

Aspectos fisiológicos y de aprovechamiento de *Acacia mangium* Willd. Una revisión

Physiological and exploitation aspects of *Acacia mangium* Willd. A review

GIOVANNI REYES M.^{1, 4}
SANDRA LORENA CARMONA G.²
MARÍA ELENA FERNÁNDEZ³

Plántula de *Acacia mangium* Willd.

Foto: G. Reyes M.



RESUMEN

Acacia mangium es una especie leguminosa de rápido crecimiento originaria de Australia y Asia central, cuyo uso se ha expandido por el resto del mundo debido a su ciclo corto, morfología, trabajabilidad de la madera y por su capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas y edáficas. Adicionalmente, tiene potencial para el aprovechamiento de los subproductos (raleo, residuos de aserrín y lodos de papel) del cultivo y como recuperador de suelos degradados. Desde el punto de vista morfofisiológico, una característica destacada es la presencia de filodios, pecíolos ensanchados que se forman después de cuatro semanas de edad, cuando pierden las hojas verdaderas, y que realizan la actividad fotosintética que le confiere tolerancia a la planta en ambientes secos por tiempo prolongado. La asociación simbiótica con bacterias nitrificantes y hongos micorrícicos, facilita la toma de nutrientes en suelos de baja fertilidad. La floración de *A. mangium* se induce por genes que pueden estar relacionados con la temperatura, el fotoperíodo y la activación de señales por parte de la sacarosa y puede ocurrir en cualquier época del año, pero según su ubicación geográfica se presentan picos marcados en determinados periodos. A pesar de que en Colombia la especie ha sido cultivada desde años atrás, muchos aspectos relacionados con la respuesta de la especie a las condiciones de las regiones de cultivo, así como la calidad de los materiales genéticos introducidos, se encuentran aún sin precisar.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Doctorado en Agroecología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID Reyes M., G.: 0000-0002-2606-3558

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Mosquera (Colombia). ORCID Carmona G., S.L.: 0000-0001-7348-3566

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Balcarce, Oficina Tandil (Argentina). ORCID Fernández, M.E.: 0000-0002-9547-2216

⁴ Autor para correspondencia. greyesm@unal.edu.co

Palabras clave adicionales: especies forestales de usos múltiples, filodios, adaptabilidad a estrés hídrico, recuperación de suelos, forestaciones en Colombia.

ABSTRACT

Acacia mangium is a fast-growing legume species native to Australia and Central Asia, whose use has spread throughout the world because of its short rotation cycle, morphology, wood workability and high adaptability to different climatic and soil conditions. Additionally, it has a potential for use in crop by-products, as well as for recovery of degraded soils. From the morpho-physiological point of view, one important feature is the presence of phyllodes, widened petioles formed after four weeks of age, when the true leaves are lost, which perform photosynthetic activity and confer plant tolerance to dry environments for prolonged periods of time. The symbiotic association with nitrogen-fixing bacteria and mycorrhizal fungi facilitates nutrient uptake in low-fertility soils. *Acacia mangium* flowering is induced by genes that may be related to temperature, photoperiod and signaling activation by sucrose, but can occur at any time of year. Flowering peaks are recorded according to the species location. Although this species has been cultivated in Colombia for many years, many aspects of its response to different cultivation conditions and the quality of introduced genetic materials are still unknown.

Additional key words: forest species for multiple uses, phyllodes, adaptability to water stress, forestation in Colombia.

Fecha de recepción: 20-06-2017 Aprobado para publicación: 30-01-2018

INTRODUCCIÓN

Según la FAO (2006), la plantación de *Acacia mangium* Willd. se ha expandido en más de 2 millones de hectáreas alrededor del mundo en el primer lustro del presente siglo. En Colombia la agroindustria forestal está en crecimiento, donde se han plantado en la última década cerca de 129.000 ha de *A. mangium* en respuesta a la creciente demanda mundial de madera proveniente de plantaciones y a la visualización de los servicios ambientales que estas plantaciones pueden proveer (CONIF, 2016). Existe además un enorme potencial para la expansión de la superficie cultivada. En este sentido, el informe técnico de zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales realizado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en 2015, declara que el país cuenta con 24 millones de hectáreas aptas para forestaciones; con 39% de aptitud alta, 25% media y 46% baja, y que actualmente, el sector aporta el 0,2% del PIB en Colombia generando aproximadamente 74 mil empleos directos (UPRA, 2015).

Este potencial presenta una oportunidad para el cultivo de distintas especies como *A. mangium* que se adapta a suelos de media y baja calidad, pudiendo

ser utilizada tanto para los productos principales (madera, manufacturas de madera y pastas de madera para producción de pulpa), como por los residuos que derivan de las prácticas de cultivo (raleo, residuos de aserrín y lodos de papel) que pueden ser utilizados para producción de energía. Asimismo, su cultivo constituye una alternativa de mejora de las propiedades del suelo. Esta especie de acacia, nativa de Tailandia, Laos, Vietnam, Camboya y Australia, se ha expandido en la primera década del presente siglo a niveles del 67% (Tsukamoto y Sabang, 2005; Torres y Del Valle, 2007).

BOTÁNICA

Acacia mangium es una leguminosa de la familia Fabácea, alcanza porte alto que puede llegar a los 30 m, con fuste recto y libre de ramas hasta cerca de la mitad de la altura total, aunque, fuera de su hábitat natural tiene la tendencia a bifurcarse a diferentes alturas (Starr *et al.*, 2003). Sin embargo, en sitios donde la nutrición es baja los árboles pueden alcanzar alturas que van de 7 a 10 m. El diámetro a la altura del pecho (DAP) que

se encuentra en los bosques naturales oscila entre los 60 y los 90 cm (Turnbull, 1986).

Presenta hojas germinales juveniles compuestas, paripinnadas similares a la de *Albizia* sp. y *Leucaena* sp., pero después de 4 semanas el axis y el pedúnculo se aplanan y se convierten en filodios. Estas estructuras pueden presentar de 10 a 25 cm de ancho, compuestas por 3 ó 4 venas principales (Maslin y McDonald, 1996). Las inflorescencias se componen de pequeñas flores en racimo de color blanco que después de la fertilización desarrollan vainas verdes y en la maduración oscurecen su color (National Research Council, 1983). Cada flor está formada por cinco pétalos y cinco sépalos y son generalmente hermafroditas, aunque también se pueden presentar flores estaminadas (Zakaria y Kamis, 1991; Zakaria, 1993). Las semillas son de color negro brillante, elípticas y ovaladas con medidas entre 3-5 a 2-3 mm (Krisnawati *et al.*, 2011). Estas se producen a los 3 y 4 meses después de la floración dependiendo de la locación geográfica (National Research Council, 1983). Por ejemplo, en Australia el pico de floración se presenta entre marzo y mayo, mientras en Indonesia los frutos maduran en julio y en Nueva Guinea en septiembre. De manera general en el trópico los frutos maduran de 5 a 7 meses después de la floración (Turnbull, 1986; Sedgley *et al.*, 1992a).

Awang y Taylor (1993) reportan que los frutos están listos para abrirse cuando cambian a marrón oscuro, momento en el cual, es ideal realizar la cosecha. En las técnicas para la separación de las semillas, FAO (1987) recomienda retirarlas manualmente y luego secarlas al sol por varios días, hasta que las vainas se tornan color marrón y explotan.

ECOFISIOLOGÍA

Acacia mangium es una especie heliófila, de rápido crecimiento, adaptada a zonas con condiciones ambientales variables, presentando una alta tolerancia a condiciones de estrés hídrico (por déficit o exceso) y de deficiencia nutricional en los suelos. Así, puede crecer en zonas tropicales con baja pluviosidad, alta radiación solar y altas temperaturas (Turnbull *et al.*, 1998), así como también se encuentra en tierras bajas tropicales con periodos cortos secos de 4 meses, creciendo detrás de manglares y en pantanos estacionales. Asimismo, se desarrolla bien en bosques húmedos y muy húmedos tropicales (bhT y bmh-T) (Corpoica, 2013). Crece en una gran diversidad de

suelos. En este sentido, tolera pH bajos (4,5-6,5) y tiene una alta tasa de regeneración en sitios abandonados. El rango altitudinal de su distribución se encuentra entre 400 y 800 msnm (Eldoma y Awang, 1999). Los rangos totales de precipitación están entre una media anual de 1.446 y 2.990 mm. Se desarrolla mejor en temperaturas mínimas entre 12 y 16°C y máximas entre 31 y 34 °C (Yang *et al.*, 2009; Marena, 2002). En períodos largos de anegamiento y frío, los árboles pueden sufrir muerte descendente (National Research Council, 1983).

Como especie pionera, la plántula usa las hojas verdaderas como estrategia de establecimiento rápido, ya que con este tipo de superficie de intercambio gaseoso se presenta un uso más eficiente del nitrógeno en la fotosíntesis que con los filodios. Este uso más eficiente del N de la hoja (cociente entre la ganancia de carbono y el contenido de este nutriente) se debe a la alta superficie expuesta a la radiación, que permite una alta tasa de fotosíntesis. Así, la ganancia diaria de biomasa por unidad de área foliar (medida de la eficiencia fotosintética), pero también el área foliar total de la planta, es decir, la superficie de intercambio gaseoso, son mayores en estado juvenil. Con el incremento del tamaño de la planta, la prioridad del uso de recursos en las hojas cambia para optimizar la fotosíntesis ante una situación ambiental estresante como la que se da bajo alta irradiación por el daño oxidativo que puede provocar la alta densidad de flujo de fotones. En este sentido, los filodios están mejor adaptados a excesos de radiación que las hojas verdaderas, no sólo por la menor superficie expuesta a la radiación sino también por su mayor contenido de carotenoides y mayor proporción entre clorofilas *a* y *b* que le confieren protección contra la fotoinhibición o el daño oxidativo por alta radiación solar (Yu y Li, 2007). A medida que los filodios maduran, tanto el punto de compensación lumínica (i.e. el nivel mínimo de radiación necesario para alcanzar un intercambio de C neto positivo) como las tasas de respiración en oscuridad disminuyen, resultando en un incremento en la capacidad de fotosíntesis neta (e.g. Yu y Ong, 2000). Asimismo, las curvas de fotosíntesis versus radiación en hojas de distintas posiciones de la copa en individuos adultos (20 años de edad) presentan valores muy bajos de radiación a los cuales se produce la saturación lumínica (aprox. 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación fotosintéticamente activa (Combalicer *et al.*, 2012), pero alcanzando rápidamente una alta capacidad fotosintética. Esta capacidad aumenta con la edad de la planta, una vez que posee filodios como tipo de hoja, según se menciona en el mismo trabajo (Combalicer

et al., 2012), en el que también miden la capacidad fotosintética a los 2 y 10 años de edad. Estos parámetros redundan en su comportamiento heliófilo, por su alta capacidad de aprovechar y de disipar excesos de radiación, generalmente debido a una alta eficiencia de los centros de reacción del fotosistema II (PSII) en la absorción y la utilización de la energía (Yu y Ong, 2000).

De la misma manera, la importancia de los cambios morfo-fisiológicos de las estructuras fotosintéticas en la aclimatación de la planta a su ambiente se ponen de manifiesto en la magnitud de los mismos que se observan durante la ontogenia, y dentro de la misma planta, revelando una alta plasticidad fenotípica en estos caracteres. Así, Leroy *et al.* (2009) han descrito cambios en la reflectancia y el área del filodio, diferencias en el grosor de la lámina, en la densidad estomática, en el contenido de clorofila y en el contenido de nitrógeno del tallo principal, de las ramas medias y en ramas bajas de la copa. Estos autores concluyeron que esas tendencias se incrementan con la edad del árbol y el tamaño de la copa, lo que resultó en un decrecimiento de la reflectancia del filodio dentro de la copa, particularmente para las ramas bajas. Asimismo, la reflectancia decreció de acuerdo al orden del eje y con la edad del árbol, encontrándose que la tasa más alta de reflectancia de los filodios más altos de la copa participaba en la reducción del recalentamiento de la hoja y de la tasa de transpiración, a medida que la cantidad de luz fue mayor. Curiosamente, la reflectancia de la lámina de *A. mangium* fue 2 a 3 veces menor que en otras acacias con filodio, las cuales han sido reportadas por estar densamente cubiertas con tricomas (tal es el caso de *Acacia harpophylla*, especie con alta reflectancia de la radiación visible, con un valor de 0,2; Yates, 1992). Los filodios, son anfiestomáticos con numerosos estomas distribuidos uniformemente en ambas superficies foliares (Atipanumpai, 1989) lo cual ayuda a aumentar la transpiración a pesar de poseer una cutícula gruesa en sus hojas. Combalicer *et al.* (2012) también determinaron en *A. mangium* un incremento en la densidad estomática proporcional con el incremento de la edad manteniendo así niveles de fotosíntesis en todo su desarrollo. Asimismo, se ha encontrado un incremento en el grosor de la cutícula con el avance de la edad, que confiere una reducción en la pérdida de agua, particularmente cuando los estomas están cerrados. Respecto a esto, Xie y Lou (2003) han reportado que el grosor de la capa de mesófilo en empalizada se incrementa, mientras el grosor del mesófilo esponjoso decrece con la edad contribuyendo nuevamente al aumento de la capacidad fotosintética

debido al aumento del número de células en la zona más expuesta a la radiación (parte superior de la lámina), en detrimento del número de células en la parte inferior de la hoja.

En cuanto a la conductancia estomática (g_s), que incide directamente en la capacidad de fijación de C y en la eficiencia de uso del agua, se han medido valores máximos de g_s muy altos en esta especie, en el orden de $0,85 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en individuos de 20 años de edad (Combalicer *et al.* (2012). Debido a que las tasas máximas de fotosíntesis son también muy altas (aprox. $12 \mu\text{mol C m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), lo que es típico de especies leguminosas con alto contenido de N foliar, la eficiencia instantánea en el uso del agua es también alta en esta especie (aprox. $8 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a pesar de la gran apertura estomática. Considerando el comportamiento estomático en relación al aumento del déficit de presión de vapor (DPV), se ha descrito que *A. mangium* presenta un uso eficiente del agua ligado a una disminución en la conductancia estomática en condiciones de alto DPV, presentando una alta sensibilidad estomática ante factores que afectan la pérdida de agua (Geiger y Servaites, 1991; Zhao *et al.*, 2013). En este último estudio las plantas presentaron un comportamiento cercano al isohídrico, con valores de potencial hídrico mínimo diario similares en períodos secos y húmedos (en el rango de -1,6/-1,8 MPa). Los anteriores estudios analizan la respuesta estomática en mediciones realizadas a nivel foliar. Otros estudios estiman la conductancia de la canopia (g_c), que es una medida de la g_s promedio de toda la copa, a partir de la medición del flujo de savia en el tronco (i.e. flujo de agua en fase líquida, a diferencia de las mediciones con porometría que miden la fase gaseosa) y variables meteorológicas. En estos se observan respuestas variables de la g_c al DPV, que posiblemente obedecen a mediciones en distintos materiales genéticos o en condiciones ambientales distintas. Así, mediciones realizadas en China (Zhao *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2008) muestran una caída exponencial de la g_c con el aumento de DPV, mientras que mediciones en Borneo (Cienciala *et al.*, 2000) muestran una ausencia de respuesta de g_c al DPV. En este último estudio los máximos valores de DPV alcanzados apenas superan los 2 kPa, valor que aparentemente constituye el umbral al cual comienza a producirse el cierre estomático parcial en la especie, según datos de porometría (p.e. Zhao *et al.*, 2013). Este comportamiento estomático poco sensible en condiciones de baja demanda atmosférica (< 2 kPa), aún en situaciones de baja disponibilidad hídrica en suelo (Cienciala *et al.*, 2000), es seguramente

responsable - junto con la alta eficiencia fotosintética en condiciones de alta irradiancia - de las altas tasas de crecimiento reportadas para esta especie. Junto con una alta reflectancia de los filodios en la parte superior de la copa, la transpiración por ausencia de cierre estomático es un eficaz mecanismo de disipación del exceso de calor, así como permite al mismo tiempo el ingreso de C al mesófilo necesario para disipar la energía del exceso de radiación por la vía de la fotosíntesis. En condiciones de alta precipitación pero con mayor demanda evaporativa del aire, la especie presenta un comportamiento estomático conservativo, que le permite mantener la integridad funcional durante períodos de estrés. Este comportamiento se observa en todo el rango de DPV en estos estudios a partir de densidad de flujo de savia (pero no con mediciones directas sobre las hojas, donde sí se observó el umbral de 2 kPa para el cierre estomático, en árboles maduros tanto en temporada húmeda como seca (Zhao *et al.*, 2013). Más allá de cuáles sean las condiciones del ambiente en interacción con el genotipo que llevan al cierre estomático parcial o total, la consecuencia de ello es que el déficit hídrico –seguramente en distinta magnitud de acuerdo al genotipo– redundará en una disminución del crecimiento en esta especie, lo que puede tener un impacto económico en plantaciones comerciales que requieran el mantenimiento de una alta productividad. Así, se ha reportado que el crecimiento de *A. mangium* puede disminuir o detenerse en momentos de escasez de agua (Rodríguez-Petit *et al.*, 1997), sugiriendo la necesidad de estudiar la variabilidad en los umbrales de tolerancia de distintos genotipos.

PROPAGACIÓN PARA SU USO EN PLANTACIONES

La calidad de las plántulas de *A. mangium* está determinada por características como su genética, morfología, fisiología, biología y calidad fitosanitaria. Estas características a su vez, dependen de factores como la interacción genotipo-ambiente, tipo y tamaño del contenedor, características físicas del sustrato, fertilización, y tiempo de permanencia en vivero (Ramírez, 2009).

Las semillas pueden ser sembradas en semilleros y trasplantadas de 6 a 10 días después de la siembra (dds). Sin embargo, la recuperación de material por este método permite tan solo un 37% (Maheshwar, 2013). Si se siembra en bandejas de germinación y se

trasplanta de 6 a 10 dds, cuando la radícula emerge, puede ocurrir una recuperación de más del 85% (Srivastava, 1993). Otra opción es sembrar directamente en los contenedores con una semilla por contenedor, en sustratos orgánicos e inorgánicos con baja densidad aparente y alta porosidad que procuren mantener la humedad (Awang y Taylor, 1993).

Los parámetros de calidad de *A. mangium* establecidos y aceptados internacionalmente para plántulas de vivero son biomasa radical, diámetro de cuello de raíz, altura, esbeltez, conformación aérea, coloración y lignificación (Ramírez, 2009).

PLANTACIÓN

El trasplante se realiza manualmente, marcando previamente los sitios de plantación en campo durante la estación lluviosa (FAO, 1987). Los plantines se pueden plantar en líneas rectas en zonas planas y en curvas de nivel en terrenos con pendiente (Krisnawati *et al.*, 2011). Los huecos donde se ubican las plantas pueden medir 13 cm de diámetro y 20 cm de profundidad aproximadamente (Srivastava, 1993). El espaciamiento entre árboles en las plantaciones depende del uso que se quiere dar a las mismas, variando de acuerdo a si constituyen forestaciones puras para producción de papel o bionergía, para usos sólidos, o para conformar sistemas mixtos como silvopastoriles y agroforestales. Normalmente varían entre 2×2 y 4×4 m. En esta especie, la alta densidad de plantación es muy importante para la producción de madera aserrada, ya que reduce la cantidad de ramas y el riesgo de enfermedades fungosas. Cuando se quiere obtener materia prima maderable para producción de energía, la densidad de la plantación disminuye para incentivar una mayor cantidad de ramas (Weinland y Zuhaidi, 1991).

CRECIMIENTO

La adaptación a períodos prolongados de sequía y valores de VPD altos favorece su aprovechamiento en muchas plantaciones forestales (Pinso y Nasi, 1991; Eamus y Cole, 1997), donde crece rápidamente en altas densidades de población en competencia por recursos, mientras que, en condiciones naturales, crece en densidades poblacionales menores (Eyles *et al.*, 2015).

Esta especie presenta una alta tasa de crecimiento durante los primeros cinco años de cultivo, pudiendo ganar desde 1,8 hasta 5,8 cm anuales de diámetro, dependiendo de la edad, el sitio y las distancias de siembra del cultivo. El desarrollo de la acacia se relaciona con las condiciones ambientales del cultivo en cada zona, así como lo describieron Harwood y Williams (1992), quienes evaluaron cultivos de acacia de diferentes procedencias, las que presentaron marcadas diferencias en crecimiento, principalmente en función de la temperatura. En condiciones extremas, la asimilación de carbono se reduce por la capacidad de limitar la ganancia de masa seca, en función de regular la pérdida de agua en situaciones de sequía prolongada (Eyles *et al.*, 2015).

INDUCCIÓN FLORAL Y FLORACIÓN

La floración en las plantas puede verse afectada por factores endógenos y exógenos, tales como señalización hormonal, la señalización mediada por azúcares, la temperatura y la duración del día (Matsoukas, 2014). De acuerdo a esto, se han determinado seis rutas metabólicas en la inducción floral de la planta modelo *Arabidopsis thaliana* L., que son activadas por estímulos diferentes, pero no se encuentran aisladas unas de las otras (Fornara, 2014). La luz es percibida por fotorreceptores y si se identifica un fotoperiodo largo se activa una ruta metabólica facultativa de día largo. Por otro lado, si el fotoperiodo es corto, la floración depende exclusivamente de una ruta dependiente de las giberelinas y en una ruta independiente del fotoperiodo, se responde exclusivamente a la temperatura. Otro promotor de la floración es el estado circulatorio de sacarosa, el cual se presume funciona como un activador de diversas rutas metabólicas hormonales relacionadas con la floración (Blázquez, 2000; Matsoukas, 2014). El último objetivo para las vías metabólicas de floración mediadas por el tiempo, son los genes de identidad del meristemo floral que confiere identidad floral a primordios recién emergidos, cuya expresión local es consecuencia de la activación por proteínas de identidad, por el meristemo floral e interacciones mutuas (Blázquez, 2000; Coen y Meyerowitz, 1991; Hu *et al.*, 2003).

A partir de la descripción de las rutas relacionadas con la floración en *A. thaliana*, Wang *et al.* (2005) identificaron 147 genes expresados durante la floración en *A. mangium*. De estos, el 26% están relacionados con el metabolismo (asparaginasintetasa, tioesterasa, hidrolasas y lipasas), el 18% son nuevos, 18% son genes

específicos con función desconocida, 10% de ellos tienen funciones relacionadas con el desarrollo floral y 11% son reguladores de proteínas. El gasto metabólico en esta etapa fenológica del árbol, ocurre a expensas de la producción de biomasa para la síntesis de lignina y celulosa en los tejidos del tronco, por lo que, a excepción de fines de propagación y obtención de semilla, una abundante floración es indeseable en *A. mangium* (Sedgley *et al.*, 1992a).

La floración en acacia es precoz, comienza a florecer 18 a 20 meses después de la siembra y puede durar hasta 8 meses en un árbol adulto. El tiempo transcurrido desde la aparición de los brotes hasta los frutos maduros es de aproximadamente 199 días (Hegde *et al.*, 2013). Sin embargo, la época de floración varía según la ubicación geográfica, por ejemplo, en Australia ocurre entre marzo y mayo, en Indonesia y Malasia, de enero a marzo, y en Centroamérica, a mediados de año (Krisnawati *et al.*, 2011). Aunque la floración presenta ciclos marcados, se puede interrumpir y ocurrir en otra época del año (Awang y Taylor, 1993). La polinización en esta especie es entomofílica, en la que actúan principalmente *Trigona* sp. y *Apis* sp. Sin embargo, las plantas de *A. mangium* no atraen a muchos polinizadores, debido a que no poseen nectarios florales (Zakaria, 1993). Las flores presentan una leve protoginia y andromonoecia y se han detectado hibridaciones interespecíficas con *A. auriculiformis*, con estructuras florales similares, compartiendo la andromonoecia, pero presentando variaciones en la proporción de flores masculinas y duración de la floración, lo que reduce la efectividad del mecanismo de cruzamiento (Sedgley *et al.*, 1992b). Estas características amplían la diversidad genética en la progenie, atributo indeseable para la propagación comercial por semilla (Xie y Hong, 2002).

FERTILIZACIÓN Y PODAS

Aunque las plantaciones forestales de *A. mangium* comúnmente reciben muy poca o ninguna enmienda, algunos autores reportan niveles de aplicación de macronutrientes principalmente. Simpson (1992) reportó que fertilizaciones continuadas en adecuadas cantidades (100 kg ha⁻¹ de N, 50 kg ha⁻¹ de P y 50 kg ha⁻¹ de K) pueden aumentar el crecimiento temprano de las plantas. Una de las investigaciones más profundas en este aspecto la realizó Paudyal (1995) en Malasia. Allí se evaluaron tres metodologías en planta y en suelo para optimizar los niveles de fertilización en altura y diámetro del tronco; análisis de suelos, análisis

de siembra en macetas y análisis foliar. Los investigadores encontraron que en el tratamiento en macetas con el equivalente a 800 kg ha⁻¹ de urea, 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 100 kg ha⁻¹ de K₂O, se promovió el crecimiento de *A. mangium*. Bajo condiciones de campo el óptimo foliar se ubicó entre 1,84 y 2,10 % para N, 0,11 a 0,16 % para P y 0,80-0,88 % para K.

En cuanto a la poda, si bien la extracción de ramas reduce el área fotosintética, a la vez, puede aumentar la disponibilidad de recursos (agua, nutrientes) para las hojas remanentes en la planta. El equilibrio, o la capacidad de cada especie de compensar ambos efectos, determinan umbrales específicos de esfuerzo y momento de intervención. Así, distintas especies presentan respuestas variables a la magnitud de poda (% de remoción de copa viva) tanto en crecimiento del fuste como en muerte de raíces y en la magnitud de las respuestas compensatorias a nivel de producción de nueva área foliar (y biomasa leñosa que la sostiene) y tasa de transpiración (p.e. Gyenge *et al.*, 2009 y citas en él; Pinkard, 2003). Las técnicas apropiadas para la poda se basan en cortar una rama correctamente sin hacer daño a los árboles, en un período del año en que la planta sufra la menor depresión del crecimiento, sin que se induzca a la vez, una respuesta compensatoria exacerbada que conlleve la producción de brotes epicórmicos (Meier *et al.*, 2012) o cambios marcados en la asignación de biomasa a las hojas en detrimento del tronco. El primer corte es llamado corte de la parte inferior, debido a que se realiza en la base de la rama. La razón principal para realizar este corte es permitir que la rama se rompa en la parte inferior al momento de realizar el segundo corte, en la parte superior de la rama a la misma altura, sin provocar que se desgaje la rama por el propio peso de la misma, en lugar de cortar en la parte unida al tronco. El segundo corte se realiza en la parte superior de la rama (Gyenge *et al.*, 2009; University of Guyana, 2013).

USOS

La creciente presión sobre los bosques naturales en el mundo, especialmente en países tropicales, ha dado como resultado el uso de plantaciones forestales, incluyendo de *A. mangium* que por su rápido crecimiento es un sustituto ideal para sostener la oferta comercial de productos forestales (p.e. Arisman, 2002, para el caso de Indonesia). Además de la provisión de bienes maderables, especies como la acacia permiten su uso como recuperador de suelos, ya que su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y producir grandes

cantidades de materia orgánica aumentan la actividad biológica del suelo, y rehabilita sus propiedades físicas y químicas (Otsamo *et al.*, 1995).

En Colombia, inicialmente se introdujo esta especie con propósitos ambientales, para manejo de la erosión y recuperación de suelos degradados, gracias a la capacidad de fijar nitrógeno y fósforo. Sin embargo, en la última década, debido a su potencial maderable, se han establecido proyectos forestales para el aprovechamiento de madera en zonas como el Bajo Cauca Antioqueño, sur de Córdoba, Magdalena Medio y Llanos Orientales (Mercado *et al.*, 2008).

Uno de los parámetros de potencial maderable es el ELP (límite de esfuerzo proporcional) que se refiere a la máxima presión que soporta una pieza de madera antes de sufrir deformación permanente. La madera de *Acacia mangium* tiene una condición natural de mediano a alto ELP, según las normas ASTM (organismo norteamericano de normas y estandarización), lo cual le genera capacidad para ser transformada en diferentes productos como vigas, tableros de mesas y sillas, entrepaños de bibliotecas y armarios, entre otros (Escobar y Rodríguez, 1995). A partir de *A. mangium*, también se pueden obtener insumos para alimentación, taninos para pintura, biocarbón para energía y enmiendas de suelos, postes y fibra para elaboración de papel (Doran y Safley, 1997; Mercado *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

Acacia mangium es una especie con gran potencial para diferentes usos en Colombia, debido a la adaptación y resiliencia que tiene ante condiciones ambientales adversas, lo que la ubica como alternativa ante escenarios como el de la variabilidad climática actual y predicha para el futuro.

Además de su uso como especie maderable, *A. mangium* se postula como un árbol recuperador de suelos deteriorados por diferentes tipos de erosión. Su adaptabilidad se basa en sus características morfo-fisiológicas, siendo la presencia de filodios estructuras claves para la resistencia fisiológica a estrés por sequía y temperatura en los bosques secos tropicales. A pesar de su tolerancia, su crecimiento se ve limitado principalmente por la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo.

A pesar de que en Colombia *A. mangium* se ha cultivado durante años, se encuentra aún sin precisar la información relacionada con las condiciones de cada

región en cuanto a aptitud para su cultivo, la calidad de distintos materiales genéticos introducidos y parámetros de producción en función de contextos específicos: edad, manejo, condiciones agroecológicas. En este sentido, existe un retraso en la actualización de estudios que conduzcan a la profundización del comportamiento fisiológico y productivo de *A. mangium* en ecosistemas colombianos.

Conflicto de intereses: el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arisman, H. 2002. Sustainable acacia plantations: a case of short-rotation plantation at PT Musi Hutan Persada, South Sumatra, Indonesia. pp. 9-13. En: Rimbawanto, A. y M. Susanto M. (eds.). *Advances in genetic improvement of tropical tree species*. Indonesian Ministry of Forestry Research and Development Agency; Japan International Cooperation Agency, Yogyakarta, Indonesia.
- Atipanumpai, L. 1989. *Acacia mangium*: studies on the genetic variation in ecological and physiological characteristics of a fastgrowing plantation tree species. *Acta For. Fenn.* 206, 1-92. Doi: 10.14214/aff.7653
- Awang, K. y D. Taylor. 1993. *Acacia mangium*: growing and utilization. MPTS monograph series No. 3 (No. PB-95-160032/XAB). Winrock International Inst. for Agricultural Development, Arlington, VA.
- Blázquez, M.A. 2000. Flower development pathways. *J. Cell Sci.* 113(20), 3547-3548.
- Cienciala, E., J. Kučera y A. Malmer. 2000. Tree sap flow and stand transpiration of two *Acacia mangium* plantations in Sabah, Borneo. *J. Hydrol.* 236(1), 109-120. Doi: 10.1016/S0022-1694(00)00291-2
- Coen, E.S. y E.M. Meyerowitz. 1991. The war of the whorls: genetic interactions controlling flower development. *Nature* 353, 31-37. Doi: 10.1038/353031a0
- Combalicer, M.S., D.K. Lee, S. Woo, Y.J.O Hyun, Y.D. Park, Y.K. Lee y E.L. Tolentino. 2012. Physiological characteristics of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth., *Acacia mangium* Willd. and *Pterocarpus indicus* Willd. in the La Mesa Watershed and Mt. Makiling, Philippines. *J. Environ. Sci. Manage. Spec Issue*, 1, 14-28.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). 2013. Ficha técnica. *Acacia mangium*. En: http://www.corpoica.org.co/NetCorpoicaMVC/STDF/Content/fichas/pdf/Ficha_2; consultado: mayo de 2017.
- Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). 2016. Sector forestal en Colombia. En: <http://www.conif.org.co/>; consultado: junio de 2017.
- Doran, J.W. y M. Safley. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. pp. 1-28. En: Pankhurst, C., B.M. Doube y V.V.S.R. Gupta (eds.). *Biological indicators of soil health*. CAB International, Wallingford, UK.
- Eamus, D. y S. Cole. 1997. Diurnal and seasonal comparisons of assimilation, phyllode conductance and water potential of three *Acacia* and one *Eucalyptus* species in the wet-dry tropics of Australia. *Aust. J. Bot.* 45(2), 275-290. Doi: 10.1071/BT96020
- Eldoma, A. y K. Awang. 1999. Site adaptability of *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis*, *Acacia crassicarpa* and *Acacia aulacocarpa*. APAFRI Publication Series No. 3. Asia Pacific Association of Forestry Research Institutions, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Escobar, O. y J. Rodríguez. 1995. Las maderas en Colombia. Ministerio de Educación; Regional Antioquia-Chocó, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Medellín, Colombia.
- Eyles, A., P. Drake, L. Quang, T. Bon, P.V. Mendham, D. White, y C. Beadle. 2015. Ecophysiology of *Acacia* species in wet-dry tropical plantations. *Southern Forests: J. Forest Sci.* 77(4), pp 1-10. Doi: 10.2989/20702620.2015.1063030
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1987. A guide for seed handling with special reference to the tropics. FAO Forestry Paper 20/2. Roma.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2006.
- Fornara, F. 2014. Advances in botanical research: the molecular genetics of floral transition and flower development. Academic Press, Oxford, UK.
- Geiger, D.R. y J.C. Servaites. 1991. Carbon allocation and response to stress. pp. 103-125. En: Winner, W.E., J. Roy y E.J., Pell (eds.). *Response of plants to multiple stresses*. Academic Press, Londres, UK.
- Gyenge, J., M. Fernández y T.M. Schlichter. 2009. Effect of pruning on branch production and water relations in widely spaced ponderosa pines. *Agrofor. Syst.* 77, 223-235. Doi: 10.1007/s10457-008-9183-9
- Harwood, C.E. y E.R. Williams. 1992. A review of provenance variation in growth of *Acacia mangium*. En: Carron, L.T. y K.M. Aken (eds.). 1992. *Breeding Technologies for Tropical Acacias*. Proceedings of a workshop held in Tawau, Sabah, Malaysia. 1-4 July 1991. ACIAR Proceedings No. 37.
- Hegde, M., K. Palanisamy y J.S. Yi. 2013. *Acacia mangium* Willd. A fast growing tree for tropical plantation. *J. Forest Environ. Sci.* 29(1), 1-14. Doi: 10.7747/JFS.2013.29.1.1

- Hu, W., Y.X. Wang, C. Bowers y H. Ma. 2003. Isolation, sequence analysis, and expression of florally expressed cDNAs in *Arabidopsis*. *Plant Mol. Biol.* 53, 545-563. Doi: 10.1023/B:PLAN.0000019063.18097.62
- Krisnawati, H., M. Kallio y M. Kanninen. 2011. *Acacia mangium* Willd. ecology, silviculture and productivity. CIFOR, Bogor, Indonesia. National Academy Press, Washington, DC.
- Leroy, C., M. Guéroult, N.S.M. Wahyuni, J.N. Escoute, R.G.J. Cereghino, S. Sabatier y D. Auclair. 2009. Morphogenetic trends in the morphological, optical and biochemical features of phyllodes in *Acacia mangium* Willd. (Mimosaceae). *Trees* 23, 37-49. Doi: 10.1007/s00468-008-0252-5
- Liu, X., P. Zhao, X. Rao, L. Ma, X. Cai y X. Zeng. 2008. Response of canopy stomatal conductance of *Acacia mangium* forest to environmental driving factors. *Front. For. China* 3(1), 64-71. Doi: 10.1007/s11461-008-0001-3
- Maheshwar, H., K. Palanisam y S. Jae. 2013. *Acacia mangium* Willd. - A fast growing tree for tropical plantation. *J. For. Sci.* 29(1), 1-14. Doi: 10.7747/JFS.2013.29.1.1
- Marena. 2002. Guía de especies forestales de Nicaragua. En: <http://es.scribd.com/doc/60969339/Guia-de-Especies-Forestales>; consultado: mayo de 2017.
- Maslin, B.R. y M.W. McDonald. 1996. A key to useful *Australian acacias* for the seasonally dry tropics. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.
- Matsoukas, I.G. 2014. Interplay between sugar and hormone signaling pathways modulate floral signal transduction. *Front. Genet.* 5, 1-12. Doi: 10.3389/fgene.2014.00218
- Meier, A., M. Saunders y C. Michler. 2012. Epicormic buds in trees: a review of bud establishment, development and dormancy release. *Tree Physiol.* 32, 565-584. Doi: 10.1093/treephys/tps040
- Mercado Jr., A., M. Van Noordwijk, T. Hilder y G. Cadisch. 2008. *Acacia mangium* as an intercrop in mixed tree-based contour hedgerow systems on sloping acid upland soils. *Aust. J. Bot.* 40, 37-48.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2015. Colombia tiene un potencial forestal de 24 millones de hectáreas para explotación comercial. En: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Colombia-tiene-un-potencial-forestal.aspx>; consultado: mayo de 2017.
- National Research Council. 1983. *Mangium and other fast-growing Acacias for the humid tropics*. National Academic Press, Washington D.C., USA.
- Otsamo, A., G. Ådjers, T.S. Hadi, J. Kuusipalo, K. Tuomela y R. Vuokko. 1995. Effect of site preparation and initial fertilization on the establishment and growth of four plantation tree species used in reforestation of *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. Dominated grasslands. *For. Ecol. Manage.* 73, 271-277. Doi: 10.1016/0378-1127(94)03483-D
- Paudyal, B.K. 1995. Nutritional aspects of *Acacia mangium* Willd. plantation in peninsular Malaysia. Tesis de doctorado. University of Pertanian Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia.
- Pinkard, E.A. 2003. Physiological and growth responses related to patterns and severity of green pruning in young *Eucalyptus globulus*. *For. Ecol. Manage.* 182, 231-245. Doi: 10.1016/S0378-1127(03)00046-X
- Pinso, C. y R. Nasi. 1991. The potential use of *Acacia mangium* x *Acacia auriculiformis* hybrid in Sabah. En: Carron, L.T. y K.M. Aken (ed.). *Breeding technologies for tropical acacias*. Proceedings of a Workshop held in Tawau. ACIAR Proceedings No. 37. 1-4 July 1991 Sabah, Malaysia.
- Ramírez, A. 2009. Manejo de viveros forestales. En: *Patología Forestal. Memorias Curso de Extensión*, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Rodríguez-Petit, A., T. Clavero y T. Razz. 1997. Características de crecimiento de *Acacia mangium* Willd. en condiciones de bosque seco tropical. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 5(Supl. 1), 60-62.
- Sedgley, M., J.R.M. Harbard, M. Smith, R. Wickneswari y A.R. Griffin. 1992a. Reproductive-biology and interspecific hybridization of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. (Leguminosae, Mimosoideae). *Aust. J. Bot.* 40(1), 37-48. Doi: 10.1071/BT9920037
- Sedgley, M., C.Y. Wong-Newman, J.V. Harbard, K.G.R.M. Smith, A. Koh y B. Tajuddin. 1992b. Phenology of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* in Australia and Malaysia. pp. 36-44. En: Carron, L.T. y K.M. Aken (eds.). *Breeding technologies for tropical acacias*. ACIAR Proceedings No. 37. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- Simpson, J.A. 1992. An assessment of the soils and nutrient status of trial plantations in the Indonesia. Enso Forest Development, Helsinki, Finlandia.
- Srivastava, P.B.L. 1993. Silvicultural practices. pp. 113-148. En: Awang, K. y D. Taylor (eds.). *Acacia mangium: growing and utilization*. Winrock International and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, Tailandia
- Starr, F., K. Starr y L. Loope. 2003. *Acacia mangium*. Mangium wattle. United States Geological Survey. Biological Resources Division. Haleakala Field Station, Maui, Hawai'i.
- Torres, D.A. y J. del Valle. 2007. Growth and yield modelling of *Acacia mangium* in Colombia. *New For.* 34, 293-305. Doi: 10.1007/s11056-007-9056-5

- Tsukamoto, J. y J. Sabang. 2005. Soil macro-fauna in an *Acacia mangium* plantation in comparison to that in a primary mixed dipterocarp forest in the lowlands of Sarawak, Malaysia. *Pedobiol.* 49, 69-80. Doi: 10.1016/j.pedobi.2004.08.007
- Turnbull, J.W. 1986. Australian acacias in developing countries. Proceedings of the International Workshop held at the Forestry Training Centre, Gympie, Queensland, Australia, 4-7 August 1986. ACIAR Proceedings No. 16. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- Turnbull, J.W. y K. Pinyopusarerk. 1998. Recent developments in acacia planting. Proceedings of an International Workshop held in Hanoi, Vietnam. 27-30 October 1997. ACIAR. Proceedings No. 82.
- Unidad de Planeación Rural Agropecuaria (UPRA). 2015. Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales: Colombia. Memoria Técnica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, Colombia.
- University of Guyana. 2013. Post plantation management of *Acacia* on mined out sites at Mahdia. Research report compendium. Faculty of Agriculture and Forestry Project Team, Guyana.
- Wang, X., X. Cao e Y. Hong. 2005. Isolation and characterization of flower-specific transcripts in *Acacia mangium*. *Tree Physiol.* 25, 167-178. Doi: 10.1093/treephys/25.2.167
- Weinland, G. y A.Y. Zuhaidi. 1991. Management of *Acacia mangium* stands: tending issues. pp. 40-52. En: Appanah, S., F.S.P. Ng y R. Ismail (eds.). Malaysian forestry and forest products research proceedings. Forest Research Institute Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Xie, D. e Y. Hong. 2002. Agrobacterium-mediated genetic transformation of *Acacia mangium*. *Plant Cell Rep.* 20(10), 917-922. Doi: 10.1007/s00299-001-0397-9
- Xie, S. y X. Lou. 2003. Effect of leaf position and age on anatomical structure, photosynthesis, stomatal conductance and transpiration of Asian pear. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 44, 297-303.
- Xu, W.T., P. Zhao, Q. Wang, X.O. Rao, X.A. Cai y X.P. Zeng. 2007. Calculation and modeling of the canopy stomatal conductance of *Acacia mangium* from sapflow data. *Acta Ecol. Sinica* 27, 4122-4131.
- Yang, L., N. Liu, H. Ren. y J. Wang. 2009. Facilitation by two exotic *Acacia*: *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* as nurse plants in South China. *For. Ecol. Manage.* 257(8), 1786-1793. Doi: 10.1016/j.foreco.2009.01.033
- Yates, D.J. 1992. Short-term changes in spectral properties of phyllodes of brigalow (*Acacia harpophylla* F. Muell. ex Benth.) in response to wetting. *Aust. J. Bot.* 40, 27-35. Doi: 10.1071/BT9920027
- Yu, H. y J.T. Li. 2007. Physiological comparisons of true leaves and phyllodes in *Acacia mangium* seedlings. *Photosynthetica* 45(2), 312-316. Doi: 10.1007/s11099-007-0053-x
- Yu, H. y B.L. Ong. 2000. Photosynthesis and antioxidant enzymes of phyllodes of *Acacia mangium*. *Plant Sci.* 159, 107-115. Doi: 10.1016/S0168-9452(00)00336-8
- Zakaria, I. 1993. Reproductive biology. pp. 21-34. In: *Acacia mangium* – Growing and utilization. MPTS Monograph Series No. 3. Winrock International and FAO, Bangkok, Tailandia.
- Zakaria, I. y A. Kamis. 1991. Comparison of floral morphology, flower production and pollen yield of *Acacia mangium* and *A. auriculiformis*. pp. 26-29. En: Turnbull, J.W. (ed.). Advances in tropical acacia research. Proceedings of an International Workshop. 11-15 February, 1991. ACIAR Proceedings No. 3. Bangkok, Tailandia.
- Zhao, P., X. Rao, L. Ma, X. Cai y X. Zeng. 2006. Sap flow scaled stand transpiration and canopy stomatal conductance in an *Acacia mangium* forest. *Chin. J. Plant Ecol.* 30, 655-665. Doi: 10.17521/cjpe.2006.0086
- Zhao, P., G. Sun, G. Ni. y X. Zeng. 2013. Seasonal differences in the leaf hydraulic conductance of mature *Acacia mangium* in response to its leaf water use and photosynthesis. *Chin. J. Appl. Ecol.* 24(1), 49-56.