

Estimación de la diferenciación meristemática en banano (*Musa* AAA) a partir del cálculo del área foliar

Ana María Martínez Acosta^{1*}; Daniel Gerardo Cayón Salinas², Enrique Darghan Contreras³

¹Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín; ²Universidad Nacional de Colombia, Palmira; ³Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

***Autor de**

Correspondencia:

Ana María Martínez Acosta
ammartinez@elpoli.edu.co

Contribución:

Científica

Sección:

Fisiología y Bioquímica

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Martínez AAM, Cayón SDG y Darghan CE. 2024. Estimación de la diferenciación meristemática en banano (*Musa* AAA) a partir del cálculo del área foliar. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 17
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2417>

RESUMEN

La diferenciación meristemática es crucial en la formación de los componentes del rendimiento en banano, una fase en el desarrollo poco evidente. Se propuso generar un indicador basado en el área de la sección transversal del seudotallo para estimar el área foliar y asociarlo con la etapa fenológica. A través de este enfoque, se construyó un modelo que sigue el desarrollo del área foliar y vincula la emisión de la hoja número 12 con la diferenciación del meristemo en el banano. Este método ofrece una aproximación valiosa para determinar la fase fenológica (vegetativa o reproductiva) en la planta, lo que puede ser fundamental en la optimización del manejo del cultivo.

Palabras clave: alometría, seudotallo, etapas fenológicas, método no destructivo, Fisiología.

ABSTRACT

In meristematic differentiation, the components of banana yield are formed; however, it is a phase in the development of the plant, which, given its characteristics, is not evident. The objective was to generate an approximate indicator to determine the phenological stage (vegetative or reproductive) present. For this purpose, by evaluating morphological characters, a model was constructed to indirectly calculate leaf area by measuring the cross-sectional area of the pseudostem at 50 cm. It was established that the emission of leaf number 12 is an approximate indicator of meristem differentiation. These results provide tools for monitoring during crop growth.

Keywords: allometry, pseudostem, phenological stages, non-destructive methods, Physiology.



INTRODUCCIÓN

La productividad en cultivo del banano se relaciona directamente con el desarrollo de la planta, que se ve afectada por diversos factores que intervienen en su crecimiento. Principalmente sobre la diferenciación meristemática, fase crítica en la formación de las características del racimo, donde se originan los componentes del rendimiento (Sánchez y Mira, 2013; Robinson y Galán Saúco, 2010; Turner et al., 2007). No obstante, la evaluación del rendimiento se ha limitado a la medición del peso del racimo o el número de cajas exportadas, lo que no proporciona una visión integral del estado de la plantación. Hasta ahora no hay un variable que permita monitorear el estado del cultivo y asociarlo con su estado productivo. Considerando lo anterior, se definió como objetivo de esta investigación generar un indicador, aproximado, para determinar la etapa fenológica (vegetativa o reproductiva) presente en la planta.

Para alcanzar el objetivo, se consideró el área foliar lo largo del ciclo de cultivo como un posible indicador, sin embargo, el su monitoreo se dificulta por las características estructurales de la planta. Partiendo de parámetros morfométricos, se construyó un modelo para el cálculo de la variable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La investigación se llevó a cabo en la finca de producción de banano de exportación, “Campo Experimental y Demostrativo Ramiro Jaramillo Ossa” que hace parte del Centro de Investigaciones del Banano-CENIBANANO y a la Asociación de Bananeros de Colombia- AUGURA. Se encuentra ubicada en el municipio de Carepa, departamento de Antioquia (Colombia) (7°46'22" N; 76°40'00" W, 40 m.s.n.m). La selección de plantas, el registro de datos, la toma de muestras, su procesamiento, y el análisis de la información se llevó a cabo entre las semanas 25 a 50 de 2018.

Cálculo área foliar (AF). Se escogieron 34 plantas de banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cv. Williams) entre F10 y floración. En cada planta se cortaron todas las hojas y se numeraron según su posición. De cada hoja se midió el largo desde la base hasta el ápice y el ancho en su parte media (Figura 1).

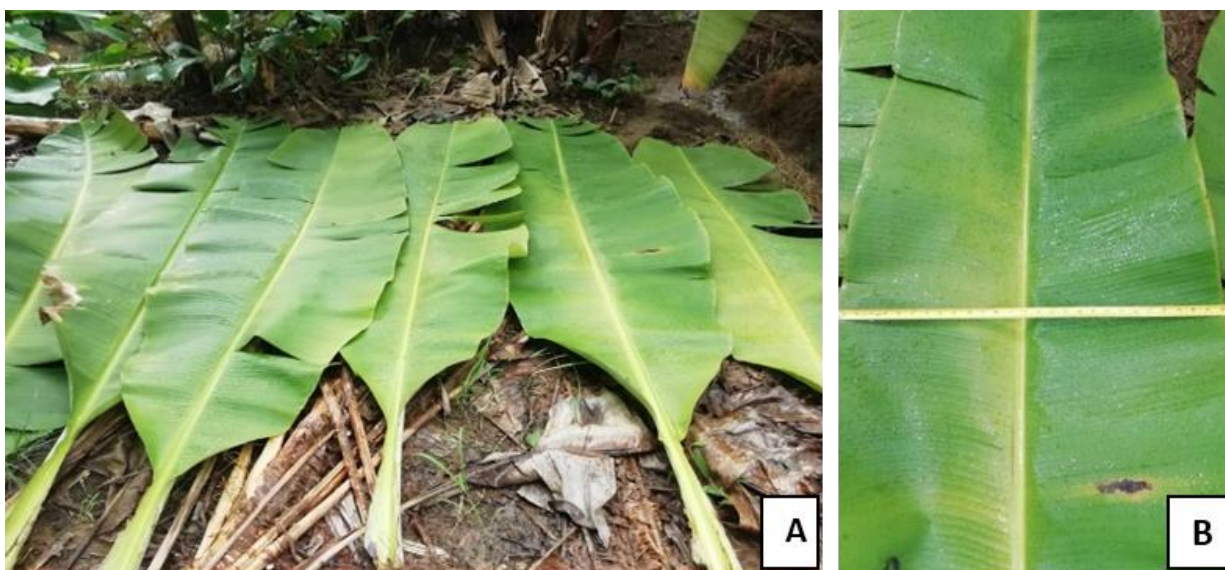


Figura 1. A) Corte y numeración de su posición en todas las hojas presentes, B) medición de la hoja en la parte más ancha, en las plantas objeto de estudio.

El AF total presente se calculó siguiendo los modelos de: a) Belalcázar (1991); b) Kumar *et al.* (2002); c) cálculo de la masa seca de la hoja AF(DM), definido este último a partir de una muestra de la lámina foliar de 10 cm² o 5 cm², que, junto con el resto de la hoja, se llevó hasta peso constante; el AF total se calculó utilizando la relación entre el área y la masa seca de la muestra foliar, y la masa seca de toda la hoja.

Área de la Sección Transversal del Seudotallo (ASTS). En cada planta, se midió el perímetro delseudotallo cada 10 cm desde la base (cero relativo - suponiendo una forma cilíndrica con base circular) hasta la altura máxima (AM) identificado por el último par de hojas funcionales, también se hizo medición a $\frac{1}{3}$ y a $\frac{1}{2}$ de la AM (Figura 2).

Con estas mediciones, se calculó el área de la sección transversal delseudotallo (ASTS) (Ecuación 1), donde P_i representa el i -ésimo perímetro (cm) delseudotallo correspondiente a la i -ésima altura. A partir de los datos recogidos, se construyó una matriz de datos de dimensión 34 x 15, para un total de 510 registros.

$$ASTS_i = \frac{P_i^2}{4\pi}; i = \{10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, \frac{1}{3} AM, \frac{1}{2} AM, AM\} \quad (1)$$

También se hizo una categorización empírica de la fase fenológica de la planta, vegetativa o reproductiva, a partir del número de hojas emitidas y las variaciones

morfológicas identificables en la base de la lámina foliar (Borja *et al.*, 2018), ésta se usó como clasificación de referencia.



Figura 2. A) Medición de altura máxima del seudotallo, B) medición del perímetro del seudotallo a distintas alturas, en las plantas objeto de estudio.

Análisis estadístico. A partir de componentes principales se obtuvo un modelo no lineal de estimación indirecta del AF con la medida del ASTS a 50 cm. Luego se aplicó el análisis discriminante lineal de Fisher, relacionando el número de hojas emitidas y AF estimada, para obtener el punto de corte como centroide de los componentes extraídos relacionados con la etapa fenológica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo para cálculo del área foliar. Los valores calculados de Área Foliar difirieron significativamente entre los distintos métodos empleados entre el período desde F10 hasta la etapa de floración. Con el método propuesto por Kumar *et al.* (2002), el AF varió entre 0,07 m² y 14,37 m², mientras que utilizando el modelo de Belalcázar (1991), los valores fluctuaron entre 0,17 m² y 17,22 m². En contraste, el cálculo del AF basado en AF(DM) arrojó valores superiores en comparación con los métodos previamente

mencionados, oscilando entre 0,21 m² y 22,88 m². A pesar de las discrepancias en las mediciones del AF con cada modelo, se observó un patrón de desarrollo similar durante las distintas etapas fenológicas. Se identificó un menor AF en las plantas durante la etapa F10, posiblemente asociado a la fase juvenil de desarrollo. Luego, se registró un incremento exponencial durante la fase vegetativa, culminando con la diferenciación floral del meristemo apical, seguido de un aumento lineal del AF durante la etapa reproductiva, es decir entre la diferenciación y la floración. Estos hallazgos reflejan claramente la dinámica de desarrollo descrita por Lassoudiere (2007), Martínez y Cayón (2012), y Dépigny et al. (2015).

Con el análisis de los componentes principales estandarizados entre las medidas de ASTS y AF calculada por los tres modelos, se obtuvo un único componente extraído que explicaba más del 96% de la variabilidad de los datos, correlacionándolos con las diferentes medidas de AF y la sucesión de ASTS. Con base en el biplot generado y, por tanto, en la correlación entre el primer componente y las variables originales, se seleccionaron los coeficientes más altos asociados al ASTS y al modelo para el cálculo del área foliar.

El modelo AF(DM) asociado a la medida del ASTS a 50 cm (A50) fueron identificados como mejores predictores. A pesar de que AF(DM) reveló la mejor correlación en el cálculo del área foliar, su naturaleza destructiva implica una demanda considerable de tiempo, esfuerzo y recursos. Por lo tanto, se vuelve más conveniente optar por métodos de medición indirecta del área foliar, ya que estos pueden aproximarse al valor calculado originalmente sin riesgo de lesiones al sistema foliar. En la Figura 3 se presenta el modelado no lineal, donde se evidencia que la medida del ASTS a 50 cm, es un predictor adecuado para estimar el AF.

De acuerdo con los resultados, fue posible evidenciar que, desde el punto estadístico, existe una estrecha relación alométrica entre el ASTS y el AF, cabe destacar que estas relaciones son condicionales y están restringidas al contexto bajo el cual que se desarrollan. Aunque matemática o estadísticamente las relaciones parezcan ideales, no necesariamente podrían estar relacionadas con la realidad (Briggs, 2016). Los resultados obtenidos por Chang *et al.* (2018) validan los hallazgos en esta investigación, ya que también encontraron que la medida del diámetro del seudotallo es un predictor adecuado de otras variables de la planta, especialmente del AF. Así, la expresión final del proceso de modelización no lineal se presenta en la Ecuación 2.

$$AF = (-1.73785 + 0.29079 * \sqrt{ASTS\ 50})^2 \quad (2)$$

Donde AF corresponde a la medida calculada del área foliar, que permite estimar el desarrollo de la planta a partir de las hojas emergidas, y A50 es la medida del ASTS a 50 cm.

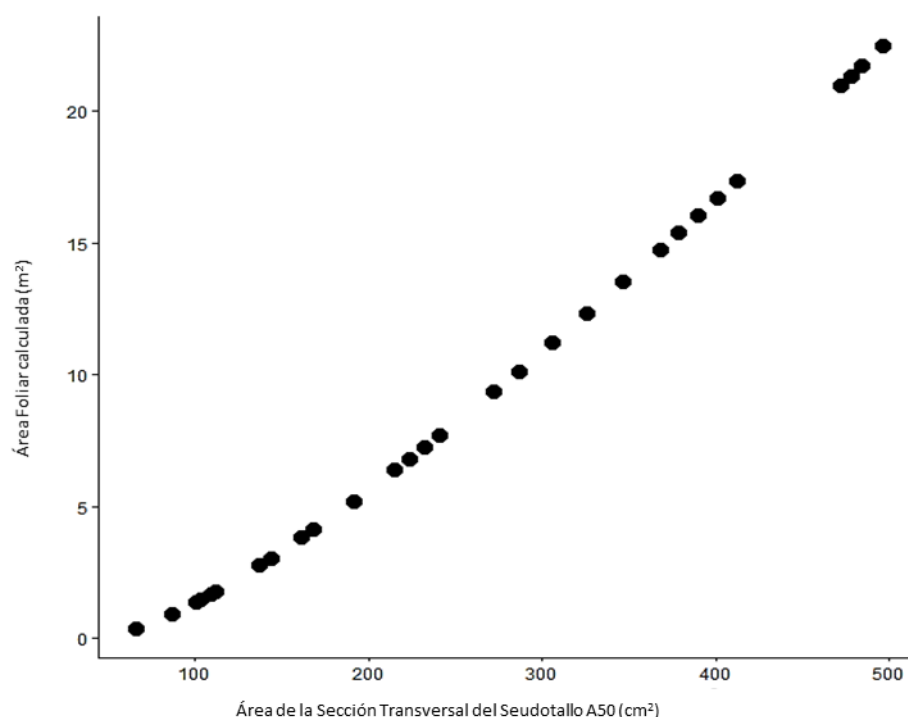


Figura 3. Modelo no lineal entre el área foliar en plantas de banano cv. Williams y el área de la sección transversal delseudotallo (ASTS) medida a 50 cm (A50) desde la base delseudotallo.

Los modelos propuestos por Belalcázar (1991), Kumar *et al.* (2002) o Dépigny *et al.* (2015) son funcionales, aunque su viabilidad puede verse limitada por la recolección de datos en el campo, especialmente en plantaciones de gran altura, donde la medición precisa de la(s) hoja(s) 1 y/o 3, representa un desafío. El empleo del modelo a partir de la medida del ASTS (Ecuación 2), podría resolver estas dificultades en el campo, evitando cualquier lesión en las hojas existentes.

Estimación de la diferenciación meristemática. Mediante un análisis más detallado de los datos que correlacionó la emergencia de hojas y el AF, se logró identificar el momento aproximado en el cual el meristemo apical transita de su condición vegetativa a reproductiva. La Figura 4 exhibe el diagrama de dispersión del AF calculado mediante el modelo no lineal (Ecuación 2) con relación al número de hojas emitidas,

dividiendo los datos según la clasificación inicial basada en la diferenciación del meristemo apical. Este gráfico ilustra la factibilidad de separar los puntos mediante un método que permita discriminar las variables.

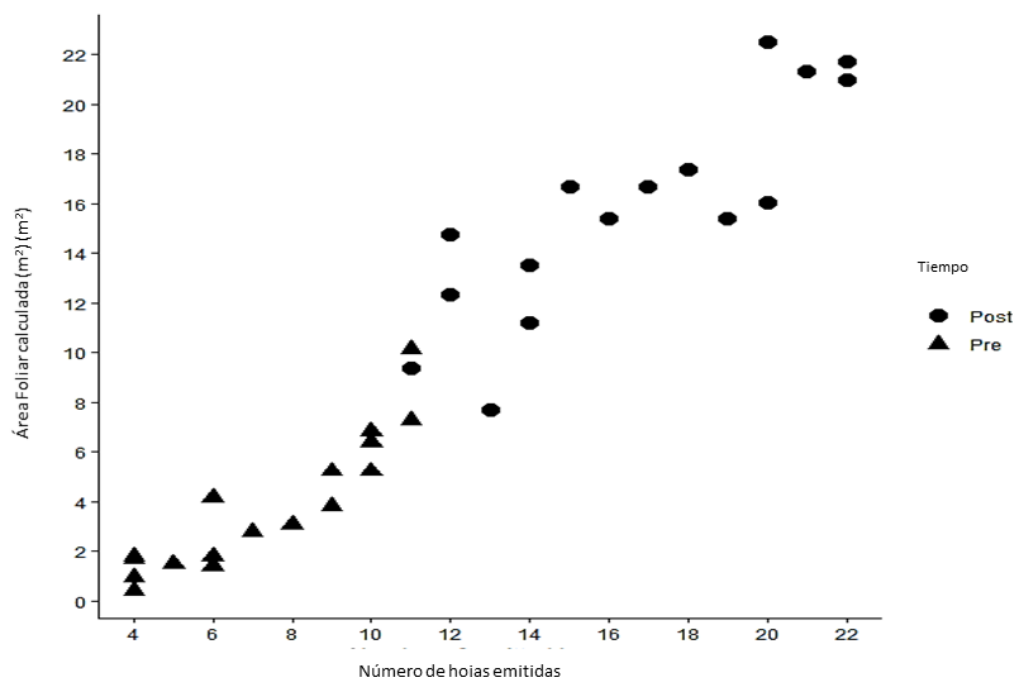


Figura 4. Análisis discriminante de Fisher utilizando la variable categórica asociada a la fase fenológica como clasificador. "Pre" corresponde antes de la diferenciación y "Post" después de la diferenciación.

Siguiendo con este análisis, se puede observar en la Figura 5 el progreso del algoritmo que ilustra la secuencia de la emergencia de hojas se puede evidenciar que en la hoja número 12 se genera un porcentaje de clasificación correcta del 97,1%. Por tanto, se puede considerar que en la emisión de la hoja 12, aproximadamente, se presenta la diferenciación del meristemo y se da la formación de la inflorescencia - racimo.

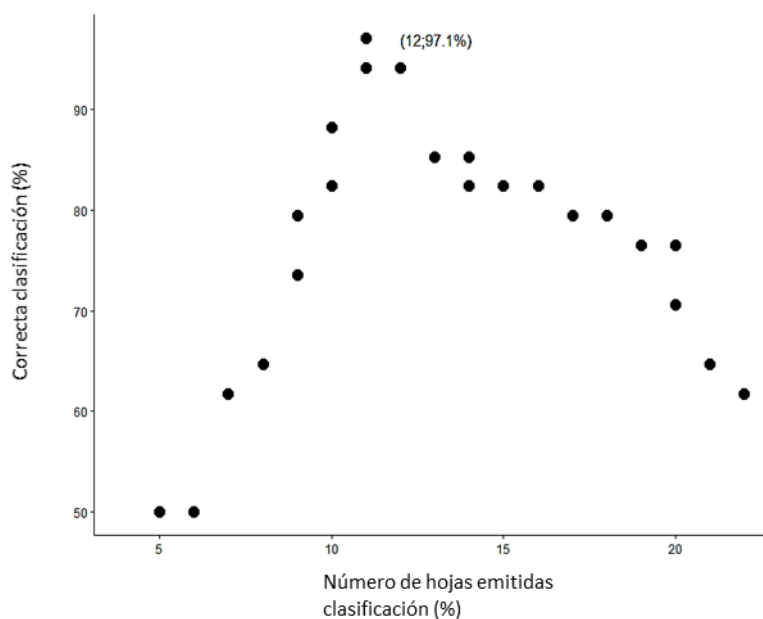


Figura 5. Progreso de la correcta clasificación (97.1%), utilizando el punto de corte obtenido como separador entre la fase vegetativa y reproductiva, en la emisión de la hoja # 12.

CONCLUSIONES

Dados los resultados obtenidos en esta investigación, es posible calcular el Área Foliar en banano cv. Williams, partir de mediciones del área transversal del seudotallo utilizando un enfoque alométrico. Así mismo, contar con la disponibilidad de una herramienta para estimar el desarrollo de la planta de banano, basada en el cálculo del AF antes de la emisión de la inflorescencia y durante el ciclo del cultivo, se podría constituir como un bioindicador relacionado con parámetros de producción y para la estimación del rendimiento.

Llevar registros cronológicos de la aparición de la hoja 12 puede utilizarse como referencia para obtener una medida, en tiempo, del desarrollo fenológico de la planta según las condiciones del entorno. Esta información, podría ser útil en diversas investigaciones, y en la implementación de prácticas de manejo como traslados de cosecha o estrategias de nutrición adaptadas a diferentes etapas fenológicas.

Estos resultados pueden ser de utilidad para investigadores de distintas áreas y para técnicos vinculados al sector bananero, como herramientas que faciliten la

implementación de enfoques diferenciales de producción, y como apoyo en la toma de decisiones de manejo agronómico.

Aunque el modelo demostró ser confiable para estimar el AF en banano cv. Williams, requiere ser validado en otros cultivares Cavendish. Es importante realizar más estudios en Musáceas para generen ecuaciones alométricas, donde se relacionen otros parámetros de desarrollo de la planta con medidas no destructivas, y que sean fácilmente obtenibles.

REFERENCIAS

1. Belalcázar S. 1991. El cultivo del plátano (*Musa* AAB Simmonds) en el trópico. Cali, ICA – CIID – CDCQ – INIBAP. Manual de Asistencia Técnica No. 50. Colombia. 358 p.
2. Borja Agamez W, Osorio JD, Herrera N, Sánchez JD. 2018. Fundaments en fenología de banano Cavendish (*Musa* AAA) en cultivo establecido. Boletín Técnico.
3. Briggs W. 2016. Uncertainty. The soul of modeling, probability & statistics. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-39756-6>
4. Chang S, Wu Z, Sun W, Qiao L, Zeng Q, Zhang J, Shu H. 2018. A method to predict banana pseudostem's strength at seedling stage. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 9(9): 391–396.
5. Dépigny S, Achard R, Lescot T, Djomessi MT, Tchotang F, Ngando DE, Poix C. 2015. In vivo assessment of the active foliar area of banana plants (*Musa* spp.) using the OTO model. *Scientia Horticulturae*, 181: 129–136.
6. Robinson JC, Galán Saúco V. 2010. Banana and Plantains. *Crop Production Science in Horticulture Series*; 19. Mundiprensa 2nd edition. 311 p.
7. Kumar N, Krishnamoorthy V, Nalina L, Soorianathasundharam K. 2002. Nuevo factor para estimar el área foliar total en banano. *Infomusa*, 11(2): 42–43.
8. Lassoudiere A. 2007. Le bananier et sa culture. Quae, Collection Savoir-faire. 383 p.
9. Martínez AM, Cayón DG. 2011. Dinámica del crecimiento y desarrollo del banano (*Musa* AAA Simmonds cvs. Gran Enano y Valery). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(2): 6055–6064.
10. Sánchez JD, Mira J. 2013. Principios para la nutrición del cultivo de banano. Asociación de Bananeros de Colombia. Medellín. 236 p