

01

Influencia del Pectimorf® y el sustrato en la respuesta morfofisiológica de *Morus alba* en aclimatización

Influence of Pectimorf® and substrate on the morphophysiological response of *Morus alba* in acclimatization

Ricardo Gómez Machado¹

E-mail: rgomez@udg.co.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0241-4632>

Jorge Liusvert Pérez Pérez^{1*}

E-mail: jperez@udg.co.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3372-7559>

Ángel Luis Espinosa Reyes¹

E-mail: aespinosar@udg.co.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9918-641X>

¹Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Bayamo, Granma, Cuba.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Gómez Machado, R., Pérez Pérez, J. L., Espinosa Reyes, A.L. (2024). Influencia del Pectimorf® y el sustrato en la respuesta morfofisiológica de *Morus alba* en aclimatización. *Revista Científica Agroecosistemas*, 12(3), 6-12. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

RESUMEN

La morera es una planta multipropósito utilizada en la biorremediación de suelos contaminados, la alimentación animal, y como principal alimento del gusano de la seda. Se propaga básicamente a partir de estacas pero algunas variedades tienen baja tasa de enraizamiento. Una alternativa es mediante las técnicas de cultivo in vitro, pero su éxito depende de la supervivencia de las plantas en condiciones ex vitro. La investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia del Pectimorf® y el sustrato en la aclimatización de plantas in vitro de morera variedad Acorazonada. En condiciones in vitro se evaluaron diferentes concentraciones de Pectimorf® (0; 5,0; 10,0 y 15,0 mg l⁻¹) en el medio de cultivo de enraizamiento; en condiciones ex vitro se utilizaron diferentes mezclas de sustratos que contenían abonos orgánicos (humus de lombriz, estiércoles vacuno y ovino) combinados con zeolita y el control suelo Pardo Sialítico Carbonatado. En la respuesta morfológica de las plantas se determinó la supervivencia y altura de las plantas, número, ancho y largo de las hojas; así como, las variables fisiológicas concentración interna del CO₂, conductancia estomática, tasa de transpiración, tasa fotosintética y eficiencia cuántica potencial del fotosistema II. Con el empleo del Pectimorf® en el medio de cultivo de enraizamiento se obtuvo un 90 % de supervivencia en la aclimatización de las plantas in vitro de morera. Tanto el efecto residual del Pectimorf®, como los abonos orgánicos con zeolita favorecen la tasa de transpiración, tasa fotosintética, conductancia estomática y concentración interna de CO₂ en morera variedad Acorazonada.

Palabras clave:

Bioproducto, Biofertilizante, Conductancia estomática, Fotosíntesis, Morera, Transpiración.

ABSTRACT

The mulberry is a multipurpose plant used in the bioremediation of contaminated soils, animal feed, and as the main food for the silkworm. It is basically propagated from cuttings but some varieties have a low rooting rate. An alternative is through in vitro culture techniques, but their success depends on the survival of the plants in ex vitro conditions. The objective of the research was to evaluate the influence of Pectimorf® and the substrate on the acclimatization of in vitro mulberry plants of the Acorazonada variety. Under in vitro conditions, different concentrations of Pectimorf® (0, 5.0, 10.0 and 15.0 mg l⁻¹) were evaluated in the rooting culture medium; In ex vitro conditions, different mixtures of substrates containing organic fertilizers (worm humus, cattle and sheep manure) combined with zeolite and the control Carbonated Sialitic Brown soil were used. In the morphological response of the plants, the survival and height of the plants, number, width and length of the leaves are counted; as well as the physiological variables internal CO₂ concentration, stomatal conductance, transpiration rate, photosynthetic rate and potential quantum efficiency of photosystem II. With the use of Pectimorf® in the rooting culture medium, 90 % survival was obtained in the acclimatization of the in vitro mulberry plants. Both the residual effect of Pectimorf® and organic fertilizers with zeolite favor the transpiration rate, photosynthetic rate, stomatal conductance and internal CO₂ concentration in Acorazonada variety mulberry.

Keywords:

Bioproduct, Biofertilizers, Stomal conductance, Photosynthesis, Mulberry, Transpiration.



Introducción

La morera (*Morus alba* L.) es una especie forrajera con potencial para la agroforestería, que presenta un alto contenido proteico en sus hojas. Se ha fomentado en Cuba, con el programa nacional de plantas proteicas para la alimentación animal y el desarrollo de la sericultura, coordinado por la ECTI “Sierra Maestra”. Esta planta constituye el alimento principal del gusano de seda (*Bombyx mori*) para el desarrollo de la sericultura en más de 60 países (Prieto *et al.*, 2016).

Por tanto, su uso contribuye a reducir la importación de alimentos concentrados y es una fuente alternativa para alimentar principalmente especies menores lo que favorece el desarrollo local. Además contiene diferentes compuestos bioactivos con beneficios farmacológicos para la salud como antioxidantes, antidiabetes y antiinflamatorio (Hao *et al.*, 2022).

A nivel internacional existen diversos estudios que emplean herramientas biotecnológicas para la mejora genética de esta especie, lo que ha motivado el desarrollo de protocolos de regeneración *in vitro* de plantas vía organogénesis en *Morus alba* (Rezaei y Rahmati, 2020). Sin embargo, muchos de estos protocolos son eficientes en algunos genotipos (Vijaya *et al.*, 2016), en otros hay baja supervivencia de las plantas en condiciones *ex vitro* (Vijayan *et al.*, 2014).

Los estudios relacionados con la aclimatización de plantas de morera, provenientes de cultivo de tejidos son escasos; y resulta de interés evaluar diferentes tipos de sustratos y bioproductos como el Pectimorf®, reconocido por su efecto estimulador del crecimiento en numerosos cultivos (Lara *et al.*, 2018; Casanovas y Silveira, 2024), del cual no existen antecedentes en la aclimatización de plantas de morera. En tal sentido, la investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia del Pectimorf® y el sustrato en la aclimatización de plantas *in vitro* de morera variedad Acorazonada.

Materiales y métodos

Se emplearon plantas de *Morus alba* variedad Acorazonada, procedentes de la fase de enraizamiento *in vitro*. En esta fase permanecieron 45 días en un medio de cultivo con las sales MS (Murashige y Skoog, 1962), tiamina 1,0 mg l⁻¹, mioinositol 100 mg l⁻¹, sacarosa 20 g l⁻¹, agar 6,0 g l⁻¹ pero con diferentes concentraciones de Pectimorf® (0; 5; 10 y 15 mg l⁻¹), en todos los casos a pH 5,7.

Al finalizar el período de enraizamiento *in vitro*, las plantas fueron retiradas cuidadosamente de los frascos de cultivo; las raíces lavadas con agua corriente para eliminar los restos de medio de cultivo y colocadas en bandejas de plástico con una película de agua durante ocho horas para evitar la deshidratación. Luego las plantas, fueron colocadas en bandejas de polietileno de 70 alveolos con una capacidad de 120 cm³ de sustrato por alveolo que contenía suelo Pardo Sialítico Carbonatado (Hernández *et al.*, 2015), para su aclimatización en casa de cultivo.

Posteriormente, se seleccionó 20 plantas procedentes de cada tratamiento previo con Pectimorf®, para determinar la supervivencia (%) a los 5, 15 y 30 días de cultivo en fase de aclimatización. Mientras que las variables altura de las plantas, número de hojas, ancho y largo de la hoja (cm), se evaluó a los 15 y 30 días de cultivo.

Para evaluar las respuestas fisiológicas de las plántulas de morera, se seleccionaron cinco plantas procedentes de cada tratamiento con Pectimorf® a partir de las cuales se tomaron hojas totalmente expandidas que ocupaban la misma posición (hoja dos) en las plantas.

De igual forma se procedió con plantas procedentes del cultivo *in vitro* que no fueron tratadas con Pectimorf®. La primera medición de la respuesta fisiológica, coincidió con los 30 días de cultivo de las plantas en la fase de aclimatización. Las mediciones se realizaron cada diez días, en plantas expuestas a la luz solar directa, en el horario de 9:00 a 11:00 a.m., con una temperatura de la hoja que oscilaba entre 30,0-37,0 °C.

Se empleó el analizador de respiración modelo ADC BioScientific LCS, para determinar la tasa fotosintética “A” ($\mu\text{mol.CO}_2\text{.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$), transpiración “E” ($\text{mmol.H}_2\text{O.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$), conductancia estomática “gs” ($\text{mmol.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$) y concentración interna de CO₂ en la hoja “Ci” ($\mu\text{mol.CO}_2\text{.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$). Para la eficiencia cuántica del fotosistema II, se empleó un fluorómetro modelo Hansatech Instruments RS232, que mide la fluorescencia directa, inducida por excitación continua (Fig. 1).

Fig. 1. Plantas procedentes del cultivo *in vitro* de *Morus alba* variedad Acorazonada a los 60 días de aclimatización. Leyenda: A- Análisis de respiración (tasa fotosintética “A”, transpiración “E” y conductancia estomática), B- Registro de la fluorescencia directa con empleo de un Fluorómetro.



Fuente: Elaboración propia

Para determinar la cinética de emisión de fluorescencia directa, la hoja previamente se adaptó a la oscuridad por 10-30 minutos, luego se expuso a luz de 650 nm con una intensidad luminosa de 3 000 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$ durante 10 segundos. Se midieron los valores de la fluorescencia emitida únicamente por la clorofila del PSII, desde los 10 μs hasta los segundos programados.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado. Las plantas *in vitro* no tratadas con Pectimorf®, se colocaron en diferentes tipos de sustratos: (T1) control, suelo Pardo Sialítico Carbonatado; (T2) humus de lombriz

(85 %) + zeolita (15 %); (T3) estiércol vacuno (85 %) + zeolita (15 %); (T4) estiércol ovino (85 %) + zeolita (15 %).

A los datos correspondientes a las variables morfológicas y fisiológicas, se les comprobó los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks y la homogeneidad de varianzas según la prueba de Levene. A los datos que cumplieron con estos supuestos, se les aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p<0,05$). En los casos que no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y la comparación de medias según la prueba de Conover (1999).

En la variable supervivencia (%) se realizó un análisis de comparación de proporciones según el modelo Few Test ($p < 0,05$) contenido en el sistema CompaProp. El procesamiento estadístico de los datos se realizó con ayuda de los paquetes estadísticos InfoStat versión 2017 y Minitab versión 13.

Resultados y discusión

Después de una semana de cultivo las plantas comenzaron a crecer y manifestar las características de la variedad como el color verde oscuro y hojas de forma acorazonada, lo cual coincide con lo descrito previamente por Gómez & Pérez (2020) en un estudio sobre aclimatización de morera en diferentes sustratos.

Según el análisis de comparación de proporciones de la supervivencia, en los primeros cinco días hubo valores mínimos de pérdidas inferiores al 15 % en los tratamientos que contenían Pectimorf® en los cuales no sobrepasó el 10 % de mortalidad, sin diferencias estadísticas significativas. A partir de los quince días de cultivo, los resultados estuvieron entre 85 a 90 %, valores que se mantuvieron constantes hasta la última evaluación realizada a los 30 días de cultivo, en todos los casos superiores al tratamiento control (Tabla 1).

Tabla 1. Influencia del Pectimorf® en la supervivencia de las plantas in vitro de morera variedad Acorazonada durante la fase de aclimatización.

Pectimorf® (mg l ⁻¹)	Supervivencia (%)		
	5 días	15 días	30 días
Control	100	85 b	85 b
5,0	100	90 a	90 a
10,0	100	90 a	90 a
15,0	100	90 a	90 a

Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente según la comparación de proporciones mediante el método de Few Test ($p < 0,05$). Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en el tratamiento control difieren de los descritos por otros autores en esta variedad. Según Gómez & Pérez (2020), refirieron un 85 % de supervivencia a los cinco días, valor que decreció hasta un 50 % después de 15 días de cultivo en igual sustrato pero sin aplicación del bioproducto. Por tanto, el efecto

acumulativo del Pectimorf®, aplicado in vitro pudiera haber influido en una respuesta más favorable para la aclimatización de las plantas.

Este efecto positivo del Pectimorf® también ha sido descrito en otros cultivos, como indican las investigaciones realizadas por Posada et al. (2016), durante el enraizamiento y aclimatización in de brotes de papaya (Carica papaya) cv. Maradol Roja. Estos autores observaron el mayor porcentaje de supervivencia 76,2 % con el empleo de 12,0 mg l⁻¹ de Pectimorf® y siete días en condiciones de aclimatización ex vitro.

En las variables altura de la planta y número de hojas, las plantas tratadas con Pectimorf® también mostraron diferencias significativas ($p<0,05$) con respecto al control (Tabla 2). Los mayores resultados se obtuvieron en el tratamiento dos, aunque sin diferencias significativas con los tratamientos tres y cuatro donde se emplearon mayores concentraciones de Pectimorf®.

Tabla 2. Efecto del Pectimorf® en la altura de las plantas in vitro y el número de hojas durante la aclimatización de morera variedad Acorazonada.

Pectimorf® (mg l ⁻¹)	Altura de la planta (cm)		Número de hojas (U)	
	15 días	30 días	15 días	30 días
Control	3,17b	5,19b	3,44b	4,56b
5,0	3,61ab	6,27a	4,11a	5,33ab
10,0	4,39a	6,62a	4,44a	5,61a
15,0	4,21ab	6,15a	4,65a	5,59a
ES±	0,08*	0,09*	0,07*	0,09*

Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente según la prueba de Tukey $p<0,05$. Fuente: Elaboración propia

En el caso de los tratamientos tres y cuatro en la altura de la planta a los 15 días y número de hojas en el tratamiento dos a los 30 días no tuvieron diferencias significativas ($p<0,05$) respecto al control. Referente a la altura de las plantas, los valores en el control son comparables con los expresados por Gómez & Pérez (2020) para este genotipo, aunque estos valores fueron inferiores a los obtenidos con el bioproducto.

Esto demuestra el efecto estimulador del Pectimorf®, respuesta que también describieron los autores antes citados pero con un sustrato que contenía humus de lombriz y zeolita, lo que permitió alcanzar alrededor de 5,0-6,0 cm de altura a los 15 días y 30 días respectivamente, atribuido a que se favoreció la absorción de nutrientes y agua por la planta. Se ha documentado que el Pectimorf®, tiene un efecto hormonal que estimula el desarrollo de las raíces e incrementa la disponibilidad y absorción de nutrientes en dependencia de su concentración (Reyes et al., 2023).

En este sentido, se obtuvieron mayores resultados por la adición de Pectimorf® en el medio de cultivo MS sobre la altura de la planta y el número de hojas en la fase de aclimatización, donde se observó un incremento significativo

de estas variables y una disminución del estrés abiótico con la adición de Pectimorf® en el medio de cultivo de enraizamiento.

Por otro lado, aunque el número de hojas fueron menores en el tratamiento control, estos valores son superiores a las 2,0-3,0 hojas por plantas informados por Gómez & Pérez (2020), incluso respecto a los tratamientos con el uso de humus de lombriz y zeolita donde tuvieron como valores máximos de alrededor de cuatro hojas por plantas, mientras que con Pectimorf® superaron las seis hojas como promedio por planta.

En todas estas variables se observó una influencia del Pectimorf® lo que refleja la potente acción de esta sustancia en el posterior desarrollo vegetativo de las plántulas durante la aclimatación y adaptación a las condiciones naturales *ex vitro*. Los análisis estadísticos realizados respecto a las variables ancho y largo de las hojas, arrojó diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) entre los tratamientos que contenían Pectimorf®, los cuales fueron significativamente superiores al tratamiento control (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto del Pectimorf® en el ancho y largo de la hoja de las plantas *in vitro* de morera variedad Acorazonada en la fase de aclimatación

Pectimorf® (mg l ⁻¹)	Ancho de la hoja (cm)		Largo de la hoja (cm)	
	15 días	30 días	15 días	30 días
Control	9,96b	12,15b	11,26b	14,04b
5,0	14,01a	16,96a	17,26a	19,92a
10,0	14,11a	15,62a	17,60a	19,61a
15,0	15,85a	16,39a	18,09a	18,91a
ES±	0,35*	0,30*	0,45*	0,38*

Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente según la prueba de Tukey $p<0,05$. Fuente: Elaboración propia

Los mayores resultados se obtuvieron con 5,0 mg l⁻¹ de Pectimorf®, sin diferencias significativa ($p<0,05$) con 10,0 mg l⁻¹ y 15,0 mg l⁻¹. Esto está relacionado que este bioproducto tiene la capacidad de inducir y desarrollar el enraizamiento e incrementar el desarrollo y vigor de las plantas *in vitro* y *ex vitro* de los diferentes cultivos (Lara *et al.*, 2018).

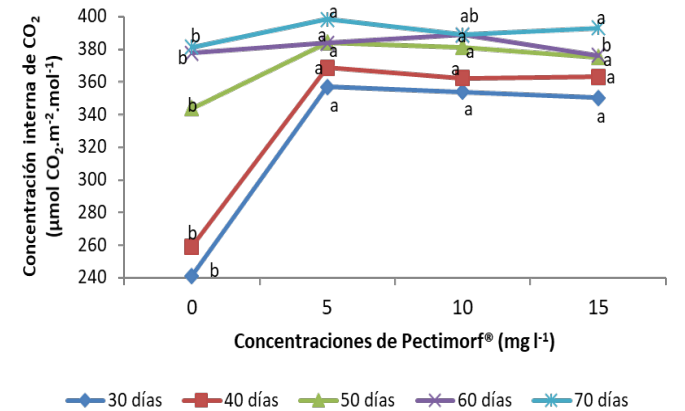
Estos resultados en el tratamiento control son superiores a los descritos por Gómez & Pérez (2020); por el contrario, los alcanzados en los diferentes tratamientos con el oligogalacturónido, son similares a los observados por estos autores al emplear como sustrato humus de lombriz y zeolita, con 14 cm de ancho y 18 cm de largo a los 30 días de cultivo.

Según Falcón *et al.* (2015), este efecto puede estar dado principalmente al balance hormonal del explante y la composición de los reguladores del crecimiento empleados en el medio de cultivo. También se ha señalado que el Pectimorf® ejerce una acción similar al de las auxinas,

lo que demuestra la sinergia del bioproducto con el ácido indolbutírico (Lara *et al.*, 2018).

Por otro lado, las diferentes concentraciones de Pectimorf® pudieron haber influido en la concentración interna de CO² en las hojas (Fig. 2) durante la fase de aclimatación con diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) en la primera evaluación respecto al control.

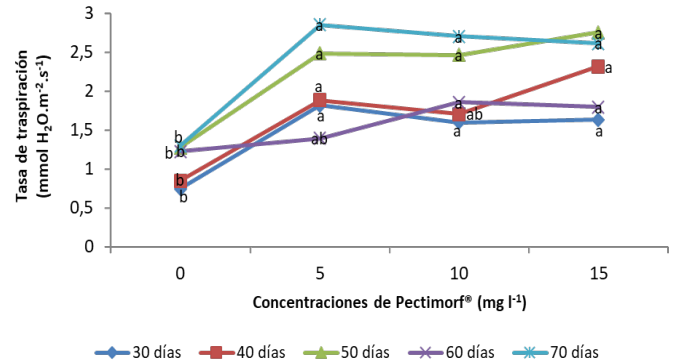
Fig. 2. Efecto de diferentes concentraciones de Pectimorf® en la concentración interna del CO₂ en plantas de morera variedad Acorazonada



Letras diferentes en un mismo periodo de tiempo difieren significativamente según la prueba de Conover (1999) $p<0,05$. Fuente: Elaboración propia

En las primeras dos evaluaciones la concentración interna de CO₂ fue mayor en los tratamientos con el bioproducto y después de 50 días fueron similares en todos los tratamientos incluido el control. Según Pospisilova *et al.* (1999), las concentraciones elevadas de CO₂ pueden actuar como antitranspirantes al disminuir la conductancia estomática y mejoran el estado hídrico de la planta después del trasplante. Una respuesta similar ocurrió en la variable tasa de transpiración de las plantas *in vitro* de morera (Fig. 3).

Fig. 3. Efecto de diferentes concentraciones de Pectimorf® en la tasa de transpiración en plantas de morera variedad Acorazonada.



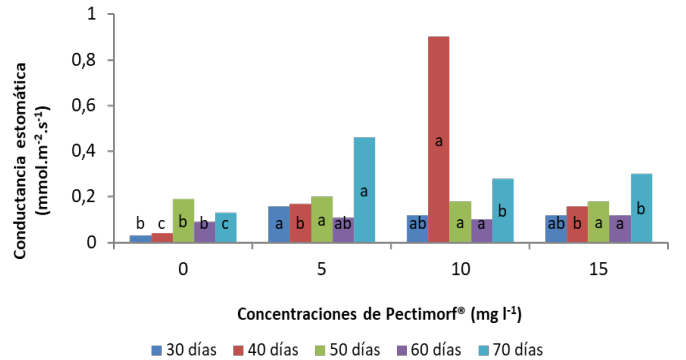
Letras diferentes en un mismo periodo de tiempo difieren significativamente según la prueba de Conover (1999) $p<0,05$.

Fuente: Elaboración propia

En ambos casos es posible que en los tratamientos con Pectimorf®, las plantas hayan logrado un mejor desarrollo anatómico y fisiológico, que le permitió una mejor adaptación a las condiciones de estrés durante los primeros días de la aclimatación.

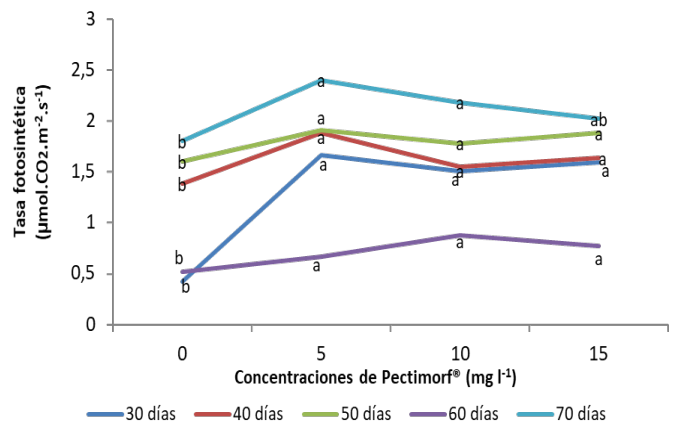
Los resultados de la influencia de diferentes concentraciones de Pectimorf® en la conductancia estomática (Fig. 4) y tasa fotosintética (Fig. 5) de las plantas de morera en aclimatación, tuvieron diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) entre los tratamientos.

Fig. 4. Efecto de diferentes concentraciones de Pectimorf® en la conductancia estomática en plantas de morera variedad Acorazonada.



Letras diferentes en un mismo periodo de tiempo difieren significativamente según la prueba de Conover (1999) $p<0,05$. **Fuente:** Elaboración propia

Fig.5. Efecto de diferentes concentraciones de Pectimorf® en la tasa fotosintética en plantas de morera variedad Acorazonada.



Letras diferentes en un mismo periodo de tiempo difieren significativamente según la prueba de Conover (1999) $p<0,05$. **Fuente:** Elaboración propia

La conductancia estomática permite determinar el grado de apertura estomático en las hojas, su capacidad de regular la pérdida de vapor de agua y el ingreso de CO₂. Algunos autores plantean que una posible vía por la cual los oligogalacturónidos incrementan el crecimiento de las plantas, es porque estas moléculas estimulan la actividad

fotosintética; lo que provoca una mayor ganancia de esqueletos carbonados que pueden ser utilizados para la síntesis de nuevas proteínas (El-Sharkawy, 2006).

Al evaluar la eficiencia cuántica del fotosistema II, en plantas *in vitro* de morera tratadas con Pectimorf®, no se observaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre los tratamientos evaluados (Tabla 4).

Tabla 4. Eficiencia cuántica potencial del fotosistema II en plantas de morera tratadas con diferentes concentraciones del Pectimorf®

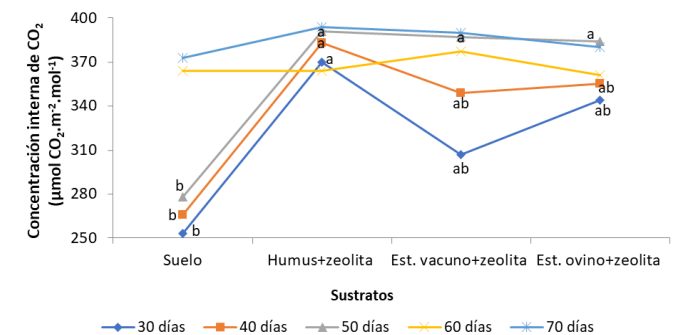
Pectimorf® (mg l ⁻¹)	Eficiencia cuántica potencial del fotosistema II (Fv/Fm)				
	30	40	50	60	70 días
0,0	0,81	0,78	0,80	0,79	0,79
5,0	0,81	0,77	0,80	0,79	0,78
10,0	0,81	0,78	0,80	0,80	0,79
15,0	0,80	0,80	0,80	0,78	0,77
ES±	0,004 ns	0,005 ns	0,004 ns	0,004 ns	0,004 ns

Sin diferencias significativas en una misma columna según la prueba de Tukey $p<0,05$. **Fuente:** Elaboración propia

Según los valores obtenidos, todos los tratamientos arrojaron una eficiencia fotosintética alta (0,77-0,79) hasta la quinta evaluación en condiciones *ex vitro* (Tabla 4), esto puede atribuirse a que las plantas presentaron un estado fisiológico y de sanidad bueno.

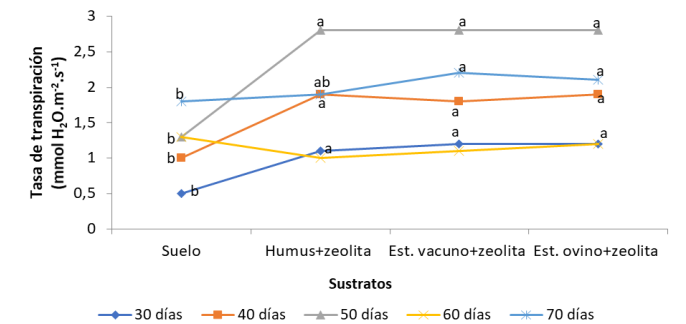
Por el contrario en el grupo plantas no tratadas con Pectimorf® y que se colocaron en diferentes tipos de sustrato, se apreció que en la concentración interna de CO₂ no hubo diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) entre tipos de materias orgánicas pero estas sí difirieron del control durante los primeros 50 días de cultivo (Fig. 6), a diferencia de la tasa de transpiración que difirió prácticamente durante todo el periodo de cultivo (Fig. 7).

Fig. 6. Efecto de diferentes sustratos en la concentración interna del CO₂ durante la aclimatación de plantas *in vitro* de morera variedad Acorazonada.



Letras diferentes en un mismo periodo de tiempo difieren significativamente según la prueba de Conover (1999) $p<0,05$. **Fuente:** Elaboración propia

Fig. 7. Efecto de diferentes sustratos en la tasa de transpiración durante la aclimatización de plantas *in vitro* de morera variedad Acorazonada.



Letras diferentes en un mismo periodo de tiempo difieren significativamente según la prueba de Conover (1999) $p<0,05$. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Efecto de diferentes sustratos en la conductancia estomática y tasa fotosintética durante la aclimatización de plantas *in vitro* de morera variedad Acorazonada

Sustratos	Conductancia estomática (mmol. m ² .s ⁻¹)					Tasa fotosintética (μmol.CO2.m ² .s ⁻¹)				
	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70 días
Suelo	0,05b	0,08b	0,14b	0,16	0,19b	0,6b	0,6b	0,8b	0,8	0,7b
Humus de lombriz+zeolita	0,14a	0,20a	0,34a	0,15	0,52a	1,5a	2,2a	2,4a	0,6	2,5a
Estiércol vacuno+zeolita	0,12a	0,19a	0,32a	0,13	0,48a	1,3a	1,7a	1,8a	0,5	2,3a
Estiércol ovino+zeolita	0,13a	0,19a	0,30a	0,15	0,40a	1,5a	1,8a	1,9a	0,9	1,5a
ES±	0,01*	0,01*	0,01*	0,004*	0,02*	0,07*	0,10*	0,10*	0,04ns	0,12*

Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente según la prueba de Tukey $p<0,05$. Fuente: Elaboración propia

Este resultado evidencia que el uso de abonos orgánicos y la presencia de zeolita permiten mantener alto contenido de nutrientes y mantener la humedad del sustrato lo que favorece el desarrollo de cambios morfológicos y estructurales en las hojas; no así en el tratamiento control donde las plantas son sometidas a condiciones de estrés por la pérdida de humedad y menor contenido de nutrientes que conlleva a regular su respuesta fisiológica; aunque la conductancia estomática no solo está determinada por la disponibilidad hídrica en el suelo, sino por una compleja interacción de factores externos e internos de la hoja.

En estudios previos Warren (2011), observó incrementos significativos en la conductancia estomática en morera dada la aplicación de *Azotobacter chroococcum* + *Azospirillum brasilense* + *Bacillus megaterium*. Resultados corroborados por Nazar *et al.* (2019) al registrar el menor valor de conductancia estomática en el tratamiento control siendo entre 0,5 y 0,9 mmol.m⁻².s⁻¹ con empleo de biofertilizantes, valores similares a los obtenidos en esta investigación.

Según Suárez *et al.* (2017), observaron en *Theobroma cacao*, que una mayor conductancia estomática con frecuencia resulta en una mayor tasa de fotosíntesis, lo cual

Esto puede deberse a que los abonos orgánicos aportan nutrientes que favorecen al crecimiento y desarrollo del cultivo. Resultados similares fueron obtenidos en morera con la aplicación de diferentes biofertilizantes y nutrientes, los cuales incrementaron la concentración intercelular de CO₂ e incrementaron la fotosíntesis, lo que favoreció a un mejor uso de los carbohidratos almacenados e indican una alta eficiencia fotosintética de las plantas. Además redujo la tasa de transpiración lo que puede mejorar el contenido relativo de agua y mayor rendimiento de la hoja (Ahmed *et al.*, 2017, Nazar *et al.*, 2019).

Al analizar los resultados del efecto de diferentes sustratos en la conductancia estomática y tasa fotosintética de las plantas *in vitro* de morera en la fase de aclimatización, se observó diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) entre los tratamientos evaluados (Tabla 5).

promueve un incremento de la transpiración que repercute negativamente en el estado hídrico de la planta. Por tanto, la importancia ecofisiológica de la conductancia estomática se debe a la relación con el proceso de difusión de CO₂ al interior de la hoja, a partir de la regulación de la apertura estomática, priorizando la ganancia de carbono en relación a la pérdida de agua.

Estos mismos autores agregan que una menor conductancia estomática puede asociarse a un mecanismo adaptativo a una baja humedad relativa, por lo que, para la conservación del agua se realiza a través de la reducción la conductancia estomática a pesar de que se relaciona con una reducción en la asimilación de carbono.

Conclusiones

El empleo del Pectimorf® en el medio de cultivo de enraizamiento favorece la aclimatización e influye en los parámetros morfofisiológicos de las plantas de morera variedad Acorazonada. El efecto residual de este bioproducto y los abonos orgánicos incrementan los parámetros tasa de transpiración, tasa fotosintética, conductancia estomática y concentración interna de CO₂ en plantas in

vitro de morera variedad Acorazonada durante la fase de aclimatización.

Referencias bibliográficas

- Ahmed, F., Sultana, R., Ahmed, O., Akhtaruzzama, M., & Iqbal, M.T. (2017). Roles of different fertilizer management practices on mulberry leaf yield and quality. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(5): 104–114. <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/2268>.
- Casanovas, E., & Silveira, M. A. (2024). Respuesta del desarrollo vegetativo de Stevia en condiciones de viveros con la aplicación del Pectimorf y Radix-P. *Revista Científica Agroecosistemas*, 12(2), 88-96. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>
- Conover, W.J. (1999). Practical Nonparametric Statistics. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp: 428-433.
- El-Sharkawy, MA. (2006). Utility of basic research in plant/crop physiology in relation to crop improvement: a review and a personal account. *Plant Physiology*, 18(4), 419–46. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000400001>.
- Falcón, A., Costales, D., González, D., & Nápoles, M. (2015). Nuevos productos naturales para la agricultura: las oligosacarinas. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 111-129. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500010.
- Gómez, R., & Pérez Pérez, J.L. (2020). Aclimatización en casa de cultivo de plantas *in vitro* de *Morus alba* variedad Acorazonada. *Redel*, 4:875-886. <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/1927>.
- Hao, J., Gao, Y., Xue, J., Yang, Y., Yin, J., Wu, T., & Zhang, M. (2022). Phytochemicals, pharmacological effects and molecular mechanisms of mulberry. *Foods*, 11, 1170. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35454757/>.
- Hernández A., Pérez J.M., Bosch D., Castro N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. Ediciones INCA, Cuba, 93 p. https://ediciones.inca.edu.cu/files/libros/clasificacionsueloscuba_%202015.pdf.
- Lara, D., Costales, D., & Falcón, A. (2018). Los oligogalacturónidos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. *Cultivos Tropicales*, 39(2), 127-134. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000200020.
- Nazar, A., Kalarani, M.K., Jeyakumar, P., Kalaiselvi, T., Arulmozhiselvan, K., & Manimekalai, S. (2019). Physiological and biochemical changes in mulberry (*Morus alba* L.) as influenced by nutrients. *Madras Agricultural Journal*, 106(4-6), 297. <https://masujournal.org/106/190263.pdf>.
- Pospisilova, J., Ticha, I., Kadlec, S., Haisel, D., & Pizakova, S. (1999). Acclimatization of micropropagated plants in *ex vitro* conditions. *Biologia Plantarum*, 42(4), 481-497. <https://doi.org/10.1023/A:1002688208758>
- Prieto, M., Díaz, M., Pérez, M.C., & Martín, D. (2016). Influencia de tres variedades de *Morus alba* L. en el crecimiento de *Bombyx mori* L. *Pastos y Forrajes*, 39(3): 132-137. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942016000300008&lng=es&nrm=iso.
- Reyes, J.J., Llerena, L.T., Torres, J.A., & Hernández, L.G. (2023). Optimización de la dosis de oligogalacturónidos en la propagación vegetativa de dos clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo condiciones controladas en vivero. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1648>.
- Rezaei, M.S., & Rahmati, M. (2020). Effects of thidiazuron on *in vitro* shoot regeneration of *Morus alba*. *BioTechnologia*, 101(1), 55–61. <https://doi.org/10.5114/bta.2020.92927>.
- Salguero, D., Muñoz, F., Cancino, J., Flórez, V., Rubilar, R., Acuña, E., & Olave, R. (2016). Intercambio gaseoso de dos clones de *Paulownia elongata* x *fortunei* al primer año de desarrollo vegetativo en tres sitios del centro-sur de Chile. *Gayana. Botánica*, 73(2), 438-452. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432016000200438>.
- Suárez, J.C., Duran, E.H., Rojas, J.A., & Ortiz, N. (2017). Pigmentos fotosintéticos y conductancia estomática en ecotipos de copoazu (*Theobroma grandiflorum* Willd. Ex. Spreng K. Schum.). *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 199-206. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.20814>.
- Vijaya, D., Chinthapalli, B., & Padmaja, G. (2016). A comparative study on field performance of micropropagated plants and stem cutting derived plants of S-36 cultivar of Mulberry (*Morus indica* L.). *Research in Biotechnology*, 7, 21-27. <https://doi.org/10.19071/rib.2016.v7.2930>.
- Vijayan, K., Jayarama, P., Tikader, A., & Saratchandran, B. (2014). Biotechnology of mulberry (*Morus* L.) - An appraisal. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26(6), 472-496. https://www.researchgate.net/publication/279288430_Biotechnology_of_mulberry_Morus_L_-_A_review.