



Efecto del riego deficitario controlado en el desarrollo de plantas de maíz

Effect of deficit irrigation controlled in maize plant development

 José Miguel Dell'Amico Rodríguez*,  Donaldo Medardo Morales Guevara,  Lilisbet Guerrero Domínguez,  Arazay Santa Cruz Suarez

Instituto 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: El maíz es considerado uno de los principales cultivos que contribuyen a la seguridad alimentaria y nutricional de gran parte de la población mundial y la sequía representa uno de los fenómenos que más negativamente impacta en la producción agroalimentaria y por tanto en el rendimiento de este cereal. La investigación se realizó con el objetivo de estudiar el efecto de tres tratamientos de riego deficitario controlado (RDC) en el desarrollo del cultivo. El trabajo se diseñó en condiciones semi-controladas, en canaletas de hormigón, sembradas con el cultivar de maíz P7928 y se estudiaron tres tratamientos de RDC, con suspensiones del riego por 15 días en tres etapas del desarrollo del cultivo (SC, SF y SLL) y un tratamiento control regado al 100 % de la ETc. Al término de los periodos de suspensión del riego, se realizaron evaluaciones de la humedad del suelo, indicadores fisiológicos y del rendimiento. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el programa IBM SPSS Statistics 19. Los resultados mostraron que la suspensión del riego por 15 días en las tres etapas (SC, SF y SLL) provocó a las plantas de maíz disminuciones importantes en la humedad del suelo y en CRA. Además, en SC redujo la masa seca aérea, considerablemente la masa de 100 granos y los gramos por planta. En SF, redujo la longitud del tallo, el CRC, severamente la masa de 100 granos y el rendimiento en gramos por planta y en SLL, solamente el CRC.

Palabras clave: estrés hídrico, humedad del suelo, crecimiento, rendimiento.

ABSTRACT : Maize is considered one of the main crops that contribute to food and nutritional security for a large part of the world population and drought represents one of the phenomena that most negatively impacts agri-food production and therefore the yield of this cereal. The research was carried out under semi-controlled conditions in concrete containers planted with the maize P7928 cultivar and three controlled deficit irrigation (CDI) treatments were studied, with irrigation suspensions for 15 days in three stages of crop development (SC, SF and SLL)) and a control treatment irrigated at 100 % of the ETc. At the end of the irrigation suspension periods, evaluations of soil moisture, physiological and yield indicators were carried out. The statistical analysis of the data was carried out using the IBM SPSS Statistics 19 program. The results showed that the suspension of irrigation for 15 days in the three stages (SC), (SF) and (SLL) to plants of the maize cultivar P7928 caused significant decreases in soil moisture and RWC. In addition, in SC it reduced the aerial dry mass, considerably the 100 grains mass and the grams per plant. In SF, it reduced stem length, RCC, severely 100grains mass, and yield in grams per plant, and in SLL, only RCC.

Key words: water stress, soil moisture, growth, yield.

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

Recibido: 09/12/2023

Aceptado: 05/08/2024

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

Contribución de los autores: **Conceptualización-** José M. Dell'Amico y Donaldo Morales, **Investigación-** José M. Dell'Amico, Lilisbet Guerrero, Arazay Santa Cruz Suarez, **Supervisión-** Donaldo Morales, **Escritura del borrador inicial-** José M. Dell'Amico, **Escritura y edición final-** José M. Dell'Amico, **Curación de datos-** José M. 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 maíz (*Zea mays* L.) ocupa el octavo lugar en la lista de productos agrícolas más importantes del mundo con una producción que ronda los 1,100 millones de toneladas en el año 2020 (1).

Este cereal pertenece a la familia *Poaceae*, se considera uno de los principales cultivos que contribuyen a la seguridad alimentaria y nutricional, es una fuente muy importante de proteínas para la mayoría de la población rural en Centroamérica y, además, es el cultivo forrajero más importante a nivel mundial (2-4).

El cambio climático es uno de los fenómenos más importantes y estudiados de nuestra era y puede tener un profundo impacto en la agricultura, debido fundamentalmente a la ocurrencia de escasas precipitaciones (5).

Históricamente, la región Centroamericana es afectada por eventos hidro-meteorológicos extremos. Entre ellos, la sequía representa uno de los fenómenos que más impacta de forma negativa en la producción agroalimentaria (6). Para los próximos años, los modelos climáticos proyectan un aumento en las temperaturas, en precipitaciones erráticas e incremento de la evapotranspiración, factores que podrían provocar la intensificación de los impactos de la variabilidad climática en la agricultura familiar (7,8) y sus efectos en la seguridad alimentaria y nutricional a mayor escala (9).

La agricultura de riego se practica con mayor frecuencia en un ambiente restringido e incierto de recursos hídricos, debido a la intensificación de la variabilidad climática y a una competencia hídrica mayor por usuarios no agrícolas (10).

En Cuba, la problemática general del uso del agua para la agricultura y su particularidad, se basa fundamentalmente en la gran demanda de agua por unidad de producción que tienen los productos agrícolas y las eficiencias globales del riego (11). La agricultura, como principal consumidor de agua dulce, trabaja en la disminución del consumo de agua y una de las vías fundamentales para lograrlo es el aumento de la eficiencia en el uso del agua de riego y en el incremento de su productividad.

El volumen de agua demandado por tonelada de producto agrícola, así como la eficiencia en el uso de esta durante el riego, son los principales factores que condicionan su consumo. El cultivo del maíz está considerado como uno de los prioritarios en el programa de producción de granos para la sustitución de importaciones que lleva a cabo el estado cubano (12). El maíz es altamente sensible a la sequía, a las temperaturas extremas, a la salinidad y a la toxicidad por metales pesados (13).

Aunque las plántulas de maíz requieren menos agua que las plantas de etapas fenológicas subsecuentes, en las fases tempranas, es muy sensible al estrés ambiental como la sequía, que puede provocar la pérdida total del cultivo (14). En la agricultura de regadío, la práctica de riego es uno de los procesos más complejos que debe realizar el agricultor debido a la gran cantidad de factores implicados en el manejo del agua, requiriéndose de información técnica para el conocimiento preciso entre el agua aplicada y el rendimiento de los cultivos (15).

Algunos autores han reportado la evaluación de parámetros de crecimiento en condición de estrés para evaluar genotipos tolerantes a la sequía, pero, en pocas ocasiones se evalúa de manera simultánea la respuesta fisiológica temprana al estrés hídrico (16).

Existen estrategias de riego que permiten reducir la frecuencia y la cantidad de riego en los cultivos con efectos mínimos en los rendimientos convencionales, si se validan en escala local, como la aplicación del riego deficitario en función del desarrollo fenológico (17). En ocasiones, resulta extremadamente compleja la comparación de resultados, pues independientemente de que existe una gran cantidad de información de trabajos realizados en esta temática y en el cultivo del maíz, las condiciones en que se realizan las investigaciones son muy diferentes, principalmente en la concepción y la aplicación de los tratamientos de estrés hídrico.

Atendiendo a la problemática del maíz con relación a sus necesidades hídricas, se estableció como objetivo del trabajo estudiar el efecto de tres tratamientos de riego deficitario controlado (RDC) en el desarrollo del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en condiciones semi-controladas 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 m s.n.m. El 20 de 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 (18), zona que forma parte de la llanura cársica Habana-Matanzas (8). 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 ensayaron cuatro tratamientos de riego que se relacionan 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 de manera conveniente 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). Las plantas antes y después de la suspensión del riego (SR) recibieron el 100 % de la ET_c.

La evapotranspiración de referencia ETo (mm), la evapotranspiración estándar del cultivo ET_c (mm) y los requerimientos de riego (ET_c= ETo*Kc) se obtuvieron mediante el Programa CropWat.8; éste se actualizó con una serie histórica de datos meteorológicos de 31 años (1990-2021) correspondientes a la Estación meteorológica de Tapaste que pertenece al Instituto Nacional de Meteorología

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de riego deficitario estudiados

Tratamientos	Descripción
100 %	Control regado al 100 % de la Evapotranspiración estándar del cultivo (ETc) durante todo el ciclo.
SC	Suspensión del riego por 15 días en la etapa de crecimiento. (entre 20-35 DDS)
SF	Suspensión del riego por 15 días en la etapa de floración. (entre 40-55 DDS)
S LL	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

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, propuestos para la región por FAO (19).

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 períodos de suspensión del riego en las fases de crecimiento (SC), floración (SF) y llenado de los granos (SLL).

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.

Evaluaciones de crecimiento:

Longitud del tallo cm (regla graduada)

Diámetro del tallo cm (pie de rey)

Nº de hojas, Área foliar (cm²) = (Largo*Ancho medio de las hojas) *0,75 (20)

Masa seca aérea (g) en balanza técnica

El contenido relativo de agua % (CRA) y el de clorofilas (SPAD); al igual que las evaluaciones de crecimiento, se realizaron en nueve repeticiones por tratamiento.

Para el CRA, se tomaron a las 7:00 am. los ápices de hojas del tercio superior de las plantas, totalmente desarrolladas, se pesaron (masa fresca) y colocaron en cámara de hidratación por espacio de 24 horas en la oscuridad y a 8°C, posteriormente, se midió su masa turgente y se colocaron en estufa de tiro forzado a 65 °C por espacio de 72 horas hasta masa seca constante. El cálculo del CRA se realizó mediante la ecuación [1].

$$CRA = \frac{[(masa\ fresca - masa\ seca)]}{(masa\ turgente - masa\ seca)} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

Para medir el contenido relativo de clorofilas (CRC) se utilizó un Medidor Portátil de Clorofila MINOLTA SPAD 502 Plus.

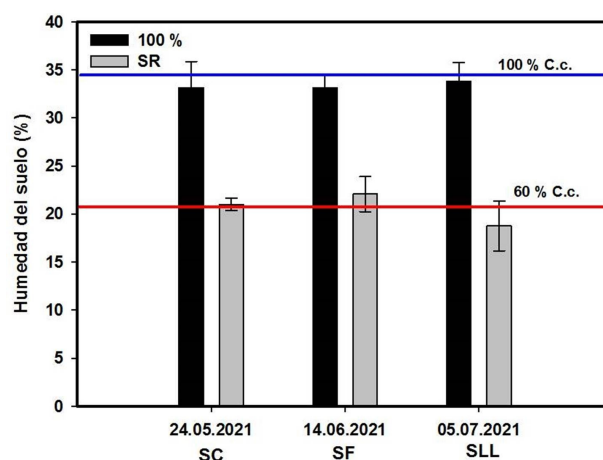
En las evaluaciones del rendimiento y sus componentes se midieron en 10 mazorcas por tratamiento las siguientes variables: hileras por mazorca, granos por hilera, granos

por mazorca y por planta, masa de 100 granos, y gramos por planta.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan las variaciones del contenido de humedad del suelo en los diferentes tratamientos, donde se encontró que, en esta variable, cuando la suspensión del riego se realizó en la fase de crecimiento (SC) disminuyó o decreció en un 36,6 % con respecto al tratamiento control (100 % de la ETc); en un 33,45% en la fase de floración (SF) y en un 44, 45 % en la fase de llenado del grano (SLL).



Las barritas sobre los valores medios representan el intervalo de confianza de las medias, $\alpha = 0,05$. SC= suspensión del riego en la etapa de crecimiento, SF= suspensión del riego en la etapa de floración y SLL= suspensión del riego en la etapa de llenado del grano

Figura 1. Variación del porcentaje de humedad del suelo en los tratamientos de suspensión de riego (SR) estudiados a 20 cm de profundidad

Estos resultados sugieren que la programación del riego empleada resultó adecuada para el establecimiento y la aplicación de los tratamientos en las diferentes fases del cultivo, lográndose con la suspensión del riego en cada etapa valores de humedad del suelo que se encuentran en el entorno del 60 % de la capacidad de campo (C.c.), por lo que se puede considerar como un estrés hídrico moderado.

Los efectos de la deficiencia hídrica del suelo producto de la suspensión del riego en las tres etapas del cultivo estudiadas se relacionan en la **Tabla 2**, donde se encontró que en el crecimiento en longitud del tallo, la suspensión del riego en la etapa de crecimiento (SC) no afectó negativamente este indicador en las plantas, incluso el valor medio fue ligeramente superior que en las plantas que recibieron el 100 % de sus requerimientos hídricos, aunque sin diferencias estadísticamente significativas.

El estrés hídrico inducido en la etapa de floración (SF) produjo disminuciones significativas en el crecimiento en cuanto a longitud y al diámetro de los tallos.

En SLL, los valores medios de las tres variables en las plantas fueron mayores, aunque con diferencias significativas solamente en el diámetro del tallo. Sin embargo, este comportamiento de las plantas en ambos tratamientos (SLL y 100 % de EtC) está asociado en lo fundamental a que en esta etapa prácticamente no hay supremacía del crecimiento.

Los valores de área foliar y masa seca de la parte aérea de las plantas de maíz con suspensiones del riego en diferentes etapas de su desarrollo, se presentan en la **Figura 2**, en la que se pudo observar que, la suspensión del riego por 15 días en las tres etapas no afectó de forma negativa el área foliar. Por su parte, la masa seca de la parte aérea solo disminuyó ligeramente con la suspensión del riego en la etapa de crecimiento (SC).

Estos resultados sugieren que la aplicación de un estrés moderado (60 % de la C.c.) en las fases o etapas del desarrollo estudiadas, solamente provocaron reducciones

en el crecimiento en función de la longitud y el diámetro del tallo en las plantas de SF y en la masa seca aérea en SC. Sin embargo, el número de hojas y el área foliar no fueron afectadas negativamente.

Existe cierta correspondencia de estos resultados con los informados por (21) quienes trabajaron con tres genotipos de maíz y cinco tratamientos de riego, y encontraron que, en el genotipo más tolerante, el menor crecimiento en longitud del tallo correspondió a las plantas que recibieron el 100 % del agua de riego y sugirieron que los genotipos de maíz pueden crecer con la aplicación del 60 % de los requerimientos hídricos. Otros investigadores encontraron mayor masa seca del tallo cuando aplicaron el 50 y el 25 % del agua de riego y mayor masa seca de hojas verdes cuando aplicaron el 25 % y en secano (5). En este sentido, (22) encontraron que el crecimiento en biomasa fue influenciado directamente por el área foliar; mientras que la humedad del suelo no tuvo un efecto significativamente directo en la producción de biomasa total.

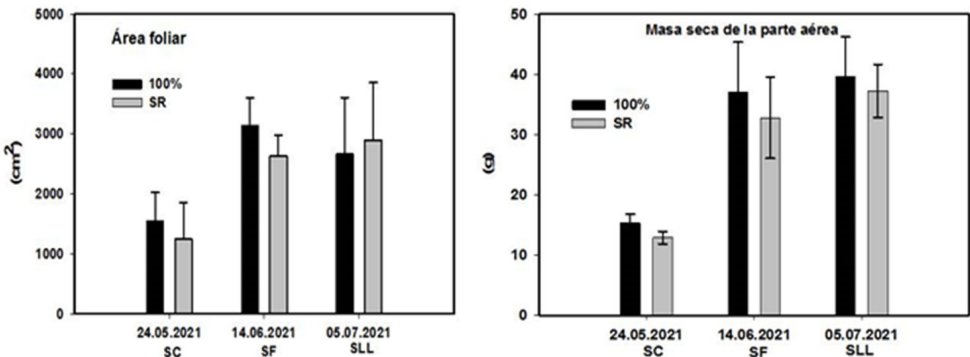
Por otra parte, (23) encontraron que el crecimiento en masa seca de la parte aérea (tallo y hoja) fue menor en las plantas de los tratamientos extremos en cuanto a las dotaciones de agua, es decir, cuando el estrés hídrico fue fuerte en la etapa vegetativa y en la maduración con solo dos riegos y cuando el estrés fue ligero al inicio y moderado en la maduración con cuatro riegos.

Los valores de CRA y CRC de las plantas en los diferentes tratamientos se presentan en la **Figura 3**, donde se puede apreciar cierta correspondencia entre el CRA y la humedad del suelo (**Figura 3**).

Tabla 2. Efecto de los tratamientos de RDC en las tres fases de desarrollo de plantas de maíz sobre los diferentes indicadores de su morfología

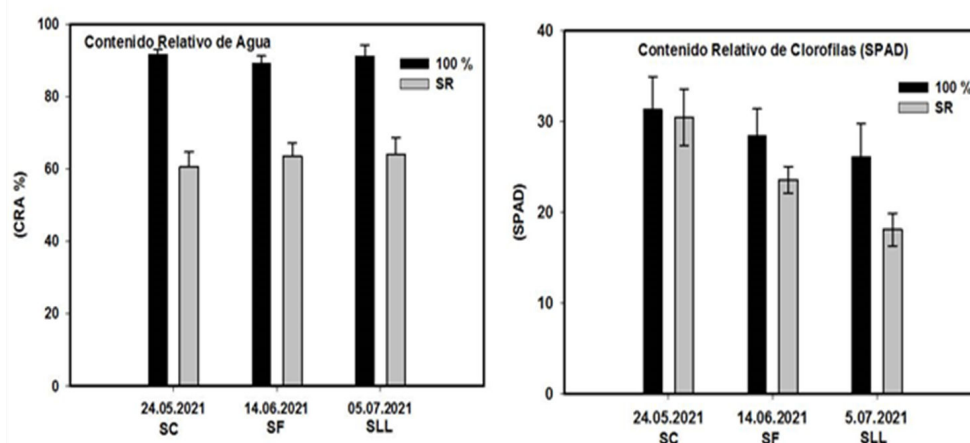
Variables	100 %	SC	E.s.X	100 %	SF	E.s.X	100 %	SLL	E.s.X
Longitud tallo (cm)	71,75	83,00	4,49 ns	138,87	124,25	3,67*	121,75	136,00	9,90ns
Diámetro tallo (cm)	1,37	1,32	0,056 ns	1,69	1,31	0,1109*	1,19	1,67	0,125*
Nº de hojas	7,5	7,25	0,375 ns	11,25	11,25	0,619 ns	10,50	12,00	0,75 ns

SC= suspensión del riego en la etapa de crecimiento, SF= suspensión del riego en la etapa de floración y SLL= suspensión del riego en la etapa de llenado del grano



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

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



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

Figura 3. Efecto de la suspensión del riego (SR) en diferentes etapas del desarrollo de plantas de maíz en el CRA y el CRC

Las plantas en los tres tratamientos de RDC presentaron contenidos relativos de agua alrededor del 60 %, mientras que las que recibieron el 100 % de la ETc presentaron valores cercanos al 90 %. El CRA es un indicador del estatus hídrico de la planta y está estrechamente vinculado con la absorción de agua por la raíz y la pérdida por transpiración. En condiciones de estrés por sequía el CRA disminuye, pero se puede incrementar rápidamente mediante los riegos de reposición (2).

La clorofila es uno de los principales componentes del cloroplasto, organelo fundamental para la fotosíntesis; por tanto, el CRC tiene una relación positiva con la tasa fotosintética. En este caso, el CRC en las plantas correspondientes a SC no disminuyeron sus valores; en las de SF redujeron ligeramente y en SLL presentaron los menores valores de este indicador; por lo que se pudiera inferir que el estrés hídrico en las plantas en la etapa de llenado del grano, a pesar de que no se encontraron diferencias en el área foliar de las plantas en SLL, fue el tratamiento más perjudicial en el CRC.

Este comportamiento, al parecer, está asociado al hecho de que en SLL la suspensión del riego provocó el mayor descenso de la humedad del suelo y, de acuerdo con lo señalado por (24), el decrecimiento en el contenido de clorofila en condiciones de estrés por la sequía ha sido considerado un síntoma típico de estrés oxidativo y puede

ser el resultado de la fotooxidación del pigmento y de la degradación del mismo.

Otros autores como (20), aplicando un tratamiento de estrés hídrico en cuatro estados fenológicos del cultivo, informaron que un estrés hídrico severo y prolongado durante el estado de plántula y extendido a la maduración puede dañar la estructura de la membrana fotosintética, provocando un menor contenido de clorofilas y, por tanto, un uso menos eficiente de la radiación solar.

Al analizar los valores de los indicadores del rendimiento y sus componentes (Tabla 3) se encontró que en las variables hileras por mazorca, granos por hilera, granos por mazorca y granos por planta, no existieron diferencias significativas estadísticamente entre las plantas de los tratamientos en estudio.

Solo se apreciaron reducciones con diferencias significativas en la masa de 100 granos y en los gramos por planta cuando la suspensión del riego tuvo lugar en SC y SF y los valores más bajos de masa de 100 granos correspondieron a las plantas del tratamiento SC, con diferencias significativas con las plantas del resto de los tratamientos; mientras que los menores valores de granos por planta correspondieron a las del tratamiento SF, con diferencias significativas solo con las plantas que recibieron el 100 % de la ETc.

Tabla 3. Valores en indicadores del rendimiento de plantas de maíz tratadas con diferentes estrategias de RDC

Variables	100 %	SC	SF	SLL	Es X
Hileras-mazorca	12	13	13	13	0,746 ns.
Granos hilera	23	18	18	20	2,220ns.
Granos mazorca	279	249	239	259	12.70 ns.
Masa de 100granos	17, 77 a	14, 78 c	14, 14 d	16, 51 b	0, 163*
Granos planta	282	250	240	273	31,274ns.
Gramos planta	50,08 a	37,05 b	33,90 b	45,14 ab	2,26*

SC= suspensión del riego en la etapa de crecimiento, SF= suspensión del riego en la etapa de floración y SLL= suspensión del riego en la etapa de llenado del grano

Este comportamiento en las plantas de ambos tratamientos puede que indique que el estrés inducido por la suspensión del riego en la etapa de crecimiento vegetativo y en la de floración provoca reducciones considerables en la masa del grano y el rendimiento del cultivo.

El llenado del grano de maíz se altera de manera considerable debido al momento y a la intensidad de los déficits de agua. Esta variación puede limitar la productividad de la hoja (fuente), la translocación de azúcares asimilados (flujo) y la formación del rendimiento (sumidero) (25,26).

En trabajos realizados por (23,27) señalan que un estrés hídrico fuerte en la etapa de crecimiento vegetativo podría inhibir seriamente el crecimiento y el área foliar en las plantas de maíz. Sin embargo, con un estrés hídrico ligero durante las etapas de crecimiento vegetativo y de llenado del grano, las plantas mostraron un cierto nivel de tolerancia al estrés debido al bajo requerimiento hídrico del cultivo en estas fases.

Otros autores tales como (20), plantean que las plantas de maíz que recibieron un estrés hídrico severo y prolongado durante el estado de plántula no mostraron una recuperación significativa, incluso cuando los niveles de riego durante el resto del período de crecimiento fueron los mismos que los aplicados a las plantas que no estaban sujetas al mencionado estrés y sugieren que podría ocurrir una pérdida de rendimiento irrecuperable si el maíz estuviera expuesto a eventos de estrés hídrico severos y prolongados durante la etapa de plántula.

Estos resultados sugieren que, si se pretende ahorrar agua por concepto del riego y sin afectaciones significativas del rendimiento con este cultivar, la recomendación es, aplicar el 100 % de la ETc durante las fases de crecimiento vegetativo y floración y suspender el riego en la fase de llenado del grano.

CONCLUSIONES

La suspensión del riego por 15 días en las tres etapas de desarrollo (SC), (SF) y SLL) a las plantas del cultivar de maíz P7928 provocó disminuciones importantes en la humedad del suelo y en CRA. Además, en SC se redujo la masa seca aérea, de manera considerable; la masa de 100 granos y los gramos por planta. En SF, se redujo la longitud del tallo, el CRC, severamente la masa de 100 granos y el rendimiento en gramos por planta y en SLL, solamente el CRC.

BIBLIOGRAFÍA

1. FAOSTAT (División de Estadística de la FAO. Datos sobre alimentación y agricultura [Internet]. 2021. Available from: <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
2. Pokhrel S. Effects of drought stress on the physiology and yield of the maize: A review. Food and Agri Economics Review [Internet]. 2021;1(1):36-40. Available from: https://www.researchgate.net/publication/355942108_EFFECTS_OF_DROUGHT_STRESS_ON_THE_PHYSIOLOGY_AND_YIELD_OF_THE_MAIZE_A_REVIEW
3. Cerna MJG, Colbert RW, Rodríguez IY, Sotomayor JCR. Comportamiento agronómico de accesiones de maíz de Honduras bajo estrés de sequía. CEIBA [Internet]. 2021 Nov 13 [cited 2024 Nov 27]; (Edición Zamorano Investiga):36-51. Available from: <https://revistas.zamorano.edu/CEIBA/article/view/1267>
4. Poole N, Donovan J, Erenstein O. Viewpoint: Agri-nutrition research: Revisiting the contribution of maize and wheat to human nutrition and health. Food Policy [Internet]. 2021 Apr 1 [cited 2024 Nov 27];100:101976. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919220301809>
5. Ottaiano L, Di Mola I, Cirillo C, Cozzolino E, Mori M. Yield Performance and Physiological Response of a Maize Early Hybrid Grown in Tunnel and Open Air under Different Water Regimes. Sustainability [Internet]. 2021 Jan [cited 2024 Nov 27];13(20):11251. Available from: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/20/11251>
6. Calvo-Solano OD, Quesada LE, Hidalgo H, Gotlieb Y. Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Centroamericano. Agron Mesoamericana [Internet]. 2018 [cited 2024 Nov 27];29(3):695. Available from: https://www.researchgate.net/publication/327405787_Impactos_de_las_sequias_en_el_sector_agropecuario_d_el_Corredor_Seco_Centroamericano
7. Imbach P, Beardsley M, Bouroncle C, Medellín C, Läderach P, Hidalgo H, et al. Climate change, ecosystems and smallholder agriculture in Central America: an introduction to the special issue. Clim Change [Internet]. 2017 Mar 1 [cited 2024 Nov 27];141(1):1-12. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1920-5>
8. Iglesias YC, Robaina FG, Granda GH, Rivero LH, Zayas EC. Impacto del cambio climático en el rendimiento del maíz sembrado en suelo Ferralítico Rojo compactado. Rev Ing Agríc [Internet]. 2020 [cited 2024 Nov 27];10(1). Available from: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586262449008/html/>
9. Hansen J, Hellin J, Rosenstock T, Fisher E, Cairns J, Stirling C, et al. Climate risk management and rural poverty reduction. Agric Syst [Internet]. 2019 Jun 1 [cited 2024 Nov 27];172:28-46. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X17307230>
10. Gheysari M, Sadeghi SH, Loescher HW, Amiri S, Zareian MJ, Majidi MM, et al. Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. Agric Water Manag [Internet]. 2017 Mar 1 [cited 2024 Nov 27];182:126-38. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377416305121>
11. Puebla JH, Seijas TL, Robaina FG. El uso del agua en la agricultura en Cuba. Rev Ing Agríc [Internet]. 2011 [cited 2024 Nov 27];1(2):1-7. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586262033008>
12. Zayas EC, González RC, Puebla JH, Robaina FG, Rodríguez SC, García OS. Efecto de los polímeros en la economía del agua. Rev Ing Agríc [Internet]. 2020 [cited 2024 Nov 27];10(1). Available from: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586262449004/html/>
13. Muqadas S, Ali Q, Malik A. Genetic association among seedling traits of zea mays under multiple stresses of salts,

- heavy metals and drought. *Biol Clin Sci Res J* [Internet]. 2020 Dec 12;2020. Available from: https://www.researchgate.net/publication/354663982_GENETIC_ASSOCIATION_AMONG_SEEDLING_TRAITS_OF_ZEA_MAYS_UNDER_MULTIPLE_STRESSES_OF_SALTS_HEAVY_METALS_AND_DROUGHT
14. Badr A, El-Shazly HH, Tarawneh RA, Börner A. Screening for Drought Tolerance in Maize (*Zea mays* L.) Germplasm Using Germination and Seedling Traits under Simulated Drought Conditions. *Plants Basel Switz*. 2020 Apr 29;9(5):565.
15. Domínguez A, Martínez RS, de Juan JA, Martínez-Romero A, Tarjuelo JM. Simulation of maize crop behavior under deficit irrigation using MOPECO model in a semi-arid environment. *Agric Water Manag* [Internet]. 2012 May 1 [cited 2024 Nov 27];107:42-53. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377412000224>
16. Akinwale RO, Awosanmi FE, Ogunniyi OO, Fadoju AO. Determinants of drought tolerance at seedling stage in early and extra-early maize hybrids. *Maydica* [Internet]. 2017 [cited 2024 Nov 27];62(1):9-9. Available from: <https://journals-crea.4science.it/index.php/maydica/article/view/1563>
17. Mendoza-Pérez C, Sifuentes-Ibarra E, Ojeda-Bustamante W, Macías-Cervantes J. Response of surface-irrigated corn to regulated deficit irrigation. *Ing Agríc Biosist* [Internet]. 2016 Jun [cited 2024 Nov 27];8(1):29-40. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-40262016000100029&lng=en&nrm=iso&tlng=en
18. Hernández Jiménez A, Bosch Infante D, Pérez-Jiménez JM, Castro Speck N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015 [Internet]. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 2015 [cited 2024 Sep 19]. 91 p. Available from: <https://isbn.cloud/9789597023777/clasificacion-de-los-suelos-de-cuba-2015/>
19. FAO. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Available from: <https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s00.htm>
20. Song L, Jin J, He J. Effects of Severe Water Stress on Maize Growth Processes in the Field. *Sustainability* [Internet]. 2019 Jan [cited 2024 Nov 27];11(18):5086. Available from: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/18/5086>
21. Shafique F, Ali Q, Malik A. Effects of water deficit on maize seedlings growth traits. *Biol Clin Sci Res J*. 2020 Sep 16;2020:1-7. Available from: https://www.researchgate.net/publication/344272564_Effects_of_water_deficit_on_maize_seedlings_growth_traits
22. Ma X, He Q, Zhou G. Sequence of Changes in Maize Responding to Soil Water Deficit and Related Critical Thresholds. *Front Plant Sci* [Internet]. 2018;9:511. Available from: https://www.researchgate.net/publication/324876180_Sequence_of_Changes_in_Maize_Responding_to_Soil_Water_Deficit_and_Related_Critical_Thresholds
23. Sifuentes Ibarra E, Ojeda Bustamante W, Macías Cervantes J, Mendoza Pérez C, Preciado Rangel P. Déficit hídrico en maíz al considerar fenología, efecto en rendimiento y eficiencia en el uso del agua. *Agrociencia* [Internet]. 2021 [cited 2024 Nov 27];55(3):209-26. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7918116>
24. Anjum S, Xie X yu, Wang L chang, Saleem M, Man C, Lei W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr J Agric Res* [Internet]. 2011 May 1;6. Available from: https://www.researchgate.net/publication/268428110_Morphological_physiological_and_biochemical_responses_of_plants_to_drought_stress
25. Li Y, Tao H, Zhang B, Huang S, Wang P. Timing of Water Deficit Limits Maize Kernel Setting in Association With Changes in the Source-Flow-Sink Relationship. *Front Plant Sci* [Internet]. 2018 Oct 22 [cited 2024 Nov 27];9. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2018.01326/full>
26. Tariq J, Usman K. Regulated deficit irrigation scheduling of maize crop. *Sarhad J Agric* [Internet]. 2009 Jan 1;25. Available from: https://www.researchgate.net/publication/266032774_Regulated_deficit_irrigation_scheduling_of_maize_crop
27. Peña CB, Castro-Rivera R, Aguilar G, Cruz E, Solís MM, Lara JP. Reacciones Fisiológicas y Crecimiento Inicial De Maíz Tuxpeño Con Vermicompost y Suspensión De Riego. *Trop Subtrop Agroecosystems* [Internet]. 2022 [cited 2024 Nov 27];25(13). Available from: https://www.academia.edu/110755496/Reacciones_Fisiológicas_y_Crecimiento_Inicial_De_Maíz_Tuxpeño_Con_Vermicompost_y_Suspensión_De_Riego