

Avances en las investigaciones realizadas en cultivos de abacá establecidos en Costa Rica con especial referencia a los sistemas agroforestales

Advances in research carried out on abaca crops established in Costa Rica with special reference to agroforestry systems

Mónica Araya-Salas¹, Dagoberto Arias-Aguilar², Juan Carlos Valverde-Otárola³, Kevin Arias-Ceciliano⁴, Freddy Muñoz-Acosta⁵, Ana Marlen Camacho-Calvo⁶, Giovanni Garro-Monge⁷, Karol Jiménez-Quesada⁸, Jesús Mora-Molina⁹

Araya-Salas, M; Arias-Aguilar, D; Valverde-Otárola, J.C; Arias-Ceciliano, K; Muñoz-Acosta, F; Camacho-Calvo, A.M; Garro-Monge, G; Jiménez-Quesada, K; Mora-Molina, J. Avances en las investigaciones realizadas en cultivos de abacá establecidos en Costa Rica con especial referencia a los sistemas agroforestales. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35, especial V Encuentro Biental Centroamericano y del Caribe de Investigación y Posgrado. Junio, 2022. Pág 50-59.

<https://doi.org/10.18845/tm.v35i6.6235>

1 Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: moaraya@estudiantec.cr <https://orcid.org/0000-0002-3075-6103>

2 Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: darias@itcr.ac.cr <https://orcid.org/0000-0002-3056-9172>

3 Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción. Chile. Correo electrónico: jcvalverde@itcr.ac.cr <https://orcid.org/0000-0002-3181-1346>

4 Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: arias.kevin@yahoo.com <https://orcid.org/0000-0001-9911-4515>

5 Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: fmunoz@itcr.ac.cr <https://orcid.org/0000-0001-6823-7379>

6 Escuela de Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: mcamacho@itcr.ac.cr <https://orcid.org/0000-0002-1625-9039>

7 Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: ggarro@itcr.ac.cr <https://orcid.org/0000-0001-7578-1938>

8 Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: kjimenez@itcr.ac.cr <https://orcid.org/0000-0002-0162-9279>

9 Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jmora@itcr.ac.cr <https://orcid.org/0000-0002-2309-1940>

Palabras clave

Musa textilis; agroforestería; fibra natural; árboles tropicales.

Resumen

Musa textilis también conocido como abacá, es un producto no maderable proveniente del bosque, que produce una fibra natural que se extrae del pseudotallo de la planta. Es un cultivo de exportación y su producción está en manos de pequeños productores. El manejo de este cultivo a nivel de finca es compatible con las políticas y estrategias de biodiversidad, descarbonización y bioeconomía impulsadas por las autoridades de gobierno del país. Particularmente en este trabajo se presentan alternativas de diversificación del cultivo para apoyar la reducción de la deforestación, el manejo y conservación de los bosques, la reforestación y el fomento a los sistemas agroforestales (SAF). Asimismo, incide en la conservación de la biodiversidad, el agua, en los valores de belleza escénica en el paisaje rural y en la dinamización de la economía. La problemática que se atiende es la falta de conocimiento científico y tecnológico sobre los aspectos relacionados con el cultivo de abacá, que incluyen a los sistemas agroforestales con especies maderables de alto valor comercial, así como la caracterización de la fibra que permita proponer nuevos usos y darle mayor valor agregado al producto de exportación; así como abrir nuevos emprendimientos a nivel nacional.

Abstract

Musa textilis also known as abacá, is a non-timber forest product that produces a natural fiber extracted from the pseudostem of the plant. It's an export crop and its production is in the hands of small producers. The management of this crop at the farm level is compatible with the biodiversity, decarbonization and bioeconomy policies and strategies promoted by the country's government authorities. In particular, this work presents crop diversification alternatives to support the reduction of deforestation, forest management and conservation, reforestation and the promotion of agroforestry systems (SAF). It also has an impact on the conservation of biodiversity, water, scenic beauty values in the rural landscape and stimulates the economy. The problem being addressed is the lack of scientific and technological knowledge on the aspects related to the abaca cultivation, including agroforestry systems with commercially valuable timber species, as well as the characterization of the fiber to propose new uses and add greater value to the export product and open up new ventures at the national level.

Keywords

Musa textilis; agroforestry; natural fiber; tropical trees.

Introducción

Musa textilis es una especie monocotiledónea perteneciente a la familia Musaceae y endémica de Filipinas [1]. Es un cultivo de tipo herbáceo con una estructura análoga a las plantas de banano; aunque a diferencia de éstas, su utilidad comercial no está dirigida hacia el ámbito alimenticio, a pesar que produce pequeños frutos y semillas (entre 20 y 200 por dedo) y cuya viabilidad en Costa Rica es limitada [2]. Su producto comercial es el pseudotallo, del cual se extrae fibra vegetal de calidad comercial. A pesar de la importante cantidad de semillas producidas por planta, el material vegetativo a utilizar para el establecimiento de plantaciones consiste principalmente de yemas, cormos (completos o fracciones que posean una yema vegetativa), y es una realidad incursionar con material proveniente de propagación *in vitro* [3].

Se tienen reportes que datan desde el siglo XX, en donde se ha extraído la fibra vegetal de esta especie para su uso cotidiano [1] en diferentes ámbitos comerciales como la fabricación de cuerdas, textiles, muebles, entre otros [4]. Aunque su uso decayó con la intensificación de la fabricación de polímeros sintéticos en la época de la Segunda Guerra Mundial [5]; en los últimos años, y con la implementación de políticas mundiales dirigidas a la mitigación del daño ambiental provocado con el uso de polímeros sintéticos, las fibras naturales han vuelto a cobrar impacto, por lo cual existen nuevas posibilidades de desarrollo comercial [6].

Es por esto, que más recientemente se ha incursionado en el uso de la fibra en aleaciones con otros materiales para su uso en la industria automotriz, aeroespacial y en aplicaciones industriales [7]. Estas aplicaciones, incluyen aleaciones de propileno termoplástico como sustituto de la fibra de vidrio, ya que debido a su gran resistencia mecánica y longitud presentan potencial para estas capacidades [8], [9]. A su vez, Gumowska *et al* [10] han incursionado en la creación de nanocelulosa para su uso como capa barrera para tableros de partículas para reducir la emisión de compuestos orgánicos volátiles presentes en los productos a base de madera.

Asimismo, esta fibra es considerada como un potencial sustituto a la madera para la fabricación de pulpas de papel debido a que se caracteriza por presentar excelentes propiedades mecánicas (tensión-flexión) y químicas (14% lignina) [11]. Actualmente gran parte del material procesado se enfoca en la fabricación de papel de alta calidad y uso especializado como bolsas de té y filtros de diferentes tipos [12].

En Costa Rica, el cultivo se introdujo en 1941 en la región de Matina llegando a tener una extensión más de 4200 ha, aunque esta expansión decayó con el desarrollo de materiales sintéticos al igual que en el resto del mundo. Actualmente, el país está posicionado como el tercer productor mundial después de Ecuador, y cuenta con aproximadamente 1500 ha, cuyo producto es exportado a la Unión Europea, Japón e India [13]. Debido a factores como la buena distribución de lluvias a lo largo del año y la posibilidad de acceso a tecnología agrícola, Costa Rica presenta un alto potencial para alcanzar rendimientos superiores y de calidad a los logrados por los países competidores [3].

En Filipinas, se ha reportado que este cultivo presenta la posibilidad de ser integrado en sistemas de manejo diversificado como lo son los sistemas agroforestales, ya que incrementa la posibilidad de favorecer las repercusiones socioeconómicas [14], [15], [16]; y previene la erosión del suelo debido a su sistema de raíces adventicio [15] y grandes hojas que reducen el impacto directo de la lluvia sobre la capa superficial [17]. A su vez, Bande *et al.* [18] destaca que ante la aplicación de sombreado se obtienen rendimientos superiores a los obtenidos en sistemas de monocultivo.

Es de considerar, que la interceptación de la radiación y la eficiencia con la que la energía de la radiación es aplicada para producir fotosintatos en estos sistemas, es un factor determinante en el crecimiento del componente arbóreo [19]. A pesar de que se tienen reportes de que el sombreado reduce en gran parte la capacidad fotosintética y la transpiración [20], también es importante destacar que las adaptaciones morfológicas y fisiológicas propias de cada especie tienden a manifestarse en respuesta a las variaciones de radiación solar con el propósito de maximizar la eficiencia fotosintética [21]. Otros autores han destacado que con este control se puede incrementar en hasta un 53% los valores de eficiencia neta de fotosíntesis captados por los cultivos, siendo el elemento clave la distribución de los productos de la fotosíntesis [22].

Por lo anterior, el objetivo del estudio fue generar información técnica y científica del componente forestal en asocio con el cultivo de *M. textilis* que contribuya al incremento de la capacidad productiva y de exportación de la fibra de abacá hacia mercados internacionales con un mayor valor agregado bajo principios de sostenibilidad ambiental.

Metodología

Con el propósito de generar información científica validada, diversos experimentos de campo y de laboratorio se están llevando a cabo. Los ensayos se establecieron en junio de 2020, en diversas fincas pertenecientes a la Asociación de Productores de Abacá y Cultivos Agroforestales (ASPA) ubicada en Las Horquetas de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica (10°23'01.6 "N, 83°56 '36.1"W). Los sitios se caracterizan por poseer un clima de bosque muy húmedo tropical (bmh-T) [23]; con una precipitación promedio anual entre 4000 y 4200 mm, y una temperatura media anual entre 27 y 28 °C [24]. Los suelos pueden variar según su clasificación en Ultisoles e Inceptisoles [25]; los primeros con un pH ácido menor a 5,5 y una saturación de acidez del 40%, y los segundos con un pH mayor a 5,7 y una saturación de acidez menor a 5%. En ambos tipos la pendiente es ligera (< 5%).

Los experimentos tienen un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; y generan en su conjunto o individualmente información de crecimiento (diámetro y altura) de las plantas de abacá, de la interacción del cultivo con árboles de diferentes especies maderables, del control de arvenses y uso de fertilizantes, del contenido de nutrientes en tejidos, la deshija, métodos de propagación en vivero y cultivo *in vitro* en laboratorio, así como técnicas de extracción de fibras y su caracterización como biomaterial. En todos los ensayos se tienen estandarizadas las técnicas, instrumentos y métodos de medición de las variables.

Variables a medir e instrumentos

Debido a que las cepas de abacá crecen continuamente en número de tallos, por lo que siempre se selecciona y marca una muestra para mediciones en el mismo tallo durante todo el periodo de medición. Se llevó el control del número de pseudotallos por cepa y del conteo del número de hojas por tallo. En el caso de los árboles, se midió la altura total y el diámetro basal hasta que superaran el diámetro comercial a la altura de 1,30 m sobre el nivel suelo.

La información fisiológica del cultivo incluyó el registro del patrón arquitectural de las plantas y el índice de cobertura de copa con el uso de la aplicación CANOPEO [26]. Las mediciones de respuesta fotosintética para cada especie, están previstas durante el ciclo de crecimiento de los cultivos, utilizando el medidor CIRAS III variando en la cubeta con los diferentes niveles de luz PAR y las concentraciones de CO₂ para obtener las curvas de fotosíntesis a partir de una muestra representativa de plantas por tratamiento y repetición. Los resultados de estas mediciones se tratarán en un artículo diferente. Asimismo, se midió la radiación fotosintéticamente activa (PAR) a partir de los tres meses de establecidos los cultivos con un sensor quantum instalado en un Ceptometro Accupar LP 80.

Se midió la biomasa en abacá, mediante el muestreo de pseudotallos por tratamiento y repetición de manera mensual. Las muestras (1 kg) fueron secadas por separado a 65 °C hasta alcanzar el peso seco constante y molidas para determinar los contenidos nutricionales mediante métodos estándar. Una muestra de peso húmedo conocido fue secada a 105 °C, para determinar la biomasa seca ($\pm 0,1$ g). El área foliar por tallo se determinó con el método de Kumar *et al.* [27] complementado con los metadatos de largo, ancho y número de hojas para desarrollar ecuaciones alométricas.

Los análisis químicos vegetales se realizaron en el Laboratorio de Suelos, Plantas y Agua del INTA; y el número de muestras totales fueron optimizadas en función del presupuesto disponible. La materia orgánica y carbono total (CT) se determinó por el método de Walkey y Black por oxidación con dicromato de potasio; el nitrógeno total (NT) por destilación por el método Kjeldahl y el fósforo por extracción por el método ISFEIP (International Soil Fertility Evaluation and Improve). Se determinó también los contenidos de bases (potasio, calcio, magnesio) y otros nutrientes por el método de digestión con ácido nítrico-perclórico por absorción atómica.

Análisis estadístico

La información colectada fue analizada con ayuda del software InfoStat versión 2020, así como con el uso de rutinas de análisis en R v. 3.6.2. Previo a cualquier análisis, se realizaron las pruebas de consistencia de datos. Las rutinas de análisis consideraron el análisis de correlación, regresión múltiple y no lineal, de varianza, pruebas de comparación múltiple y análisis multivariado. Todas las pruebas tuvieron el respaldo del análisis de supuestos para el uso de técnicas paramétricas. Además, se previó el análisis con estadística no paramétrica en los casos que se amerite.

Resultados y discusión

Experiencias en el manejo del cultivo

El abacá requiere de todos los cuidados básicos de un cultivo comercial, lo cual reafirman los productores de la zona. Sitios con algún grado de compactación debido a actividades previas (ganadería o cultivos anteriores) requieren una descompactación, preferiblemente con subsoleo de bajo impacto. Sitios con acidez mayor al 10-15% requieren desde el inicio, un control adecuado de la acidez mediante encalados con carbonato de calcio, cal dolomita o surco mejorador. Experiencias más recientes recomiendan el análisis microbiológico a los suelos antes de la siembra y el uso de controladores biológicos y nematicidas. Las recomendaciones técnicas y dosis se realizan posterior a los análisis químicos de los suelos. También es muy importante respetar las condiciones de humedad del suelo, ya que sitios con un nivel freático alto no favorecen el desarrollo del cultivo y pueden ocasionar pérdidas importantes, previo al establecimiento del cultivo se requiere la asesoría profesional para valorar si una red de drenaje es factible técnicamente y los costos y la inversión lo permiten.



Figura 1. Cultivo de *M. textilis* bajo buenas prácticas de preparación del suelo y aplicación de enmiendas para corrección de la acidez del suelo.

Las experiencias en los ensayos indican que el control de arvenses es de suma importancia, por lo cual el uso mínimo de herbicidas es preferible y en medida de lo posible se debe utilizar el control mecánico. Una práctica bien realizada y con los aditamentos correspondientes resulta en un mayor rendimiento y protección al trabajador, y un menor daño a los cultivos. Este control depende del tipo de planta y de la época, del estado fenológico y de la altura. Alturas de malezas superiores a 50 cm, son un riesgo para los trabajadores por mordeduras de serpientes y causan retrasos en crecimiento al cultivo. En la figura 2 se muestra un sitio con buenas prácticas de control de arvenses.



Figura 2. Cultivo de *M. textilis* bajo buenas prácticas de control de arvenses. a. Plantación de 4 ha con régimen adecuado de control; b. Cepa rodajeada con presencia de arvenses que protegen el suelo de la erosión sin efectos negativos al cultivo.

Comportamiento del crecimiento del cultivo bajo sombra

Debido a las disposiciones actuales del país en la prevención de la entrada de la enfermedad denominada Marchitez por *Fusarium oxysporum f.sp. cubense (Foc)* Raza 4 Tropical-Foc R4, se prohíbe el trasiego de semilla sin certificar. Este aspecto actualmente limita el desarrollo de nuevas plantaciones y es responsabilidad de los productores y las empresas de llevar un buen control del uso de semilla con permiso para el trasiego. Independientemente, de si es semilla certificada tipo corno, yema en bolsa o vitroplanta; el cultivo de abacá requiere de una etapa previa de establecimiento. Por ello, es importante la preparación inicial del sitio con cuidados de corrección de los suelos, control de arvenses y verificación de microorganismos del suelo.

Pueden pasar hasta tres meses para que la planta madre desarrolle nuevos rebrotes y comience a incrementar el número de hojas, momento en el cual deberá prestarse atención a las indicaciones de deficiencias foliares; que pueden corregirse con la aplicación de fertilizante a la raíz y foliar. Formulaciones iniciales de nitrógeno (urea azufrada) han dado respuestas positivas, así como posteriormente fórmulas bajas en fósforo y altas en potasio. Asimismo, aplicaciones foliares de gallinaza líquida (Magic Green) y uso de bioestimulantes tales como Protifert K, Stimplex y Naturam 5 están dando resultados satisfactorios según el criterio técnico y las experiencias de campo. Debe tomarse en cuenta que el costo de los fertilizantes comerciales tiene una tendencia al incremento por las repercusiones de la pandemia y más recientemente el conflicto Rusia-Ucrania.

En la figura 3, se muestran los valores de crecimiento en altura hasta el punto de inserción de la hoja bandera en los primeros siete meses en un ensayo de sombreo con sarán establecido a cuatro intensidades de sombra. Según esto, en los primeros tres meses se da la fase de establecimiento de la planta en el nuevo ambiente, donde crece poco, hay pocos rebrotes y se consolidan las primeras hojas. A partir del tercer mes, inicia un período vegetativo que puede ser estimulado con buenas prácticas de manejo y fertilización. Asimismo, el manejo adecuado de la deshija (con buena desinfección de herramientas) incide en plantas de libre crecimiento, de manera que tallos con buen grosor pueden alcanzar hasta 30 kg de peso verde y un rendimiento de hasta 3 kg de fibra seca al aire.

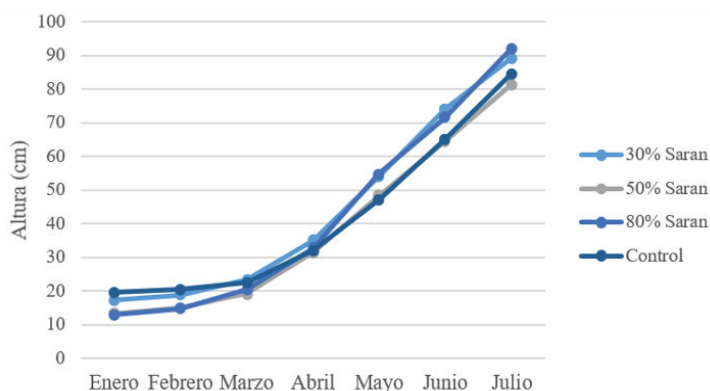


Figura 3. Curva de desarrollo de la altura de *M. textilis* en los primeros meses de establecimiento.

Existe evidencia de que se puede mejorar la productividad y calidad de la fibra bajo condiciones de sombra. Un experimento formal, bajo un diseño de bloques completos al azar, se está llevando a cabo, utilizando tres tipos de sarán negro con porcentajes de entrada de luz de 30, 50 y 80% con un tratamiento testigo al 0% de sombra (figura 4). En la figura 5, se muestran los resultados del conteo mensual del número de hojas por planta, donde sobresale el tratamiento al 80% (diferencias significativas), que provoca un mayor número de hojas en comparación con el testigo y un mejor desarrollo en altura.

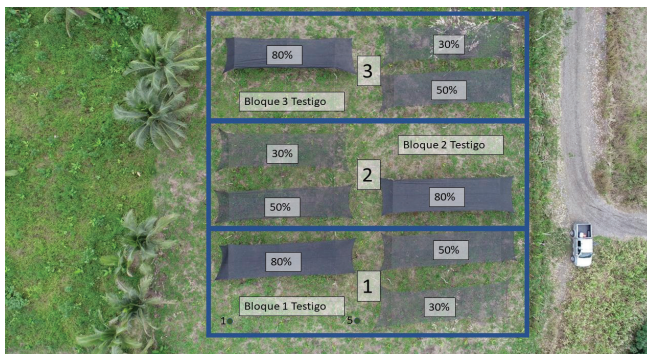


Figura 4. Ensayo de *M. textilis* a diferentes niveles de sombra artificial (0, 30, 50 y 80%).

Es de comprensión que el experimento debe continuar sus mediciones hasta la primera cosecha, momento el cual se analizará el rendimiento de la fibra y su calidad.

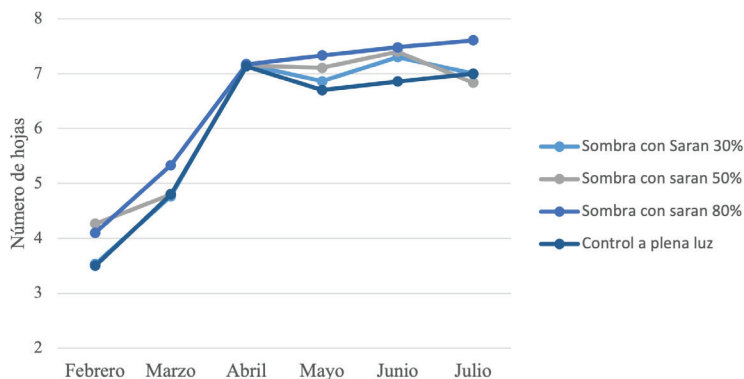


Figura 5. Número de hojas en plantas de *M. textilis* establecidas a diferentes niveles de sombra.

Comportamiento del abacá bajo el dosel de árboles

En la figura 6, se muestra un experimento de mediciones de plantas de abacá en etapa productiva donde fueron seleccionadas dos muestras de plantas: un grupo creciendo a pleno sol y otro grupo creciendo bajo la sombra de árboles de *Vochysia guatemalensis*. El ensayo busca mostrar el efecto del sombreado en el desarrollo, rendimiento y calidad de la fibra. Los resultados finales serán de importancia para demostrar la posibilidad de intercalar los cultivos forestales en áreas con cobertura forestal.



Figura 6. Ensayo de *M. textilis* bajo la sombra de árboles de *V. guatemalensis* en avanzado estado de madurez.

En la figura 7, se muestran los resultados preliminares de las mediciones del diámetro y la altura hasta el punto de inserción de la hoja bandera de plantas de abacá creciendo bajo la sombra de árboles y a pleno sol. Para ambas variables, se registraron mejores condiciones en las plantas que crecen bajo dosel, lo que hasta el momento evidencia que la sombra causa un efecto positivo en las plantas de abacá. Como se mencionó anteriormente, hace falta llevar el experimento hasta cosecha para comprobar el efecto en el rendimiento, especialmente en las características de la fibra.

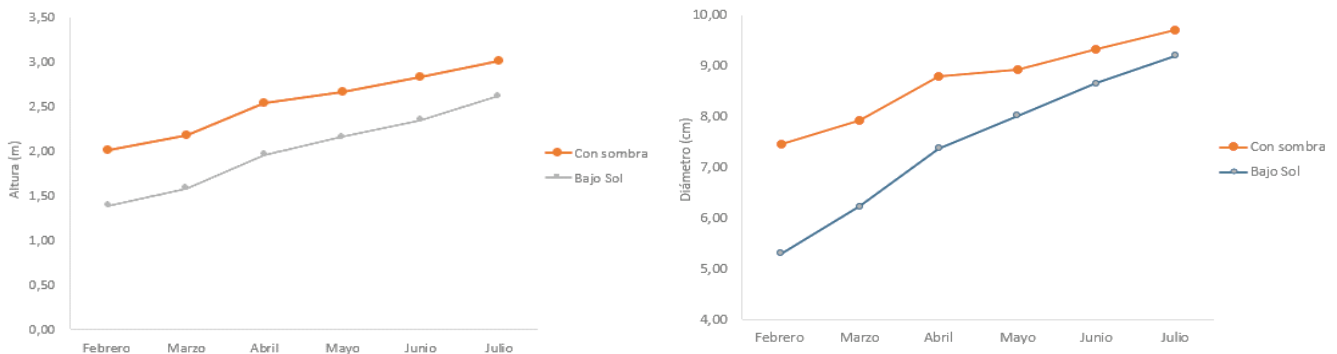


Figura 7. Evolución del diámetro y de la altura hasta el punto de inserción de la hoja bandera en *M. textilis* creciendo bajo la sombra de árboles de *V. guatemalensis* y a pleno sol.

Conclusiones

M. textilis es un cultivo promisorio de interés para la exportación en Costa Rica, y requiere de prácticas de manejo que garanticen a los productores un rendimiento adecuado y a las empresas una calidad de fibra aceptable. El uso de sombreo para fomentar el rendimiento y la productividad de los cultivos, se ha valorado como un parámetro potencial para su implementación futura a nivel nacional como fomento para el incremento de área cultivada, la diversificación del sistema productivo, los ingresos adicionales por venta de madera y por consiguiente de las exportaciones. En relación a esto, la diversificación del cultivo mediante la modalidad de sistemas agroforestales es una opción que verídicamente aumenta la rentabilidad de los proyectos por el valor adicional del componente forestal. Las especies maderables estudiadas en asocio agroforestal presentan una interacción positiva en el crecimiento inicial, aunque los resultados definitivos se deben contrastar con el rendimiento y calidad de la fibra en un futuro cercano. Es de considerar, que se debe continuar con las mediciones para completar el ciclo de producción y realizar los análisis estadísticos definitivos.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración financiera de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del Tecnológico de Costa Rica a través del proyecto “Impulso tecnológico a los sistemas agroforestales para la producción sostenible de fibras naturales para exportación: cultivo de abacá (*Musa textilis* Née) como alternativa versátil para productores rurales en Costa Rica” (2020-2022). El proyecto atiende a la generación de información sobre aspectos de manejo, nutrición, fisiología, caracterización y usos alternativos de la fibra, protocolo de cultivo *in vitro* y capacitación a productores. Se agradece a la Dirección de Posgrado TEC por la beca otorgada a la primera autora.

Referencias

- [1] S. Richter, K. Stromann y J. Müssig, «Abacá (*Musa textilis*) grades and their properties—A study of reproducible fibre characterization and a critical evaluation of existing grading systems,» *Industrial Crops and Products*, vol. 42, pp. 601-612, 2013.
- [2] L. C. Galvez, R. L. B. Koh, C. F. C. Barbosa, y D. y Zhang, «Sequencing and de Novo Assembly of Abaca (*Musa textilis* Née) var. Abuab Genome,» *Genes*, vol. 8, n° 1202, p. 12, 2021.
- [3] M. E. Aguilar, J. L. Ortiz y J. Washing, *Abacá: Particularidades de su cultivo y avances en técnicas de micro propagación en Costa Rica*, Costa Rica: Bioersivity International, 2011.
- [4] H. T. Edwards y M. M. Saleeby, «Abacá (Manila Hemp),» Department of the Interior Bureau of Agriculture, Manila, Filipinas, 1910.
- [5] L. Villafuerte-Abonal, ABACA – PHILIPPINES., Manila, Filipinas: Luis R. Villafuerte and Apples of Gold Publishing., 2006.
- [6] N. Ramli, N. Mazlan, Y. Ando, y N. Sairy, «Natural fiber for green technology in automotive industry: A brief review.,» *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 368, n° 012012, 2018.
- [7] R. B. Armezin y W. C. Coseco, «Abaca (*Musa textilis* Nee) allometry for above-ground biomass and fiber production,» *Biomass and Bioenergy*, vol. 46, pp. 181-189, 2012.
- [8] A. Netravali y S. Chabba, «Composites get greener,» *Materials Today*, vol. 6, n° 4, pp. 22-29, 2003.
- [9] S. Evans, «The “Age of Agricultural Ignorance”: Trends and Concerns for Agriculture Knee-Deep into the Twenty-First Century,» *Agricultural History*, vol. 93, n° 1, pp. 4-34, 2019.
- [10] A. Gumowska , G. Kowaluk, J. Labidi y E. Robles, «Barrier properties of cellulose nanofiber film as an external layer of particleboard,» *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 21, n° 10, pp. 2073-2079, 2019.
- [11] D. Bazliah, S. Wulansari, A. Darmawan, E. M. Idzati, H. Ni'mah, A. Roesyadi y F. Kurniawansyah, «Prediction of Kappa number and carbohydrate degradation in oxygen delignification of Abaca fiber,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1053, n° 1, 2021.

- [12] K. Vijayalakshmi, C. Neeraja, A. Kavitha y J. Hayavadana, «Abaca Fibre,» *Transactions on Engineering and Sciences*, vol. 2, n° 1, pp. 6-9, 2014.
- [13] PROCOMER, «Abacá: *Musa textilis*,» PROCOMER, San José, Costa Rica, 2019.
- [14] B. B. Dargantes, «Socio-ecological case studies on forest lands cultivation in Leyte, Philippines,» *PLITS*, vol. 14, n° 2, 1996.
- [15] C. Lacuna-Richman, «The role of abaca (*Musa textilis*) in the household economy of a forest village.,» *Small-scale forest economics, management and policy*, vol. 1, n° 1, pp. 93-101, 2002.
- [16] M. Rodríguez, I. Davidson-Hunt y F. Berkes, «Social-ecological memory and responses to biodiversity change in a Bribri Community of Costa Rica,» *A Journal of the Human Environment*, vol. 1, pp. 1-12, 2019.
- [17] T. Pattison, L. Smith, P. Moody, y L. Gulino, «Banana root and soil health (BRASH) project,» de *Banana root system: towards a better understanding for its productive management.*, San José, Costa Rica, Turner, D.W., Rosales, F.E. (Eds.), 2003, pp. 149-165.
- [18] M. M. Bande, J. Grenz, V. B. Asio y J. Sauerborn, «Morphological and physiological response of Abaca (*Musa textilis* var. Laylay) to shade, irrigation and fertilizer application at different stages of plant growth,» *Journal of AgriScience*, vol. 3, n° 2, pp. 157-175, 2013.
- [19] A. R. Kemanian, C. O. Stöckle y D. R. Huggins, «Variability of barley radiation-use efficiency,» *Crops Science*, vol. 44, pp. 1662-1672, 2004.
- [20] N. Akhter, M. Rahman, M. Hasanuzzaman y K. Nahar, «Physiological response of garden pea (*Pisum sativum* L.) grown under different light environment,» *Botany Research International*, vol. 2, n° 4, pp. 304-309, 2009.
- [21] S. Duriyaprapan y E. J. Britten, «The effects of solar radiation on plant growth, oil yield and oil quality of Japanese mint,» *Jour. of Exp. Botany*, vol. 33, n° 137, pp. 1319-1324, 1982.
- [22] D. Zhang, G. Du, Z. Sun, y L. Zhang, «Agroforestry enables high efficiency of light capture, photosynthesis and dry matter production in a semi-arid climate,» *European Journal of Agronomy*, vol. 94, pp. 1-11, 2018.
- [23] L. Holdridge, *Ecología basada en zonas de vida*, San José, Costa Rica: Instituto Interamericano, 1978.
- [24] Climate-data, «Clima: Las Horquetas (Costa Rica).,» Climate-data, 2016. [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/costa-rica/heredia/las-horquetas-874786/>.
- [25] E. Ortiz y C. Soto, *Atlas Digital de Costa Rica 2014*, Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica., 2014.
- [26] A. Patrignani y T. E. Ochsner, «Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover,» *Agronomy Journal*, vol. 107, n° 6, pp. 2312-2320, 2015.
- [27] N. Kumar, V. Krishnamoorthy, L. Nalina y K. Soorianathasundharam, «Nuevo factor para estimar el área foliar total en banano,» *INFOMUSA*, vol. 11, n° 2, pp. 42-43, 2002.