



Comportamiento de variables fisiológicas en plantas de maíz (*Zea mays*) bajo riego deficitario controlado (RDC) por etapas

Behavior of physiological variables in corn plants (*Zea mays*) under controlled deficit irrigation (CDI) in stages

^{ID}José Miguel Dell'Amico Rodríguez*, ^{ID}Donaldo Medardo Morales Guevara,
^{ID}Lisbel Travieso Hernández, ^{ID}Rodolfo Guillama Alonso, ^{ID}María Caridad González Cepero

Instituto nacional de Ciencias Agrícolas, carretera a Tapaste, km 3 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700.

RESUMEN: Se estudió el comportamiento de variables fisiológicas en plantas de maíz (cultivar P7928) cultivadas en condiciones semicontroladas (contenedores de hormigón) y aplicaciones de estrategias de riego deficitario controlado (RDC) en tres etapas del desarrollo. Los tratamientos aplicados consistieron en suspensión del riego 15 días en la etapa crecimiento (TC), de floración (TF) y de llenado del grano (TLL) y un tratamiento control (T 100) que recibió siempre el agua correspondiente al 100 % de la ETc (evapotranspiración estándar del cultivo). Al concluir las suspensiones del riego se evaluaron: humedad del suelo, el área foliar, la masa seca aérea, el potencial hídrico foliar (Ψ_f) y sus componentes, el contenido de proteínas solubles totales, las clorofilas A, B, A+B y los carotenos en las hojas. Con la aplicación de los tratamientos de RDC disminuyó la humedad del suelo hasta el 60 % de la capacidad de campo (C.c.) Los resultados de las evaluaciones en las plantas de cada uno de los tratamientos (TC, TF y TLL) se compararon siempre con las plantas del control (T 100). El estrés hídrico afectó negativamente las variables de crecimiento en TC y el área foliar resultó ser más sensible al estrés. En cuanto los valores de Ψ_f y sus componentes estos indicaron que las plantas en TLL resultaron menos sensibles a la suspensión del riego. Además, el estrés hídrico favoreció el contenido de proteínas y no afectó el de carotenos en ninguna de las etapas; mientras que las clorofilas tuvieron una mayor degradación en las plantas de (TF y TLL).

Palabras clave: estrés hídrico, potencial hídrico foliar, crecimiento, proteínas, clorofilas.

ABSTRACT: The behavior of physiological variables in corn plants (cultivar P7928) grown in semi-controlled conditions (concrete containers) and applications of controlled deficit irrigation (CDI) strategies in three stages of crop development were studied. The four treatments applied consisted of suspending irrigation for 15 days in the growth (GT), flowering (FT) and grain filling (GF) stages and a control treatment was maintained (T 100) that always received the corresponding water at 100 % of ETc (standard crop evapotranspiration). At the end of the irrigation suspensions, the following were evaluated: soil moisture, leaf area, aerial dry mass, leaf water potential (Ψ_f) and its components, total soluble protein content, chlorophylls A, B, A+B and carotenoids in leaves. With the application of CDI treatments, the percentage of soil moisture decreased to 60 % of the Field Capacity (C.c.). The results of the evaluations in the plants of each of the treatments (GT, FT and GF) were compared always with the control plants (T 100). Water stress negatively affected growth variables in GT and leaf area turned out to be more sensitive to stress. Regarding the values of Ψ_f and its components, these indicated that the plants in GF were less sensitive to the suspension of irrigation. Furthermore, water stress favored protein content and did not affect carotene content in any of the stages; while chlorophylls had greater degradation in (FT and GF) plants.

Key words: water stress, foliar water potential, growth, proteins, chlorophylls.

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

Recibido: 23/09/2024

Aceptado: 20/01/2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización-** José Miguel Dell'Amico- Donaldo Morales Guevara. **Investigación-** José Miguel Dell'Amico- Donaldo Morales Guevara. Lisbel Travieso Hernández. **Metodología-** Lisbel Travieso Hernández- Rodolfo Guillama Alonso- María Caridad González Cepero. **Supervisión-** José Miguel Dell'Amico. **Escritura del borrador inicial, Escritura y edición final y curación de datos-** José Miguel Dell'Amico.

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

El sector agrícola enfrenta el desafío de satisfacer las necesidades nutricionales de una población cada vez mayor. El aumento de la demanda para los alimentos representa una carga para los recursos naturales, entre ellos, el agua; a pesar de que esta, es la sustancia más abundante del planeta, con alrededor del 70 % de la superficie de la Tierra cubierta por ella, sólo alrededor del 2,5 % es dulce. Generalmente, la agricultura de regadío es el mayor consumidor de este recurso natural y representa aproximadamente entre el 70 y el 85 % de su consumo (1).

A la luz de la actual escasez de agua a nivel mundial, una estrategia para reducir su consumo en la agricultura de regadío, consiste en reducir la cantidad de agua de riego en comparación con el riego completo de cultivos, en otras palabras, déficit de irrigación (2).

El riego deficitario controlado (RDC) es una práctica de riego en la que los cultivos se riegan con una cantidad de agua por debajo de la óptima requerida para el crecimiento y la productividad de las plantas. En RDC las plantas están expuestas de manera intencional a un cierto nivel de estrés hídrico, que puede causar una disminución en el rendimiento de las plantas; pero a largo plazo, se puede lograr un ahorro considerable de agua (3,4). El Agua ahorrada por la aplicación de estas estrategias de riego, se puede utilizar para regar tierras adicionales donde el mencionado recurso es el factor limitante. El RDC tiene como objetivo mejorar la eficiencia del uso del agua (EUA) ya sea reduciendo la cantidad de agua de riego en cada evento de riego o eliminando eventos de riego en períodos en los que este es menos productivo (5,6).

El RDC se considera una práctica sostenible y se ha adoptado para mejorar la eficiencia en el uso del agua, minimizar las pérdidas de rendimiento y mejorar la calidad del producto (7). Varias ventajas del RDC incluyen: 1.- maximizar la eficiencia en el uso del agua, 2.- reducir el riesgo de propagación de enfermedades de las plantas debido a la menor humedad y 3.- reducción de la pérdida de nutrientes y la lixiviación fuera de la zona de las raíces, lo que resulta en una mejor calidad del agua subterránea y menos necesidades de fertilizantes en comparación con el riego completo (2).

En investigaciones anteriores, han utilizado modelos de cultivos para examinar la interacción entre el rendimiento del maíz y el estrés hídrico. Por ejemplo, el modelo MOPECO y el DSSAT-CERES-Maize para mejorar la eficiencia en el uso del riego (8).

La variación de los niveles de riego con respecto a las fases de crecimiento de los cultivos ha sido poco estudiada en otras partes del mundo. Sin embargo, estas etapas de crecimiento tienen una importancia fundamental en la decisión relacionada con permitir el riego deficitario y, a pesar de su importancia, hasta donde se sabe, en Cuba, los efectos de diferentes niveles de aplicación reducida de riego en el comportamiento del maíz, en diferentes etapas de desarrollo, ha sido poco estudiado.

Por lo antes señalado, el objetivo del trabajo consistió en estudiar el comportamiento de variables fisiológicas en plantas de maíz (cultivar P7928) cultivadas en condiciones semicontroladas y aplicaciones de estrategias de RDC en tres etapas del desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en condiciones semicontroladas en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) ubicado geográficamente a 22°58'00"N y 82°09'00"O a 130 msnm. En abril de 2021 se sembraron 12 contenedores de hormigón de 2,60 m de largo por 0,60 m de ancho (1,56 m²) que contenían suelo Ferralítico Rojo Lixiviado de la provincia de Mayabeque, zona que forma parte de la llanura cársica Habana-Matanzas (9). En cada contenedor fueron sembradas semillas de maíz cultivar P7928 dispuestas en dos hileras y con una separación entre ellas de 0,4 m y 0,2 m entre plantas (26 plantas por contenedor).

Se estudiaron cuatro tratamientos de riego que se describen en la Tabla 1 y fueron distribuidos siguiendo un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones.

El riego se aplicó mediante un sistema automatizado de micro aspersión y la entrega del agua se controló mediante válvulas colocadas en los laterales de riego de cada tratamiento. Los valores de pH y de conductividad eléctrica (C.E. dS m⁻¹) del agua aplicada al cultivo durante el experimento fueron de 7,8 y 0,58, respectivamente.

Los riegos consistieron en la reposición de la evapotranspiración estándar del cultivo (ET_c) diaria tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes). Se aplicaron en T 100 317,1mm, en TC 298,1, en TF 284,1 y en TLL 250,11 mm por el riego. Las plantas antes y después de la suspensión del riego (SR) recibieron el 100 % de la ET_c.

La evapotranspiración de referencia ET_o (mm), la evapotranspiración estándar del cultivo ET_c (mm) y los requerimientos de riego (ET_c= ET_o*K_c) se obtuvieron mediante el Programa CropWat.8; éste se actualizó con una serie histórica de datos meteorológicos de 32 años (1990-2022) correspondientes a la Estación meteorológica de

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de riego deficitario estudiados

Tratamientos	Descripción
T 100	Control regado al 100 % de la Evapotranspiración estándar del cultivo (ET _c) durante todo el ciclo.
TC	Suspensión del riego por 15 días en la etapa de crecimiento. (entre 20-35 DDS)
TF	Suspensión del riego por 15 días en la etapa de floración. (entre 40-55 DDS)
TLL	Suspensión del riego por 15 días en la etapa de llenado del grano. (entre 60-75 DDS)

DDS= días después de la siembra. En los períodos de suspensión del riego, los contenedores de hormigón fueron cubiertos con un techo de polietileno transparente para evitar la lluvia

Tapaste que pertenece al Instituto Nacional de Meteorología y se encuentra ubicada aproximadamente a 200 m del sitio experimental y para el cálculo de ETo y ETc se utilizaron los valores medios mensuales.

Los coeficientes de cultivo (Kc) empleados fueron: Kc inicio = 0,62, Kc medio = 1,00 y Kc final = 0,93, (10).

Evaluaciones realizadas

Todas las evaluaciones se realizaron a los 35, 55 y 75 días después de la siembra (DDS) coincidiendo con la culminación de los periodos de suspensión del riego en las fases de crecimiento (TC), floración (TF) y llenado de los granos (TLL).

La humedad del suelo se midió a 20 cm de profundidad mediante un equipo HD2 Precise Moisture Measurement equipado con una sonda Moisture Sensor TRIME®- PICO TDR Technology, Germany calibrada con la calibración interna N° 2 de la propia sonda y se realizaron 15 repeticiones por tratamiento.

Se evaluaron en nueve plantas por tratamiento, el área foliar (cm^2) = (Largo*Ancho medio de las hojas)*0,75 según (11) y la masa seca de la parte aérea (g) en la balanza técnica.

Se realizaron evaluaciones de potencial hídrico foliar (Ψ_f), potencial osmótico actual (Ψ_s) y del potencial osmótico a máxima saturación ($\Psi_{100\text{ s}}$) en hojas. Todas las evaluaciones de las relaciones hídricas se realizaron en cinco plantas por cada tratamiento y en hojas del tercio superior bien desarrolladas y expuestas al sol.

El Ψ_f se midió entre las 10:00 y las 11:00 am., con una cámara de presión del tipo Scholander, Soil Moisture Modelo 3000; Soil Moisture Equipment Co, Santa Barbara, CA, USA. Las hojas fueron presurizadas a razón de $0,03\text{ MPa s}^{-1}$. Para medir el Ψ_s , después de evaluar el Ψ_f , las hojas se cubrieron inmediatamente con papel de aluminio, se congelaron en nitrógeno líquido y se colocaron en congelación a $-80\text{ }^\circ\text{C}$. Para la determinación de $\Psi_{100\text{ s}}$, se tomaron hojas aledañas a las seleccionadas para la medida de Ψ_f y se colocaron en cámaras de hidratación con el peciolo introducido en agua destilada, a la oscuridad y entre $6\text{ y }8\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Luego, se envolvieron con papel de aluminio para su congelación en nitrógeno líquido y se almacenaron en congelador a $-80\text{ }^\circ\text{C}$.

Posteriormente, todas las muestras se descongelaron a temperatura ambiente y por centrifugación a 3 000 rpm durante tres minutos; se obtuvo el jugo celular de las hojas. A partir de alícuotas de $100\text{ }\mu\text{L}$, se determinó el Ψ_s y el $\Psi_{100\text{ s}}$ mediante un osmómetro de presión de vapor (Vapro 5520). El potencial de turgencia Ψ_t se calculó por diferencias entre el Ψ_s y el Ψ_f .

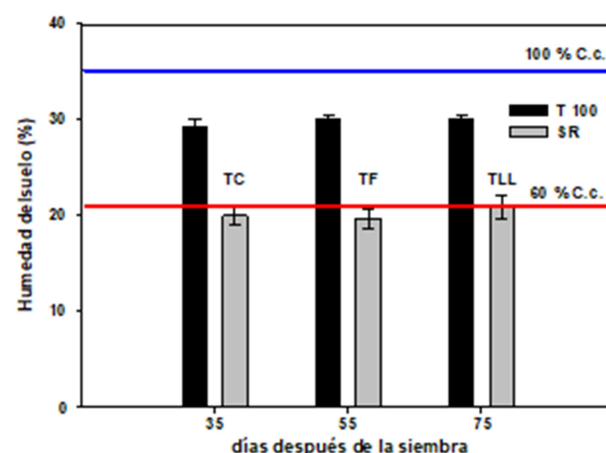
Las evaluaciones del contenido de proteínas solubles totales se realizaron por el método de Micro Lowry y las de clorofilas A, B, A+B y Carotenos por Wickliff y Aronoff, 1962. Para estas evaluaciones se tomaron seis muestras por tratamiento y se siguieron los protocolos (12).

El cálculo de los intervalos de confianza de las medias y la comparación de estas se realizó con el empleo del programa IBM SPSS Statistics 19 y la graficación de los resultados mediante el programa Sigma Plot 11.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variaciones del contenido de humedad del suelo en los diferentes tratamientos estudiados, se presentan en la **Figura 1**, donde se puede apreciar que, al término del período de suspensión del riego en cada una de las fases estudiadas, la humedad del suelo disminuyó alrededor del 60 % de la capacidad de campo del suelo, valor que puede considerarse como un estrés hídrico moderado para el cultivo.

Estos resultados sugieren que la programación del riego empleada, resultó práctica a la hora de establecer diferencias en el contenido de humedad del suelo entre los tratamientos empleados, pero solo permitió aportar las cantidades de agua para alcanzar el nivel de aproximadamente el 86 % de la capacidad de campo a las plantas de T 100.

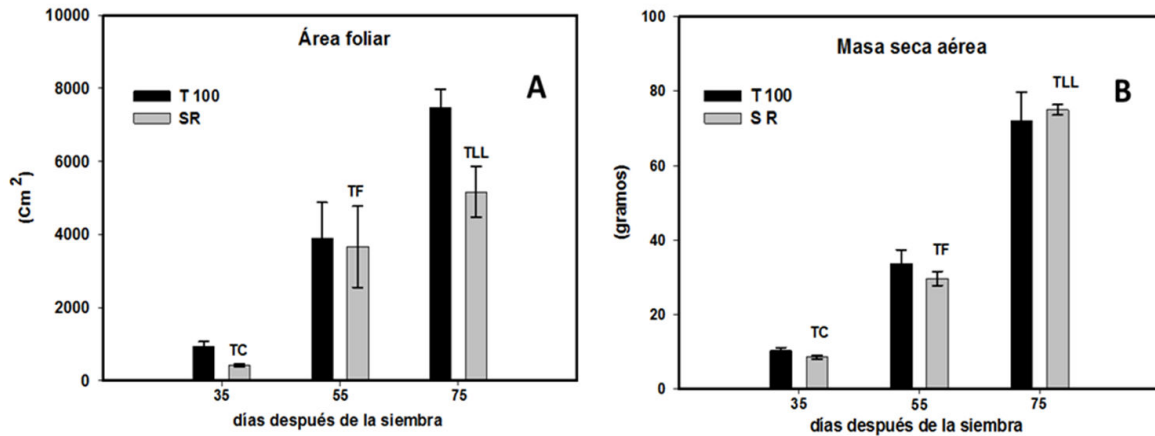


SR= suspensión del riego, TC= suspensión del riego en la etapa de crecimiento, TF= suspensión del riego en la etapa de floración y TLL= suspensión del riego en la etapa de llenado del grano. C. C.= Capacidad de campo. Las barras sobre los valores medios representan el intervalo de confianza de las medias, $\alpha = 0,05$

Figura 1. Variación del porcentaje de humedad del suelo en los tratamientos estudiados a 20 cm de profundidad

El efecto de los tratamientos de RDC en los valores de área foliar (**Figura 2 A**) se puede observar, que la suspensión del riego por 15 días afectó de forma negativa el área foliar a las plantas de los tratamientos TC y TLL con respecto a las plantas de T 100. Por su parte, la masa seca de la parte aérea (**Figura 2 B**) solo disminuyó ligeramente con la suspensión del riego en las plantas de TC, comportamiento que está asociado en lo fundamental a una mayor eficiencia del uso del nitrógeno en las plantas correspondientes a TF y TLL ante condiciones de estrés hídrico moderado, lo que permitió mantener una adecuada producción de materia seca foliar, atendiendo a lo señalado por (13).

Estos resultados indican que la aplicación del estrés hídrico (60 % de la C.c.) en la etapa de crecimiento (TC) las plantas resultaron afectadas negativamente en ambas variables (**Figura 2 A y B**). Por otra parte, es de señalar, que el área foliar resultó más sensible a la suspensión del riego que la masa seca aérea. Este comportamiento está en correspondencia con lo informado por (8) al estudiar diferentes métodos y niveles de riego en dos etapas de desarrollo de plantas de maíz.

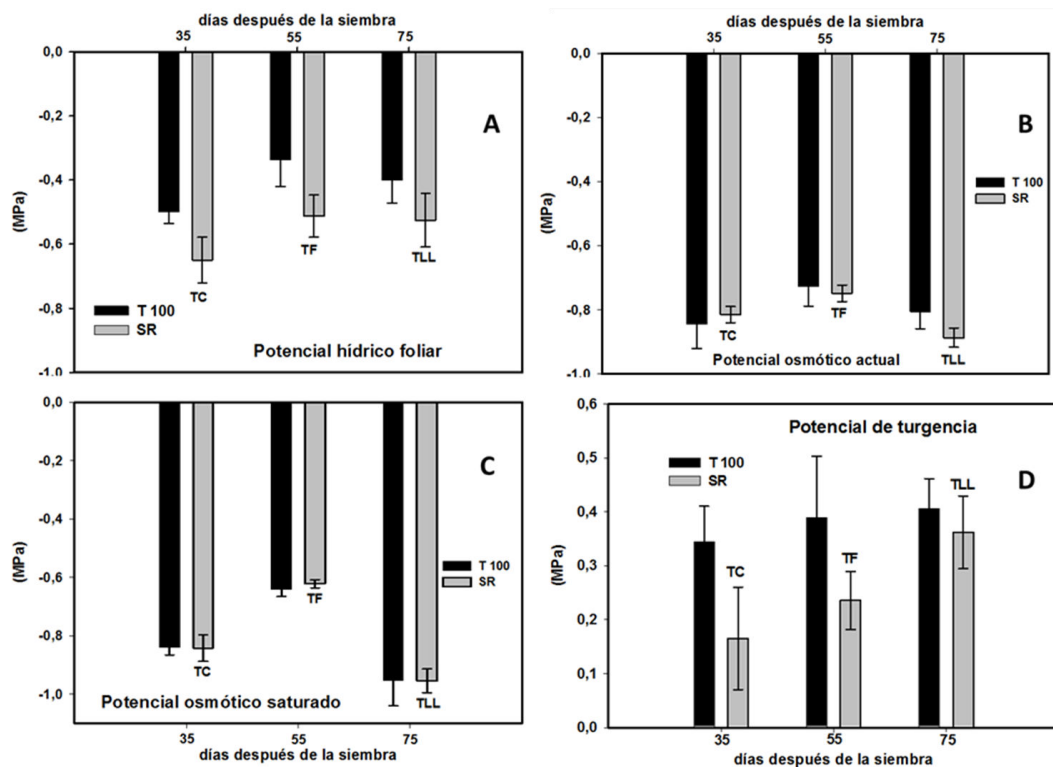


TC= suspensión del riego en la etapa de crecimiento, TF= suspensión del riego en la etapa de floración y TLL= suspensión del riego en la etapa de llenado del grano. Las barras sobre los valores medios representan el intervalo de confianza de las medias, $\alpha = 0,05$

Figura 2. Efecto de la suspensión del riego (SR) en diferentes etapas del desarrollo de plantas de maíz en el área foliar (A) y la masa seca aérea (B)

En los resultados de las evaluaciones del Ψ_f (Figura 3 A) y sus componentes Ψ_s (B), Ψ_{100s} (C) y Ψ_t (d) se encontró que en el caso del Ψ_f , la suspensión del riego (SR) en las plantas de TC se afectó negativamente y ligeramente el Ψ_t , en el caso del Ψ_f con una reducción del 23 %, con relación a las plantas control (T100). En las plantas correspondientes a TF, sólo disminuyó el Ψ_f en un 35 % con respecto a las de T100. Sin embargo, en las plantas con suspensión del riego

en la etapa de llenado del grano (SLL) no se presentaron diferencias con las del control, indicando que fue la etapa menos sensible al estrés moderado. Es de destacar, que en el caso del Ψ_{100s} en ninguna de las plantas de los tratamientos de RDC en estudio se manifestaron evidencias de la ocurrencia del proceso de ajuste osmótico, ya que en ningún caso hubo diferencias en el Ψ_{100s} entre las plantas estresadas y las del control.



TC= suspensión del riego en la etapa de crecimiento, TF= suspensión del riego en la etapa de floración y TLL= suspensión del riego en la etapa de llenado del grano. Las barras sobre los valores medios representan el intervalo de confianza de las medias, $\alpha = 0,05$

Figura 3. Efecto de la suspensión del riego (SR) en diferentes etapas del desarrollo de plantas de maíz en el Ψ_f (A), el Ψ_s (B), el Ψ_{100s} (C) y el Ψ_t (D)

Evidentemente, la disminución del estado hídrico foliar en las plantas en la etapas de crecimiento (TC) y de floración (TF) en comparación con T100 es un síntoma característico del efecto del estrés hídrico en maíz y el hecho de que en TLL no se manifestaran estas diferencias con respecto a T100, indican que esta etapa es menos sensible al estrés hídrico, resultados que corroboran los informados (14,15) trabajando con diferentes híbridos de maíz en condiciones de estrés hídrico. Por otra parte, aunque no quedó demostrada eficazmente la existencia del proceso de ajuste osmótico en las plantas estresadas, es de destacar, que la no ocurrencia de diferencias en el Ψ_t entre las plantas de TLL y T100, indica la ocurrencia de cierto ajuste que permitió mantener niveles similares de turgencia en las plantas de ambos tratamientos.

En la **Tabla 2**, se presentan los valores del contenido de proteínas solubles totales, clorofilas y carotenos de plantas afectadas o no por la suspensión del riego en tres etapas de su desarrollo, donde se pudo observar, que el contenido de proteínas solubles totales siempre fue superior en las plantas correspondientes a los tratamientos con suspensión del riego, lo que demuestra una vez más, que un adecuado estrés hídrico favorece la calidad de las plantas.

De manera similar, ocurrió con el contenido de carotenos, al no presentarse diferencias entre los valores presentados por las plantas correspondientes a TC y TF, con respecto a las de T100. Estos resultados se asocian fundamentalmente a que, de forma general, el estrés hídrico propicia un incremento en el contenido de carbohidratos y estos tienen una gran importancia en prevenir la deshidratación celular y el mantenimiento de la turgencia, la protección de la membrana celular y previene la destrucción de las proteínas (16). Además, de constituir una fuente suplementaria de energía.

En el caso de las clorofilas A, B y A+B, cuando la suspensión del riego tuvo lugar en la etapa de crecimiento (TC) los valores más altos correspondieron justamente a las plantas estresadas. Cuando la suspensión del riego se realizó en TF, no hubo diferencias en el contenido de clorofila A de las plantas con respecto a las de T100 y si disminuyó ligeramente el contenido en B y A+B. Sin embargo, en el caso de las plantas correspondientes a TLL se encontró una disminución considerable de las clorofilas (A, B y A+B) con

respecto a las del tratamiento T100. Este comportamiento está asociado en lo fundamental a que las plantas de los tratamientos TF y TLL recibieron menos agua aplicada por el riego, indicando que el estrés hídrico moderado aplicado a las plantas de maíz en las etapas de floración y llenado del grano, propició una disminución del área foliar, asociada a una mayor senescencia (como se observó en la **Figura 2 A**) y una significativa degradación de la clorofila, resultados que están en línea (15).

CONCLUSIONES

- La suspensión del riego en cada una de las fases estudiadas disminuyó la humedad del suelo alrededor del 60 % de la Capacidad de campo, valor que se consideró como un estrés hídrico moderado para el cultivo.
- El área foliar resultó ser más sensible al estrés hídrico del suelo, principalmente en las plantas de los tratamientos con suspensión del riego en las fases de crecimiento (TC) y llenado del grano (TLL).
- Los valores del Ψ_f y sus componentes Ψ_s y de Ψ_t , así como el Ψ_{100s} , sugieren, que las etapas más sensibles en las plantas a la suspensión del riego con respecto a estos indicadores del status hídrico, son las etapas de crecimiento y floración.
- El estrés hídrico favoreció el contenido de proteínas a nivel foliar y prácticamente no tuvo efectos negativos en el contenido de carotenos.
- El estrés hídrico moderado aplicado a las plantas en las etapas de floración (TF) y llenado del grano (TLL) propició una mayor degradación del pigmento clorofílico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Shu R, Cao X, Wu M. Clarifying regional water scarcity in agriculture based on the theory of blue, green and grey water footprints. *Water Resources Management*. 2021, 35:1101-1118. DOI: [10.1007/s11269-021-02779-6](https://doi.org/10.1007/s11269-021-02779-6).
2. Ahmed A, Harby M. Potential of Soil Conditioners to Mitigate Deficit on Agricultural Crops: A Review. *Water Resources Management*. 2024, 38: 2961-2976. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03800-4>.

Tabla 2. Efecto de la suspensión del riego en tres etapas del desarrollo de plantas de maíz en el contenido de proteínas solubles total, clorofilas y carotenos

Variables-Tratamientos	Proteínas Solubles Totales ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Clorofila A ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Clorofila B ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Clorofila A+B ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Carotenos ($\mu\text{g mL}^{-1}$)
T 100	0,2570	10,163	2,546	12,793	4,900
TC	0,3130	14,774	3,717	18,491	6,285
E s. X.	0,0035 *	0,345*	0,0851*	0,450*	0,983ns
T 100	0,2580	12,861	3,496	16,357	2,574
TF	0,2953	11,909	2,941	14,851	2,473
E s. X.	0,0041*	0,2802 ns	0,0871*	0,066*	0,030ns
T 100	0,2535	11,735	3,258	14,993	2,501
TLL	0,3015	9,843	2,425	12,268	2,274
E s. X.	0,0049*	0,139*	0,107*	0,3014*	0,032*

(*) significa que existen diferencias estadísticamente significativas

3. Kamali MI, Ansari H, Nazari R. Optimization of applied water depth under water limiting conditions. *Water Resources Management*. 2022, 36:4081-4098. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03241-x>.
4. El-Nashar W, Elyamany A. Adapting irrigation strategies to mitigate climate change impacts: a value engineering approach. *Water Resources Management*. 2023, 37:2369-2386. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03353-4>.
5. Mehrazar A, Massah AR, Gohari A, Mashal L, Rahimikhoob H. Adaptation of water resources system to water scarcity and climate change in the suburb area of megacities. *Water Resources Management*. 2020, 34:3855-3877. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02648-8>.
6. Li Q, Chen Y, Sun S K, Zhu M, Xue J, Gao Z, Zhao J, Tang Y. Research on crop irrigation schedules under deficit irrigation-a metaanalysis. *Water Resources Management*. 2022, 36:4799-4817. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03278-y>.
7. Ma B, Bao-Luo M, Mc Laughlin N B, Li M, Liu J. Residual effect of Bentonite-Humic Acid Amendment on Soil Health and Crop Performance 4-5 years after initial application in a Dryland Ecosystem. *Agronomy*. 2022, 12:853. [DOI: 10.20944/preprints202203.0008.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202203.0008.v1)
8. Chen S, Jiang T, Ma H, He C, Xu F R W, Feng H, Yu Q, Siddique K H M, Dong Q, He J. Dynamic within-season irrigation scheduling for maize production in Northwest China: a method based on weather data fusion and yield prediction by DSSAT. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2020, 285-286, 107928. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107928>
9. Castillo Y, González F, Hervis G, Hirán L, Cisneros E. Impacto del cambio climático en el rendimiento del maíz sembrado en suelo Ferralítico Rojo compactado. *Revista Ingeniería Agrícola*. 2020, 10 (1), e08, Enero- Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586262449008>
10. FAO. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma, 2006.
11. Effects of severe water stress on maize growth processes in the field. *Sustainability*. 2019, 11, 5086; [doi:10.3390/su1185086](https://doi.org/10.3390/su1185086)www.mdpi.com/journal/sustainability
12. Monteoliva M I, Bustos D y Celina L. Abordajes fisiológicos para el estudio del estrés abiótico en plantas: Disertaciones y protocolos. Buenos Aires, Ediciones INTA, 2019, 87 p. ISBN 978-987-521-986-1
13. Yufeng Z, Saddique Q, Ajaz A, Jiataun X, , Khan M I, Mu Q, Azmat M, Cai H, Kadambot H, Siddique M. Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*. 2021, 243 106483. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106.483>
14. Balbaa M G, Osman H T, Kandil E E, Javed T, Lamlom S F, Ali H M, Kalaji H M, Wrobel J, Telesiński A, Brysiewicz A, Ghareeb R Y, Abdelsalam N R y Abdelghany A M. Determination of morpho-physiological and yield traits of maize inbred lines (*Zea mays* L.) under optimal and drought stress conditions. *Front. Plant Sci*. 2022, 13: [doi: org/ 10.3389/fpls.2022.959203](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.959203).
15. Mohanapriya B, Ravikesavan R, Senthil N, and Sheela S. Root phenological and physiological response of maize (*Zea mays* L.) for adaptation under drought stress at vegetative and reproductive stages. *Res. Crop*. 2023, 24 (2): 287-294. DOI: [10.31830/2348-7542.2023.ROC-11162](https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC-11162)
16. Golnaz B, Seyed M, Nabavi K, Saeid K K, Mohsen G, Alireza K. Effect of deficit irrigation on physiological, biochemical, and yield characteristics in three baby corn cultivars (*Zea mays* L.). *Heliyon*. 2023, 9 e15477. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15477>