

Actividad fotoquímica y rendimiento del plátano (*Musa AAB*) en función de niveles de hidrogel y materiales de siembra

Galo Cedeño García^{1-2*}, Ramón Jaimez Arrellano³, Daniel Cayón Salinas⁴, Agustín Merino García⁵

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Carrera de Ingeniería Agrícola, Calceta, Ecuador.

²Programa de Doctorado en Agricultura y Medio Ambiente Para el Desarrollo, Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, España.

³Departamento de Ciencias Agronómicas, Universidad Técnica de Manabí, Lodana, Manabí, Ecuador.

⁴Departamento de Ciencias Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

⁵Universidad de Santiago de Compostela, Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ciencias del suelo y Química Agrícola, Lugo, España.

*Autor de

Correspondencia:

Galo Cedeño García
gcedeno@espam.edu.ec

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Riego y Drenaje

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Cedeño GG, Jaimez AR,
Cayón SD y Merino GA.
2024. Actividad
fotoquímica y rendimiento
del plátano (*Musa AAB*) en
función de niveles de
hidrogel y materiales de
siembra. *Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
72
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2472](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2472)

RESUMEN

Se evaluaron tratamientos factoriales de cuatro niveles de hidrogel (25, 50, 75 y 100 g planta⁻¹) y dos materiales de siembra (cormos y plántulas de vivero), con dos tratamientos control con cormos y plántulas con riego. Con el uso de hidrogel, la humedad del suelo se mantuvo en rangos de capacidad de campo hasta 60 días. La actividad fotoquímica del PSII (Φ_{PSII} , F_v/F_m y ETR) se mantuvieron en niveles adecuados para garantizar una buena actividad fotosintética y no provocar fotoinhibición, aunque con riego la actividad fotoquímica fue mayor. El rendimiento del plátano en secano fue potenciado por el hidrogel, y por tanto se puede sembrar de manera anticipada a la temporada lluviosa.

Palabras clave: *Musa AAB*, Hidrogel, Tipo de semilla, Actividad fotoquímica, Productividad, agua.

ABSTRACT

Factorial treatments of four levels of hydrogel (25, 50, 75 and 100 g plant⁻¹) and two planting materials (corms and nursery seedlings) were evaluated, with two control treatments with corms and seedlings with irrigation. With the use of hydrogel, soil moisture was maintained within field capacity ranges for up to 60 days. The photochemical activity of PSII (Φ_{PSII} , F_v/F_m and ETR) were maintained at adequate levels to guarantee good photosynthetic activity and not cause photoinhibition, although with irrigation the photochemical activity was higher. The yield of the banana in dry land was enhanced by the hydrogel, and therefore it can be planted in advance of the rainy season.

Keywords: *Musa AAB*, Hydrogel, Seed type, photochemical activity, Productivity, water.



INTRODUCCIÓN

Manabí es la provincia con mayor superficie de plátano en Ecuador, donde más del 90% de la agricultura es de secano (INEC, 2022). En este escenario, la productividad del plátano se ve seriamente afectada por estrés hídrico, provocado por una extensa temporada seca que comienza en mayo y se prolonga hasta finales de diciembre. Por el contrario, la temporada lluviosa es corta y se extiende desde enero a abril, periodo en el cual se concentran el 83% de las precipitaciones anuales (Pérez et al., 2018). Esta situación, obliga a que los agricultores siembren plátano con el inicio de las lluvias (enero), provocando que el cultivo solo tenga humedad disponible en el suelo hasta mayo, por lo que, a partir de junio con el inicio de la época seca, las plantas ralentizan su crecimiento y la cosecha se produce a finales de diciembre, coincidiendo con la bajada de los precios en el mercado.

De acuerdo a trabajos previos, el plátano requiere en promedio 150 mm mensuales de precipitación para satisfacer sus necesidades hídricas, y en épocas donde la precipitación o la cantidad de agua almacenada en el suelo sean inferiores a 5 mm día⁻¹, es necesario aplicar riego complementario (Cayón, 2004). En este contexto, las precipitaciones y la humedad remanente del suelo, no serían suficientes para satisfacer las necesidades hídricas totales del cultivo de plátano en gran parte de Manabí, y al no haber infraestructura de riego suficiente, el potencial productivo disminuye significativamente por el déficit hídrico, que de acuerdo a estudios previos, afecta la tasa fotosintética debido principalmente al cierre estomático (Cayón, 2004; Santos et al., 2018).

Por lo anterior, es importante buscar alternativas tecnológicas, que contribuyan a retener mayor humedad en el suelo, mantener la actividad fotosintética y potenciar la productividad del plátano en secano. Una alternativa es el uso de hidrogeles, que son polímeros superabsorbentes con matrices tridimensionales, constituidas por polímeros hidrófilos lineales o ramificados, capaces de hidratarse y retener gran cantidad de agua dentro de su matriz, que una vez mezclados con el suelo, facilitan el crecimiento de las plantas al brindar un ambiente rico en agua y nutrientes, que serán liberados lentamente para un aprovechamiento más prolongado y eficiente, al reducirse también la pérdida de agua del suelo por evaporación (Rizwan et al., 2021). El uso de hidrogeles se ha entendido a varios cultivos hortícolas y frutales en ambientes áridos y semiáridos, pero en plátano no existen experiencias previas de su efectividad sobre la actividad fotoquímica y su productividad, razón por la cual el objetivo de la investigación fue evaluar la actividad fotoquímica y rendimiento del plátano en función de niveles de hidrogel y materiales de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló desde septiembre de 2022 a octubre de 2023, en el valle del río Carrizal en Calceta, Manabí, Ecuador. Se evaluaron tratamientos factoriales de cuatro niveles de hidrogel (25, 50, 75 y 100 g planta⁻¹) y dos materiales de siembra (cormos de entre 2 a 3 kg y plántulas de vivero con ocho semanas de edad), más dos tratamientos testigos conformados por cormos y plántulas con riego. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial A x B + 2, con 10 tratamientos, tres repeticiones y 30 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó de parcelas de 36 plantas con distanciamiento de 2,5 x 2,5 m entre plantas e hileras. La siembra se realizó en hoyos de 0,40 x 0,40 m de diámetro y profundidad. Cada dosis de hidrogel fue mezclada homogéneamente con el sustrato sacado del hoyo y 50 g de un fertilizante compuesto, para seguidamente realizar la siembra de plántulas y cormos. En cada unidad experimental se seleccionaron dos plantas, a las cuales se les colocó sensores de humedad modelo 200SS5 entre 0.20 y 0.40 m de profundidad, con la finalidad de monitorear la humedad del suelo retenida por los diferentes tratamientos de hidrogel.

También en las dos plantas seleccionadas del centro de la parcela, se registró la actividad fotoquímica del fotosistema II, como rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}), eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) y tasa de transporte electrónico (ETR). Estas mediciones se realizaron con el Fluorómetro - OS1p, en la mañana (08:30–10:30 horas), medio día (11:00–13:00 horas) y tarde (15:00–17:00 horas) en el tercio medio de una hoja sana y completamente expandida, siguiendo la metodología descrita por Senevirathna et al. (2008). La medición de la F_v/F_m se obtuvo de hojas aclimatadas a oscuridad por 30 minutos, para lo cual se utilizaron clips de adaptación a oscuridad. Las evaluaciones de actividad fotoquímica se realizaron cada 30 días, a partir del 30 de septiembre hasta el 30 de diciembre de 2022, cuando culminó la temporada seca. Luego en enero de 2023 con la llegada de las lluvias, se realizó la fertilización y se dejó llegar las plantas a cosecha, con la finalidad de evaluar el rendimiento del cultivo. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de humedad del suelo entre 0,20 y 0,40 m de profundidad registrados con sensores, mostraron que todos los niveles de hidrogel logran mantener la humedad del suelo dentro de los rangos de capacidad de campo (0 a 180 centibares). Las

plántulas de vivero resultaron ser más sensibles a la pérdida de humedad, dado que a partir de los 30 días después de la siembra (semana 4), comenzaron a manifestar amarillamiento en hojas bajas e inicio de marchitez, a pesar de que aun la humedad se mantenía en rangos de capacidad de campo (entre 60 a 100 centibares), por lo que fue necesario volver a regar. Por el contrario, las plantas procedentes de cormos, lograron soportar hasta 60 días después de la siembra sin riego (semana 8), tiempo en el cual también manifestaron amarillamiento de hojas bajas e indicios de marchitez, por lo que hubo que suplementar riego para rehidratar el hidrogel.

Lo anterior puede deberse a que las plántulas de vivero no cuentan con un cormo desarrollado que aporte reservas de agua y nutrientes, además de que ya vienen con un sistema foliar y radicular desarrollado, que lógicamente presentará una mayor tasa de consumo de agua vía absorción y transpiración. Por el contrario, una planta originada por cormo cuenta con reservas de agua y nutrientes, que puede sustentar el crecimiento inicial de la planta sin mayor consumo de agua.

La actividad fotoquímica del PSII (Φ_{PSII} , F_v/F_m y ETR) no fue influenciada significativamente ($p>0,05$) por la interacción dosis de hidrogel x materiales de siembra, pero si por los factores principales dosis de hidrogel y materiales de siembra evaluados ($p<0,05$). En todos los casos el tratamiento con riego logró mejores respuestas fisiológicas con relación a los tratamientos con hidrogel (Figura 1). Para el caso del rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}) en función de las dosis de hidrogel, los valores promedios oscilaron entre 0,62 a 0,73 en horas de la mañana, al medio día se presentó una caída de entre 0,45 a 0,56 y con una recuperación hacia la tarde de entre 0,65 a 0,75, donde los valores más bajos corresponden a los tratamientos de hidrogel y los más altos al tratamiento con riego (Figura 1A). Comportamiento similar se presentó entre materiales de siembra, donde los tratamientos con riego lograron mayores promedios de Φ_{PSII} a lo largo del día, mientras que para los tratamientos de hidrogel se evidenció diferencias entre los materiales de siembra, con mejor respuesta por parte de las plantas originadas por cormos (Figura 1B).

Los resultados de Φ_{PSII} obtenidos, fluctúan dentro de los rangos considerados normales por Dongsansuk y Neuner (2013) para *Musa sp.*, a rangos de temperaturas de la hoja entre 22,5 a 37,5. La caída del Φ_{PSII} al medio día, que fue más notoria en los tratamientos con hidrogel, puede explicarse por la mayor temperatura y cierre estomático que sucede normalmente en esos horarios por el desequilibrio entre absorción y transpiración de agua, lo cual disminuye el rendimiento cuántico de asimilación del CO_2 , que es proporcional al Φ_{PSII} en condiciones no foto-respiratorias (Genty et al., 1989).

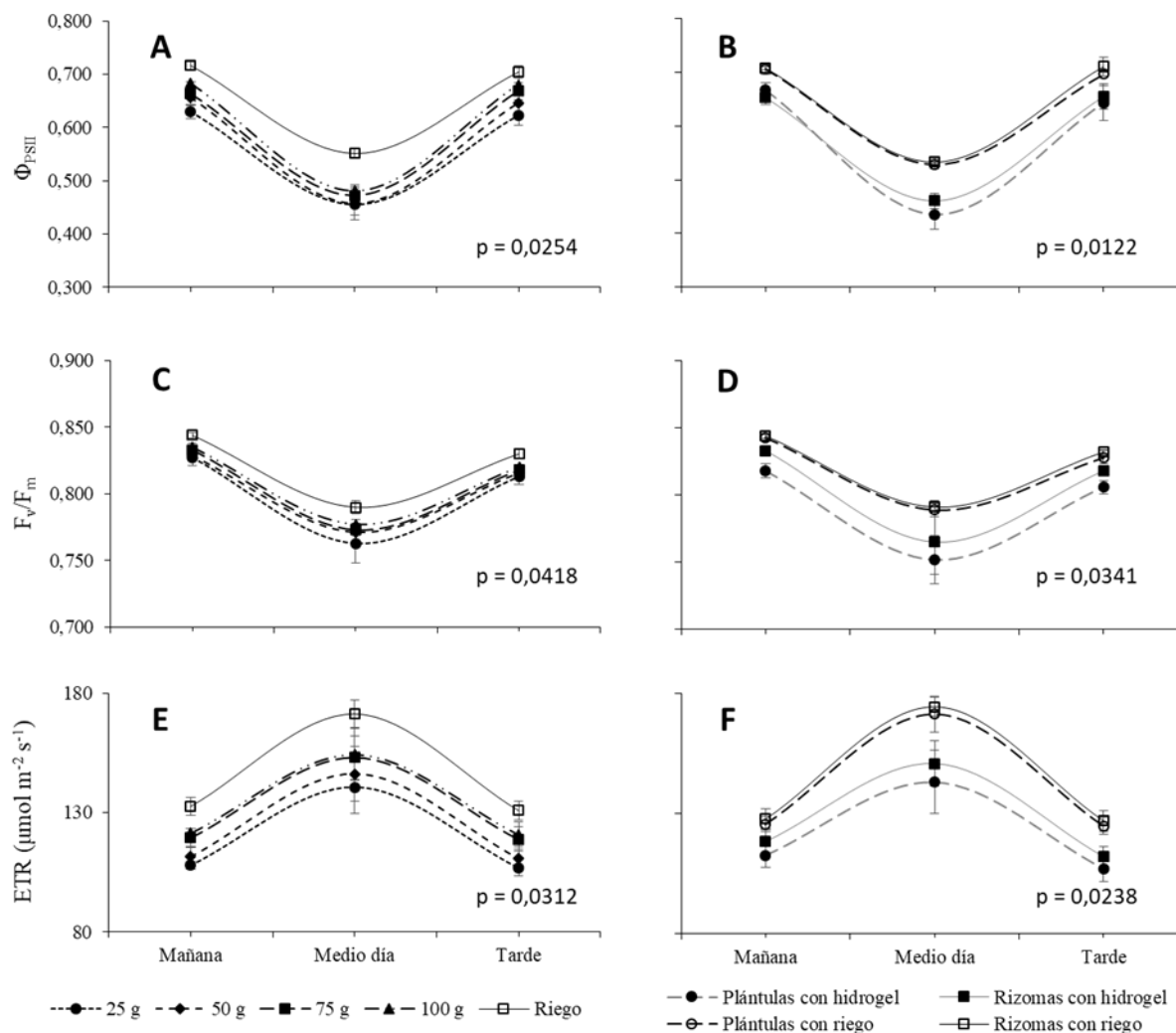


Figura 1. Rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}), eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) y tasa de transporte electrónico (ETR), en función de dosis de hidrogel (A) y materiales de siembra (B).

La eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) mostró un comportamiento similar al descrito para el rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}) a lo largo del día, con promedios mayores para el tratamiento con riego y menores para los de hidrogel. En todo caso los promedios de la mañana se mantuvieron cercanos a 0,80 para tratamientos de hidrogel y superior para el riego, al medio día se dio una caída de hasta 0,75 y una recuperación hacia la tarde con promedios cercanos a 0,80 para los tratamientos de hidrogel y superiores a 0,80 para tratamientos de riego (Figuras 1C y 1D). Estos resultados indican que el hidrogel es capaz de mantener valores de F_v/F_m en rangos suficientemente elevados como para no caer en estado de fotoinhibición y pérdida de función del

aparato fotosintético. Los valores de F_v/F_m alcanzados se encuentran dentro de los rangos descritos por Ramos et al. (2019), quienes reportaron valores de F_v/F_m mayores a 0,80 cuando se riega al 65 y 100% de la capacidad de campo, pero disminuyen a medida que las plantas crecen y el suelo pierde humedad.

La tasa transporte electrónico (ETR) fue mayor en los tratamientos de riego, con relación a los tratamientos de hidrogel, independientemente de las dosis y los materiales de siembra. La ETR fue menor en todos los tratamientos en horas de la mañana y la tarde, pero se incrementó al medio día, lo cual se relaciona con la variación en la intensidad de la radiación a lo largo del día (Figuras 1E y 1F). Sin embargo, en los tratamientos de hidrogel los valores de ETR se mantienen en niveles cercanos a los reportados por Siles et al. (2013) para banano en condiciones de campo, que van desde 95 con baja radiación a 163 en condiciones de alta radiación, por lo que se concluye que el hidrogel proporciona la suficiente humedad como para no provocar un estrés intenso y permitir la regeneración de la RuBP.

Los tratamientos evaluados influyeron de manera significativa el rendimiento del plátano ($p < 0,05$), donde los tratamientos de riego superaron estadísticamente a los tratamientos de hidrogel, independientemente de las dosis y los materiales de siembra. En promedio los tratamientos de riego superaron al promedio de rendimiento de los tratamientos con hidrogel en un 13,17%, independientemente de los materiales de siembra (Cuadro 1). No hubo diferencias estadísticas entre dosis de hidrogel ni entre materiales de siembra bajo el efecto del hidrogel, lo cual indica que el plátano a pesar de no haber tenido el 100% de la capacidad de campo en el suelo, desde septiembre a diciembre de 2022, fue capaz de recuperar su potencial productivo, durante la época lluviosa de 2023, lo cual evidencia una amplia plasticidad fisiológica del cultivo de plátano. En este contexto, se ha reportado que el plátano al ser portador del genoma "B" procedente de *Musa balbisiana*, muestra cierta superioridad sobre aquellos cultivares que solo presentan el genoma "A" de *Musa acuminata*, con una mayor expresión de genes relacionados con la tolerancia a sequía, mayor contenido relativo de agua, longitud de raíces primarias y peso del racimo, así como mejores tasas de supervivencia y fotosíntesis (Santos et al., 2018).

CONCLUSIONES

Se concluye, que el uso de hidrogel permite sembrar plátano con dos meses de anticipación a la época de lluvias, siempre y cuando se utilice cormos o rizomas como material de siembra, mientras que si se utiliza plantas propagadas en vivero, se puede

anticipar la siembra hasta 30 días antes de las lluvias. El uso de 25 g planta⁻¹ de hidrogel, puede ser suficiente bajo las condiciones donde se desarrolló el experimento, para mantener la humedad del suelo en rangos de capacidad de campo, y hacer posible la siembra anticipada de plátano, sin que se vea mayormente afectada la actividad fotoquímica y el rendimiento del cultivo.

Cuadro 1. Peso neto de racimo y rendimiento en función de dosis de hidrogel y notariales de siembra.

Tratamientos	Peso neto de racimo (kg)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Dosis de hidrogel		
25 g planta ⁻¹	11,72 a ^{1/}	18,75 a
50 g planta ⁻¹	11,88 a	19,00 a
75 g planta ⁻¹	12,10 a	19,37 a
100 g planta ⁻¹	12,10 a	19,36 a
Riego	13,76 b	22,02 b
Materiales de siembra		
Plántula con hidrogel	11,73 a	18,77 a
Rizoma con hidrogel	12,17 a	19,47 a
Plántula con riego	13,30 b	21,28 b
Rizoma con riego	14,22 b	22,75 b

^{1/} Separación de medias según la prueba de Tukey al 95% de probabilidad

REFERENCIAS

1. Cayón, D. 2004. Ecofisiología y productividad del plátano (Musa AAB Simmonds). En: XVI REUNIÓN INTERNACIONAL ACORBAT 2004. Oaxaca, México.
2. Genty, B, Briantais, J. & Baker, N. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Bioch and Bioph Acta. 990: 87-92.
3. Dongsansuk, A., & Neuner, G. 2013. Temperature optimum, stress temperature range and thermal limits of quantum yield of PSII in tropical versus temperate plants. Trends in photochemistry & photobiology, 15, 77-87.
4. INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). (2022). Módulo de Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria. Boletín técnico MOD_AMB_ESPAC_2022_04. Quito, Ecuador. 11 p.
5. Senevirathna, A., Stirling, C., Rodrigo, V. 2008. Acclimation of photosynthesis and growth of banana (musa sp.) to natural shade in the humid tropics. Expl Agric. 44: 301-312. <https://doi.org/10.1017/S0014479708006364>.
6. Siles, P., Bustamante, O., Valdivia, E., Burkhardt, J. and Staver, C. (2013). Photosynthetic performance of banana ('gros michel', aaa) under a natural shade gradient. Acta Hort. 986, 71-77. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.986.5>

7. Santos, A., Amorim, A., Ferreira, C., & Pirovani, C. 2018. Water stress in *Musa* spp.: A systematic review. PLoS ONE 13(12): e0208052. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208052>.
8. Pérez, R., Hinostroza, M., & Manzaba, J. 2018. The Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador: Climatological Study. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 27(1): 5-12.
9. Ramos, L., Meneses, P., Reis, F., da Silva, B., & Reis, I. 2019. Ecophysiology of banana seedlings grown in different water regimes. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(2): 440-447.
10. Rizwan, M.; Gilani, S.; Durani, A.; Naseem, S. 2021. Materials diversity of hydrogel: Synthesis, polymerization process and soil conditioning properties in agricultural field. *Journal of Advanced Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.03.007>