

Eucalipto

Borja Velázquez-Martí¹; Juan Gaibor-Chavez²

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

²) Centro de Investigación de Ambiente, Departamento de Investigación, Universidad Estatal de Bolívar, Laguacoto II, Km 1y 1/2 vía San Simón, Guaranda, Ecuador

Correponging Author: Velázquez-Martí B. borvemar@dmta.upv.es

1. Descripción

Características generales

Los eucaliptos son árboles perennes de la familia de las mirtáceas. Tienen un porte recto y alto, llegando a alcanzar entre 50 y 60 m en estado de madurez. Estos árboles se caracterizan por corteza lisa y verdosa blanquecina, que en constante renovación, libera escamas que provocan manchas grises o parduscas sobre el tronco. Las hojas son lanceoladas u ovaladas de color grisáceo.



Figura 1. Plantación de Eucaliptos



Figura 2. Corteza del Eucalipto

En realidad, existen muchas especies distintas de eucaliptos. Cada especie está adaptada a ciertos condicionantes climáticos. Por lo general, están adaptados a climas templados o cálidos suaves. Las especies más comunes son *Eucalyptus coccifera*, *Eucalyptus subcrenulata*, y *Eucalyptus gunnii*. Particularmente las subespecies, *Eucalyptus pauciflora subsp. niphophila* y *Eucalyptus pauciflora subsp. debeuzevillei* son las más resistentes al frío y pueden tolerar inviernos muy severos.

Crecen con bastante rapidez.

Sistema radicular

El eucalipto tiene un potente desarrollo del sistema radicular que precisa profundidad del suelo debido a que la compresión de sus raíces dificulta el crecimiento. La raíz es pivotante estructurada en un eje vertical primario rodeado de raíces secundarias.

Tallo

Los tallos son erectos, con corteza de color verdoso blanquecino o grisáceo azulado.

Hojas

Las hojas del eucalipto son grisáceas. La forma más común es alargada lanceoladas, aunque hay especies de hojas ovaladas. Comienzan siendo sésiles, es decir, están asidas al tallo sin peciolo. Posteriormente, el peciolo se alarga y adquieren un color verde azulado brillante con el nervio central muy marcado. Están dispuestas de forma alternada.



Figura 3. Hojas lanceoladas de Eucalipto

Flores

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



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

Frutos

Los frutos tienen forma de 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.

2. Distribución

El eucalipto es un árbol originario de Australia, pero que se ha distribuido por todas las zonas templadas o cálidas suaves alrededor del mundo. En la actualidad pueden encontrarse en áreas de alrededor del Mediterráneo, Norteamérica y Latinoamérica. También se distribuye por sur de Asia, desde la India hasta China.

3. Exigencias del cultivo

Temperatura mínima y máxima, rango óptimo

El eucalipto crece adecuadamente en climas cálidos o tropicales. Requiere ambientes soleados. La temperatura óptima de desarrollo se sitúa entre 20°C y 30°C. Sin embargo, tiene una cierta resistencia al frío, la mayoría de especies pueden resistir temperaturas de hasta -12 °C, pudiendo desarrollarse a temperaturas de -5°C.

Hay que señalar que la variedad de mayor resistencia es el eucalipto de nieve (*Eucalyptus pauciflora*) que puede resistir hasta -20°C.

Fotoperiodo

El eucalipto precisa de entre 6 y 8 horas a la luz solar directa. No son adecuadas zonas umbrías.

Necesidades de agua

Para una 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, la disponibilidad de agua debe ser uniforme durante el año, por lo que son preferibles los terrenos que mantengan un poco la humedad. No toleran bien los periodos prolongados de sequía. El déficit de agua se manifiesta produciéndose marchitez en las

hojas. En ese momento el restablecimiento de agua abundante no provoca que las hojas afectadas se recuperen.

Necesidades nutricionales

Sólo será necesario realizar abonado los primeros años de la plantación.

Exigencias de suelo

El eucalipto se puede cultivar en cualquier tipo de textura, tanto arcillosa, limosa como arenosa. El factor más importante para el adecuado desarrollo es el pH, debiendo estar comprendido entre 5,5 y 6,5.

4. Estadios fenológicos

Tabla 1. Épocas de los distintos estadios

Germinación	Primavera
Floración	Entre la primavera y el verano
Plantación	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. Además cuando se ve gravemente afectada éstos resultan difíciles y caros, por lo que se opta por la eliminación de los árboles afectados.

Insectos

Hormigas: Las hormigas representan el mayor peligro para las plantaciones y viveros. Dado que lesionan las hojas y las yemas, causando la muerte de la planta. Esto exige una continua inspección durante el primer y segundo año siguientes a la plantación.

Se considera que la presencia de 50 hormigueros por hectárea justifica el coste de las operaciones de destrucción de los mismos como operación preventiva antes de la plantación. 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 cm³ 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 Zelandia, 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. botrioides*, *E. camaldulensis*, *E. diversicolor*, *E. saligna*, y *E. viminalis*. Sin embargo especies como *E. paniculata*, *E. fastigata* ni *E. cladocalyx*. s, *E. camaldulensis*, *E. citriodora* no se ven afectadas..

Otros insectos: pueden mencionarse los lepidópteros *Thyriniteina 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

Utilizado en masas forestales de alta densidad, aprovechadas a turnos cortos (3-5 años) las producciones se pueden situar entre 16 y 21 t/ha de materia seca. El crecimiento medio en altura es de 4 m al año y en diámetro de 4 cm (Carrero et al., 2018).

El cultivo no requiere excesivas tareas de manejo selvicultural. La principal es la realización de limpiezas los dos primeros años, y después del aprovechamiento el manejo de rebrotes (du Toit, 2008).

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.

De existir 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 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

El marco de plantación aconsejado es de 3×3 metros (1.111 plantas por hectárea) o 3×4 metros (833 plantas por hectárea). En cuanto a la época de plantación, se recomienda la primavera.

Tecnología de fertilización

Sólo será necesario realizar abonado los primeros años de crecimiento.

En el momento de la plantación se suelen suministrar 40 gramos de fertilizante compuesto NPK 8-28-7 con boro y magnesio en el pozo de plantación. El 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.

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 frio. 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, aspersion 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

Las plantaciones de eucalipto son susceptible de realizarles podas de formación durante el primer y segundo año. No obstante, éstas pueden ser prescindibles si el destino de la madera es energético. Sin embargo cuando el destino es industrial las podas se repiten al tercer y cuarto año, y además se realizan clareos a partir del segundo año, eliminando el 50%, las plantas poco erectas o con deformaciones, con el objetivo que el resto crezcan con mayor velocidad y calidad.

Tras el primer año de crecimiento desde el trasplante, en el momento que la planta ha alcanzado unos 4 m, se eliminan las ramas más bajas, como orientación aquellas a una altura más baja de la que el tronco tenga un diámetro superior a 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 entre 4 y 6 m, 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 suelen fijar en 3 años. En plantaciones para obtención de madera se prolonga hasta los 6 o 7 años.

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 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 las piezas apeadas hasta el área de acopio se puede hacer por arrastre a través de un tractor arrastrador (skidder) o mediante un tractor autocargador (forwarder). Esta segunda opción es más habitual.

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 el análisis económico se considerará que se adquieren los plantones ya formados de unos 15 a 30 cm altura, 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

Materias primas	
Plantones	0,5 \$/unidad
NPK 8-28-7 con boro y magnesio	0,45 \$/kg
Maquinaria	
Retroexcavadora	40,20 \$/h
Taladora apiladora	50,10 \$/h
Tractor autocargador	35,48 \$/h
Astilladora transportable	75,95 \$/h
Contenedor de transporte	\$/h
Mano de obra	
Jornal	10 \$/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 x 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 asitilladora (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 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 eucalipto posee las siguientes características.

Tabla 7. Características energéticas del eucalipto

Poder calorífico	18,9 ± 0,5 MJ/kg	(Gominho et al., 2012)
Densidad a granel con P15	1,78 t/m ³	(Kumar et al., 2011)
Porcentaje de cenizas	0,6 ± 0,2 %	(Gominho et al., 2012)
Porcentaje de Volátiles	81,1 ± 0,6 %	(Gominho et al., 2012)
Porcentaje de carbono fijo	18,3 ± 0,6 %	(Gominho et al., 2012)
Contenido en C	46,8 ± 0,6 %	(Kumar et al., 2011)
Contenido de H	5,8 ± 0,1 %	(Gominho et al., 2012)
Contenido en N	0,16 ± 0,05 %	(Kumar et al., 2011)
Contenido en S	0,18 ± 0,06 %	
Contenido en Cl	0,04 ± 0,01 %	(Gominho et al., 2012)
Punto de fusibilidad de cenizas		°C

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 equivales 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://hrcaj.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

