



Eficiencia fisiológica de la planta de frijol ante un déficit hídrico

Physiological efficiency of the bean plant before a water deficit

¹Michel Ruiz-Sánchez^{1*}, ²Yaumara Muñoz-Hernández², ¹Roselys Rodríguez-Pérez¹,
²Yoerlandy Santana-Baños², ⁴Sara Mesa-Sotolongo⁴, ³Max Enrique Encalada-Córdova³,
⁵René Florido-Bacallao⁵

¹Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios", Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Carretera La Francia km 1½, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. CP 22 900

²Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", Avenida José Martí No. 270, Pinar del Río, Cuba, CP 20 100

³Centro Meteorológico Provincial Pinar del Río (CITMA), Colón # 106, entre Maceo y Virtudes, Pinar del Río, Cuba

⁴Universidad de Loja, Ecuador, av. Pío Jaramillo Alvarado y Reinaldo Espinosa, Loja, Ecuador

⁵Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

RESUMEN: La investigación se realizó en condiciones semicontroladas de noviembre a febrero de los años 2016, 2017 y 2018 en la Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios, Cuba, con el objetivo de evaluar el efecto del déficit hídrico en la eficiencia fisiológica del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. "Delicia 364". Se sembraron 80 semillas de frijol por macetero de 1,40 m². Se utilizó un Diseño Experimental Completamente Aleatorizado, con tres tratamientos y cuatro repeticiones: dos con déficit hídrico (inicio de marchitamiento de las hojas y cuando se inició el amarillamiento del ápice de las hojas) y un testigo con riego a capacidad de campo. El déficit hídrico se aplicó cuando las plantas tenían entre tres y cuatro hojas verdaderas. Después de cada periodo de estrés se determinó el potencial hídrico foliar y en el momento de la cosecha la masa seca aérea, el rendimiento agrícola y sus componentes. Se encontró que el déficit hídrico impuesto en la fase vegetativa a diferentes intensidades causó un estado de estrés hídrico en la planta de frijol y después de recuperarse del mismo, provocó incrementos en la masa seca aérea, número de vainas y rendimiento agrícola. El déficit hídrico en plantas de frijol hasta el inicio del amarillamiento del ápice de las hojas, durante la fase vegetativa, incrementa la eficiencia fisiológica de la planta en función del riego, entre un 16-25 %, en cuanto a la masa seca aérea, el número de vainas por planta y el rendimiento agrícola.

Palabras clave: estrés, fisiología, legumbre, rendimiento.

ABSTRACT: The research was carried out under semi-controlled conditions from November to February of the years 2016, 2017 and 2018 in the Scientific Technological Unit of Base Los Palacios, Cuba, with the aim of evaluating the effect of the water deficit on the physiological efficiency of the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. "Delicia 364". 80 bean seeds were sown per 1.40 m² pot. A Completely Randomized Experimental Design was used, with three treatments and four repetitions: two with water deficit (beginning of wilting of the leaves and when the yellowing of the apex of the leaves began) and a control with irrigation at field capacity. The water deficit was applied when the plants had between three and four true leaves. After each period of stress, the foliar water potential was determined and at the time of harvest the dry mass, the agricultural yield and its components. It was found that the water deficit imposed in the vegetative phase at different intensities caused a state of water stress in the bean plant and after recovering from it, caused increases in the aerial dry mass, number of pods and agricultural yield. The water deficit in bean plants until the beginning of the yellowing of the apex of the leaves, during the vegetative phase, increases the physiological efficiency of the plant depending on irrigation, between 16-25 %, in terms of the aerial dry mass, the number of pods per plant and the agricultural yield.

Key words: stress, physiology, legume, yield.

*Autor para correspondencia: mich@inca.edu.cu

Recibido: 07/06/2021

Aceptado: 10/10/2021

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las extracciones de agua para la agricultura representan aproximadamente el 70 % del agua total extraída de acuíferos, ríos y lagos (1). Los cambios medioambientales globales hacen pensar que en un futuro existirá un aumento de la aridez; por ello, es necesario buscar alternativas que permitan un uso eficiente del agua y reducir su consumo, teniendo en cuenta que es un recurso limitado. La escasez de agua (el desequilibrio entre el suministro y la demanda de agua dulce) y los problemas de calidad de la misma amenazan la seguridad alimentaria y la nutrición. Al mismo tiempo, las persistentes y graves sequías, acentuadas por el cambio climático, están ocasionando serios déficits de agua en la agricultura, lo que plantea un mayor riesgo para los medios de vida de la población rural, al reducir los rendimientos agropecuarios (2). El diagnóstico reciente de la FAO prevé que la demanda de productos agrícolas aumentará 15 % durante la próxima década, debido al incremento poblacional. La manera de cubrir esta demanda determinará el impacto que el sector agrícola causará en la base de los recursos naturales, sobre todo la tierra, el agua y la biodiversidad (3), lo que representa una amenaza para la seguridad alimentaria (2).

La sequía provocada por la precipitación deficiente en las áreas destinadas a la agricultura, ha llevado a considerar la aplicación de déficit hídrico a los cultivos, como alternativa para ahorrar agua de riego (4). En Cuba, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) forma parte importante en la dieta de los consumidores, la producción nacional abarca las áreas que siembra el Ministerio de la Agricultura, dentro de su proyección estratégica. En el año 2019, se sembró una superficie de 197 9667 ha y una producción de 240 975 t, con rendimiento de 1,2 t ha⁻¹, como promedio. En esta cifra se incluye la producción de semilla, lo que significa un gran reto para la economía del país, elevar los rendimientos (5).

El frijol es un cultivo susceptible, tanto al exceso de humedad, como a su déficit, durante el periodo reproductivo. Investigaciones realizadas aseguran que el cultivar de frijol Delicia-364, es susceptible a la sequía (6,7), después de exponerlo a una sequía terminal durante todo su ciclo, con solamente tres riegos en prefloración (R5). Aun conociendo el grado de susceptibilidad de este cultivar, no significa que un manejo de riego a inicio de la fase vegetativa, no contribuya a la mejora de la eficiencia fisiológica de la planta. El déficit hídrico se considera como la disminución de la reserva hídrica en el suelo y en la zona radical de las plantas (8). Es aquella situación en la que el agua disponible en el suelo no es suficiente para satisfacer la demanda de la planta por un periodo determinado y provoca un efecto similar a nivel foliar de la planta (8), el cual no puede sobrepasar el crecimiento continuo de esta; o sea, si el déficit no conlleva a un estrés hídrico severo, durante el periodo de recuperación se activarán mecanismos fisiológicos, bioquímicos y moleculares que favorecerán a la respuesta fisiológica de la planta (8,9).

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del déficit hídrico en la eficiencia fisiológica de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Delicia 364.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en áreas de la Unidad Científica Tecnológica de Base (UCTB) "Los Palacios", perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), situada en la llanura Sur de la provincia Pinar del Río, Cuba, a los 22°44' de latitud Norte y a los 83°45' de latitud Oeste, a 60 m.s.n.m., con pendiente aproximada de 1 %. La investigación se realizó en los periodos de noviembre a febrero de los años 2016, 2017 y 2018, en condiciones semicontroladas. Se fertilizó según lo recomendado en el Instructivo Técnico del Cultivo del Frijol (11). Además, se realizaron escardes frecuentes y se aplicó control fitosanitario, siempre que fue necesario. Se utilizaron 12 maceteros de 1,4 m² (1,16 m ancho x 1,20 m largo y con una profundidad de 0,30 m), los cuales estuvieron expuestos, a cielo abierto y a 1 m de altura de la superficie. Los maceteros contenían suelo proveniente de las áreas agrícolas de la UCTB "Los Palacios". El suelo se clasificó como Gleysol Nodular Ferruginoso petroférico (10), de textura franco arcillosa y se caracterizó por un pH ligeramente ácido (6,46); con bajo contenido de materia orgánica (2,86 %); fósforo asimilable (46,80 mg kg⁻¹) y potasio asimilable (34,63 mg kg⁻¹), las bases intercambiables con contenidos típicos para este tipo de suelo (12). La información de las variables climáticas (Figura 1), se obtuvieron de la Estación Meteorológica "Paso Real de San Diego", no. 317, en Los Palacios, la cual está situada a 4 km de área de investigación.

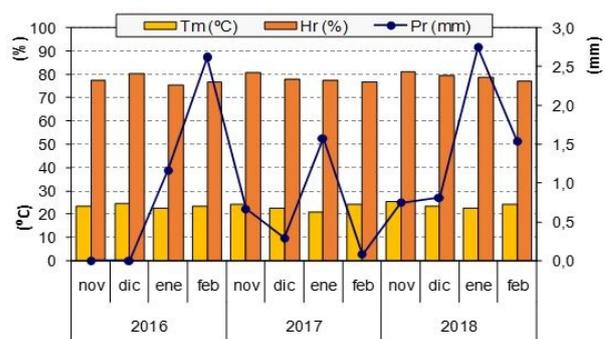


Figura 1. Comportamiento de las variables meteorológicas en los periodos de noviembre a febrero de 2016, 2017 y 2018. Temperatura media mensual (Tm), Humedad relativa mensual (Hr), Precipitaciones media mensual (Pr)

En cada macetero se realizaron cuatro surcos, donde se depositaron veinte semillas de frijol (cv. Delicia 364) en cada surco, a 0,1 m de distancia entre plantas, al momento de la emergencia se dejaron 10 plantas en cada surco. El manejo del riego permitió el establecimiento de los tratamientos experimentales y para ello se utilizó un Diseño

Experimental Completamente Aleatorizado, con tres tratamientos y cuatro repeticiones: dos con déficit hídrico y un testigo sin déficit hídrico, el cual recibió una frecuencia de dos riegos semanales para mantener la humedad a capacidad de campo.

Se aplicó en el primer riego (riego de germinación) 20 L por macetero. Después de la emergencia, el intervalo de riego fue de cuatro días y en cada riego se aplicó al cultivo 20 L de agua por macetero. El déficit hídrico se aplicó cuando las plantas tenían entre tres y cuatro hojas simples verdaderas formadas (16 y 20 días después de la germinación) y se regó nuevamente cuando se hizo visible el marchitamiento o el inicio del amarillamiento en los ápices de las hojas superiores (Tabla 1). Para evitar los ingresos hídricos por precipitaciones se crearon condiciones preventivas; o sea, se cubrió el área de los maceteros previo a las lluvias y durante la noche también se cubrieron los mismos.

Evaluaciones realizadas

Se determinó el porcentaje de humedad en el suelo antes de restablecer el riego en cada tratamiento expuesto a déficit hídrico, para lo cual se realizaron seis mediciones en cada macetero en diagonal, con dos mediciones en el centro de la misma. Se utilizó un determinador de humedad (Theta Probe Soil Moisture Sensor - ML2x) y se expresó en por ciento.

Al hacerse visibles los síntomas de inicio de marchitamiento y de amarillamiento del ápice de las hojas terminales, se midió el potencial hídrico foliar (Ψ_n) con una cámara de presión (Model 615 Pressure Chamber Instrument, USA). Se realizaron cuatro mediciones en las plantas centrales de cada macetero; es decir, de los surcos centrales. El potencial hídrico se expresó en MPa.

Se evaluó la masa seca aérea de la planta (MSA) al final del ciclo del cultivo mediante muestreos destructivos. Se tomaron cinco plantas por macetero, las muestras se introdujeron en una estufa a 70 °C hasta masa constante. Además, se contabilizó el número de vainas por planta (NVP) y, para ello, se tomaron 10 plantas por macetero. El rendimiento agrícola (R) se calculó en 10 plantas, a partir del pesaje en una Balanza Electrónica Fertón (precisión de 0,001 lb).

Para cada nivel de déficit impuesto se estimó (Con E-M y Con E-A), la eficiencia fisiológica de la planta de frijol en el uso del agua riego, respecto al rendimiento agrícola alcanzado, para lo cual se realizó un ajuste en la fórmula (12).

$$IEF = \frac{R(\text{Sin E}) - R(\text{Con E})}{R(\text{Con E})} \times 100$$

donde:

IEF= Índice de eficiencia fisiológica en el uso del agua

$R_{\text{Sin E}}$ = Rendimiento sin estrés hídrico

$R_{\text{Con E}}$ = Rendimiento con estrés hídrico

Procesamiento y análisis estadístico

Las mediciones del porcentaje de humedad se procesaron estadísticamente y se determinó el Error Estándar (ESx) de cada rango por tratamiento. Los datos obtenidos de Ψ_n , la MSA, el NVP y el rendimiento agrícola, se sometieron a un análisis de Varianza Simple, aplicándose la dócima de Rangos Múltiples de Duncan, cuando se encontraron diferencias significativas entre las medias, para el nivel de significación ($p \leq 0,05$). Además, se realizó un análisis de regresión entre los valores medio del potencial hídrico foliar, masa seca y el rendimiento agrícola.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento testigo (Sin E) mostró los mayores porcentajes de humedad en el suelo (40,5 %) respecto al resto de los tratamientos, con 28,8 % para el tratamiento Con E-M y 21,8 % para el tratamiento Con E-A. Para este tipo de suelo, donde se realizó la investigación, las diferencias en días entre los tratamientos expuestos a estrés fueron de seis días y el periodo sin aplicar riego para el tratamiento Con E-M fue de ocho días y de 14 días para el tratamiento Con E-A.

La aplicación de un déficit hídrico, cuando las plantas tenían entre tres y cuatro hojas simples verdaderas formadas, provocó síntomas de marchitamiento de las hojas y el inicio del amarillamiento de estas, condiciones que condujeron a un estado de estrés hídrico foliar en la planta, el cual se demostró a través del potencial hídrico foliar (Figura 2A). Los menores valores de potenciales hídricos se correspondieron con los tratamientos que mostraron síntomas de marchitamiento e inicio del amarillamiento en las hojas, respectivamente. Se comprobó; además, la homogeneidad de la humedad en los maceteros, mediante el porcentaje de humedad en el suelo (Figura 2B).

Los tratamientos, expuestos a la condición de déficit hídrico en los tres años, evidenciaron los valores menores de potencial hídrico foliar, respecto al tratamiento sin déficit hídrico (Sin E). Los valores menores de potencial hídrico encontrados se corresponden con otras investigaciones, tal es el caso del cultivar de frijol 'Tomeguín', donde se aplicó

Tabla 1. Tratamientos evaluados en función del manejo del riego en el cultivo del frijol cv. Delicia 364, periodos de noviembre a febrero de 2016, 2017 y 2018

Tratamientos	Leyenda
T1- Déficit hídrico hasta inicio de marchitez de las hojas y después se regó hasta capacidad de campo.	Con E-M
T2- Déficit hídrico hasta inicio de amarillamiento del ápice de las hojas y después se regó hasta capacidad de campo.	Con E-A
T3- Riego hasta capacidad de campo todo el ciclo del cultivo, sin déficit hídrico (testigo).	Sin E

el 50 % de un volumen total de agua, a partir de los 2L después de la siembra y el potencial hídrico disminuyó hasta -0,68 MPa (13). Sin embargo, estos valores de potencial hídrico indicaron que, el estrés hídrico en la planta de frijol se puede considerar moderado, debido a que el valor inferior de Ψ_h no superó los -0,6 MPa, para el tratamiento con estrés hídrico e inicio de amarillamiento del ápice de las hojas. Se informó que, si el Ψ_h disminuye por debajo de -0,77 MPa se observaron síntomas severos de marchitez en plantas de frijol (14). Por lo tanto, se puede considerar que el tratamiento con síntomas de marchitamiento, el estrés al que fueron expuestas estas plantas es ligero, si tomamos como referencia los valores del estado hídrico de las plantas propuestos en la literatura (15).

En cuanto a la masa seca aérea después del periodo de recuperación de las plantas; o sea, al momento de la cosecha, se observó que siempre esta fue superior en los

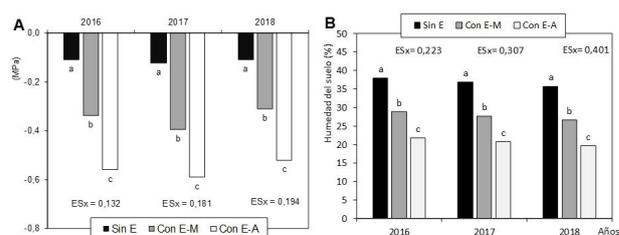


Figura 2. Porcentaje de humedad en el suelo (A) y potencial hídrico foliar de plantas de frijol cv. Delicia 364 (B), expuestas a déficit hídrico, cultivadas en condiciones semicontroladas. (Con E-M) con déficit hídrico hasta inicio de marchitez de las hojas; (Con E-A) con déficit hídrico hasta inicio del amarillamiento del ápice de las hojas; (Sin E) testigo sin estrés hídrico; (ESx) Error estándar de la media Barras con letras desiguales difieren significativamente ($p < 0,05$) según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, $n = 5$

Tabla 2. Producción de masa seca aérea y número de vainas por planta de frijol cv. Delicia 364, expuestas a déficit hídrico, cultivadas en condiciones semicontroladas

Tratamiento	Masa seca área (g planta ⁻¹)			Numero de vainas por planta		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Sin E	1,81 c	1,76 c	1,73 c	8,80 c	9,80 c	9,60 c
Con E-M	2,60 b	2,46 b	2,63 b	11,73 b	10,90 b	11,12 b
Con E-A	2,82 a	2,64 a	2,71 a	14,30 a	12,00 a	12,82 a
ESx	0,018	0,015	0,019	0,055	0,046	0,049

(Con E-M) con déficit hídrico hasta inicio de marchitez de las hojas; (Con E-A) con déficit hídrico hasta inicio del amarillamiento del ápice de las hojas; (Sin E) testigo sin estrés hídrico; (ESx) Error estándar de la media

Medias con letras iguales no difieren significativamente, según prueba de Duncan para $p < 0,05$, $n = 5$

tratamientos con déficit hídrico impuesto durante la fase vegetativa. La acumulación del MSA en el tratamiento Con E-M se mantuvo entre 2,46 y 2,63 g, para el tratamiento Con E-A su comportamiento osciló entre 2,64 y 2,82 g y en el caso del tratamiento (Sin E) los valores de masa seca oscilaron entre 1,73 y 1,81 g (Tabla 2).

Considerando lo anterior, el déficit hídrico foliar encontrado, no sobrepasó los límites fisiológicos que condicionaran un efecto negativo en la planta. A la vez que condujeron, posiblemente, a la activación de los mecanismos de respuesta ante esa condición, el cual se denomina "evasión" (16). Este mecanismo le permite a la planta hacer ajuste osmótico a nivel celular (16,17), con la finalidad de mantener la turgencia de la célula y los procesos que dependen de ella, tales como la expansión y el crecimiento celular, la apertura de estomas y la fotosíntesis, así como el mantenimiento de un gradiente de potencial hídrico favorable a la entrada de agua en la planta (16). Mecanismos que tras la restauración del riego favorecieron la recuperación de la planta y contribuyeron a un mayor crecimiento y desarrollo.

El déficit hídrico impuesto en la fase vegetativa, condujo al marchitamiento e inicio del amarillamiento del ápice de las hojas y provocó un efecto diferencial durante los tres años en los que se desarrolló la investigación en las plantas de frijol (cv. Delicia 364). Se observó un

comportamiento positivo al final del ciclo, a favor de esta variante de riego, respecto al testigo sin déficit hídrico (Sin E), en las variables de crecimiento (MSA) y en las del rendimiento (número de vainas por plantas y granos por planta) (Figuras 3 y 4). Estos resultados discrepan con varios autores (6,18), que trabajaron déficit hídrico en este cultivo y aseguran que siempre va en disminución la masa seca y, finalmente, afecta al rendimiento en granos; es posible que la intensidad de estrés hídrico aplicado en esta investigación fue menor a la que estos autores aplicaron.

En el caso del número de vainas por planta, para el tratamiento Con E-M, este se mantuvo durante todo el estudio entre 10,9 y 11,7 vainas; mientras que, para el tratamiento Con E-A osciló entre 12,0 y 14,3 vainas, superando estos dos tratamientos, estadísticamente, al testigo (Sin E) que mostró valores inferiores entre 8,8 y 9,6 vainas por planta. Se encontró, en los tres años consecutivos, el mayor número de vainas por planta cuando el déficit hídrico alcanzó el inicio de amarillamiento del ápice de las hojas, seguido por el tratamiento de marchitamiento de las mismas. El incremento del número de vainas por planta estuvo dado por un posible incremento del sistema radical, como mecanismo para absorber agua y este, después de restaurado el riego, condicionó una mayor superficie de suelo explorado en absorber agua y nutrientes. No obstante, el número vainas por planta, en

todos los tratamientos, se comportó por debajo de los valores potenciales de la variedad (11,19,20). Además, el periodo de recuperación permitió alcanzar una mayor acumulación de masa seca aérea y reservas para la formación de los componentes del rendimiento.

Por otra parte, el rendimiento en granos de las plantas, al exponerlas a las diferentes intensidades de estrés hídrico (marchitamiento de las hojas e inicio de amarillamiento del ápice de las hojas), sin afectaciones del área foliar (sin pérdidas de tejido vegetal), permitió un incremento de su valor, al compararse con el tratamiento testigo, resultando los mejores tratamientos los expuestos a déficit hídrico durante los tres años de estudio (Figura 3A). El incremento del rendimiento de los granos indicó una eficiencia fisiológica de la planta (Figura 3B), ya que el déficit hídrico condujo a la activación de mecanismo de respuesta ante esta condición, con la finalidad de tolerar o sobrevivir al déficit hídrico impuesto.

La eficiencia fisiológica en el uso del agua fue siempre mayor en los tratamientos que mostraron inicio de amarillamiento del ápice de las hojas (Con E-A), respecto al marchitamiento (Con E-M). Al respecto informaron que, si bien es significativa la producción de masa seca total (productividad biológica) de la planta, también es necesario garantizar que, parte de esa producción total esté destinada a la parte económicamente útil de la planta (21). Es importante destacar que la evidente reanudación del crecimiento o recuperación de la planta, a partir que se restauró el riego, se evidenció con la mayor acumulación de masa seca y número de vainas por plantas, indicadores que son determinantes (22) en el rendimiento alcanzado. El rendimiento en grano, durante los tres años del tratamiento marchitamiento de las hojas, se comportó entre 160,6 g y 179,8 g; mientras que, el de inicio de amarillamiento del ápice de las hojas, estuvo entre 181,6 y 206,9 g; en cambio, para el testigo fue menor con respecto a los tratamientos, osciló entre 105,7 y 120,0 g, lo que denota el efecto positivo que tiene provocarle a este cultivo un déficit hídrico, en etapas temprana de su ciclo (fase vegetativa).

Los resultados alcanzados en esta investigación no coinciden con lo informado por otros autores (4), quienes plantean que al someter este cultivo a un déficit hídrico en

la fase vegetativa, no disminuyó el rendimiento en granos y sus componentes. Una respuesta similar se encontró en otro estudio (7), donde el rendimiento resultó ser estadísticamente superior, cuando el cultivo no padeció de déficit hídrico durante el ciclo vegetativo del cultivo. Se puede atribuir el mayor rendimiento alcanzado en el tratamiento Con E-A al componente número de vainas por planta y a la mayor acumulación de masa seca por planta por efecto del déficit hídrico impuesto; entre otros factores, resultados similares fueron informados por otros autores (21,23) y, a la vez, se contradicen con otros estudios informados (6). Los niveles de rendimiento pueden ser superiores o menores, en dependencia de la intensidad del déficit hídrico (24) y el tiempo de exposición de las plantas al estrés (25), además de su propia capacidad genética para tolerar esta condición.

En otras investigaciones relacionadas con el déficit hídrico por defecto en el cultivo del frijol, se informaron incrementos en el rendimiento de los granos y sus componentes por varios autores (26). Al respecto, otros autores, en este mismo cultivo (27) y en otros diferentes a este, como en tomate (28) o arroz (26), no coinciden sus criterios con los resultados obtenidos en esta investigación, donde el déficit de agua impuesto en el suelo, en lugar de disminuir el rendimiento en grano, motivó su incremento. Resultado que se alcanzó con el cv. Delicia 364, bajo las condiciones edafoclimáticas de Los Palacios, en la provincia Pinar del Río. Este resultado pudiera estar indicando que el inicio de marchitamiento de las hojas es suficiente para promover la activación de los mecanismos antioxidantes o la producción de señales a nivel bioquímico o molecular, que le permitan a la planta recuperarse (8,24). Dado que el déficit hídrico fue provocado en la etapa vegetativa, no se debe descartar que la profundización de raíces y, en general, la interacción de la relación vástago/raíz podría haber influido en la exploración de un mayor volumen de suelo y un mayor acceso al agua y a la nutrición mineral.

El incremento de la eficiencia fisiológica en el uso del agua por las plantas de frijol, aun cuando la pérdida de turgencia en las hojas manifestara flacidez (marchitamiento de las hojas), pudiera estar indicando un comportamiento

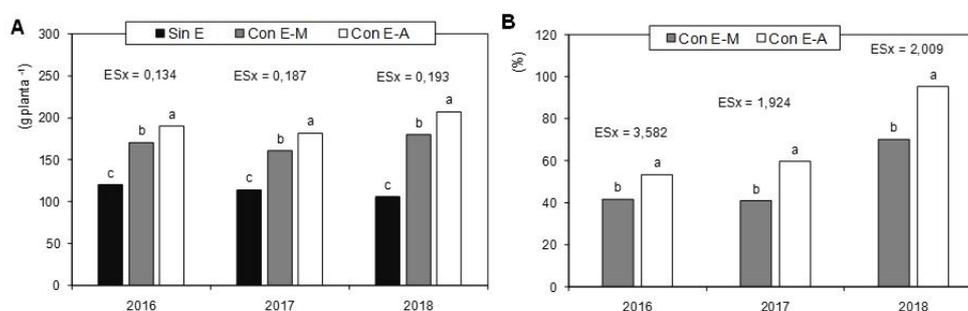


Figura 3. Rendimiento agrícola por planta de frijol cv. Delicia 364 (A) y eficiencia fisiológica de las plantas (B) expuestas a déficit hídrico, cultivadas en condiciones semicontroladas. (Con E-M) con déficit hídrico hasta inicio de marchitez de las hojas; (Con E-A) con déficit hídrico hasta inicio del amarillamiento del ápice de las hojas; (Sin E) testigo sin déficit hídrico; (ESx) Error estándar de la media Barras con letras desiguales difieren significativamente ($p < 0,05$) según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, $n = 10$

suficientemente visible para promover la activación de los mecanismos antioxidantes o la producción de señales a nivel bioquímico o molecular, que le permitan a la planta recuperarse y, por ende, promover la eficiencia en el uso del agua por la planta. Al respecto, se informó que la condición de déficit hídrico activa la producción de ascorbato y glutatión, a la vez que disminuye la producción de peróxido y el daño oxidativo y, por consiguiente, la planta puede recuperarse del déficit hídrico impuesto, siempre y cuando no exista un desequilibrio desfavorable en la producción de especies reactivas de oxígeno y la producción de moléculas antioxidantes (9,24).

El análisis de regresión entre el Ψ_h y la masa seca aérea (MSA) en los tres años de investigación (2016, 2017 y 2018), mostró un coeficiente de determinación superior a $R^2=0,810$ y los coeficientes de correlación (r) superaron 0,905, indicando una relación lineal directa y positiva entre las variables, estadísticamente significativas para un nivel de confianza del 95 % (Figura 4).

Se apreció que, al disminuir el potencial hídrico se incrementó la acumulación de masa aérea. Respuesta que puede considerarse positiva, siempre y cuando los síntomas de la intensidad del estrés hídrico no sobrepasen el inicio del amarillamiento en el ápice de las hojas.

La relación entre el Ψ_h y el rendimiento agrícola, en los tres años, mostró un coeficiente de determinación superior a $R^2=0,93$ y los coeficientes de correlación superaron 0,965, indicando una relación lineal directa y positiva entre las variables, estadísticamente significativas para un nivel de confianza de 95 %. Se apreció que, al incrementarse el potencial hídrico, se incrementa el rendimiento de granos por planta.

El intercepto de los puntos que describen las variables relacionadas (Figura 4), conformaron los tres tratamientos evaluados e indicaron que, los menores valores de Ψ_h , de MSA y de rendimiento agrícola corresponden al testigo (Sin E), durante los tres años de investigación. La relación que se encontró entre el Ψ_h , MSA y el rendimiento agrícola corrobora lo informado por otros autores, en cuanto al incremento de la MSA y el rendimiento en función de un mejor estado hídrico de la planta, después del periodo de recuperación; o sea, en el momento de la cosecha (25).

La condición de déficit hídrico (hasta inicio de marchitamiento de las hojas y hasta inicio de amarillamiento) aplicada al cultivo equivale, como promedio, a unos 10 y 12 días sin riego, respectivamente; y se evidencia, a través del potencial hídrico foliar en plantas de frijol (cv. Delicia 364), un estado de déficit hídrico, con una eficiencia fisiológica de la planta superior, en función del riego, entre un 16-25 % respecto al tratamiento sin déficit hídrico.

CONCLUSIONES

- A partir de los valores de potencial hídrico de las plantas de frijol (cv. Delicia 364) se evidencia el estado de déficit hídrico foliar; el cual se caracteriza por ser ligero cuando se observan síntomas de marchitamiento y de moderado a severo, cuando se observa el inicio de amarillamiento del ápice de las hojas en las plantas.

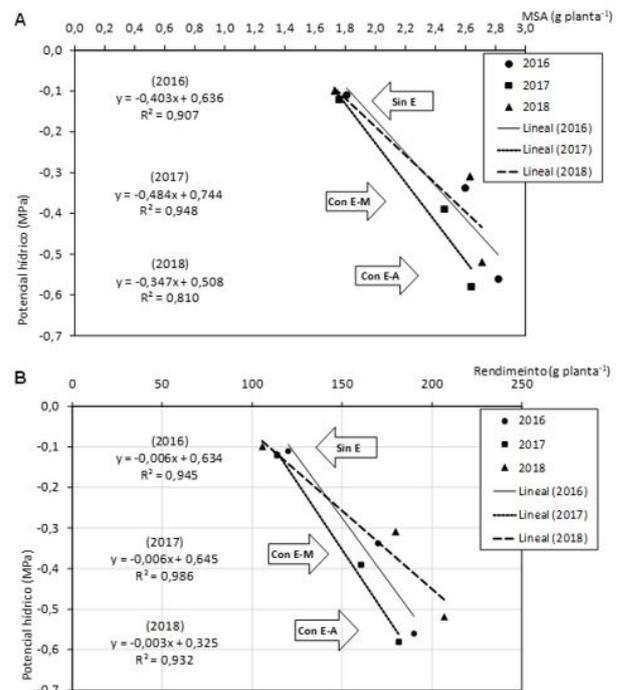


Figura 4. Relación entre el potencial hídrico foliar y la masa seca aérea (A) y el rendimiento agrícola (B) en plantas de frijol cv. Delicia 364, expuestas a déficit hídrico cultivadas en condiciones semicontroladas. (Con E-M) con déficit hídrico hasta inicio de marchitez de las hojas; (Con E-A) con déficit hídrico hasta inicio del amarillamiento del ápice de las hojas; (Sin E) testigo sin déficit hídrico. R^2 =coeficiente de regresión. Las flechas indican agrupamientos por tratamientos

- El déficit hídrico en plantas de frijol (cv. Delicia 364), aplicado hasta el inicio de amarillamiento del ápice de las hojas durante la fase vegetativa incrementa, al final de su ciclo, la masa seca aérea, el número de vainas por planta y el rendimiento agrícola, con una eficiencia fisiológica en función del riego entre un 16-25 %.
- Existe una relación directa entre el potencial hídrico, la acumulación de masa seca y el rendimiento agrícola de plantas de frijol (cv. Delicia 364), que favorece su productividad al final del ciclo vegetativo.

BIBLIOGRAFÍA

1. FAO. El futuro de la alimentación y la agricultura tendencias y desafíos [Internet]. 2017. Available from: <http://www.fao.org/3/i6881s/i6881s.pdf>. Consultado abril 2021
2. FAO. Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura [Internet]. 2020. Available from: <https://doi.org/10.4060/cb1441es>
3. OECD-FAO. Perspectivas agrícolas 2019-2028. Enfoque especial: América Latina. OECD Publishing, París/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [Internet]. 2021 [cited 09/10/2021]. Available from: <https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2019-2>

- 028/summary/spanish_3930e850-es?parentId=http%3A%2F%2Finstance.metastore.ingenta.com%2Fcontent%2Fpublication%2F7b2e8ba3-es
4. Dávila R. Frijol más resistente a la sequía. Universidad Nacional Autónoma de México [Internet]. 2010 [cited 09/10/2021]. Available from: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010_587.html
 5. ONEI. Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. La Habana: Dirección de Estadísticas Agropecuarias, Oficina Nacional de Estadística e Información [Internet]. 2019; Available from: http://www.onei.gob.cu/sites/default/files/09_agricultura_ganaderia_y_pesca_2019_0.zip
 6. Meriño-Hernandez Y, Boudet-Antomarchi A, Boicet-Fabre T, Barreiro EA, de Guevara L, Palacio AJ, et al. Rendimiento y tolerancia a la sequía de seis variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de campo. Centro Agrícola. 2015;42(1):69-74.
 7. Domínguez-Suárez A, Darias-Rodríguez R, Martínez Dávalos Y, Alfonso-Negrín E. Tolerancia de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) a condiciones de sequía en campo. Centro Agrícola. 2019;46(3):22-9.
 8. Ruiz-Sanchez M, DellAmico-Rodríguez JM, Cabrera-Rodríguez JA, Muñoz-Hernández Y, M-Almeida F, Aroca R, et al. Rice plant response to suspension of the lamina of water. Part III. Cultivos Tropicales. 2020;41(2):NA-NA.
 9. Ruiz-Sánchez M, Muños-Hernández Y, Dell'Amico-Rodríguez JM, Cabrera-Rodríguez JA, Aroca R, Ruiz-Lozano JM. Response of rice (*Oryza sativa* L.) plant to suspension of the water lamina in three moments of its development. Part I. Cultivos Tropicales. 2017;38(2):61-9.
 10. Pozo-Galves C, Cabrera-Alonso JR, Márquez-Reina E, Hernández-Hernández O, Ruiz-Sanchez M, Domínguez-Palacio D. Características y clasificación de suelos Gley Nodular Ferruginoso bajo cultivo intensivo de arroz en Los Palacios. Cultivos Tropicales. 2017;38(4):58-64.
 11. Faure B, Benítez R, Rodríguez E, Grande O, Pérez P. Guía Técnica para la producción de frijol común y maíz. 1 ra ed. MINAG, La Habana, Cuba. 2014.
 12. Siqueira JO, Franco AA. Biotecnología do solo: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC. Brasil: ABEAS/ESAL/FAEPE; 1988 p. 179-216.
 13. Morales-Guevara D, Dell'Amico-Rodríguez J, Jerez-Mompie E, Rodríguez-Hernández P, Álvarez-Bello I, Díaz Hernández Y, et al. A QuitoMax® effect in plants of (*Phaseolus vulgaris* L.) under two irrigation regimes. II. Physiological variables. Cultivos Tropicales. 2017;38(4):92-101.
 14. Barrios-Gómez EJ, López-Castañeda C, Kohashi-Shibata J. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "flor de mayo." Agronomía Costarricense. 2011;35(1):131-45.
 15. Sánchez-Ruiz M, Cabrera-Rodríguez A, Dell JM, Rodríguez A, Muñoz-Hernández Y, Aroca-Álvarez R, et al. Categorization of the water status of rice inoculated with arbuscular mycorrhizae and with water deficit. Agronomía Mesoamericana. 2021;32(2):339-55.
 16. Shan Z, Luo X, Wei M, Huang T, Khan A, Zhu Y. Physiological and proteomic analysis on long-term drought resistance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Scientific Reports. 2018;8(1):1-12. doi: [10.1038/s41598-018-35711-x](https://doi.org/10.1038/s41598-018-35711-x)
 17. Chun SC, Paramasivan M, Chandrasekaran M. Proline Accumulation Influenced by Osmotic Stress in Arbuscular Mycorrhizal Symbiotic Plants. Frontiers in Microbiology [Internet]. 2018 [cited 09/10/2021];9. doi: [10.3389/fmicb.2018.02525](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02525)
 18. Reyes-Matamoros J, Martínez-Moreno D, Rueda-Luna R, Rodríguez-Ramírez T. Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. Revista Iberoamericana de Ciencias. 2014;1(2):191-203.
 19. Pérez-Matos A. Caracterización morfoagronómica de cinco cultivares de frijol común (*phaseolus vulgaris* l) en el municipio de Jobabo. Revista Caribeña de Ciencias Sociales [Internet]. 2017 [cited 09/10/2021]; Available from: <https://ideas.repec.org/a/erv/rccsrc/y2017i2017-1033.html>
 20. Izquierdo-Martínez M, Santana-Baños Y, García-Cabañas A, Carrodeguas-Díaz S, Aguiar-González I, Ruiz-Sanchez M, et al. Agronomic response of five common bean cultivars in an agroecosystem of Consolación del Sur municipality. Centro Agrícola. 2018;45(3):11-6.
 21. Maqueira-López LA, Rojan-Herrera O, Mesa S a. P, Torres-de Noval W la. Growth and yield of black bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) in Los Palacios town. Cultivos Tropicales. 2017;38(3):58-63.
 22. Polón-Pérez R, Miranda-Caballero A, Ramírez-Arrebato MA, Maqueira-López LA. Efectos del estrés de agua sobre el rendimiento de granos en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2014;23(4):33-6.
 23. Nielsen DC. Black Bean Sensitivity to Water Stress at Various Growth Stages. Crop Science. 1998;38(2):422-7. doi: [10.2135/cropsci1998.0011183X003800020025x](https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800020025x)
 24. Dominguez A, Rodríguez R, Dávalos Y, Castillo M, Sosa D. Selection of varieties of common red bean (*Phaseolus vulgaris* L.), tolerant to drought in different irrigation conditions in the field. Bionatura. 2021;6(1):1473-7. doi:[10.21931/RB/2021.06.01.6](https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.6)
 25. Ruiz-Sánchez M, Muños Y, Ámico J, Cabrera J, Polón R, Aroca R, et al. Recovery of the rice plant to the suspension of the water lamina. Part II. 2018;39(3):75-80.
 26. Polon-Perez R, Ruiz-Sanchez M, Miranda-Caballero A, Ramirez-Arrebato MA. Effects of Water Stress on Grain Yield in the Vegetative Phase of bean Cultivation (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2017;26(1):66-70.
 27. Garcia M, Espinosa A. Efecto de la sequía en el rendimiento del cultivo del frijol [Internet]. Monografias.com. 2012 [cited 09/10/2021]. Available from: <https://www.monografias.com/trabajos94/efecto-sequia-rendimiento-del-cultivo-del-frijol/efecto-sequia-rendimiento-del-cultivo-del-frijol>
 28. Nahar K, Ullah SM, Gretzmacher R. Influence of soil moisture stress on height, dry matter and yield of seven tomato cultivars. Canadian J. Scientific Industrial Res. 2011;2(4):160-3.