europa es de 147,63 \$/t.

### Contabilización de costes

Se considera una plantación de 2 x 2 metros (2500 plantas/ha). En terrenos en pendiente, la mayoría de las tareas de la plantación se deberán realizar manualmente, por la imposibilidad de usar maquinaria. En

terrenos llanos, se puede mecanizar todo el proceso de producción. Por tanto, los costes tendrán una gran diferencia según el terreno en el que se quiera realizar el cultivo. Se ha realizado una estimación de los costes para cada opción.

**Tabla 2. Costes de plantación manuales.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Desbroce	jornales/ha	8	15	120
Alquiler desbrozadora	ud/ha	8	4	32
Abertura de pozos	jornales/ha	25	15	375
Plantación	jornales/ha	14	15	210
Plántulas	ud/ha	2500	0,3	750

**Tabla 3. Costes de plantación mecanizados.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Desbroce	jornales/ha	1	15	15
Alquiler retroexcavadora	ud/ha	1	322	322
Abertura de pozos con ahoyadora	jornales/ha	3	15	60
Plantación	jornales/ha	14	15	280
Plántulas	ud/ha	2500	0,3	750

Para el cálculo de los costes de cosecha se ha considerado una productividad de la taladora apiladora de 45 t/h (Ghaffariyan y Brown, 2011), una productividad del tractor autocargador de 4 t/h (Cremer y Velázquez-Martí, 2007), una productividad de 40 t/h en la astilladora (Ghaffariyan y Brown, 2011).

**Tabla 4. Costes de cosecha manuales.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Tala	jornales/ha	10	15	150
Alquiler motosierra	ud/ha	10	22	220
Extracción	jornales/ha	30	15	450
Astillado	h/ha	0,5	79,85	40,00
Transporte	h/ha			

**Tabla 5. Costes de cosecha mecanizados.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Taladora apiladora	h/ha	0,45	50,10	22,55
Tractor autocargador	h/ha	5	35,48	177,40
Astillado	h/ha	0,5	79,85	40,00
Transporte	h/ha			

Tabla 6. Resumen de costes manuales.

Concepto	Medición	Unidad
Plantación	932	\$/ha
Cosecha y transporte	865,43	\$/ha

Tabla 8. Resumen de costes mecanizados.

Concepto	Medición	Unidad
Plantación	1217	\$/ha
Cosecha y transporte	245,37	\$/ha

El coste total de la plantación mecanizando el proceso es inferior al que supone realizar las tareas manualmente, pero no es una elección económica sino técnica.

El ingreso se estima en 147,63 \$/t, con una producción de 15 t/ha, equivaldría a 2214,45 \$/ha. Por tanto el flujo de caja a los tres años, que es cuando se considera el turno, es de 738 \$/ha año.

## 7. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LA MADERA

La madera del eucalipto posee las siguientes características.

Tabla 9. Características energéticas del aliso.

Poder calorífico	$19,5 \pm 0,51$ MJ/kg
Densidad a granel con P15	$253 \pm 0,24$ kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de cenizas	$3,51 \pm 0,06$ %
Porcentaje de volátiles	$80,12 \pm 0,87$ %
Porcentaje de carbono fijo	$12,36 \pm 0,08$ %
Contenido en C	$47,90 \pm 1,26$ %
Contenido de H	$4,45 \pm 0,62$ %
Contenido en N	$0,68 \pm 0,03$ %
Contenido en S	$0,18 \pm 0,06$ %
Contenido en Cl	$0,03 \pm 0,01$ %



## 8. CONCLUSIONES

El coste de producción se estima en 1797,43 \$/ha cuando las labores se hacen manualmente, y 1462,37 \$/ha, cuando las labores se realizan a través de maquinaria. La producción de biomasa estimada tras 3 años puede ser de 15 t/ha. Con un ingreso estimado por los precios indicados para las astillas por Argus media de 147,63 \$/t, equivaldría a 2214,45 \$/ha. Por tanto el flujo de caja a los tres años, se situaría entre 400 y 700 \$/ha.



## REFERENCIAS

- Argus Media. (2019). <https://www.argusmedia.com/es/bioenergy>
- Carrero, O., Stape, J.L., Allen, L., Arrebillaga, M.C., & Ladeira, M. (2018). Productivity gains from weed control and fertilization of short-rotation *Eucalyptus* plantations in the Venezuelan Western Llanos. *Forest Ecology and Management*, 430, 566-575. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.050>
- Cremer, T., Velázquez-Martí, B. 2007. Evaluation of two harvesting systems for the supply chips in Norway spruce forest affected by bark beetles. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(2): 145-155. <https://hrcak.srce.hr/18249>
- Du Toit, B. (2008). Effects of site management on growth, biomass partitioning and light use efficiency in a young stand of *Eucalyptus grandis* in South Africa. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2324-2336. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.037>
- Ghaffariyan, M., & Brown, M. (2011). Efficiency of Biomass Harvesting in Poor Quality Stands of *Eucalyptus* in Western Australia. *34th Council on Forest Engineering*, June 12-15, 2011, Quebec City (Quebec).
- Gominho, J., Lourenço, A., Miranda, I., & Pereira, H. (2012). Chemical and fuel properties of stumps biomass from *Eucalyptus globulus* plantations. *Industrial Crops and Products*, 39, 12-16. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.01.026>
- Kumar, R., Pandey, K.K., Chandrashekar, N., & Mohan, S. (2011). Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid, *Acacia auriculaeformis* and *Casuarina equisetifolia*. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1339-1344. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.031>
- Velázquez-Martí, B. (2017). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. Ed. Reverté, 840 pp.



# Arupo. *Chionanthus pubescens* Kunth

## I. DESCRIPCIÓN

### Características generales

El *Chionanthus pubescens* Kunth, conocido comúnmente como arupo es un árbol caducifolio, capaz de alcanzar en torno a los 10 metros de altura. Es famoso por su colorida floración. Su crecimiento no es excesivamente rápido, pero se puede estimular mediante el uso de hormonas y un abonado abundante.



Figura 1. Ejemplar de arupo en floración



Figura 2. Corteza del Arupo

Se cultiva únicamente con finalidad ornamental, pues aunque durante todo el año no sea especialmente llamativo, al llegar el verano empieza la floración y las ciudades se tiñen de rosado y blanco, que son las dos variedades de flores que tiene. Además, crece bien en lugares con alta densidad de tráfico, ya que tiene una alta tolerancia al  $\text{CO}_2$ .

Dentro del género *Chionanthus* se incluyen unas 80 especies, casi en su mayoría en zonas tropicales y subtropicales. Aquellas que crecen en zonas tropicales, son perennes, mientras que las caducifolias vegetan en lugares de clima más templado. Las especies que mayor estudio han tenido son aquellas endémicas de Asia, Oceanía y Norteamérica.

## Sistema radicular

El arupo tiene un sistema radical pivotante, desde el eje vertical brotan las raíces secundarias, formando un conjunto muy ramificado. El suelo ha de tener una profundidad mínima para que estas puedan desarrollarse correctamente.

Las raíces laterales pueden resultar problemáticas según lo que haya a su alrededor, ya que agrietan el pavimento. Este problema se da en árboles de unos 10 años (Peralta, 2017), así que, en cultivos energéticos con turnos de corte de 2 años, no llegaría a ser un problema.

## Tallo

El tronco es ramificado, con una base de unos 50 centímetros de diámetro. Su corteza es grisácea con lenticelas. La madera es bastante dura y se usa para fabricar mangos de herramientas.

Las ramas crecen en cualquier dirección, torcidas y de diferentes grosores. En las ciudades se poda para darle forma. Si crece de manera natural, la copa queda con un aspecto irregular, que se aprecia especialmente cuando no hay flores, dando los tallos son erectos, con corteza de color verdoso blanquecino o grisáceo azulado.

## Hojas

Sus hojas son simples, de forma ovada, bordes enteros y la venación pinnada. El haz es glabro y el envés ligeramente veloso. Su peciolo es corto, y se disponen a lo largo del tallo de manera opuesta decusada. Miden entre 4 y 7 cm de ancho y entre 3 y 17 cm de largo.

Al brotar, su color es verde claro, y a medida que envejecen se oscurecen.



Figura 3. Hojas ovadas del arupo



Figura 4: Envés de las hojas del arupó

## Flores

Las flores pueden ser rosadas o blancas. Son conspicuas y se disponen en inflorescencias en forma de racimo. Cada racimo puede

tener entre 40 y 283 flores, y en cada rama pueden haber entre 6 y 9 racimos.

Cada flor tiene 4 pétalos acanalados, de hasta 3 centímetros de largo. Son hermafroditas, con estambres y pistilos en la misma flor. Lo habitual es que presenten 2 anteras, en contadas ocasiones 3. Son inodoras.

La floración es anual, y se distribuye heterogéneamente entre abril y octubre, según las condiciones climáticas de la zona en la que crezcan.



Figura 3. Racimo de flores de arupo

## Frutos

Los frutos son drupáceos, como las aceitunas, de sabor amargo. Tienen un tamaño de alrededor de 1,2 centímetros de diámetro por unos 2 centímetros de largo, los de árboles de flor rosada suelen ser mayores que los de árboles de flor blanca. Al madurar, el fruto adquiere una tonalidad negra. Se recolectan directamente del suelo.

En su interior contienen sólo una semilla, de 0,3 gramos cada una. Mide 0,8 centímetros de ancho y 1,7 centímetros de largo. Las de los árboles de flor blanca suelen ser más redondeadas.



Figura 4. Frutos maduros del arupo



## 2. DISTRIBUCIÓN

El arupo es endémico del sur de Ecuador, de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. También se asocia su origen al norte de Perú, alrededor del departamento de Cajamarca, donde se le conoce como “chuquil”.

Actualmente, debido a su valor ornamental, ha sido introducido en muchas ciudades de los Andes ecuatorianos, en ciudades como Cuenca, Ambato, Guaranda, Quito e Ibarra. Quito es la ciudad con mayor presencia de arupos, en su mayoría rosados.

Crece entre los 1800 y 3050 metros sobre el nivel del mar.



### 3. EXIGENCIAS DEL CULTIVO

#### Temperatura mínima y máxima, rango óptimo

El arupo crece de manera óptima en climas cálidos, con una media de 16°C a lo largo de todo el año. Requiere de ambientes soleados.

Por su localización se entiende que tiene una cierta resistencia a temperaturas ligeramente inferiores, en torno a 6°C, que se alcanzan en ciudades como Quito y Guaranda.

Mientras la planta es joven, puede sufrir daños antes estos descensos de temperatura, por lo que se recomienda mantenerlo en invernadero hasta que alcance un tamaño de 70 cm aproximadamente.

#### Fotoperiodo

Prefiere zonas de exposición directa al sol, con un mínimo de 6 horas diarias de luz. En semisombra se desarrolla más lentamente. En zonas umbrías su crecimiento puede frenarse totalmente, especialmente mientras la planta es joven.

#### Necesidades de agua

Su demanda oscila entre 1000 y 1300 mm anuales, que normalmente ve cubiertas con las precipitaciones. En caso de que la pluviometría sea menor, han de completarse estos requerimientos con un riego por inundación o por goteo, según la disponibilidad existente en la plantación.

En general, resiste mejor las épocas de sequía que las inundaciones y exceso de agua.

## Necesidades nutricionales

Es una especie demandante en cuanto a los nutrientes que extrae del suelo. Se requerirá abonado de manera continua para cubrir sus necesidades. Se recomienda un análisis de suelo previo para evaluar que tipo de abono será más conveniente, ya que según la plantación anterior, habrá diferentes cantidades de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.

## Exigencias de suelo

Tolera todo tipo de suelos, calcáreos, pedregosos, arcillosos, etc., siempre que tengan un buen drenaje.

Al igual que la mayoría de las plantas, prefiere suelos fértiles, ricos en materia orgánica, así que se recomienda un abonado previo para garantizar los nutrientes y facilitar su establecimiento en los primeros meses.

## 4. ESTADIOS FENOLÓGICOS

Tabla 1. Épocas de los distintos estadios.

Plantación	
Germinación	Enero a marzo
Floración	Abril a octubre
Fructificación	Junio a noviembre
Dehiscencia de frutos	Septiembre a diciembre





## 5. PRINCIPALES ENFERMEDADES Y PLAGAS

El arupo se caracteriza por ser resistente a plagas y enfermedades.

Pueden encontrarse insectos, aunque en ningún caso se ha considerado que sean susceptibles de ser tratado para garantizar la integridad de la planta. Se han detectado chinches que manchan los frutos maduros, larvas de mariposas que se alimentan de las hojas, y pupas causadas por arañas. La ausencia de plagas podría deberse a la ausencia de perfume de sus flores, que hace que la especie no resulte muy atractiva.

En cuanto a hongos, cerca de Quito se observaron daños en el limbo foliar de algunos árboles, pero no se identificó el agente (Peralta, 2017).

Nunca se ha realizado un cultivo en alta densidad, así que se desconoce si en una plantación de estas características puede haber mayor dispersión por contagio.



## 6. TÉCNICAS DE CULTIVO

El arupo ha sido utilizado únicamente por su valor ornamental, en jardines y ciudades.

Su cultivo no es muy demandante. En el arbolado urbano se suele podar, sin que suponga riesgo de muerte para el árbol. Al no sufrir plagas ni enfermedades, tampoco requiere de tratamientos fitosanitarios.

### Tecnología de preparación del suelo

La parcela se ha de desbrozar antes de la plantación. Si el terreno lo permite, se puede mecanizar la tarea con una desbrozadora de cadenas, o hacerlo químicamente con un herbicida de amplio espectro. Si se trabaja en pendientes superiores al 30%, la opción mecanizada ha de sustituirse por una desbrozadora manual.

Se aconsejan abrir zanjas para desviar el agua y evitar el encharcamiento, ya que la especie es sensible a un mal drenaje.

El último paso de preparación del terreno será la realización de agujeros bien de forma manual o con una retro equipada con un cazo de 60 centímetros. Otra alternativa es el subsolado con un *ripper* en la línea de plantación. En pendiente es recomendable seguir curvas de nivel.

### Marco de plantación

Debido a su uso en ciudades y jardines, no hay datos sobre ninguna plantación intensiva existente. Como las ramas crecen de manera irregular, ha de garantizarse que los árboles no se molesten entre ellos. El marco de plantación aconsejado estará entre el de

3×3 metros (1111 plantas por hectárea) o 3×4 metros (833 plantas por hectárea).

En cuanto a la época de plantación, al ser un árbol caducifolio, ha de ser durante su periodo vegetativo, que suele ser entre los meses de noviembre a febrero.

### **Tecnología de fertilización**

Previamente a la plantación, se recomienda un abonado de fondo rico en materia orgánica.

Cuando llegue el momento del trasplante, se puede suministrar algún fertilizante compuesto NPK con boro y magnesio en el pozo de plantación. Existen diversos porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio en los compuestos que se venden. Si no es posible realizar el análisis previo de suelo, utilizar el 8-28-7, que por su alto contenido en fósforo y boro estimula el desarrollo de las raíces y reduce la bifurcación del tronco.

Para el segundo año, es recomendable hacer un desbroce del matorral que reduzca la competencia por nutrientes y agua. Es por ello que en algunas ocasiones se realiza un nuevo abonado, dado que mejora la velocidad de crecimiento. Esta operación se realizaría durante las temporadas de crecimiento, es decir, entre la mitad de la primavera y la mitad del verano. Los mejores fertilizantes son los ricos en fósforo y bajos en nitrógeno. En muchas plantaciones prescinden de este segundo abonado.

El crecimiento del arupo es bastante lento en comparación con otras especies utilizadas en cultivos energéticos. Como mínimo se

requerirá un abonado orgánico de manera continua para conseguir una velocidad de crecimiento ligeramente más rápida.

También se ha observado que, haciendo uso de tratamientos hormonales, aplicados mediante acodos, se puede acelerar aún más el crecimiento, llegando a conseguir un crecimiento de hasta 60 centímetros en unos 3 meses. Esto supone un coste añadido que pone en riesgo la rentabilidad de la plantación.

La fertilización puede realizarse de forma manual a voleo o mediante el empleo de abonadoras centrífugas sobretodo en plantaciones con mas de 4 m de separación entre hileras.

### **Tecnología de propagación y plantación**

La propagación del arupo suele realizarse generalmente a través de sus semillas, debido a que en cada floración, un árbol produce miles de semillas, lo que reduce el coste.

Las semillas han de secarse para ablandar el corozo que la cubre y facilitar la absorción de agua y oxígeno. El secado dura un mínimo de 2 meses en el exterior, si se usa secado en hornos u otros métodos para dejar la semilla al descubierto se pueden acortar los tiempos. La época de recolección de las semillas depende de la zona en la que se encuentre el árbol, pues como se ha dicho anteriormente, según los factores climáticos la floración será más temprana o tardía.

Tardará aproximadamente unos 30 días en empezar a germinar. Existen otros estudios sobre diferentes técnicas de germinación, pero esta es la más efectiva en relación a los costes asociados.

Las semillas germinadas se tratan como la mayoría de las plántulas obtenidas de esta manera. Se trasplantan en macetas con turba, a una profundidad de 1 centímetro. Las macetas pueden estar a la intemperie varias semanas, si es una zona con ausencia de heladas. Si se dispone de invernadero o zona cubierta, sería recomendable tener allí las macetas, ya que una temperatura superior favorecerá la germinación y enraizamiento.

Las semillas en las macetas deben ser humedecidas regularmente, con goteo o agua pulverizada, especialmente cuando las semillas empiecen a germinar, en días alternos para mantener el medio de cultivo uniformemente hidratado.

El trasplante a parcela se realiza tras 5 o 6 meses. Este se realiza en los agujeros realizados manualmente o con una retro equipada con un cazo de 60 centímetros. Cada hoyo se rellena con tierra y compost maduro rodeando el cepellón que surgió de quitar la maceta o envase donde se desarrolló el sistema radicular de la plántula. Se riega con agua abundante para ayudar a que los arupos se asienten en la tierra.

Tras la plantación es conveniente mantener la tierra húmeda, pudiendo realizarse algún riego de refuerzo. Los arupos toleran la sequía, como demuestra su proliferación en la zona de Loja.

### **Sistema de riego**

En plantaciones muy tecnificadas en zonas de pluviometría irregular, durante el primer año se realizan riegos de refuerzo. Éste se puede realizar por goteo, aspersión o inundación de la parcela.

Una vez que el árbol se haya establecido no requiere de control regular; no se suelen necesitar riegos complementarios, puesto que resiste las sequías. Sí puede verse afectado por las heladas.

## **Poda**

No existen plantaciones de arupo intensivas, al ser un árbol ornamental las podas que se realizan están destinadas a dar forma, para que la copa sea atractiva en la época de floración. Por tanto, son prescindibles si el destino de la madera es energético.

## **Tecnología de cosecha**

No hay ningún dato de referencia para plantaciones energéticas de arupo. Por su velocidad de crecimiento, el turno de corte se podría fijar entre 4 y 5 años, pero no se garantiza una obtención alta de madera, pues el crecimiento dependerá en gran parte de abonados y condiciones climáticas favorables.

La cosecha comprende un conjunto de operaciones: corte o apero del árbol, extracción de la parcela, astillado y transporte.

## **Tala**

El corte o apero del árbol se puede hacer por varias opciones. Las principales son la tala tradicional mediante motosierra, o la utilización de taladora apiladora (Feller buncher).

Las taladoras apiladoras son máquinas autopropulsadas que poseen un brazo articulado con un cabezal dotado de dos grapas que cogen fuertemente el árbol, mientras por la parte inferior del mismo un dispositivo de corte lo tala. Una vez el árbol está cortado la pluma lo

deja apilado en una zona próxima al apeo y vuelve a dirigirse a otro árbol, para repetir el ciclo (Velázquez-Martí, 2017).

El dispositivo de corte del que va dotado el cabezal puede ser una motosierra oscilante, un disco de corte o una cuchilla afilada que corta el tronco por cizalla. El brazo articulado y la pluma con el cabezal puede apeaar árboles separados de la máquina hasta una distancia de 7-8 metros.

Estas máquinas pueden poseer tren de rodaje de cadenas o por neumáticos. Sobre el bastidor va montada la cabina de mando que posee capacidad de movimiento giratorio de 360°. Estas máquinas presentan transmisión hidrostática tanto para el tren de rodaje como para el accionamiento de los elementos de trabajo.

## Desembosque

La extracción de las piezas apeadas hasta el área de acopio se puede hacer por arrastre a través de un tractor arrastrador o mediante un tractor autocargador, según las posibilidades del terreno.

## Astillado y transporte

El astillado se suele realizar con una astilladora transportable. Es decir, una astilladora montada sobre un camión que trabaja sin desplazarse en la pista forestal en el área de acopio.

Estas astilladoras poseen un deflector emisor de la astilla, que la conduce directamente a un contenedor de transporte.

Los contenedores de transporte pueden estar montados sobre el chasis de los camiones, o ser traccionados por tractores o *trailers*.

## 7. ESTUDIO ECONÓMICO

Para el análisis económico se considerará que se adquieren los plántones ya formados de entre 30 y 60 cm altura, según el precio y disponibilidad, procedentes de viveros especializados en la propagación de esta planta. En el análisis realizado en Ecuador se tomarán los siguientes costes unitarios:

**Tabla 2. Precios unitarios del estudio económico.**

<b>Materias primas</b>	
Plántones	\$/unidad
NPK 8-28-7 con boro y magnesio	0,45 \$/kg
<b>Maquinaria</b>	
Retroexcavadora	40,20 \$/h
Taladora apiladora	50,10 \$/h
Tractor autocargador	35,48 \$/h
Astilladora transportable	75,95 \$/h
<b>Mano de obra</b>	
Jornal	15 \$/h

### Precio de mercado

El precio de mercado se ha obtenido de Argus Media (2019), que indica que el precio de astilla en Brasil es de 129,5 \$/t.

### Contabilización de costes

Se considera una plantación de 3 × 4 m, es decir, 833 plantas por hectárea.

**Tabla 3. Costes de plantación.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Abertura de pozos	h/ha	0,45	40,20	18,09
NPK 8-28-7 con boro y magnesio	kg/ha	33,32	0,45	14,994
Plántulas	ud/kg	833	0,50	416,5

Para el cálculo de los costes de cosecha se ha considerado una productividad de la taladora apiladora de 45 t/h (Ghaffariyan y Brown, 2011), una productividad del tractor autocargador de 4 t/h (Cremer y Velázquez-Martí, 2007), una productividad de 40 t/h en la astilladora (Ghaffariyan y Brown, 2011).

**Tabla 4. Costes de cosecha.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Taladora apiladora	h/ha	0,45	50,10	22,55
Tractor autocargador	h/ha	5	35,48	177,40
Astillado	h/ha	0,5	79,85	40,00
Transporte	h/ha			

**Tabla 5. Resumen de costes.**

Concepto	Medición	Unidad
Plantación		\$/ha
Cosecha y transporte	239,87	\$/ha

## 8. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LA MADERA

La madera del arupo posee las siguientes características.

Tabla 6. Características energéticas del arupo.

Poder calorífico	$21,2 \pm 2,14$ MJ/kg
Densidad a granel con P15	$184,87 \pm 2,87$ kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de cenizas	$1,57 \pm 0,07$ %
Porcentaje de volátiles	$84,58 \pm 0,84$ %
Porcentaje de carbono fijo	$10,77 \pm 0,91$ %
Contenido en C	$46,63 \pm 1,07$ %
Contenido de H	$4,14 \pm 0,09$ %
Contenido en N	$0,56 \pm 0,02$ %
Contenido en S	0,0 %
Contenido en Cl	$0,03 \pm 0,01$ %



## 9. CONCLUSIONES

El coste total de la plantación se estima en 989,45 \$/ha. El ingreso se estima en 129,5 \$/t. La producción a los 3 años se estima en 12t de biomasa seca/ha que equivale un ingreso de 1554 \$/ha. Esto supone un flujo de caja a los tres años de 563,5 \$/ha, es decir 47 \$/t.

## REFERENCIAS

- Argus Media. (2019) <https://www.argusmedia.com/es/bioenergy>
- Carrero, O., Stape, J.L., Allen, L., Arrevillaga, M.C., & Ladeira, M. (2018). Productivity gains from weed control and fertilization of short-rotation *Eucalyptus* plantations in the Venezuelan Western Llanos. *Forest Ecology and Management*, 430, 566-575. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.050>.
- Cremer, T., Velázquez-Martí, B. 2007. Evaluation of two harvesting systems for the supply chips in Norway spruce forest affected by bark beetles. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(2): 145-155. <https://hrcak.srce.hr/18249>.
- Du Toit, B. (2008). Effects of site management on growth, biomass partitioning and light use efficiency in a young stand of *Eucalyptus grandis* in South Africa. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2324-2336. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.037>.
- Ghaffariyan, M., & Brown, M. (2011). Efficiency of Biomass Harvesting in Poor Quality Stands of *Eucalyptus* in Western Australia. *34th Council on Forest Engineering*, June 12-15, 2011, Quebec City (Quebec).
- Gominho, J., Lourenço, A., Miranda, I., & Pereira, H. (2012). Chemical and fuel properties of stumps biomass from *Eucalyptus globulus* plantations. *Industrial Crops and Products*, 39, 12-16. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.01.026>.

Kumar, R., Pandey, K.K., Chandrashekar, N., & Mohan, S. (2011). Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid, *Acacia auriculaeformis* and *Casuarina equisetifolia*. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1339-1344. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.031>.

Velázquez-Martí, B. (2017) *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. Ed. Reverté, 840 pp.



# Lechero. *Euphorbia laurifolia*

## I. DESCRIPCIÓN

### Características generales

La *Euphorbia laurifolia* Juss. ex Lam., comúnmente conocida como Lechero, es un arbusto o árbol caducifolio, cuya altura puede alcanzar los 6 metros si las condiciones del suelo lo permiten. Es una planta suculenta, caracterizada por el látex lechoso que contiene, común a todas las euforbias.



Figura 1. Lechero adulto



Figura 2. Corteza de lechero adulto

Por su rápido crecimiento, se ha empleado tradicionalmente en cercas vivas y cortinas cortavientos, para delimitar las parcelas. También se ha visto favorecido este uso por la facilidad de propagación que tiene, pues las estacas leñosas plantadas directamente en el suelo enraízan con mucha facilidad.

Recientemente, se ha empezado a relacionar la presencia de lechero con el agotamiento de los nutrientes del suelo. Teniendo en cuenta los efectos irritantes y cáusticos que causa su látex en contacto con la piel, parece lógico pensar que esa toxicidad pueda afectar al suelo. Por el momento, no hay evidencias de las características esquilman-tes de este, puesto que en las zonas en las que se ha observado, los

lecheros llevan mucho tiempo plantados y no se ha realizado ningún tipo de abonado en todo ese tiempo ni análisis del suelo.

Es un árbol considerado sagrado dentro de la cultura indígena de Ecuador. El más antiguo se halla en Otavalo y tiene entre 800 y 1000 años de vida.

El lechero pertenece a la familia Euphorbiaceae, siendo el género *Euphorbia* uno de los 300 que incluye. Dentro de este género hay unas 2000 especies identificadas, que se localizan mayoritariamente en las zonas tropicales y templadas de África y América. La variedad entre las diferentes especies es alta, algunas de las más conocidas son la *Euphorbia resinifera*, conocida como cardón resinoso, que es suculenta, la *Euphorbia lathyris*, conocida como tártago o la *Euphorbia pulcherrima*, conocida como flor de pascua, de uso ornamental.

### Sistema radicular

Por su reproducción asexual, se entiende que las estacas desarrollan rápidamente un sistema radical primario potente. Su plantación en linderos como cerca viva indica que sus raíces no son superficiales, puesto que generarían obstáculos en los caminos adyacentes.

### Tallo

El tronco es recto y con corteza grisácea. Es común que tenga marcas, causadas por el corte de las ramas para su propagación. Del tronco salen las ramas principales, y de estas, a su vez, otras secundarias de menor tamaño. Todas ellas son cilíndricas, no telescópicas y erectas, carentes de hojas en toda su longitud excepto en el ápice, y con corteza inicialmente verdosa que va evolucionando hacia el gris.

La ausencia de hojas hace que su copa no sea muy profunda, depende directamente del número de ramas de la planta. Su escaso follaje es más notorio en los árboles altos, de los que se han tomado estacas.

Tras la poda, realizada tradicionalmente a machete, surgen numerosos rebrotes alrededor del tronco principal, pero no cuentan con raíces.



Figura 3. Corteza de lechero joven

## Hojas

Las hojas son glabras, de color verde oscuro en el haz y más claro en el envés. Carecen de estípulas y están unidas al tallo por un peciolo corto. Tienen forma lanceolada, de unos 10 a 15 centímetros de largo y 2 a 3 centímetros de ancho. Antes de caer, toman una tonalidad amarillenta.

Brotan del extremo terminal de las ramas primarias y secundarias.



Figura 4. Hojas de lechero

## Flores

Las flores se agrupan en inflorescencias formadas por cinco lóbulos carnosos. La flor femenina central carece de perianto, es pedicelada, tiene un óvulo en cada lóbulo y tres estilos bifurcados en el ápice del ovario. Está rodeada por numerosas flores masculinas, también carentes de perianto y con una antera globosa.

## Frutos

El fruto es tricoco, formado por tres cápsulas, de unos 8 a 12 milímetros de largo, unidas por el centro. Inicialmente son de un tono verde amarillento, que evoluciona a rosado a medida que va madurando.

No tiene utilidad, por lo que no se recoge. Tampoco hay constancia de que, aquellos que caen al suelo cerca del árbol, sean capaces de germinar por sí mismos.



Figura 5. Fruto tricoco maduro

## 2. DISTRIBUCIÓN

El lechero se distribuye a lo largo de la zona andina, desde Colombia hasta Perú, pasando por Ecuador. Se cultiva entre los 1500 y los 3000 metros de altitud. Crece de manera espontánea en los bosques de estas regiones, aunque cada vez es menos común. Lo más habitual es plantarlo para delimitar parcelas y hacer cercados, como “cerca viva”, aunque este uso también se está reduciendo a favor de otros tipos de seto.

Esta especie está adaptada a las condiciones climáticas y la altura de los Andes, pero otras de su mismo género crecen a menor altitud, en climas cálidos y secos, y sus características y cultivo son similares.



### 3. EXIGENCIAS DEL CULTIVO

#### Temperatura mínima y máxima, rango óptimo

La *Euphorbia laurifolia* crece correctamente en zonas de clima cálido, con temperaturas bastante constantes, en torno a los 15 °C durante todo el año. Observando la geolocalización de los árboles en Ecuador, los lecheros vegetan bien en un rango que oscile entre mínimas de 3 °C y máximas de 22 °C.

No hay datos sobre las temperaturas extremas que puede aguantar, pero no hay testimonios sobre árboles que hayan muerto a causa de una helada o de un verano excesivamente caluroso. Se deduce que es un árbol resistente, aunque no haya datos exactos sobre hasta que punto.

Si se toman en cuenta los límites que soportan otros árboles de su género, se considerará una mayor tolerancia a altas temperaturas que a bajas.

#### Fotoperiodo

Para su correcto crecimiento, el lechero precisa unas 8 horas de luz al día como mínimo. Los rayos directos pueden ocasionarle quemaduras en las hojas. Al usarse en los linderos, no suele tener problemas de sombra total, pero en caso de realizar una plantación regular, hay que garantizar un marco de plantación mínimo para evitar la competencia por la luz.

Si no cubre sus necesidades lumínicas, su desarrollo se verá retrasado. Lo óptimo sería plantarlo en semisombra, pero si no es posible, se optará por exponerlo a la radiación directa.

## Necesidades de agua

Por la geolocalización de las diferentes plantas y la pluviometría de las zonas, se sabe que estas plantas vegetan bien con un rango de precipitaciones entre los 600 y los 1200 mm anuales, con diferenciación entre la estación seca y la lluviosa. Las plantas suculentas son capaces de acumular agua en hojas y tallos para sobrevivir a épocas de sequía, por lo que en la estación seca la demanda de riego no será tampoco excesiva.

Al ser usado en los linderos, no se le realiza un riego propio, pero puede tomar agua de los cultivos cercanos. La presencia de lechero cerca de cultivos de maíz aumenta el consumo de agua que necesita este, así que sus necesidades hídricas no se cubren únicamente con la lluvia.

En su época de reposo vegetativo, requiere una cantidad de agua mucho menor.

## Necesidades nutricionales

El lechero se usa en cerca viva en terrenos de cultivo de maíz, donde presenta un follaje menor de color amarillento. También se ha observado en los límites de parcelas de pasto, con una mayor densidad foliar de color verdoso. Las necesidades nutricionales concretas se han de determinar mediante un análisis de suelo, según las características del sustrato en el que mejor vegete, se evaluarán sus necesidades nutricionales.

Los agricultores que tienen lechero en sus campos lo consideran esquilmente, absorbe buena parte de los nutrientes del suelo, así que

aunque el suelo sea muy fértil, probablemente haya que realizar un abonado tras la corta, previamente a la siguiente plantación.

### **Exigencias de suelo**

Vegeta bien en terrenos franco-arenosos ligeramente ácidos que presenten buen drenaje, pero es capaz de crecer en casi cualquier suelo mientras se cumplan las exigencias climáticas.

Al ser una especie autóctona de la zona andina, solo se tiene información sobre la vegetación en terreno local. No hay ninguna evaluación sobre hasta que punto su resistencia le permite crecer en otras zonas.



## 4. ESTADIOS FENOLÓGICOS

Tabla 1. Épocas de los distintos estadios.

Plantación	Final del invierno
Germinación	
Floración	
Fructificación	Junio a agosto
Dehiscencia de frutos	Agosto a septiembre



## 5. PRINCIPALES ENFERMEDADES Y PLAGAS

En general el lechero es una especie que no presenta habitualmente plagas y enfermedades graves, por lo que no es muy común tener que someterlo a tratamientos fitosanitarios específicos. Además, cuando se ve gravemente afectada, estos resultan difíciles y caros, por los que se opta por la eliminación de los árboles afectados.

### Insectos

Se desconoce hasta el momento insecto que cause plaga en el lechero. Pero pueden verse afectados por aquellos que atacan a cualquier especie indistintamente.

*Hormigas:* suponen un peligro importante en plantaciones jóvenes y en los viveros en los que se cultivan las plántulas, al dañar, dado que lesionan las hojas y las yemas, causando la muerte de la planta. Mientras la planta sea pequeña y tierna, como mínimo el primer año, hay que inspeccionar la plantación y los terrenos adyacentes para detectar su presencia.

Se han observado rastros de ácaros en hojas de lechero, así que las hormigas pueden resultar un problema porque tratarán de alimentarse de estos. No hay datos concretos sobre a partir de que punto se deben tratar las hormigas como plaga y realizar la inversión para eliminarlas. Se aconseja destruir los hormigueros si no se incurre en un gran gasto, bien manualmente bien con insecticidas. Los productos usados son el dióxido de azufre sólo o mezclado con arsénico, y el disulfuro de carbono en dosis de 60 a 200 cm<sup>3</sup> por hormiguero, según el tamaño de éste.



Figura 6. Insectos que se alimentan de ácaros en la hoja del lechero

*Ácaros*: se ha detectado la presencia de ácaros en las hojas del lechero. No hay información sobre la especie concreta ni sobre el efecto que pueden producir en la planta. La observación de las muestras indica que se alimentan del parénquima de las hojas, afectando a la capacidad fotosintética de estas. Si su presencia es alta, pueden entorpecer el correcto desarrollo del árbol.

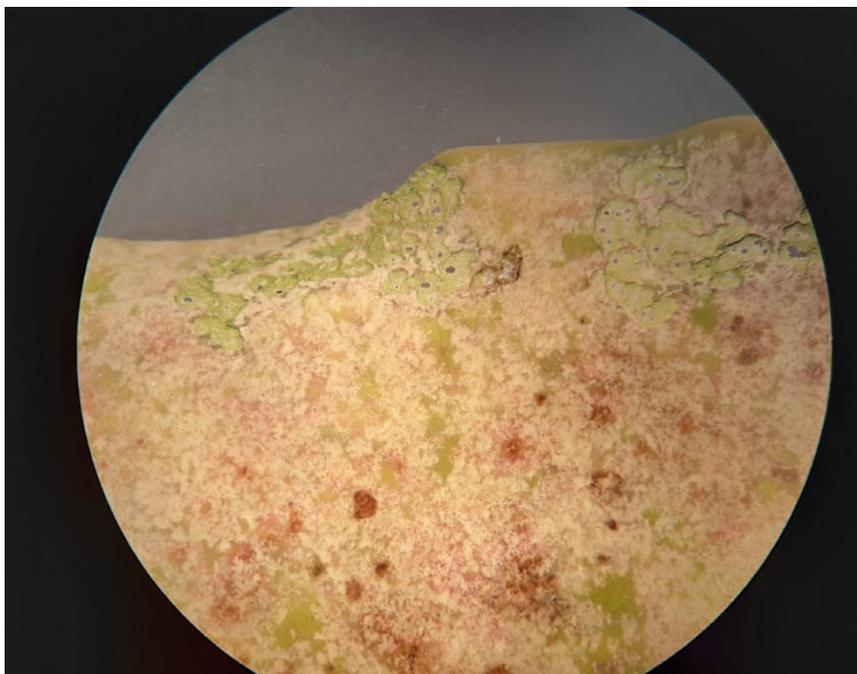


Figura 7. Hoja roída por los ácaros

### Hongos

Se desconocen hasta el momento hongos que causen patogenicidad. Hay otras marcas que se han observado en las hojas, pero se desconoce si han sido causadas por otros insectos que ya han abandonado la planta o existe alguna enfermedad asociada a estas. De cualquier modo, no causan la muerte de la planta, y por su fácil método de propagación, no se le aplica ningún tratamiento fitosanitario tradicionalmente.



## 6. TÉCNICAS DE CULTIVO

Solo hay registro del lechero usado como cerca viva, así que no existen datos sobre su desarrollo en cultivos energéticos de alta densidad, con turnos de corte cada 2 años.

Tradicionalmente no se le ha sometido a tratamientos fitosanitarios, en gran parte por el bajo coste que suponía sustituir una planta dañada por otra nueva. Tampoco requiere de muchas tareas de manejo silvicultural, únicamente se le realiza la poda a machete, cortando el ápice a la altura de un cuerpo (1,70 metros) para evitar que sea demasiado alto. Esto lleva asociados unos residuos agrícolas que se queman al aire libre. , y, en caso de que se obtengan las estacas para replantar de la misma plantación, la corta de estas.

### Tecnología de preparación del suelo

Previamente a la plantación habrá que hacer un desbroce de la parcela. Para pendientes superiores al 30% se debería usar una desbrozadora manual. En terrenos llanos se puede mecanizar más el proceso con una desbrozadora de cadenas. Otra opción es utilizar un herbicida de amplio espectro, pero luego se deberían retirar las hierbas secas para facilitar el paso.

Si existe riesgo de encharcamiento, se tendrá que hacer un drenaje mediante la apertura de zanjas que desvíen el agua.

El último paso de preparación del terreno será la realización de agujeros, bien de forma manual o con una ahoyadora. Otra alternativa es acompañar el desbroce con el subsolado con un *ripper* en la línea de plantación, que permite que el agua y las raíces se infiltren más fácilmente. En pendiente es recomendable seguir curvas de nivel.

## Marco de plantación

Al ser usado habitualmente en cercados o como plantas ornamentales, no se tienen datos de los marcos de plantación en cultivos energéticos. Teniendo en cuenta que se desea realizar la tala cada 2 años, se podría reducir hasta 1,5 x 2 metros (3333 plantas por hectárea).

## Deshierbado

Es uno de los pocos tratamientos silviculturales que se recomiendan. Hay que hacer un deshierbado mecánico previo a la plantación, y repetirlo periódicamente durante los primeros meses de plantación.

Tras el primer año, si la ocupación del suelo supone una competencia por los nutrientes, se llevará a cabo un tratamiento químico con un herbicida adecuado, a dosis bajas y en varias aplicaciones, con objeto de reducir la competencia mineral con las raíces de los árboles.

En años posteriores, el cierre de copas reducirá la presencia de hierbas en sus alrededores, además, el lechero, por lo que se conoce, reducirá los nutrientes disponibles en el terreno.

## Tecnología de fertilización

En terrenos fértiles no sería necesario un abonado de fondo. En terrenos de fertilidad media o baja si se recomienda un abono rico en materia orgánica, para garantizar los aportes nutricionales durante los primeros meses de desarrollo. El abonado de fondo estaría supeditado a un análisis de tierra cuando fuese posible.

Si se realiza una plantación directa de las estacas, se aconseja aplicar algún producto enraizante, natural o químico, directamente en el hoyo en el momento de clavar la estaca.

El abonado durante los primeros años de crecimiento dependerá de las condiciones de las plantas. La observación ya permite alertar si no se están recibiendo los nutrientes necesarios.

La fertilización puede realizarse de forma manual a voleo o mediante el empleo de abonadoras centrífugas, según las características del terreno y del marco de plantación.

### **Tecnología de propagación y plantación**

La propagación sexual no está constatada. Los frutos del árbol, al caer al suelo, no germinan. Se desconoce si las semillas se vuelven infértiles cuando llegan a su punto máximo de maduración, o si las condiciones ambientales y del terreno impiden su germinación. La posibilidad de germinar las semillas en invernadero, aplicándoles tratamientos pregerminativos, no ha sido estudiada. Al no tener utilidad, no se cosechan los frutos.

La propagación del lechero se realiza tradicionalmente de manera asexual, mediante estacas, teniendo una alta probabilidad de enraizamiento sin necesidad de ningún tratamiento.

Las estacas han de ser leñosas, pues según la experiencia, las estacas herbáceas o semiherbáceas tienen una probabilidad de enraizar mucho más baja. Las ramificaciones que se producen en la parte inferior del tronco tras la poda no son aptas para propagación, puesto que son delgadas y herbáceas.

Se escogen estacas gruesas del árbol madre, de las ramas que conforman la copa. Han de tener entre 5 y 10 centímetros de diámetro. La longitud de la estaca no se tiene tan en cuenta como su grosor, pero se recomienda un mínimo de 60 centímetros, cuanto más larga sea,

menos tiempo se necesitará para alcanzar una altura mayor. El corte en bisel facilita la plantación.

Los agricultores ecuatorianos llevan directamente la estaca a plantación para cerca viva. En el caso de realizar un cultivo controlado se podría realizar de igual manera, ahorrando tiempo y el coste de tratamientos previos. Lo óptimo para esto es tener el campo preparado en el momento en el que se tomen las estacas, para evitar que se sequen. Pueden aguantar hasta una semana envueltas en un trapo húmedo sin perder su capacidad de enraizar, pero también dependerá de las condiciones de temperatura y humedad durante ese tiempo, así que mejor evitarlo.

Es el método más fácil y económico para establecer la plantación, pues aunque no se consiga establecer alguna estaca, sustituirla por otra nueva no supone ningún coste añadido.

Por otro lado, sería conveniente asegurar la viabilidad de la estaca mediante el establecimiento de un campo de estacas. Para ello, ha de habilitarse un terreno, desbrozarlo y arar la tierra, para a continuación, plantar las estacas tomadas de una plantación existente. El marco de plantación puede ser de 50 centímetros entre plantas y 1 metro entre filas. Unos 3 meses más tarde como mínimo, cuando ya haya echado raíces, se trasplantaría a la plantación definitiva.

Los costes asociados se desconocen puesto que nunca se ha realizado.

### **Sistema de riego**

Se estima que las necesidades hídricas están en su mayor parte cubiertas por la pluviometría anual, puesto que no se tiene conocimiento de un riego específico para los lecheros usados en cerca viva.

Las lluvias oscilan entre los 700 a 1100 mm anuales en las zonas en las que vegeta la especie, o sea que ese será el aporte mínimo que necesitarán las plantas.

Por otro lado, al crecer cerca de cultivos o zonas de pasto, es posible que cubra sus requerimientos absorbiendo parte de su riego.

Por tanto, habrá que realizar un riego complementario, variable según las lluvias de ese año. Este puede oscilar entre 400 y 600 mm al año, y se debería concentrar al final de la estación seca, cuando aparecen los brotes nuevos.

## **Poda**

La poda tradicional, realizada con un machete a una altura de 1,70 metros aproximadamente, evita que la cerca crezca excesivamente, siendo los restos susceptibles de ser aprovechados para fines energéticos.

En un cultivo energético, el único objetivo es garantizar el máximo crecimiento de los árboles en el periodo establecido antes de talar. Para ello, se prescindiría de la poda. Además, los árboles no interferirían entre ellos dada la verticalidad, espaciamiento y oposición de las ramas.

Por otro lado, antes de la cosecha, se debería realizar una poda específica para la obtención de las estacas que servirán para replantar el terreno.

## **Tecnología de cosecha**

La plantación destinada a la producción de biomasa requerirá un turno de corte recomendado bianual (tala en años alternos).

En el caso del lechero, la opción de dejar el tocón y permitir el rebrote no es viable, puesto que como se ha observado, la madera de estos rebrotes es de peor calidad, su contenido en humedad es mayor y su diámetro es menor. Ha de arrancarse de raíz, y replantar nuevas estacas para continuar con el cultivo.

## Tala

La tala del árbol se realiza tradicionalmente mediante motosierra en zonas de difícil acceso para las máquinas. El grueso de los costes recaerá en la mano de obra. En terrenos llanos se puede utilizar una taladora apiladora para mecanizar el proceso.

Las taladoras apiladoras son máquinas autopropulsadas que poseen un brazo articulado con un cabezal dotado de dos grapas que cogen fuertemente el árbol, mientras por la parte inferior del mismo un dispositivo de corte lo tala. Una vez el árbol está cortado la pluma lo deja apilado en una zona próxima al apeo y vuelve a dirigirse a otro árbol, para repetir el ciclo (Velázquez-Martí, 2017).

El dispositivo de corte del que va dotado el cabezal puede ser una motosierra oscilante, un disco de corte o una cuchilla afilada que corta el tronco por cizalla. El brazo articulado y la pluma con el cabezal puede aprear árboles separados de la máquina hasta una distancia de 7-8 metros.

Estas máquinas pueden poseer tren de rodaje de cadenas o por neumáticos. Sobre el bastidor va montada la cabina de mando que posee capacidad de movimiento giratorio de 360°. Estas máquinas presentan transmisión hidrostática tanto para el tren de rodaje como para el accionamiento de los elementos de trabajo.

## Desembosque

En altas densidades de plantación o terrenos en pendiente, la extracción ha de realizarse manualmente. Según las dimensiones del árbol, se necesitarán más o menos jornaleros para transportarlo hasta los márgenes de la plantación.

En terreno llano, la extracción de las piezas hasta el área de acopio se puede hacer con un tractor arrastrador o un tractor autocargador. Según el marco de plantación se dispondrá de caminos para el paso de máquinas de gran capacidad u otras de menor tamaño.

## Astillado y transporte

El astillado se realiza en el área de acopio o cargadero. Se suele utilizar una astilladora transportable, es decir, una astilladora montada sobre un camión que trabaja sin desplazarse en la pista forestal, en el área de acopio.

Estas astilladoras poseen un deflector emisor de la astilla, que la conduce directamente a un contenedor de transporte.

Los contenedores de transporte pueden estar montados sobre el chasis de los camiones, o ser traccionados por tractores o *trailers*.



## 7. ESTUDIO ECONÓMICO

Las plántulas se obtienen de una plantación ya existente, de manera gratuita, puesto que no se venden en ningún vivero. Si se realiza el campo de estacas madre, si tendrán un coste asociado, puesto que se necesitará mano de obra, agua y productos enraizantes, previamente a la plantación.

En el análisis realizado en Ecuador se tomarán los siguientes costes unitarios.

**Tabla 2. Precios unitarios del estudio económico.**

Materias primas	
Plantones	0 \$/unidad
Maquinaria	
Retroexcavadora	40,20 \$/h
Taladora apiladora	50,10 \$/h
Tractor autocargador	35,48 \$/h
Astilladora transportable	75,95 \$/h
Mano de obra	
Jornal	15 \$/jornal

### Precio de mercado

El precio de mercado se ha obtenido de Argus Media (2019), que indica que el precio de astilla en el norte de Europa es de 147,63 \$/t.

### Contabilización de costes

Se considera una plantación de 1,5 x 2 metros, es decir, 3333 plantas por hectárea. Ha de garantizar el espacio mínimo para evitar interferencias entre los troncos curvados de los árboles.

Si la plantación se realiza en un terreno en pendiente, la mayoría de las tareas se deberán realizar manualmente, por la imposibilidad de usar maquinaria. En cambio, en terrenos llanos, casi todas las opciones de mecanización son viables. Por tanto, los costes tendrán una gran diferencia según el terreno en el que se quiera realizar el cultivo. Se ha realizado una estimación de los costes para cada opción.

**Tabla 3. Costes de plantación manuales.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Desbroce	jornales/ha	8	15	120
Alquiler desbrozadora	ud/ha	8	4	32
Abertura de pozos	jornales/ha	25	15	375
Plantación	jornales/ha	14	15	210
Plántulas	ud/ha	2500	.	.

**Tabla 4. Costes de plantación mecanizados.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Desbroce	jornales/ha	1	15	15
Alquiler retroexcavadora	ud/ha	1	322	322
Abertura de pozos con ahoyadora	jornales/ha	3	15	60
Plantación	jornales/ha	14	15	280
Plántulas	ud/ha	2500	.	.

Para el cálculo de los costes de cosecha se ha considerado una productividad de la taladora apiladora de 45 t/h (Ghaffariyan y Brown, 2011), una productividad del tractor autocargador de 4 t/h (Cremer y Velázquez-Martí, 2007), una productividad de 40 t/h en la astilladora (Ghaffariyan y Brown, 2011).

**Tabla 5. Costes de cosecha manuales.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Tala	jornales/ha	10	15	150
Alquiler motosierra	ud/ha	10	22	220
Extracción	jornales/ha	30	15	450
Astillado	h/ha	0,5	79,85	40,00

**Tabla 6. Costes de cosecha mecanizados.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Taladora apiladora	h/ha	0,45	50,10	22,55
Tractor autocargador	h/ha	5	35,48	177,40
Astillado	h/ha	0,5	79,85	40,00
Transporte	h/ha			

Tabla 7. Resumen de costes.

Concepto	Medición	Unidad
Plantación	449,58	\$/ha
Poda	300	\$/ha
Cosecha y transporte	239,87	\$/ha

El coste total de la plantación se estima en 989,45 \$/ha. El ingreso se estima en 129,5 \$/t, que equivale a 2590 \$/ha. Por tanto el flujo de caja a los tres años, que es cuando se considera el turno, es de 1600,5 \$/ha, 80 \$/t.

## 8. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LA MADERA

La madera del lechero posee las siguientes características.

Tabla 8. Características energéticas del lechero.

Poder calorífico	$18,64 \pm 0,56$ MJ/kg	
Densidad a granel con P15	$1,78$ t/m <sup>3</sup>	(Kumar et al., 2011)
Porcentaje de cenizas	$5,44 \pm 1,18$ %	
Porcentaje de Volátiles	$83,04 \pm 1,17$ %	
Porcentaje de carbono fijo	$3,94 \pm 1,83$ %	
Contenido en C	$44,97 \pm 0,4$ %	
Contenido de H	$4,77 \pm 0,45$ %	
Contenido en N	$0,51 \pm 0,06$ %	
Contenido en S	$0,41 \pm 0,31$ %	
Contenido en Cl	$0,04 \pm 0,01$ %	(Gominho et al., 2012)



## 9. CONCLUSIONES

En las plantaciones energéticas de lechero se pueden obtener producciones entre 16 y 21 t/ha de materia seca. El precio de mercado se sitúa alrededor de 129,5 \$/t. El coste de la producción se sitúa en 989,45 \$/ha, obteniendo un beneficio de 80 \$/t o 1600,5 \$/ha.

La energía obtenible en las plantaciones equivalen a 378 GJ/ha.

## REFERENCIAS

- Argus Media. (2019). <https://www.argusmedia.com/es/bioenergy>
- Carrero, O., Stape, J.L., Allen, L., Arrevillaga, M.C., & Ladeira, M. (2018). Productivity gains from weed control and fertilization of short-rotation *Eucalyptus* plantations in the Venezuelan Western Llanos. *Forest Ecology and Management*, 430, 566-575. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.050>
- Cremer, T., Velázquez-Martí, B. 2007. Evaluation of two harvesting systems for the supply chips in Norway spruce forest affected by bark beetles. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(2): 145-155. <https://hrcak.srce.hr/18249>
- Du Toit, B. (2008). Effects of site management on growth, biomass partitioning and light use efficiency in a young stand of *Eucalyptus grandis* in South Africa. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2324-2336. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.037>
- Ghaffariyan, M., & Brown, M. (2011). Efficiency of Biomass Harvesting in Poor Quality Stands of Eucalyptus in Western Australia. *34th Council on Forest Engineering*, June 12-15, 2011, Quebec City (Quebec).
- Gominho, J., Lourenço, A., Miranda, I., & Pereira, H. (2012). Chemical and fuel properties of stumps biomass from *Eucalyptus globulus* plantations. *Industrial Crops and Products*, 39, 12-16. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.01.026>

Kumar, R., Pandey, K.K., Chandrashekar, N., & Mohan, S. (2011). Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid, *Acacia auriculaeformis* and *Casuarina equisetifolia*. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1339-1344. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.031>

Velázquez-Martí, B. (2017). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. Ed. Reverté, 840 pp.



# Tilo. *Sambucus Nigra* L.

## I. DESCRIPCIÓN

### Características generales

El *Sambucus nigra* L., conocido en Ecuador como tilo y en España como sauco o saúco, es un arbusto o árbol perenne, que puede alcanzar entre 4 y 6 metros de altura según las características del suelo y vivir hasta 100 años. Tiene un crecimiento muy rápido. Sus bayas negras características son las responsables de su nombre.



Figura I. Saucu



Figura 2. Corteza del Sauco

Entre sus usos tradicionales destaca el cultivo de la especie por sus frutos frescos, con los que se elaboran mermeladas, jarabes y, en algunos lugares, ginebra. También se usa para teñir, las bayas para lograr el color negro y las hojas para el verde.

Tiene incontables utilidades terapéuticas, con las hojas y la corteza se usan para combatir afecciones respiratorias y fiebre, pero lo más utilizado son las flores, por su poder diurético, calmante y como astringente ocular.

En Sudamérica, es común utilizarlo como cerca viva y cortina cortavientos, para delimitar parcelas, por su densidad y alta velocidad

de crecimiento. Asimismo, representa una buena opción en sistemas silvopastoriles para el ramoneo de animales y como banco de forraje mixto para especies menores.

Su madera no es de buena calidad, por lo que no se realizan plantaciones con fines industriales.

El sauco pertenece a la familia de las Adoxaceae, y en la zona andina se encuentran dos subespecies de este: el *Sambucus peruviana* y el *Sambucus mexicana*. Ambas están adaptadas a las condiciones climáticas y a la altitud. Existen otras subespecies presentes en Sudamérica, en zonas más templadas, como el *Sambucus australis*.

### Sistema radicular

Con un potente sistema radical ramificado, el sauco se considera importante porque acelera los procesos de descomposición del suelo fijando el nitrógeno al mismo. Sus raíces segregan auxinas, que mejoran el desarrollo de las plantas que crecen a su sombra, planteándose la posibilidad del cultivo asociado con otras especies para el uso de biomasa. También se ha comprobado el aumento de fósforo, calcio, potasio y magnesio en los suelos que vegeta.

### Tallo

El tronco es predominantemente curvo y con tendencia a la inclinación. Si su uso final es maderero, el secado ha de ser muy lento para evitar el alabeo y cuarteo. La corteza externa es rugosa y tiende al agrietamiento, presenta placas rectangulares que se desprenden con cierta facilidad. Es de color marrón grisáceo. La corteza interna es blanquecina, y se usa como purgante.

La copa es baja y redondeada, con alta densidad foliar. Las ramas son gruesas y presentan una médula blanca y gruesa que se extrae con facilidad.

## Hojas

Las hojas, siempre verdes y abundantes, son compuestas. Se disponen en oposición, con una media de 25 centímetros de longitud. Presentan de 5 a 11 folíolos, de forma ovalada y acabados en punta. Tienen unos 6 cm de largo y 1,5 cm de ancho, con el borde serrado. Su tonalidad pasa del verde claro al oscuro a medida que crecen.



Figura 3. Hojas del sauco

Se utilizan en aplicaciones externas, para golpes y demás, pero no se deben utilizar nunca para uso interno debido a su alta toxicidad.

## Flores

Las flores están agrupadas en corimbos, de 15 centímetros de longitud como mínimo. Son hermafroditas, con 5 pétalos en forma estrellada. La corola mide entre 4 y 5 mm de diámetro, y cada flor tiene 5 estambres y 1 pistilo. Su coloración blanca y su aroma las hace muy atractivas para uso ornamental.

Si se desean recolectar, hay que hacerlo en primavera, antes de que se empiecen a formar las bayas.

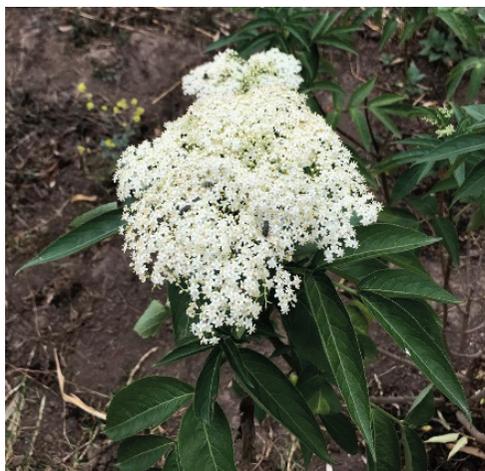


Figura 4. Corimbo floral del sauco

## Frutos

Los frutos son bayas de forma globosa, que cambian de color rojo a negro brillante según su madurez. Miden entre 5 y 10 mm de diámetro. Son comestibles y se emplean en la preparación de mermeladas y siropes, aunque un consumo excesivo provoca indigestión. Tienen un sabor amargo característico.



Figura 5. Bayas maduras

En cada baya pueden haber de 3 a 6 semillas, alargadas y con motas marrones.

## 2. DISTRIBUCIÓN

Se considera que es una especie nativa de Europa, suroeste de Asia y noroeste de África. Hoy en día, está presente en todo el mundo.

Vegeta bien en un amplio rango de altitud, hay datos de individuos desde los 180 m en Echeandía, provincia de Bolívar; hasta los 3100 m en el Valle de México (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Habitualmente se encuentra formando bosques húmedos, dispuestos en valles y vaguadas. También es común verlo en linderos, formando setos o dispersos, por su valor ornamental.



### 3. EXIGENCIAS DEL CULTIVO

#### Temperatura mínima y máxima, rango óptimo

El sauco requiere de temperaturas cálidas durante todo el año, entre 15°C y 25°C. En caso de heladas, presenta una gran resistencia, soportando muy bajas temperaturas, de hasta -20°C, aunque esto ralentizará su crecimiento. En cambio, sí que puede verse afectado si las temperaturas superan los 30°C.

#### Fotoperiodo

Para una óptima vegetación, se recomienda la plena exposición al sol. En zonas umbrías se empeoran la floración y fructificación, aunque siguen siendo viables.

Si la plantación se realiza en zonas muy calurosas, se sacrificarán horas de exposición solar para evitar las altas temperaturas, escogiendo áreas de semisombra más frescas.

#### Necesidades de agua

Requiere unas condiciones de humedad constantes, por lo que se recomienda el riego regular. Mientras el árbol sea joven, es recomendable regar abundantemente, especialmente en los meses más secos, puesto que las raíces son superficiales. Al crecer ya no será necesario puesto que la profundidad de su sistema radicular permite obtener agua del subsuelo.

Según estudios, requiere entre 2000 y 4000 mm al año en invernadero. Si la pluviometría es constante se podría evitar el riego. En caso de haber grandes diferencias entre la estación seca y la lluviosa, habrá que recurrir a riego algunos meses y garantizar un buen drenaje el resto.

También se encuentra en zonas de menor pluviometría, pero únicamente en las laderas de ríos y zonas húmedas. Para uso ornamental en las ciudades tampoco requiere de riego por la baja evapotranspiración del pequeño espacio en el que vegeta.

Otra opción es el cultivo cerca de huertos de vegetales o frutales, que tengan un riego continuo.

### **Necesidades nutricionales**

El sauco tiene la capacidad de crecer en suelos poco fértiles, y aumentar los nutrientes del sustrato en el que crece. Aumenta el contenido de fósforo, calcio, potasio y magnesio (Sánchez *et al.*, 2010). Sus raíces fijan el nitrógeno en el suelo y aceleran la descomposición (Abella, 2000; Pahlow, 1985). El uso de compuestos N:P:K puede descartarse.

En un principio, no sería necesario realizar un abonado de fondo, pero depende del terreno elegido para la plantación. Es recomendable realizar un análisis de suelo previo a la plantación.

### **Exigencias de suelo**

El sauco se adapta bien a, prácticamente, cualquier tipo de suelo. Si bien prefiere los suelos fértiles, es capaz de vegetar en suelos pobres, calcáreos, pedregosos y arcillosos. Tolerancia desde una acidez leve, con un pH de 6,0, hasta tierras ligeramente alcalinas, de pH en torno a 8,0. Un mal drenaje puede acabar con él.

## 4. ESTADIOS FENOLÓGICOS

Tabla 1. Épocas de los distintos estadios.

Plantación	Final del invierno
Germinación	
Floración	Junio a agosto
Fructificación	Agosto a septiembre
Dehiscencia de frutos	Octubre



## 5. PRINCIPALES ENFERMEDADES Y PLAGAS

Al no existir conocimiento previo de plantaciones regulares de sauco, no se dispone de información de hasta qué punto puede sufrir plagas y enfermedades en estas condiciones. En los cultivos actuales no se han observado ataques de insectos y hongos que dañen la integridad de los árboles, ya que sus hojas tienen propiedades insecticidas.

### Insectos

*Aphis sambuci*: usa el sauco como huésped primario. Su color varía desde el verde oscuro hasta el marrón, y su tamaño está comprendido entre los 2 y los 3,5 mm. Los pulgones se agrupan en las ramas jóvenes. No constituyen plaga.

*Eupithecia tripunctaria*: es una polilla, caracterizada por los puntos blancos de sus alas. No constituye plaga.

*Liriomyza amoena*: la larva de la mosca se alimenta de la hoja, creando un corredor estrecho que pronto se convierte en una mancha marrón. Es común pero no alcanza a ser una plaga grave para el árbol. Su tratamiento es opcional.

*Tetranychus urticae*: también conocido como araña roja, es un ácaro de unos 0,5mm que mina las hojas, volviéndolas amarillentas. Están presentes en ambientes secos y se reproducen rápidamente, pudiendo constituir plagas, aunque no hay datos que lo verifiquen en Ecuador.

### Hongos

El Oídio produce manchas blanquecinas y pulverulentas sobre el haz de la hoja y sobre las bayas, especialmente en la parte superior. Para

tratarlo hay que eliminar las hojas infectadas y rociar el resto con un fungicida cúprico.

La fumagina se adhiere a las hojas cubiertas de la melaza secretada por los pulgones. Presenta una capa negra, que puede cubrir los tallos y los frutos. Impide la fotosíntesis, así que daña el crecimiento de la planta. Crece mejor en ambientes húmedos y sombríos.

## 6. TÉCNICAS DE CULTIVO

No existen estudios realizados sobre el sauco en cultivos energéticos de alta densidad, con turnos de corte cada 2 años. El crecimiento medio en altura es de unos 80 cm al año, con un aporte de 179 gramos de biomasa seca por planta (Cárdenas *et al.*, 2016).

Al ser un árbol resistente a la mayoría de plagas y enfermedades no requiere de un especial cuidado fitosanitario. Tampoco necesita excesivas tareas de manejo silvicultural, puesto que la poda no es obligatoria. La principal es el deshierbado en los primeros meses de plantación, y, en caso de que se obtengan las estacas para replantar de la misma plantación, la corta de estas.

### Tecnología de preparación del suelo

Previamente a la plantación habrá que hacer un desbroce de la parcela. Para pendientes superiores al 30% se debería usar una desbrozadora manual. En terrenos llanos se puede mecanizar más el proceso con una desbrozadora de cadenas. Otra opción es utilizar un herbicida de amplio espectro, pero luego se deberían retirar las hierbas secas para facilitar el paso.

Si existe riesgo de encharcamiento, se tendrá que hacer un drenaje mediante la apertura de zanjas que desvíen el agua.

El último paso de preparación del terreno será la realización de agujeros, bien de forma manual o con una ahoyadora. Otra alternativa es acompañar el desbroce con el subsolado con un *ripper* en la línea de plantación, que permite que el agua y las raíces se infiltren más fácilmente. En pendiente es recomendable seguir curvas de nivel.

## Marco de plantación

Al ser usado habitualmente en cercados o como plantas ornamentales, no se tienen datos de los marcos de plantación en cultivos energéticos. Se aconseja un marco de 5 x 5 m en jardines, por el diámetro que puede alcanzar el tronco. Teniendo en cuenta que se desea realizar la tala cada 2 años, se podría reducir hasta 2 x 2 metros (2500 plantas por hectárea).

## Deshierbado

Se recomienda hacer un deshierbado mecánico previo a la plantación. En el primer año de instalación de esta, se llevará a cabo un tratamiento químico si la ocupación del suelo así lo requiere, con un herbicida adecuado, a dosis bajas y en varias aplicaciones, con objeto de reducir la competencia mineral con las raíces de los árboles.

En años posteriores, y gracias al cierre de copas, este requerimiento no suele darse, pues la presencia de hierbas es prácticamente nula.

## Tecnología de fertilización

Antes de la primera plantación no sería necesario el abonado del terreno puesto que el sauco vegeta en cualquier tipo de suelo. Sería interesante un análisis previo del suelo, para garantizar el abastecimiento de la planta en sus primeros meses, mientras está desarrollando su sistema radicular.

Posteriormente, tras las sucesivas talas, tampoco será necesario puesto que el sauco es capaz de regenerar y enriquecer el suelo, aumentando sus nutrientes (fósforo, calcio, potasio y magnesio).

## Tecnología de propagación y plantación

El sauco se suele reproducir vegetativamente, por la facilidad del proceso y el alto porcentaje de enraizamiento. Además, permite obtener plantas más desarrolladas en menor tiempo.

La reproducción sexual tiene un porcentaje de éxito bastante alto. Las semillas se obtienen de las bayas, tras eliminar la pulpa, las semillas se sumergen en agua y se eliminan aquellas que floten. Se almacenan en seco y en torno a 4°C (Albert *et al.*, 2008).

En el momento de la germinación, se pueden aplicar diferentes tratamientos pregerminativos. Primero, está el método de la estratificación en caliente durante unas 10 semanas, a 25°C, seguida de 12 semanas más de estratificación en frío, ente 1 y 5°C. Otra opción sería la estratificación en frío por 12 semanas y 1 día de congelación. Con cualquiera de estos tratamientos se consigue un porcentaje de germinación del 45-85% (Albert *et al.*, 2008).

A continuación, las semillas germinadas se entierran a 2,5 cm en macetas de hasta 1 kg (Uribe *et al.*, 2011) de sustrato con mantillo, tierra húmica o abono orgánico.

La reproducción asexual se realiza mediante estacas semileñosas, asegurando la salud de la planta madre. Si se cortan en verano, han de plantarse para enraizar antes de llevar a plantación definitiva. Si se hace en otoño, pueden plantarse directamente en suelo, pero sigue siendo recomendable la plantación en vivero y posterior trasplante.

Las estacas han de tener entre 15 y 30 cm de longitud, y entre 2 y 4 cm de diámetro, con un mínimo de tres entrenudos. El porcentaje de enraizamiento aumenta cuando se utilizan estacas del tercio medio y superior de las ramas.

Se entierran al menos 2 de las yemas, desde las cuales surgirán las raíces, en macetas con sustrato. Utilizar alguna hormona, natural o sintética, estimulará el enraizamiento y reducirá los tiempos de formación de la nueva planta.

Tras 6 meses, las estacas han de tener entre 35 y 50 centímetros de altura. A partir de ese momento, ya se pueden trasplantar a la plantación definitiva, aunque es recomendable hacerlo siempre antes de la floración, es decir, a finales de invierno.

Para asegurar la plantación, las estacas no han de mostrar ninguna evidencia de enfermedad, es decir, tener unas raíces y un sistema foliar fuerte y desarrollado.

### **Sistema de riego**

Es un árbol que se desarrolla en terrenos húmedos, por lo que necesita un aporte de agua regular y abundante. Según las condiciones climáticas de la zona, habrá que completar el aporte hídrico de la lluvia con riego.

Si la plantación está cerca de un río o humedal, el riego no será necesario, la propia planta se abastecerá mediante su sistema radical.

### **Poda**

La madera de sauco es de mala calidad, así que no tiene aplicación maderera, como mucho se elaboran pequeñas piezas que no vayan a sufrir tensión. Sí que se realizan podas periódicas cuando tiene función ornamental, para redondearle la copa.

Para una plantación destinada al cultivo energético, la poda solo encarecería los costes. Las ramas rotas pueden ser eliminadas o dejadas en el suelo para su descomposición.

## Tecnología de cosecha

La plantación destinada a la producción de biomasa requerirá un turno de corte recomendado bianual (tala en años alternos).

Tras la tala, existen dos opciones: permitir que la planta rebrote desde el tronco y crezca, o extraer el tocón y replantar con estacas nuevas. Hay que evaluar la rentabilidad de cada opción, según el coste y el incremento de biomasa producida. Dependerá en gran parte de la densidad de plantación elegida, a altas densidades, permitir el rebrote suele ser conveniente, pues tanto el original como el secundario ofrecerán el mismo tipo de materia arbustiva.

En caso de replantar con nuevas estacas, la rotación recomendada es de cada dos o tres años. Si se permite el rebrote, pueden mantenerse los mismos árboles hasta 15 años, haciendo 5 ciclos con los cortes cada 2 o 3 años.

## Tala

La tala del árbol se realiza tradicionalmente mediante motosierra en zonas de difícil acceso para las máquinas. El grueso de los costes recaerá en la mano de obra. En terrenos llanos se puede utilizar una taladora apiladora para mecanizar el proceso.

Las taladoras apiladoras son máquinas autopropulsadas que poseen un brazo articulado con un cabezal dotado de dos grapas que cogen fuertemente el árbol, mientras por la parte inferior del mismo un

dispositivo de corte lo tala. Una vez el árbol está cortado la pluma lo deja apilado en una zona próxima al apeo y vuelve a dirigirse a otro árbol, para repetir el ciclo (Velázquez-Martí, 2017).

El dispositivo de corte del que va dotado el cabezal puede ser una motosierra oscilante, un disco de corte o una cuchilla afilada que corta el tronco por cizalla. El brazo articulado y la pluma con el cabezal puede aprear árboles separados de la máquina hasta una distancia de 7-8 metros.

Estas máquinas pueden poseer tren de rodaje de cadenas o por neumáticos. Sobre el bastidor va montada la cabina de mando que posee capacidad de movimiento giratorio de 360°. Estas máquinas presentan transmisión hidrostática tanto para el tren de rodaje como para el accionamiento de los elementos de trabajo.

## Desembosque

En altas densidades de plantación o terrenos en pendiente, la extracción ha de realizarse manualmente. Según las dimensiones del árbol, se necesitarán más o menos jornaleros para transportarlo hasta los márgenes de la plantación.

En terreno llano, la extracción de las piezas hasta el área de acopio se puede hacer con un tractor arrastrador o un tractor autocargador. Según el marco de plantación se dispondrá de caminos para el paso de máquinas de gran capacidad u otras de menor tamaño.

## Astillado y transporte

El astillado se realiza en el área de acopio o cargadero. Se suele utilizar una astilladora transportable, es decir, una astilladora montada

sobre un camión que trabaja sin desplazarse en la pista forestal, en el área de acopio.

Estas astilladoras poseen un deflector emisor de la astilla, que la conduce directamente a un contenedor de transporte.

Los contenedores de transporte pueden estar montados sobre el chasis de los camiones, o ser traccionados por tractores o *trailers*.



## 7. ESTUDIO ECONÓMICO

Para conseguir las plántulas se puede considerar que se compran directamente de un vivero, o que se toman estacas de manera gratuita de otros árboles, y se realiza su enraizamiento en un campo de estacas madre, con los costes que esto lleva asociado.

En el análisis realizado en Ecuador se tomarán los siguientes costes unitarios.

**Tabla 2. Precios unitarios del estudio económico.**

Materias primas	
Plantones	0,3 \$/unidad
Maquinaria	
Retroexcavadora	40,20 \$/h
Taladora apiladora	50,10 \$/h
Tractor autocargador	35,48 \$/h
Astilladora transportable	75,95 \$/h
Mano de obra	
Jornal	15 \$/jornal

### Precio de mercado

El precio de mercado se ha obtenido de Argus Media (2019), que indica que el precio de astilla en el norte de Europa es de 147,63 \$/t.

## Contabilización de costes

Se considera una plantación de 2 x 2 metros, es decir, 2500 plantas por hectárea. Ha de garantizar el espacio mínimo para evitar interferencias entre los troncos curvados de los árboles.

Si la plantación se realiza en un terreno en pendiente, la mayoría de las tareas se deberán realizar manualmente, por la imposibilidad de usar maquinaria. En cambio, en terrenos llanos, casi todas las opciones de mecanización son viables. Por tanto, los costes tendrán una gran diferencia según el terreno en el que se quiera realizar el cultivo. Se ha realizado una estimación de los costes para cada opción.

**Tabla 3. Costes de plantación manuales.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Desbroce	jornales/ha	8	15	120
Alquiler desbrozadora	ud/ha	8	4	32
Abertura de pozos	jornales/ha	25	15	375
Plantación	jornales/ha	14	15	210
Plántulas	ud/ha	2500	0,3	750

**Tabla 4. Costes de plantación mecanizados.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Desbroce	jornales/ha	1	15	15
Alquiler retroexcavadora	ud/ha	1	322	322
Abertura de pozos con ahoyadora	jornales/ha	3	15	60
Plantación	jornales/ha	14	15	280
Plántulas	ud/ha	2500	0,3	750

Para el cálculo de los costes de cosecha se ha considerado una productividad de la taladora apiladora de 45 t/h (Ghaffariyan y Brown, 2011), una productividad del tractor autocargador de 4 t/h (Cremer y Velázquez-Martí, 2007), una productividad de 40 t/h en la astilladora (Ghaffariyan y Brown, 2011).

**Tabla 5. Costes de cosecha manuales.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Tala	jornales/ha	10	15	150
Alquiler motosierra	ud/ha	10	22	220
Extracción	jornales/ha	30	15	450
Astillado	h/ha	0,5	79,85	40,00

**Tabla 6. Costes de cosecha mecanizados.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Taladora apiladora	h/ha	0,45	50,10	22,55
Tractor autocargador	h/ha	5	35,48	177,40
Astillado	h/ha	0,5	79,85	40,00
Transporte	h/ha			

Tabla 7. Resumen de costes.

Concepto	Medición	Unidad
Plantación	449,58	\$/ha
Poda	300	\$/ha
Cosecha y transporte	239,87	\$/ha

El coste total de la plantación se estima en 989,45 \$/ha. El ingreso se estima en 129,5 \$/t. La producción a los 3 años se estima en 18 t de biomasa seca/ha que equivale un ingreso de 2331 \$/ha. Esto supone un flujo de caja a los tres años de 1341,55 \$/ha, es decir 74,53 \$/t.

## 8. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LA MADERA

La madera del eucalipto posee las siguientes características.

Tabla 8. Características energéticas del tilo.

Poder calorífico	20,85 ± 2,28 MJ/kg
Densidad a granel con P15	231,28 ± 0,17 kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de cenizas	2,22 ± 0,01 %
Porcentaje de volátiles	79,48 ± 1,41 %
Porcentaje de carbono fijo	14,39 ± 0,58 %
Contenido en C	47,89 ± 1,81 %
Contenido de H	4,49 ± 0,08 %
Contenido en N	0,44 ± 0,02 %
Contenido en S	0,00 ± 0,01 %
Contenido en Cl	0,03 ± 0,01 %



## 9. CONCLUSIONES

En las plantaciones energéticas de tilo se pueden obtener producciones entre 16 y 20 t/ha de materia seca. El precio de mercado se sitúa alrededor de 129,5 \$/t. El coste de la producción se sitúa en 989,45 \$/ha, obteniendo un beneficio de 74,53 \$/t o 1341,55 \$/ha.



## Referencias

- Abella, I. (2000). *Magia de los Árboles* (tercera edición). Asturias: Integral. 292 p.
- Aguilar, M.J. (2018) Botánica inclusiva: el saúco, árbol protector y sanador. <https://espores.org/es/es-plantas/botanica-inclusiva-el-sauco-arbol-protector-y-sanador/>
- Albert, N., Almeida, M., Andrés, J., Añibarro, J., Arizpe, D., Del Campo, A., Campos, E., Fera, C., Gálvez, C., García, J., Jiménez, P., Martínez, F., Pérez, E., Picher, M., Prada, M., Rueda, J. & Ventimilla, P. (2008). *Manual de Propagación de Árboles y Arbustos de Ribera. Una ayuda para la restauración de riberas en la región mediterránea*. Valencia, España. 205 p. Grafiques Vimar. [http://www.agroambient.gva.es/documentos/20551003/102695348/41681-71629-Propagacion\\_vegetacion\\_ribera/67cd77be-cc71-4af7-986a-7720b6741de0?version=1.0](http://www.agroambient.gva.es/documentos/20551003/102695348/41681-71629-Propagacion_vegetacion_ribera/67cd77be-cc71-4af7-986a-7720b6741de0?version=1.0)
- Argus Media. (2019). <https://www.argusmedia.com/es/bioenergy>
- Cárdenas, A., Rocha, C., & Castañeda, R. (2016). Efecto de la edad de corte sobre las medidas morfométricas, la composición bromatológica y el fraccionamiento de la proteína del saúco (*Sambucus nigra*). *Agronomía Costarricense*, 40(2), 2016. Universidad de Costa Rica. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i2.27390>
- Cremer T., Velázquez-Martí B. 2007. Evaluation of two harvesting systems for the supply chips in Norway spruce forest affected by bark beetles. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(2): 145-155. <https://hrcak.srce.hr/18249>

Grajales, B.M., Botero, M.M., & Ramírez, J.F. (2015) Características, manejo, usos y beneficios del saúco (*Sambucus Nigra* L.) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del Trópico Alto. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1). <https://doi.org/10.22490/21456453.1271>

Rzedowski, G.C. de, & Rzedowski, J. (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. [https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora\\_del\\_Valle\\_de\\_Mx1.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora_del_Valle_de_Mx1.pdf)

Sánchez Matta, L., Amado Saavedra, G.M., Criollo Campos, P.J., Carvajal Salcedo, T., Roa Triana, J., Cuesta Peralta, A., Conde Pulgarín, A., Umaña Arboleda, A., Bernal, L.M., Barreto de Escovar, L. (2010). *El saúco (Sambucus nigra) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el Trópico Alto colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13488/44236\\_56514.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13488/44236_56514.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Uribe, F., Zuluaga, A., Murgueitio, E., Valencia, L., Zapata, A., Solarte, L., Cuartas, C., Naranjo, J., Galindo, W., González, J., Sinisterra, J., Gómez, J., Molina, C., Molina, E., Galindo, A., Galindo, V. & Soto, R. (2011). *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*. FEDEGÁN – FNG, CIPAV, el Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez (Fondo Acción), The Nature Conservancy (TNC), Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Global Environment Facility – GEF y el Directorio del Banco Mundial. Bogotá, Colombia. 78 p. <https://www.cipav.org.co/pdf/1.Establecimiento.y.manejo.de.SSP.pdf>

Velázquez-Martí, B. (2017) *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. Ed. Reverté, 840 pp

<http://www.semillasilvestres.com/arboles-y-arbustos-planifolios/988/sambucus-nigra-l/>



# Eucalipto. *Eucalyptus* ssp.

## I. DESCRIPCIÓN

### Características generales

Los eucaliptos son árboles que se caracterizan por su rápido crecimiento que pertenecen a la familia de las mirtáceas. Son árboles perennes con un porte alto y recto, pudiendo alcanzar entre 50 y 60 m. Poseen una corteza característica lisa y verdosa blanquecina en constante renovación, liberando escamas que provocan manchas grises o parduscas sobre el tronco. Esto facilita su rápida identificación. Las hojas de color grisáceo son lanceoladas u ovaladas.



Figura 1. Plantación de Eucaliptos



Figura 2. Corteza del Eucalipto

Dentro del género *Eucalyptus*, existen más de 300 especies. Cada especie está adaptada a ciertos ambientes climáticos. Por lo general, están adaptados a climas templados o cálidos suaves. Las especies más comunes son *Eucalyptus coccifera*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus subcrenulata*, y *Eucalyptus gunnii*. Las subespecies más resistentes al frío y que pueden tolerar inviernos más severos son el *Eucalyptus pauciflora* subsp. *niphophila* y *Eucalyptus pauciflora* subsp. *Debeuzevillei*.

### Sistema radicular

El sistema radicular del eucalipto posee una raíz es pivotante que se estructurada a lo largo de un eje vertical primario del que surgen raíces secundarias. Este sistema le confiere gran voluminosidad, por lo que necesita suelos profundos. La resistencia al desarrollo radicular limita el crecimiento de la planta.

## Tallo

Los tallos con tendencia a la verticalidad, alcanzan grosores que puede llegar a los 50 cm si no poseen escasez de agua y nutrientes, no poseyendo competencia. Se caracterizan por su corteza de color blanquecino-grisáceo verdoso con tonalidades azuladas.

## Hojas

Las hojas del eucalipto son alargadas lanceoladas de color grisáceo. No obstante, algunas especies pueden poseer hojas ovaladas. Están dispuestas de forma alternada. Inicialmente son sésiles, es decir, no poseen peciolo, estando asidas al tallo. Con su desarrollo, el peciolo se alarga y el limbo adquiere una tonalidad verde azulada brillante con una nerviadura central muy pronunciada.



Figura 3. Hojas de Eucalipto

## Flores

Las flores se caracterizan por poseer numerosos estambres sin pétalos. Pueden estar agrupadas en umbelas, inflorescencias abiertas, racimosas en la que del pedúnculo se irradian los pedicelos florales, varillas de igual longitud.



Figura 3. Ramilletes florales de Eucalipto con flores abiertas y flores en botón

## Frutos

Los frutos forman una cápsula de unos 2,5 cm de longitud dividida en tres o cuatro sectores con un gran número de semillas negras de 1 o 2 mm.

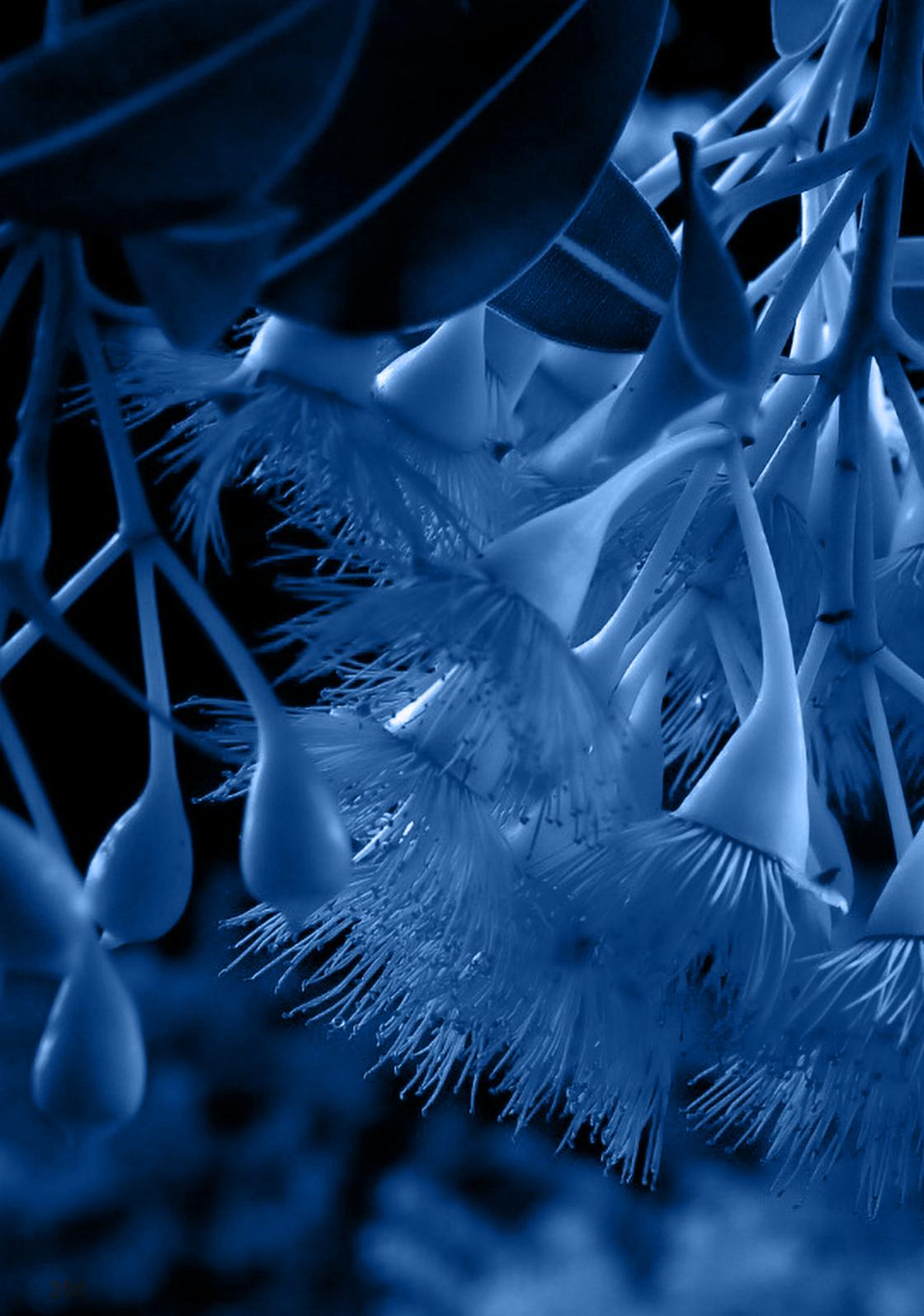


Figura 4. Frutos de Eucalipto



## 2. DISTRIBUCIÓN

El eucalipto tiene su origen en Australia, pero se ha expandido alrededor del mundo por todas las zonas templadas o cálidas suaves. En la actualidad pueden encontrarse en áreas de Latinoamérica, Norteamérica, alrededor del Mediterráneo, y sur de Asía, principalmente en China y la India.



### 3. EXIGENCIAS DEL CULTIVO

#### Temperatura mínima y máxima, rango óptimo

El eucalipto crece adecuadamente en climas cálidos o tropicales en ambientes soleados, aunque tiene una cierta resistencia al frío. La temperatura óptima de desarrollo se sitúa entre 20°C y 30°C, pudiendo desarrollarse a temperaturas de -5°C. Por debajo de esta temperatura puede resistir en estado de latencia hasta -15°C. La variedad de mayor resistencia es el eucalipto de nieve (*Eucalyptus pauciflora*) que puede resistir hasta -20°C.

#### Fotoperiodo

El eucalipto que necesita radiación solar, no desarrollándose bien en zonas umbrías. Se estima precisa entre 6 y 8 horas a la luz.

#### Necesidades de agua

Para unas condiciones ideales de crecimiento se precisa una disponibilidad entre unos 700 y 1000 mm anuales de pluviosidad, aunque algunas especies de eucaliptos se encuentran adaptados a las condiciones áridas extremas, pudiendo soportar lluvias inferiores a los 300 mm anuales, por ejemplo el *Eucalyptus salmonophlora* es una especie utilizada en el norte de África por su resisa.

En general, las condiciones ideales de crecimiento son aquellas en las que la humedad del suelo fuese uniforme durante todo el año, por lo que son preferibles los terrenos que mantengan el agua, pero sin encharcamientos. El eucalipto no tolera bien periodos prolongados de sequía. Cuando existe déficit de agua se detecta enseguida marchitez en las hojas, lo que reduce la fotosíntesis y el crecimiento. En

esa situación el restablecimiento de agua no provoca que las hojas afectadas se recuperen.

### **Necesidades nutricionales**

El abonado se realiza en el momento del trasplante, y tras el primer año de desarrollo, con requerimientos de magnesio y boro.

### **Exigencias de suelo**

Los suelos adecuados para el cultivo de eucalipto con los textura arcillosa y limosa que retengan humedad. A parte de la humedad, el factor más importante para el adecuado crecimiento es el pH, debiendo estar comprendido entre 5,5 y 6,5.

## 4. ESTADIOS FENOLÓGICOS

Tabla 1. Fases de desarrollo, estadios fenológicos.

Germinación	Primavera
Floración	Entre la primavera y el verano
Trasplante	Primavera
Fructificación y cuajado	Verano
Dehiscencia de frutos	Otoño



## 5. PRINCIPALES ENFERMEDADES Y PLAGAS

En general el eucalipto es una especie que no presenta plagas y enfermedades graves, por lo que no es habitual someterla a tratamientos fitosanitarios específicos (du Toit, 2008). Además cuando se ve gravemente afectada éstos resultan difíciles y caros, por lo que se opta por la eliminación de los árboles afectados.

Los parásitos más importantes son los siguientes:

### Insectos

*Hormigas*: el mayor peligro para las plantaciones y viveros de eucalipto son las hormigas comedoras de hojas, que pueden dañar también las yemas, causando la muerte de la planta principalmente durante el primer y segundo año de desarrollo.

Como operación preventiva antes de la plantación, se inspeccionará la parcela tolerando la presencia de hasta 50 hormigueros por hectárea. Si el número de nidos fuera superior, se justificaría el coste de las operaciones de destrucción de los mismos. La destrucción de los hormigueros se puede realizar mediante el uso de insecticidas en forma líquida o gaseosa aplicado mediante medios neumáticos. El objetivo principal será destruir la reina. Los productos usados son el dióxido de azufre sólo o mezclado con arsénico, y el disulfuro de carbono en dosis de 60 a 200 cm<sup>3</sup> por hormiguero, según el tamaño de éste.

*Gorgojo Gonipterus scutellatus*: Este uno de los insectos que hasta ahora ha causado mayores daños a las plantaciones de eucaliptos. Su presencia se ha observado en Nueva Zelanda, y sur de África. Ataca con preferencia *Eucalyptus maideni*, *E. viminalis*, *E. globulus*, *E. camaldulensis*,

*E. robusta*, *E. citriodora* y *E. smithii*. En cambio otras especies como *E. saligna*, *E. cladocalyx*, *E. melliodora*, *E. crebra*, *E. fastigata*, *E. paniculata* y *E. maculata* parecen ser resistentes. Existe una considerable literatura sobre los métodos de combatir este insecto. Cabe destacar que puede ser controlado biológicamente con el himenóptero, *Anaphoides nitens*, el cual es de dispersión rápida.

*Ericoccus coriaceus*: Este insecto coccidio se coloca sobre las ramas y sobre las nerviaciones principales de las hojas. Segrega un líquido en el que se desarrolla un hongo de color negro característico. Sin embargo, hoy esta plaga puede controlarse fácilmente mediante lucha biológica mediante el coccinélido *Rhizobius ventralis*, la mosca *Pseudoleucopis benefica* y el lepidóptero *Stathmopoda melanchra*.

*Phoracantha semipunctata* y *Paramallocera ilinizae*: Estos son coleópteros cerambícidos cuya larva abre una galería en la madera y destruye el cámbium, ocasionando la muerte del árbol. Afecta principalmente a árboles jóvenes de 15 a 20 cm de diámetro en lugares poco favorables o en mal estado. Puede propagarse sobre árboles ya apeados en descomposición.

Afecta principalmente al *Eucalyptus globulus*, *E. botrioide*, *E. camaldulensis*, *E. diversicolor*, *E. saligna*, y *E. viminalis*. Sin embargo, especies como *E. paniculata*, *E. fastigata*, *E. cladocalyx*, *E. camaldulensis* y *E. citriodora* no se ven afectadas.

Otros insectos: pueden mencionarse los lepidópteros *Thyrintina arnobia* y *Phassus giganteus*, que abren galerías en los puntos de contacto entre bejucos y árboles.

## Hongos

El periodo de germinación y primer desarrollo es el más sensible a los hongos. En Sudamérica es destacable *Eucalyptus citriodora* que provoca la pudrición del cuello; y un tumor del tronco de las plantas jóvenes, ocasionado por una especie de *Cylindrocladium*, y *Ganoderma sessile*, que ataca a los árboles dañados.

*Botrytis cinerea*. Sin embargo, este hongo no es de gran importancia económica. Ataca las semillas en los viveros, o los árboles muy jóvenes que no se encuentran en buenas condiciones.

*Stereum hirsutum* que ataca sobre los brotes de raíz del *E. globulus*, *E. diversicolor* y *E. saligna*, provocando la posterior pudrición del corazón, principalmente en árboles maduros o viejos con más de 40 años.



## 6. TÉCNICAS DE CULTIVO

Cuando el eucalipto se cultiva en plantaciones de alta densidad, utilizando turnos cortos de 3 a 5 años, se consiguen producciones entre 16 y 21 t/ha de biomasa seca. El incremento medio de altura es de 4 m al año y el incremento de diámetro es de 4 cm (Carrero *et al.*, 2018).

El manejo de la plantación no requiere excesivas tareas de cultivo. La más relevante es la eliminación de arbustos y malezas que provocan competencia, relentizando la velocidad el crecimiento en los dos primeros años. Posteriormente, cuando el sistema radicular está más desarrollado la influencia de la cubierta vegetal en el crecimiento disminuye. Tras el corte, la segunda operación relevante es la elección de los rebrotes adecuados para un segundo turno.

### Tecnología de preparación del suelo

La primera operación antes del trasplante es el desbroce de la parcela. Éste se puede realizar bien de forma mecanizada con desbrozadora de cadenas, bien con un herbicida de amplio espectro.

Debe de prevenirse el riesgo de encharcamiento. Para evitarlo se puede realizar un subsolado para favorecer la infiltración, pero si esto no fuera suficiente, deberán realizarse zanjas para el drenaje.

El último paso de preparación del terreno será la realización de agujeros bien de forma manual o con una retro equipada con un cazo de 60 centímetros. Otra alternativa es el subsolado con un ripper en la línea de plantación. En pendiente es recomendable seguir curvas de nivel.

## Plantación

La época de plantación más adecuada es la correspondiente a la que garantice temperaturas superiores a los 20°C, con evolución creciente en los siguientes meses.

Teniendo en cuenta la extensión de las raíces, el marco de plantación aconsejado es de 3×3 metros (1111 plantas por hectárea) o 3×4 metros (833 plantas por hectárea).

## Tecnología de fertilización

Generalmente sólo es necesario realizar fertilización en los primeros años de desarrollo.

Se suelen proporcionar 40 gramos de compuesto NPK 8-28-7 enriquecido con magnesio y boro en el hoyo de plantación en el momento del trasplante. El boro y el fósforo estimula el desarrollo de las raíces y favorece el alargamiento del tallo sin bifurcaciones.

Durante el segundo año, es recomendable reducir la competencia haciendo un desbroce de los matorrales que pueden rivalizar con el cultivo por agua y nutrientes. Dado que el nivel nutricional influye significativamente en la velocidad de crecimiento en los primeros estadios, una posibilidad para compensar la competencia es realizar abonados adicionales. Esta operación se realizaría durante las temporadas de crecimiento, es decir, entre la mitad de la primavera y la mitad del verano, donde la temperatura es moderada o cálida, no debiéndose realizar en temporadas frías donde el árbol está en letargo. Estas fertilizantes adicionales deben ser ricas en fósforo y bajas en nitrógeno. No obstante, en muchas plantaciones se prescinde de este segundo abonado.

La fertilización puede realizarse de forma manual a voleo o mediante el empleo de abonadoras centrífugas sobretodo en plantaciones con mas de 4 m de separación entre hileras.

## **Tecnología de propagación y plantación**

La propagación del eucalipto suele realizarse generalmente a través de sus semillas, debido a que hacerlo a partir de sus esquejes es difícil, y posee una menor probabilidad de éxito. Las cápsulas que posee las semillas se recolectan del suelo en el otoño, asegurándose que están todavía cerradas. Posteriormente se dejan secar en lugar soleado para que se abran. Entonces se extraen las semillas de 1 o 2 mm. Cada capsula posee gran número de semillas.

Para germinar el eucalipto a partir de su semilla, éstas requieren un cierto número de horas frío. Por ello, para facilitar su germinación, las semillas envasadas se enfrían en frigorífico a 5 °C durante dos meses. Este proceso se llama estratificación. La estratificación reproduce el periodo de inactividad que tiene lugar durante el invierno, de forma que se favorece la activación del metabolismo de inicio de la germinación una vez aumenta la temperatura.

Tras esta fase, unas cuantas semillas de eucalipto se colocan en macetas de turba con perlita al final del invierno (en el hemisferio norte a mediados de febrero, en el hemisferio sur a mediados de julio). El eucalipto es sensible al trasplante. Por ello el uso de turba reducirá el estrés de este proceso dado que ofrece baja resistencia a la manipulación de la posterior plántula. Además garantiza el buen drenaje, evitando diferentes afecciones asociadas a la asfixia radicular y encharcamiento. Las semillas deben quedar cubiertas bajo la superficie aproximadamente a una profundidad de 1 cm.

Las macetas pueden estar a la intemperie varias semanas, teniendo en cuenta la ausencia de heladas.

Las semillas en las macetas deben ser humedecidas regularmente bien con agua pulverizada o por sistema de goteo, especialmente cuando las semillas empiecen a germinar, siendo conveniente hacerlo a diario o en días alternos para mantener el medio de cultivo uniformemente hidratado.

La germinación y desarrollo de la plántula se ve favorecida con el aumento de la temperatura. Por ello esta fase debe realizarse en primavera o en invernadero.

Dado que se plantan varias semillas por maceta, es posible que brote más de un vástago. Entonces se cortan los vástagos más débiles con tijera de poda a nivel de la tierra, dejando uno sólo por maceta, el más grande, grueso y sano.

El trasplante a parcela se realiza tras 5 o 6 meses (a mitad del verano). Este se realiza en los agujeros realizados manualmente o con una retro equipada con un cazo de 60 centímetros. Cada hoyo se rellena con tierra y compost maduro rodeando el cepellón que surgió de quitar la maceta o envase donde se desarrolló el sistema radicular de la plántula. Posteriormente se compacta suavemente la tierra alrededor de las raíces. Se riega la zona con agua abundante para ayudar a que los eucaliptos se asienten en la tierra

Tras la plantación es conveniente mantener la tierra húmeda, pudiendo realizarse algún riego de refuerzo. Los eucaliptos toleran la sequía hasta cierto punto, pero responden mucho mejor a la tierra constantemente húmeda.

## Sistema de riego

En plantaciones muy tecnificadas en zonas de pluviometría irregular, durante el primer año se realizan riegos de refuerzo. Éste se puede realizar por goteo, aspersión o mediante cuba.

Una vez que el árbol se haya establecido, no se realizan riegos ni aplicaciones de fertilizantes, ni siquiera durante los periodos de sequía.

## Poda

En las plantaciones de eucalipto para la obtención de madera industrial se suelen realizar podas de formación durante los cuatro primeros años, realizándose clareos a partir del segundo año, eliminando el 50% de las plantas. Se eliminarán preferentemente las plantas poco erectas o con deformaciones, con el objetivo que el resto crezcan con mayor velocidad y calidad. No obstante, estas podas pueden prescindirse si el destino de la plantación es energético.

Después del trasplante, a primera poda se realizará tras el primer año de crecimiento. En este momento la planta ha alcanzado unos 4 m, entonces se eliminan las ramas más bajas. Generalmente se eliminan las ramas que crecen en la parte del tallo que tiene un diámetro mayor de 4 cm. Estas ramas suelen ser finas y se cortan con tijera de poda a ras del tronco, intentando no dejar abultamiento.

La segunda poda se realiza en el tramo del tronco con diámetro entre 4 y 6 cm, o donde alcance la altura del podador. Esta operación también puede realizarse con tijera. Podas posteriores, si fueran necesarias, se realiza con serrucho acoplado a una pértiga, eliminando las ramas más bajas hasta 5-6 m, realizando el corte al ras.

## Tecnología de cosecha

En plantaciones energéticas el turno de corte se suele fijar en 3 años. En plantaciones para obtención de madera se prolonga hasta los 6 o 7 años.

La cosecha comprende el corte o apeo del árbol, extracción del árbol de la parcela, astillado de los materiales y transporte.

### Tala

Existen varias opciones para hacer el apeo o corte del árbol. Éste se puede realizar con motosierra, o mediante la utilización de taladora apiladora (*Feller buncher*).

Las taladoras apiladoras son máquinas autopropulsadas que poseen un brazo articulado con un cabezal dotado de dos grapas que cogen fuertemente el tronco del árbol, y lo corta mediante un dispositivo situado en la parte inferior, que puede ser una cuchilla, o motosierra oscilante. Una vez el árbol está cortado la pluma lo deja apilado en una zona próxima al apeo y vuelve a dirigirse a otro árbol, para repetir el ciclo (Velázquez-Martí, 2017). El brazo articulado y la pluma con el cabezal puede aprear árboles separados de la máquina hasta una distancia de 7-8 metros.

Estas máquinas pueden ser neumáticos o de cadenas. Sobre el bastidor va montada la cabina de mando que posee capacidad de movimiento giratorio de 360°. Estas máquinas presentan transmisión hidrostática tanto para el tren de rodaje como para el accionamiento de los elementos de trabajo.

## Desembosque

La extracción de los árboles cortados desde la parcela hasta la zona de acopio se puede hacer por arrastre a través de un tractor arrasador (*skidder*) o de forma más habitual mediante un tractor autocargador (*forwarder*).

## Astillado y transporte

El astillado se realiza en el área de acopio o cargadero. Se suele utilizar una astilladora transportable. Es decir, una astilladora montada sobre un camión que trabaja sin desplazarse en la pista forestal en el área de acopio.

Estas astilladoras poseen un deflector emisor de la astilla, que la conduce directamente a un contenedor de transporte.

Los contenedores de transporte pueden estar montados sobre el chasis de los camiones, o ser traccionados por tractores o *trailers*.



## 7. ESTUDIO ECONÓMICO

En el análisis económico se ha considerado que se adquieren los plántones de unos 15 a 30 cm altura, formados en viveros especializados en la propagación de esta planta, tomando los siguientes costes unitarios:

**Tabla 2. Precios unitarios del estudio económico.**

<b>Materias primas</b>	
Plántones	0,5 \$/unidad
NPK 8-28-7 con boro y magnesio	0,45 \$/kg
<b>Maquinaria</b>	
Retroexcavadora	40,20 \$/h
Taladora apiladora	50,10 \$/h
Tractor autocargador	35,48 \$/h
Astilladora transportable	75,95 \$/h
Contenedor de transporte	\$/h
<b>Mano de obra</b>	
Jornal	10 \$/h

### Precio de mercado

Se ha considerado como precio de la astilla 129,5 \$/t, tomado en Brasil, según el informe de Argus Media (2019).

### Contabilización de costes

Se considera una plantación de 3 × 4 m, es decir, 833 plantas por hectárea.

**Tabla 3. Costes de plantación.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Abertura de pozos	h/ha	0,45	40,20	18,09
NPK 8-28-7 con boro y magnesio	kg/ha	33,32	0,45	14,994
Plántulas	ud/kg	833	0,50	416,5

**Tabla 4. Costes de poda.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Primera poda	h/ha	15	10	150
Segunda poda	h/ha	15	10	150

Para el cálculo de los costes de cosecha se ha considerado una productividad de la taladora apiladora de 45 t/h (Ghaffariyan y Brown, 2011), una productividad del tractor autocargador de 4 t/h (Cremer y Velázquez-Martí, 2007), una productividad de 40 t/h en la astilladora (Ghaffariyan y Brown, 2011).

**Tabla 5. Costes de cosecha.**

Concepto	Unidad	Medición	Coste unitario	Coste
Taladora apiladora	h/ha	0,45	50,10	22,55
Tractor autocargador	h/ha	5	35,48	177,40
Astillado	h/ha	0,5	79,85	40,00
Transporte	h/ha			

Tabla 6. Resumen de costes.

Concepto	Medición	Unidad
Plantación	449,58	\$/ha
Poda	300	\$/ha
Cosecha y transporte	239,87	\$/ha

El coste total de la plantación resulta de 989,45 \$/ha. Considerando un ingreso de 129,5 \$/t, que equivale a 2590 \$/ha, el flujo de caja a los tres años, que es cuando se considera el turno, es de 1600,5 \$/ha, 80 \$/t.



## 8. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LA MADERA

Las propiedades termoquímicas de la madera del eucalipto se exponen en la Tabla 7.

Tabla 7. Propiedades termoquímicas del eucalipto.

Poder calorífico	$19,9 \pm 0,4$ MJ/kg
Densidad a granel con P15	1,88 t/m <sup>3</sup>
Porcentaje de cenizas	$2,01 \pm 0,2$ %
Porcentaje de Volátiles	$82,6 \pm 0,3$ %
Porcentaje de carbono fijo	$8,60 \pm 0,5$ %
Contenido en C	$45,61 \pm 0,6$ %
Contenido de H	$4,24 \pm 0,1$ %
Contenido en N	$0,46 \pm 0,07$ %
Contenido en S	$0,02 \pm 0,01$ %
Contenido en Cl	$0,03 \pm 0,01$ %



## 9. CONCLUSIONES

En las plantaciones energéticas de eucalipto se pueden obtener producciones entre 16 y 21 t/ha de materia seca. El precio de mercado se sitúa alrededor de 129,5 \$/t. El coste de la producción se sitúa en 989,45 \$/ha, obteniendo un beneficio de 80 \$/t o 1600,5 \$/ha.

La energía obtenible en las plantaciones equivalen a 378 GJ/ha.



## REFERENCIAS

- Argus Media. (2019). <https://www.argusmedia.com/es/bioenergy>
- Carrero, O., Stape, J.L., Allen, L., Arrevillaga, M.C., & Ladeira, M. (2018). Productivity gains from weed control and fertilization of short-rotation *Eucalyptus* plantations in the Venezuelan Western Llanos. *Forest Ecology and Management*, 430, 566-575. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.050>
- Cremer, T., Velázquez-Martí, B. 2007. Evaluation of two harvesting systems for the supply chips in Norway spruce forest affected by bark beetles. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(2): 145-155. <https://hrcak.srce.hr/18249>
- Du Toit, B. (2008). Effects of site management on growth, biomass partitioning and light use efficiency in a young stand of *Eucalyptus grandis* in South Africa. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2324-2336. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.037>
- Ghaffariyan, M., & Brown, M. (2011). Efficiency of Biomass Harvesting in Poor Quality Stands of *Eucalyptus* in Western Australia. *34th Council on Forest Engineering*, June 12-15, 2011, Quebec City (Quebec).
- Gominho, J., Lourenço, A., Miranda, I., & Pereira, H. (2012). Chemical and fuel properties of stumps biomass from *Eucalyptus globulus* plantations. *Industrial Crops and Products*, 39, 12-16. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.01.026>

Kumar, R., Pandey, K.K., Chandrashekar, N., & Mohan, S. (2011). Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid, *Acacia auriculaeformis* and *Casuarina equisetifolia*. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1339-1344. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.031>

Velázquez-Martí, B. (2017). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. Ed. Reverté, 840 pp.



**Financia:** Programa de Proyectos de Investigación en Tecnología para el Desarrollo Humano y Cooperación Internacional para el Desarrollo, ADSIDEO UEB-UPV 2018-2020

**Participan:**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ÀREA DE COOPERACIÓ AL  
DESENVOLUPAMENT



**Ecumasa**

RED ECUATORIANA PARA LA INVESTIGACIÓN  
DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA

