



Crecimiento y desarrollo inicial de *Musa textilis* Née y su interacción con las especies maderables *Cordia alliodora*, *Hieronyma alchorneoides* y *Dipterix panamensis* en Costa Rica

Growth and initial development of *Musa textilis* Née and its interaction with the timber species *Cordia alliodora*, *Hieronyma alchorneoides* and *Dipterix panamensis* in Costa Rica

Mónica Araya-Salas¹, Dagoberto Arias-Aguilar², Juan Carlos Valverde-Otárola³, Kevin Arias-Ceciliano⁴, Jesús Mora-Molina⁵

Araya-Salas, M; Arias-Aguilar, D; Valverde-Otárola, J.C; Arias-Ceciliano, K; Mora-Molina, J. Crecimiento y desarrollo inicial de *Musa textilis* née y su interacción con las especies maderables *Cordia alliodora*, *Hieronyma alchorneoides* y *Dipterix panamensis* en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35, especial V Encuentro Bienal Centroamericano y del Caribe de Investigación y Posgrado. Junio, 2022. Pág 40-49.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v35i6.6234>

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

Palabras clave

Agroforestería; *Musa textilis*; SPAD; *Cordia alliodora*; *Hieronyma alchorneoides*; *Dipteryx panamensis*.

Resumen

Musa textilis conocida en Costa Rica y otros países como abacá, es una especie de la familia Musaceae que ha sido cultivada comercialmente por su capacidad para producir fibra de calidad industrial. Un factor clave para la economía rural de Costa Rica es aumentar la productividad y calidad de la fibra, optimizando los costos de manejo y cosecha. El presente trabajo busca generar resultados válidos del efecto positivo de la interacción de árboles maderables en un arreglo agroforestal con el abacá, con especial interés en el efecto posterior que generará la sombra en el crecimiento de todas las especies y en la calidad de la fibra. En la literatura existen pocos estudios que analicen el valor de la interacción del cultivo de abacá con árboles en términos de su crecimiento y desarrollo fisiológico. Por tanto, en este estudio se presentan los resultados preliminares del efecto del sombreado de tres especies maderables nativas sobre el crecimiento del abacá. Para este propósito, se hicieron mediciones mensuales de crecimiento (diámetro y altura total) y de desarrollo fisiológico con mediciones SPAD. La hipótesis es que existe efecto positivo significativo (incremento) en el crecimiento y desarrollo del cultivo en asocio con especies maderables, mostrando diferencias significativas a largo plazo entre tratamientos. En general, se encontró que sí existen diferencias significativas entre el crecimiento en altura para las plantas establecidas en asocio con especies maderables y las plantas testigo.

Keywords

Agroforestry; *Musa textilis*; SPAD; *Cordia alliodora*; *Hieronyma alchorneoides*; *Dipteryx panamensis*.

Abstract

Musa textilis known in Costa Rica and another countries as abaca, is a species of the Musaceae family which has been commercially cultivated for its ability to produce industrial quality fiber. A key factor for the rural economy of Costa Rica is to increase the productivity and quality of the fiber and to optimize management and harvesting costs. The present work seeks to generate valid results on the positive effect of the interaction of timber trees in an agroforestry arrangement with abaca, with special interest in the future effect of shade on the growth of all species and on fiber quality. In the literature there are few studies that analyze the value of the interaction of the abaca crop with trees in terms of their growth and physiological development. Therefore, this study presents preliminary results of the effect of shading by three native timber tree species on the growth of abaca. For this purpose, monthly measurements of growth (diameter and total height) and physiological development were made SPAD measurements. The hypothesis is that there is a significant positive effect (increase) in the growth and development of all species established with shade, showing significant differences in the long term in each of the shading treatments. In general, it was found that there are significant differences between the growth in height for the plants established in association with timber species and the control plants.

Introducción

A nivel fisiológico las respuestas y adaptaciones manifestadas por las plantas dependen en gran medida tanto de la magnitud de los cambios a los que se sometan según la variación de los recursos disponibles en su entorno [1] [2]; así como de las características propias de la especie [3].

Situaciones como eventos críticos de estrés hídrico y de radiación solar directa extrema en donde se da un déficit hidrológico en el ambiente (déficit de presión de vapor), provoca que se generen reducciones en las tasas de crecimiento por causa de pérdidas de turgencia [4]; como en el área foliar neta, ya que se produce un desbalance entre la transpiración y absorción de agua [5], así como de la tasa de fotosíntesis [6]; lo cual, provoca cambios en los niveles de reflectancia [7].

Una forma de lidiar con esa situación es mediante la modificación del entorno de crecimiento o microclima [8]. En relación a ello, existen estudios que afirman que al aplicarse un sombreado se potencia el rendimiento y la productividad de los cultivos, como en abacá con coberturas artificiales del 50% [9], café con sombra viva de 15-60% de cobertura [10], cacao [11], entre otros. En contraposición, se ha reportado que al aplicar sombreado, se afecta directamente la fisiología original de los cultivos involucrados, debido a que la reducción de la radiación fotosintética activa absorbida puede llegar a compensarse según el aumento en la eficiencia del uso de la luz, disminuyendo la productividad neta entre cada uno de los componentes [11]. En todo caso también influye como la planta redistribuye los productos de la fotosíntesis.

Lazo y Ascencio [12] destacan que el componente ambiental clasificado como sombra percibido por las plantas, se ve determinado por la combinación existente entre la calidad (color/longitud de onda) y cantidad (densidad de flujo fotónico) de radiación. Entonces, al modificar el nivel de exposición a las longitudes de onda de luz es posible aumentar y/o reducir la eficiencia fotosintética según la especie; y por consiguiente el rendimiento [13]. Por lo cual, tener una comprensión básica de la fisiología e hidráulica de las especies, es de suma importancia a la hora de implementar las operaciones de manejo silvícolas pertinentes; ya que, con ello se permite mejorar en gran medida tanto la calidad del producto como la supervivencia de los individuos, proporcionando a su vez un mejor control económico de las inversiones percibidas por los productores [14].

El abacá (*Musa textilis* Née) o Cañaño de Manila, es una especie perteneciente a la familia Musaceae de tipo agronómico tolerante a la sombra, originario de Filipinas. Estrechamente relacionada al banano, y caracterizado por ser autóctona del sotobosque de las selvas tropicales siempre verdes de Filipinas [15].

Se tienen reportes de que, en Filipinas, aproximadamente el 67% de los productores poseen plantaciones de hasta 0,25 ha; y parte de ellas se asocian con especies como *X. sagittifolium*, *M. esculenta*, *B. oleraceae*, *A. esculentus* y *A. comosus* [16]; así como, con la especie maderable *P. falcataria* intercalada en callejones y setos para maximizar el uso de la tierra [17]. En Indonesia, debido a la dependencia económica a cultivos de coco y durian, se plantan sistemas agroforestales con abacá en espaciamientos que varían entre 4x4 m, 4,5x4,5 m, 5x5 m [18]. Moreno [19] destaca que al plantarse como un monocultivo reporta una productividad por hectárea significativamente menor a ser cultivado en asocio con otras especies de cultivos agronómicos.

A pesar de que es de conocimiento general que la especie es tolerante a la sombra [16], existen muy pocos estudios que determinen el grado de influencia del sombreado sobre el rendimiento y calidad del abacá [9]. Según esto, y teniendo en cuenta la relación sombra-intercepción de luz para poder medir la eficiencia en el crecimiento, Bande *et al.* [9] implementaron la aplicación

de tres densidades de sombreo artificial, en donde se obtuvieron rendimientos superiores al 50% de cobertura. Asimismo, se ha plantado a 2x2 m en asocio con cultivos de cobertura fijadoras de nitrógeno como *Desmodium ovalifolium*, *Centrocema puvecens* y *Calopogonium munocoides*, obteniendo mayores rendimientos cuando estos cultivos se habían establecido antes de plantar el abacá [20]. A pesar de estos reportes, existe un vacío de información muy amplio en el área de la caracterización fisiológica, que determine el grado de influencia de la interacción existente entre los componentes plantados sobre el rendimiento y calidad del abacá [9] en el tiempo.

Por tanto, el objetivo principal del presente trabajo es generar información sobre el efecto de la interacción en el crecimiento y desarrollo fisiológico durante el primer periodo de cosecha de *Musa textilis* Née al asociarse con las especies maderables nativas *Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Oken, *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record y Mell e *Hieronyma alchorneoides* Allemão en sistemas agroforestales de la zona Caribe de Costa Rica. Es de notar que el ensayo fue establecido a finales del mes de octubre del 2020 y las mediciones se iniciaron a partir del mes de febrero del 2021, por lo que se presentan los resultados iniciales de los primeros ocho meses. Las mediciones continuarán hasta la primera y segunda cosecha, momento en donde se analizará la calidad de la fibra.

Metodología

Descripción del sitio y especie

El experimento se llevó a cabo en una finca perteneciente a un productor asociado a la Asociación de Productores de Abacá y Cultivos Agroforestales (ASPA) ubicada en el caserío La Chávez en Horquetas de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica (10°23'01.6 "N, 83°56 '36.1"W, 68 msnm). El sitio presenta un clima de bosque muy húmedo tropical (bmh-T) [21]; con una precipitación promedio anual de 4062 mm y una temperatura promedio anual de 25,9 °C [22]. En cuanto a las condiciones específicas del sitio, el suelo está clasificado dentro del orden Ultisol y Suborden Humults, [23], con un pH ácido menor a 5,5, una saturación de acidez del 40% y una pendiente muy leve (< 5%).

El ensayo se estableció en dos etapas; primeramente, se sembró el abacá a principios de julio de 2020 con una densidad de 1600 plantas/ha y posteriormente se sembraron los árboles en octubre de 2020 entre las hileras del abacá con una densidad de siembra de 400 árboles/ha. A cada árbol, se le aplicó 40 g de hidrogel Hidrokeeper® para prevenir el déficit hídrico en los meses de enero a abril. Las especies maderables utilizadas para la conformación de los sistemas agroforestales fueron *C. alliodora*, *D. panamensis* y *H. alchorneoides*. La nomenclatura y las autoridades se basan en The Plant List (2013) generada por el Missouri Botanical Garden (www.theplantlist.org).

Previo a la siembra, se realizó un mecanizado uniforme del terreno con una rastra de discos a 60 cm, en la cual se aplicó el equivalente a tres toneladas de carbonato de calcio (CaCO₃) por hectárea como enmienda para reducir la acidez del suelo de manera gradual y llevarla al 10%, evaluada a través de muestreos de suelos. En cuanto a las operaciones silvícolas post-siembra, se realizó una fertilización a los tres y doce meses de edad, con una fórmula NPK (10-30-10) con dosis que varían según el estado nutricional del experimento, evaluado mediante los análisis de suelos. Adicionalmente se realizaron fertilizaciones foliares de complemento con Magic Green. La competencia con arvenses se controló de manera permanente en el área de la rodaja y cada dos meses de manera mecánica con motoguadaña (2,5 Hp de potencia). El paquete de manejo hizo el uso mínimo de plaguicidas.

Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres bloques y tres tratamientos correspondientes a las especies maderables en estudio y tres repeticiones, respectivamente. Cada parcela está compuesta por 12 árboles y 36 plantas de abacá, y cada árbol se ubica al centro de cuatro plantas de abacá. Adicionalmente, en cada parcela se definió una fila externa de seis plantas de abacá para control.

Tiempo de estudio y condiciones experimentales

Se aplicaron mediciones mensuales en el periodo de febrero a agosto de 2021. El muestreo fisiológico de niveles de clorofila se realizó utilizando un equipo SPAD Minolta, considerando únicamente hojas de la parte intermedia de la copa de los individuos, caracterizados por no poseer defectos o decoloraciones atípicas visibles, así como por no presentar zonas con agua superficial; ya que esto puede provocar distorsiones en los datos. Teniendo siempre presente que las mediciones se aplicaron fuera del área efectiva de la nervadura. Estas mediciones se ejecutaron entre las horas de las 8:00-10:00 y de las 14:00-16:00 (GMT-6 Central América), llevando un control paralelo de las condiciones de temperatura (°C), humedad relativa (%) y luminosidad con el fin de que no se presentara una variabilidad extrema que pudiera afectar de forma directa a la toma de datos.

Asimismo, se evaluó el crecimiento dasométrico de los individuos, mediante la medición del diámetro a 1,30 m y la altura total en el caso de los árboles; y el diámetro a un metro de altura del pseudotallo más grueso de cada cepa de abacá y la altura hasta el punto de inserción de la hoja bandera.

Parámetros fisiológicos evaluados

Se aplicaron cinco mediciones por hoja para tres hojas por individuo, evaluando el contenido relativo de clorofila (SPAD) mediante un medidor SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development), marca Konica Minolta® de área efectiva igual a 5 mm².

Análisis estadístico

Para las variables evaluadas se usaron métodos estadísticos mediante análisis de varianza (ANDEVA). Para ello, se verificó primeramente los supuestos de normalidad de los residuos del análisis mediante una prueba Shapiro-Wilks y de homocedasticidad de las varianzas mediante una prueba de Levene. En caso de corresponder, se aplicaron pruebas de comparación de medias de Tukey. Todo esto, se analizó con una significancia del 95% en el programa Statistica 9.0 [24].

Resultados y discusión

A nivel general, existe una cantidad muy limitada de información respectiva al potencial del uso de sombreo en plantaciones de *M. textilis*, así como de su comportamiento al introducirse en sistemas agroforestales. Es por esta razón, y por los pocos resultados positivos en donde se ha comprobado que el sombreo artificial en este cultivo es funcional para aumentar el crecimiento y calidad de la fibra [25], que se implementó un arreglo agroforestal con el fin determinar el potencial del asocio para poder maximizar los beneficios económicos y ecosistémicos obtenidos de los componentes. En la figura 1, se destaca el esquema de establecimiento usado para configurar el arreglo agroforestal compuesto por *M. textilis* en interacción con las especies maderables nativas *C. alliodora*, *H. alchorneoides* y *D. panamensis*; en donde se denota que los árboles presentan en el primer año una altura inferior a las plantas de *M. textilis*.



Figura 1. Vista de las especies maderables y su interacción con las plantas de *M. textilis* a los 9 meses de edad en un arreglo agroforestal establecido en Sarapiquí, Costa Rica. A, D: *C. alliodora*; B, E: *H. alchorneoides*; C, F: *D. panamensis*.

En cuanto al crecimiento vertical de las plantas de abacá, se tiene que en los primeros meses se presentó un incremento superior en altura cuando estas plantas se encuentran en asocio con árboles, superando a las plantas control creciendo en un estado sin competencia. En la figura 2, se puede observar que todas las especies propiciaron una tendencia al crecimiento ascendente del abacá; en especial el arreglo de *C. alliodora*, puede deberse al crecimiento más lento propiciado por esta especie maderable.

Solo se denotó una caída en la altura de las plantas de abacá con *C. alliodora* para el mes de julio. Sin embargo, la causa de este comportamiento estuvo asociada a problemas de volcamiento de plantas de abacá por incidencia del roedor *Heterogeomys cherriei* que se alimenta y afecta las raíces, ya que la muestra se redujo drásticamente.

Es de tener en cuenta, que el arreglo agroforestal se estableció en dos etapas; en donde los árboles se plantaron tres meses después a las plantas de *M. textilis*; por lo cual, las interacciones percibidas se deben mayormente a las diferencias en altura (figura 1). Esto justifica, el hecho de que a pesar de que se trata de un sistema compartido de agua y nutrientes, no se haya presentado evidencia de supresión por parte de ninguno de los componentes. A ello se suma, el hecho de que el sistema radicular de los árboles no se encuentra totalmente desarrollado, lo que permitió un buen periodo de adaptación a las plantas de abacá de establecer correctamente su sistema radicular adventicio.

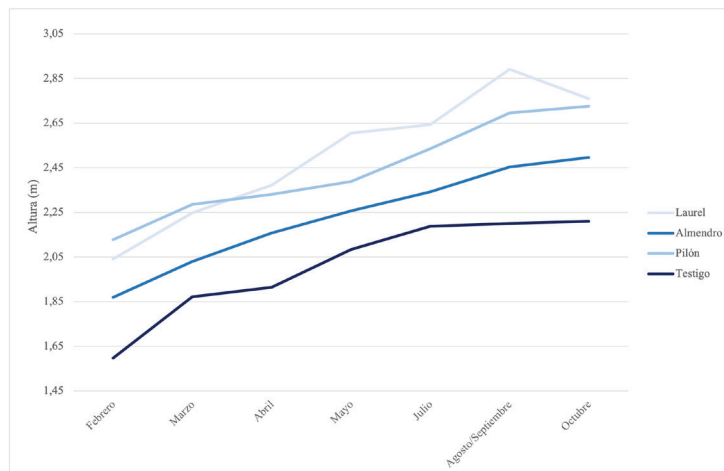


Figura 2. Crecimiento en altura de *M. textilis* en asocio con tres especies de árboles maderables establecidas en un arreglo agroforestal en Sarapiquí, Costa Rica.

Según lo anterior, se determinó que si existen diferencias significativas entre los tratamientos en asocio con árboles y el tratamiento control. Definitivamente la altura de los árboles se ha visto influenciada positivamente por la interacción con las plantas de abacá.

En la figura 3, se muestran los resultados de las mediciones de altura total de las especies arbóreas, destacando la especie *D. panamensis* que presentó un mayor crecimiento en altura con un valor promedio de 3,01 m en el mes de octubre.

Seguidamente resalta el crecimiento mostrado por *H. alchornooides*. Esta condición, puede justificarse con el hecho de que *H. alchornooides* se caracteriza por ser adaptable a condiciones de suelo ácidos, arcillosos y mal drenados [26], por lo cual es probable que no se presentara una condición de alta competencia entre los componentes. En cuanto al tratamiento de *C. alliodora*, se tiene un comportamiento particular, en donde las plantas presentaron un crecimiento regular con una tasa de crecimiento a la mitad, de la especie de más rápido crecimiento (*D. panamensis*).

Esto puede deberse a que según la literatura *C. alliodora* es susceptible al terreno de establecimiento y prefiere sitios fértiles, bien drenados y clima no demasiado seco [27]; por lo cual, pudo darse un estrés inicial, que incidió en un ritmo de crecimiento más lento. Sin embargo, el estado y coloración de las plantas indican buen vigor. Es de tener en cuenta, que las plantas al someterse a ciertos niveles de estrés hídrico o a exceso de acidez, presentan modificaciones en sus mecanismos de ahorro energético, por lo cual se dan casos de desequilibrio en donde tanto la absorción como la transpiración, así como la capacidad fotosintética se ven afectadas, por lo que da como resultado reducciones en el crecimiento y desarrollo de los individuos [2]. En otros casos las plantas bajo estrés hídrico invierten más energía en el desarrollo de sus raíces.

A pesar de las diferencias mostradas en las figuras, no existen diferencias significativas presentadas entre el crecimiento de las especies maderables.

Desde el punto de vista de sanidad, todas las especies arbóreas presentaron un buen estado fitosanitario y no fueron detectadas plagas o insectos que limiten el crecimiento.

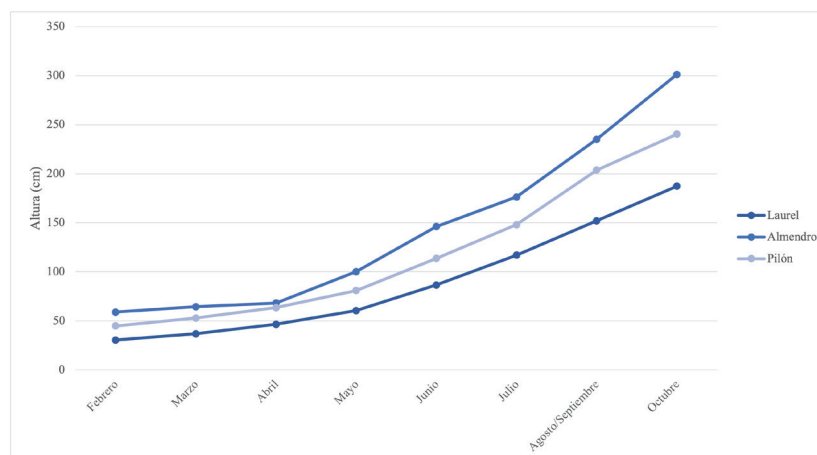


Figura 3. Crecimiento en altura de tres especies maderables usadas en un arreglo agroforestal de *M. textilis* establecido en Sarapiquí, Costa Rica.

En la figura 4, se muestran los valores de clorofila en unidades SPAD obtenidos para cada una de las especies maderables analizadas. Esta variable se utilizó como indicadora del estado de nutrición de los cultivos; ya que este elemento (nitrógeno) se relaciona directamente con la curva de crecimiento del sistema radicular y aéreo de las plantas [28], ya que es una parte estructural de la composición de la clorofila.

Mostró un comportamiento muy variable a lo largo del periodo de medición, en donde destaca un pico de los valores de clorofila en el mes de mayo y un decrecimiento masivo para el mes de junio en todos los tratamientos; siendo *C. alliodora* la especie con el comportamiento más estable, lo que indica que hubo una alteración nutricional en términos de nitrógeno foliar. Relacionado a ello, la única situación ocurrida ha sido el exceso de humedad en el suelo por condiciones de lluvias extremas en la zona de estudios que podría originar anoxia nivel radical.

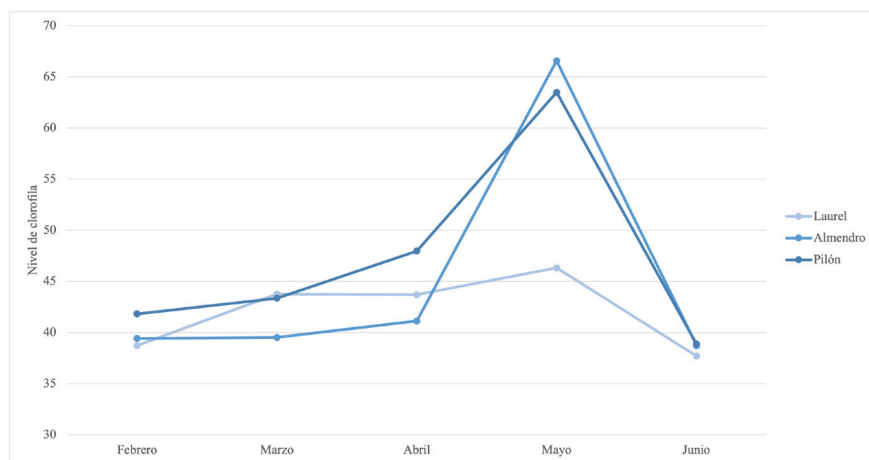


Figura 4. Variación de los niveles de clorofila a lo largo del período de mediciones de un arreglo agroforestal de *M. textilis* establecido en Sarapiquí, Costa Rica.

Conclusiones

El abacá muestra una respuesta inicial muy positiva en el crecimiento inicial del parametro altura cuando se somete a la interacción con árboles maderables. El tratamiento que presentó un mayor estímulo en el crecimiento vertical del abacá corresponde a la especie *H. alchorroides* y la especie maderable con mejor desarrollo en altura fue *D. panamensis*. Las características propias de cada especie y su capacidad de adaptabilidad fueron determinantes en las tendencias de comportamiento para las interacciones de cada tratamiento. Existen diferencias significativas en el crecimiento en altura y en los niveles de nitrógeno obtenidos entre las plantas de abacá testigo y las plantas de abacá en asocio con árboles maderables, en donde las plantas en asocio presentan un mayor desarrollo.

Es importante destacar, que el presente estudio es una primera aproximación a una investigación más detallada de las interacciones generadas en un arreglo agroforestal de *M. textilis* en asocio con especies maderables. Se espera continuar con las mediciones hasta la segunda cosecha de la fibra, para expandir el estudio hacia la calidad de la fibra; y además poder percibir cambios significativos en la dinámica del comportamiento de los componentes, ya que el crecimiento de los árboles sobrepasará al de las plantas de abacá, y generará un efecto de sombra total o parcial que se manifestará en fluctuaciones en las funciones de capacidad fotosintética, transpiración, asimilación entre otros. Asimismo, se presenta la posibilidad de

incursionar más puntualmente en aspectos que incidan indirectamente en la interacción árbol-planta, como lo son la interacción radicular, el manejo silvicultural, el reciclaje de nutrientes y los aspectos ecofisiológicos.

Agradecimientos

Se agradece a la colaboración financiera de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del Instituto 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 del cultivo de abacá, caracterización y usos alternativos de las fibras, protocolo de cultivo *in vitro* y capacitación a productores. Se agradece también a la Dirección de Posgrado del TEC por la beca otorgada a la primera autora.

Referencias

- [1] S. Paulus, H. Schumann, H. Kuhlmann y J. Léon, «High-precision laser scanning system for capturing 3D plant architecture and analysing growth of cereal plants,» *Biosystems Engineering*, vol. 121, p. 1–11, 2014.
- [2] J. C. Valverde, D. Arias-Aguilar, E. Montero-Zeledón y D. Gutierrez-Fallas, «Fluorescencia, reflectancia y respuesta fisiológica al estrés hídrico en plántulas de *Gmelina arborea* Roxb.,» *Uniciencia*, vol. 35, n° 1, pp. 320-334, 2021.
- [3] D. L. Moreno Echeverry, D. C. Useche Rodríguez y H. E. Balaguera López, «Respuesta fisiológica de especies arbóreas al anegamiento. Nuevo conocimiento sobre especies de interés en el arbolado urbano de Bogotá,» *Colombia forestal*, vol. 22, n° 1, p. 51–67, 2018.
- [4] J. C. Valverde y D. Arias, «Efectos del estrés hídrico en crecimiento y desarrollo fisiológico de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp,» *Colombia Forestal*, vol. 23, n° 1, p. 20–34, 2020.
- [5] L. Varone, M. Ribas-Carbo, C. Cardona, ... y J. Flexas, «Stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis in seedlings and saplings of Mediterranean species pre-conditioned and aged in nurseries: Different response to water,» *Environmental and Experimental Botany*, vol. 75, p. 235–247, 2012.
- [6] L. P. Moreno, «Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión,» *Agronomía Colombiana*, vol. 27, n° 2, pp. 179-191, 2009.
- [7] M. C. Díaz-Barradas, J. B. Gallego-Fernández y M. Zunzunegui, «Plant response to water stress of native and non-native *Oenothera drummondii* populations,» *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 154, p. 219–228, 2020.
- [8] T. Dueck, W. V. Ieperen y K. Taulavuori, «Light perception, signalling and plant responses to spectral quality and photoperiod in natural and horticultural environments,» *Environmental and Experimental Botany*, vol. 121, pp. 1-150, 2016.
- [9] M. B. 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,» *International Journal of AgriScience*, vol. 3, n° 2, pp. 157-175, 2013.
- [10] R. Cerda, C. Allinne, C. Gary, ... y J. Avelino, «Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems,» *European Journal of Agronomy*, vol. 82, pp. 308-319, 2017.
- [11] F. Charbonnier, O. Rouspard, G. Le Maire, ... y A. Clément-Vidal, «Increased light-use efficiency sustains net primary productivity of shaded coffee plants in agroforestry system,» *Plant, Cell y Environment*, vol. 40, n° 8, pp. 1592-1608, 2017.
- [12] J. V. Lazo y J. Ascencio, «Efecto de diferentes calidades de luz sobre el crecimiento de *Cyperus rotundus*,» *Bioagro*, vol. 22, n° 2, pp. 153-158, 2010.
- [13] F. Casierra-Posada, J. E. Peña-Olmos y C. Ulrichs, «Basic growth analysis in strawberry plants (*Fragaria* sp.) exposed to different radiation environments,» *Agronomía Colombiana*, vol. 30, n° 1, pp. 25-33, 2012.
- [14] J. C. Valverde, D. Méndez y D. Arias, «Efectos del defoliador *Atta cephalotes* Linnaeus. en el crecimiento y el desarrollo fisiológico e hidráulico de árboles juveniles de *Gmelina arborea* Roxb. en condiciones contro-

- ladas.,» *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 44, n° 170, pp. 214-226, 2020.
- [15] M. M. Bande, V. B. Asio, J. Sauerborn y V. Römheld, «Growth Performance of Abaca (Née) *Musa textilis* Integrated in Multi-strata Agroecosystems,» *Annals of Tropical Research*, vol. 38, n° 1, pp. 19-35, 2016.
- [16] 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.
- [17] R. A. Palma, L. E. Tiongco, O. P. Canencia, y J. Y. Dagonio, «Gall rust disease incidence of Falcata (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) in Falcata – based agroforestry systems in Misamis Oriental,» *IOP Conf-Series: Earth and Environmental Science*, vol. 449, n° 1, p. 012035, 2020.
- [18] M. Nebangka, B. R. Sumayku y J. Pongoh, «Potensi Pengembangan Pisang Abacá (*Musa textilis* Née) di Pulau Karakelang,» *COCOS*, vol. 1, n° 1, 2020.
- [19] L. Moreno, «Economic feasibility of intercropping selected abaca variety with annual crops in flat open lands,» *Philippine Journal of Crop Science*, vol. 19, n° 1, p. 12, 1994.
- [20] R. B. Armezin, M. H. P. Seco, P. S. Caintic y E. J. M. Milleza, «Effect of leguminous cover crops on the growth and yield of abaca (*Musa textilis* Nee),» *Industrial Crops and Products*, vol. 21, n° 3, pp. 317-323, 2005.
- [21] L. R. Holdridge, «Life zone ecology,» IICA, Tropical Science Center, San José de Costa Rica, 1978.
- [22] 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/>.
- [23] E. Ortiz y C. Soto, *Atlas Digital de Costa Rica 2014*, Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica., 2014.
- [24] Statsoft, *Statistica (9.0)*, Londres, Inglaterra: Statsoft, 2015.
- [25] M. Bande, *Ecophysiological and Agronomic Response of Abaca (Musa textilis) to Different Resource Conditions in Leyte Island, Philippines [Tesis de doctorado no publicada]*., Stuttgart, Alemania: Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics University of Hohenheim., 2012.
- [26] A. Delgado, M. Montero, O. Murillo y M. Castillo, «Crecimiento de especies forestales nativas en la zona norte de Costa Rica,» *Agronomía Costarricense*, vol. 27, n° 1, pp. 63-78, 2003.
- [27] CATIE, «Laurel (*Cordia alliodora*). Banco de Semillas Forestales,» CATIE, s.f.. [En línea]. Available: <http://bsf.catie.ac.cr/listing/laurel-cordia-alliodora-1965619175.html>. [Último acceso: 12 julio 2021].
- [28] B. Dunn, H. Singh y C. Goad, «Relationship between chlorophyll meter readings and nitrogen in poinsettia leaves,» *Journal of Plant Nutrition*, vol. 41, n° 12, pp. 1566-1576, 2018.