

Evaluación de niveles de humedad aprovechable en el balance hídrico y fotosintético en tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Evaluation of usable moisture levels in the water and photosynthetic balance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.)

¹Carlos Antonio Gómez-Zúñiga[✉], ²Víctor Conde-Martínez[✉], ²Carlos Trejo López[✉], ³Sabina Velázquez-Márquez[✉]

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Comitán. Comitán de Domínguez, Chiapas. México. ²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México. México. ³Universidad Autónoma de México. Instituto de Ecología. Ciudad de México. México. [✉]Autor de correspondencia: (vconde@colpos.mx).

Resumen

La disminución del recurso hídrico afecta los procesos fisiológicos de las plantas, la principal señal física es el cambio en la turgencia celular, afectando la expansión foliar y el cierre estomático. El objetivo fue analizar el efecto de dos niveles de humedad aprovechable en las respuestas fisiológicas de dos genotipos de *Solanum lycopersicum* L. En 2017 se evaluaron tratamientos de humedad aprovechable (THA) y en el cultivo se realizaron tres muestreos para seis variables fisiológicas; a los datos se les realizó análisis de varianza bajo diseño completamente aleatorizado y prueba de medias (Tukey, 0.05). La disminución del potencial de agua en planta en los dos materiales del THA 50 % de humedad y del THA Mali-50 no afectó su tasa de asimilación de CO₂ y conductancia estomática. La restricción del 50 % de humedad redujo el potencial hídrico en ambos genotipos de jitomate y causó incremento en la concentración de osmolitos compatibles de las células en tejido foliar en los dos genotipos y en las tres etapas evaluadas, observándose la mayor concentración en la etapa uno correspondiente a la primera floración (-0.790 ± 0.015 MPa). Se observó que, aunque la reducción del recurso hídrico impactó negativamente en el potencial hídrico de las plantas en los THA de 50 % de humedad, este no alteró la fotosíntesis, ni la apertura estomática de las plantas, se detectó incremento en la concentración de prolina en hoja

en el tratamiento Cid-50, aminoácido que en estrés aumenta su concentración.

Palabras clave: conductancia estomática, intercambio de gases, osmolitos secundarios, transpiración.

Abstract

Decreased water availability affects plant physiological processes; the main physical sign is change in cell turgor, impacting leaf expansion and stomatal closure. The objective was to analyze the effect of two levels of available moisture on the physiological responses of two *Solanum lycopersicum* L. Available moisture (AM) treatments were evaluated in 2017, and three samplings were conducted in the crop for six physiological variables. Data were subjected to analysis of variance under a completely randomized design and mean comparison test (Tukey, 0.05). The decrease in plant water potential in both materials, with 50% AM and Mali-50 AM, did not affect their CO₂ assimilation rate or stomatal conductance. The 50% humidity restriction reduced the water potential in both tomato genotypes and caused an increase in the concentration of compatible osmolutes in the cells of leaf tissue in both genotypes and at all three stages evaluated, with the highest concentration observed in stage one, corresponding to the first flowering (-0.790 ± 0.015 MPa). It was observed that, although the reduction in water resources negatively impacted

the water potential of the plants in the 50% humidity treatment, it did not alter photosynthesis or stomatal opening. An increase in proline concentration in the leaves was detected in the Cid-50 treatment; this amino acid increases in concentration under stress.

Index words: stomatal conductance, gas exchange, osmolytes secondary, transpiration.

Introducción

En las plantas, el agua desempeña diversas funciones incluyendo los procesos de transporte y transpiración por lo tanto sus propiedades mecánicas dependen en gran medida del agua y su localización en los tejidos y células (Ievinsh, 2023). El exceso o el déficit en el manejo del riego afecta en el desarrollo del fruto de los tomates (Zhao et al., 2022). Por lo tanto, un déficit hídrico afecta directa o indirectamente a los procesos fisiológicos (Reynaldo et al., 2002). Los principales cambios en la fenología de las plantas de jitomate con éste tipo de afectación es el cambio en la turgencia celular, las hojas cambian de ángulo de inclinación disminuyendo la expansión foliar, así como el cierre estomático y una disminución en la transpiración (Reynaldo et al., 2002; Velázquez-Márquez et al., 2015). Con respecto a los cambios fisiológicos, a medida que el suelo se seca el potencial hídrico (Ψ_a) se hace más negativo. De esta forma, para que pueda mantener el gradiente suficiente que permita la absorción de agua es necesario que reduzca su potencial osmótico (Ψ_o), la disminución del potencial osmótico mediante acumulación de solutos puede conducir a un ajuste osmótico, o por reducción del potencial de presión, consecuencia de la deshidratación. El ajuste osmótico es crucial para mantener la turgencia celular y la estabilidad de la membrana. Los osmolitos también regulan el plegamiento de proteínas, esencial para mediar los mecanismos de señalización del estrés o las vías responsables de la tolerancia. Además, ayudan a mantener la estabilidad de la membrana tilacoidal, manteniendo a las plantas en fase

fotosintéticamente activa en condiciones de estrés (Kaur et al., 2024).

Para tolerar las condiciones de estrés, las plantas desarrollan múltiples mecanismos, incluyendo la acumulación de moléculas protectoras y proteínas, alteraciones en la composición lipídica de la membrana, y composición de metabolitos primarios y secundarios, así como los cambios en la expresión global de genes y proteínas (Miura et al., 2012). En respuesta al estrés, la células pueden sintetizar osmolitos especializados tales como la prolina, glicina betaina y trehalosa para reajustar el potencial osmótico celular (Langridge, 2006; Velázquez-Márquez et al., 2015). Otras señales son la síntesis de la hormona ácido abscísico (ABA) y la modificación de la expresión genética, relacionada con la actividad enzimática. Esta hormona cierra los estomas en las plantas de semilla y se sintetiza a medida que disminuye la turgencia de las hojas. El cierre estomático impulsado por ABA durante la sequía es particularmente evidente en especies que son más isohídricas (Kane & McAdam, 2023).

También se manifiesta la prolina oxidasa (PROX), pirrolina -5- carboxilato sintetasa (P5CS) y pirrolina - 5- carboxilato reductasa (P5CR), que participan en los procesos metabólicos de la síntesis de prolina (Foolad, 2007), proteínas LEA (proteínas de la embriogénesis tardía) con función protectora, enzimas antioxidantes (Moreno, 2009), enzimas con características antioxidantes así como la presencia de antioxidantes no enzimáticos, como ácido ascórbico, Glutatión, carotenoides y α -tocopherol, aumenta (Chen et al., 2008, 2016). *S. lycopersicum* contienen una gran variedad de antioxidantes como los carotenoides, vitamina E, ácido ascórbico, flavonoides y compuestos fenólicos (Borguini y Da Silva, 2009). Siendo el licopeno el carotenoide responsable del color rojo en los frutos maduros quien ha despertado en gran interés por su importancia nutracéutica (Omoni y Aluko, 2005). Muchos estudios han demostrado que el déficit de riego controlado (DRC) es ventajoso cuando se aplica adecuadamente, la aplicación de un déficit de agua en la planta puede

disminuir el vigor vegetativo pero mejorar la partición de carbohidratos a estructuras reproductivas (Tahi et al., 2007).

En la presente investigación bajo un esquema de niveles de humedad aprovechable, se analizaron algunas respuestas fisiológicas en plantas y su relación con el metabolismo de osmolitos en los frutos de *Solanum lycopersicum* L.

Materiales y métodos

Diseño experimental

El experimento se realizó durante el año 2016-2017 en dos etapas: A) invernadero: se llevó a cabo en un invernadero de triple túnel, con estructuras de metal cubiertas de plástico de polietileno de alta densidad con malla anti-insectos en las paredes laterales; B) laboratorio: se llevó a cabo en el laboratorio de Bioquímica del Posgrado en Botánica. Ambos sitios dentro de las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

Se utilizaron semillas de jitomate tipo saladette cv. Cid FI (USA) y semillas de una colecta de Malinalco, Estado de México, identificada como Mali (CP-430).

Cid FI es un cultivar que se distingue por su amplia adaptación, de extraordinario vigor y de crecimiento indeterminado, sus frutos son tipo saladette, de epicarpio grueso y muy firmes, de prolongada vida de anaquel. Mali (CP-430), se colectó en la localidad San Martín, Malinalco, Estado de México el 17 de noviembre de 2010, presenta un crecimiento indeterminado y generalmente se cultiva en condiciones de invernadero, los frutos son de tipo pera, calabaza, bola y arriñonado.

Se diseñaron dos tratamientos de humedad aprovechable (*THA*). *THA* 1: el sustrato mostró una capacidad de retención de humedad de 1.97 L (21.88 %) se mantuvo a 100 % de humedad (capacidad de campo) y por efecto de evapotranspiración se permitió la pérdida de agua del 20 %. *THA* 2: el sustrato se mantuvo a 50 % de humedad (déficit hídrico) y por efecto de evapotranspiración se permitió la pérdida de agua del 10 %. Estos tratamientos de humedad

aprovechable se combinaron con las plántulas del cv. Cid FI y Mali (CP-430) y; en total se obtuvieron cuatro tratamientos a evaluar.

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2² (*THA*, cultivar). Se obtuvo una población de 180 plantas de *Solanum lycopersicum* L., 90 plantas por genotipo; las unidades experimentales consistieron en una planta con cinco repeticiones. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de medias (Tukey, 0.05); todos los análisis se realizaron utilizando el paquete Statistical Analysis System (SAS). (SAS Institute Inc., 2022)

Relaciones hídricas

El potencial hídrico (Ψ_a) se determinó en tres etapas fenológicas de los foliolos medios y en una hoja completamente expandida y se utilizó una bomba de presión tipo de Scholander (Soil Moisture, Santa Bárbara, California, USA).

Los foliolos medios identificados previamente se desprendieron del tallo con una navaja afilada e inmediatamente uno de ellos se montó en la cámara de presión siguiendo las indicaciones de manejo de la cámara, se administró presión neumática generada con gas nitrógeno hasta que se pudo observar en el corte del pecíolo una gota de savia proveniente del sistema vascular, entonces se indicó el balance de presión. Se tomó la lectura del manómetro en una libreta de campo y los resultados se expresaron en MPa.

Para la determinación del Ψ_o se usaron foliolos medios de una hoja completamente expandida; se cortaron foliolos y se envolvieron en papel aluminio depositándose en nitrógeno líquido. El potencial osmótico (Ψ_o) se calculó con un osmómetro de presión de vapor de la marca wescor, modelo: 5520; para lo cual se utilizaron los foliolos previamente almacenados, estos se colocaron dentro de una jeringa hipodérmica, y se le aplicó presión manual al émbolo con la finalidad de extraer el contenido celular de los foliolos, se utilizaron aproximadamente 10 μ L del contenido celular para embeber un disco de papel filtro. Se utilizó al mismo tiempo un termómetro para registrar la temperatura al momento de la lectura.

El potencial de presión (Ψ_p) se obtuvo por diferencia de los valores obtenidos del potencial de agua total y potencial osmótico, de acuerdo a la ecuación siguiente: $\Psi_p = \Psi_a - \Psi_s$.

Para la determinación de estas tres variables se utilizó un sistema portátil y abierto de análisis de gases en el espectro infrarrojo (Ciras-2, PP Systems), el procedimiento consistió en tomar las lecturas de los foliolos medios de los nomófilos centrales de la planta, se realizaron dos lecturas por nomófilo. Se resalta que estas lecturas se realizaron entre las 11:30 y 13:30 h del día, cabe mencionar que, en una sola lectura, se obtienen estas tres variables fisiológicas.

Resultados y discusión

Potencial hídrico (Ψ_a)

El Ψ_a foliar disminuyó en mayor grado con el tratamiento Mali-50 (**Figura 1a**), y se observó diferencia estadística ($p \leq 0.05$) con respecto a los tratamientos Mali-100 y Cid-100, este mismo comportamiento se presentó en las tres etapas fenológicas evaluadas, primera floración (-0.372 MPa), formación del fruto (-0.376 MPa) y cosecha (-0.392 MPa).

Estos resultados son similares con los obtenidos por Tahi et al. (2007), quienes observaron que *Solanum lycopersicum* L. sometido a déficit de agua al 50 % de riego controlado, a partir del día 9, presentó una disminución considerable del Ψ_a (-0.4 MPa) foliar y se estabilizó a partir del día 20, cuando el potencial de agua fue de -0.9 MPa. Mientras que los resultados encontrados en esta investigación (**Figura 1**) indicaron que una humedad aprovechable intermedia del 50 % mantuvo constante al potencial de agua (Ψ_a -0.376 MPa) con el tratamiento Mali-50 y este valor se mantuvo durante las tres etapas fenológicas estudiadas, además fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) con respecto a los tratamientos Mali-100 y Cid-100. Los valores encontrados de esta variable son ligeramente bajos comparados con los reportados por García et al. (2010), en los cuales el potencial hídrico foliar en sorgo y su relación con la

humedad del suelo fueron superiores con -1.0 MPa y -1.5 MPa, en riego y secano, respectivamente.

Potencial osmótico (Ψ_o)

Los resultados publicados por López-Ordaz et al. (2008) mostraron diferencias estadísticas significativas en los tratamientos evaluados de secado parcial de la raíz (SPR) y testigo (80 % de humedad aprovechable); sin embargo, los resultados encontrados en esta investigación (**Figura 2**), muestran que el Ψ_o difiere en el tratamiento Cid-50 en la etapa 1 (-0.790 MPa) y la etapa 3 (-0.730 MPa), esto es con respecto a los tratamientos de 100 % de humedad (Mali-100 y Cid-100).

La etapa 2 (formación del fruto) no reflejó diferencias con respecto a los cuatro tratamientos evaluados. La reducción del potencial osmótico en la planta por estrés hídrico puede compensarse con la síntesis y acumulación de solutos compatibles, esto puede suceder a nivel del citosol y organelos, sin afectar la actividad de las enzimas, evita disminución de la fotosíntesis, alteraciones en la translocación, distribución de los fotoasimilados y las consecuentes pérdidas de rendimiento (Cortés & Del Real, 2007; Foolad, 2007; Lamz & González, 2013).

El potencial de presión (Ψ_p) indicó en la etapa uno (primera floración) una diferencia estadística ($p < 0.05$) entre materiales evaluados, pero sin efecto entre tratamientos de humedad entre los mismos materiales (**Figura 3**). Los valores de los tratamientos del 100 % de humedad son similares a los reportados por López-Ordaz et al (2008) en plantas de jitomate con tratamientos de raíz dividida.

Con respecto a la etapa 3, no se observaron efectos diferentes entre los cuatro tratamientos, lo que puede indicar un mantenimiento en el potencial de presión en las células del tejido foliar en el tratamiento de 50 % de humedad aprovechable, posiblemente debido a un ajuste osmótico en la planta. Al existir un ajuste osmótico, la acumulación de osmolitos dentro de las células vegetales se incrementa.

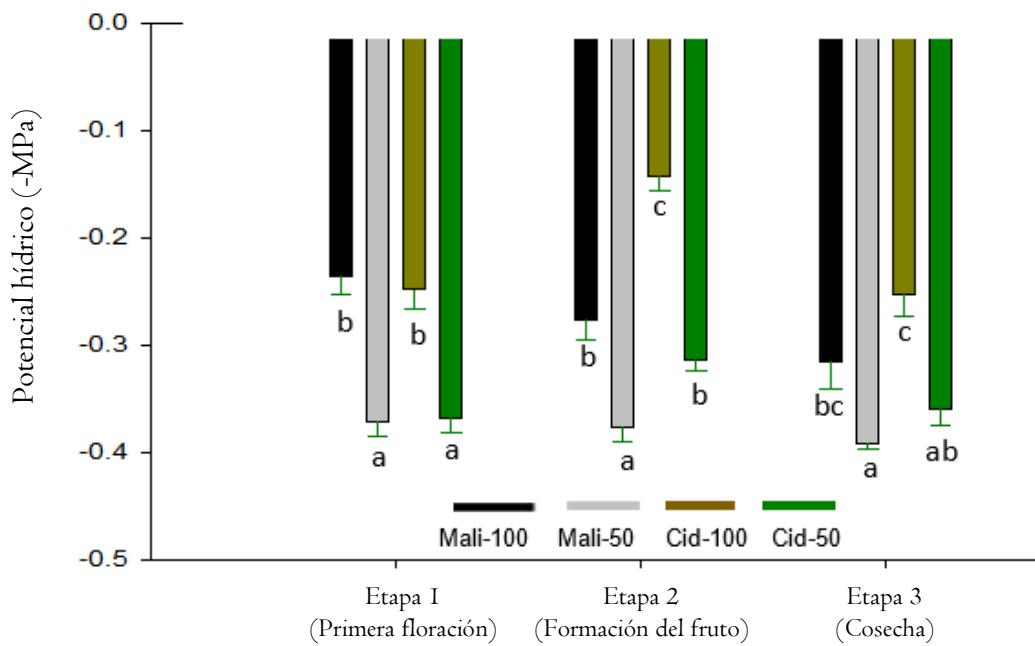


Figura 1. Efecto sobre el potencial hídrico (-MPa) de dos tratamientos de humedad aprovechable en tres etapas fenológicas del cultivo de jitomate. Las líneas verticales en las barras y por etapa fenológica representan el error estándar del promedio de $n = 5$. Letras diferentes dentro de la misma etapa indican diferencias estadísticas (Tukey, 0.05).

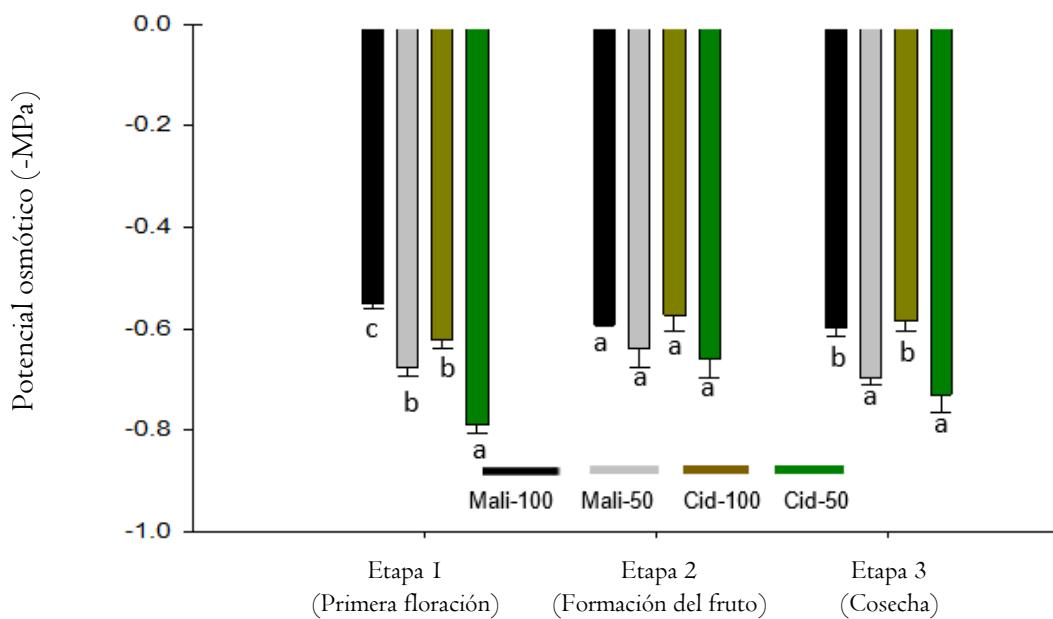


Figura 2. Efecto sobre el potencial osmótico (-MPa) de dos tratamientos de humedad aprovechable en tres etapas fenológicas del cultivo de jitomate. Las líneas verticales en las barras y por etapa fenológica representan el error estándar del promedio de $n = 5$. Letras diferentes dentro de la misma etapa indican diferencias estadísticas (Tukey, 0.05).

Tasa de asimilación de CO₂

La tasa de asimilación de CO₂ del material Cid-FI en su etapa I (primera floración) y con los dos tratamientos de humedad aprovechable (Cid-100 y Cid-50) mostraron valores superiores con respecto a los tratamientos Mali-100 y Mali-50 (**Figura 4**). López-Ordaz et al. (2008) reportaron en su trabajo con raíz dividida de *S. lycopersicum* valores de asimilación de CO₂ del 11.28 % y 48.79 % menos que los encontrados en esta investigación en los tratamientos del 50 % de humedad en la etapa de floración y cosecha del fruto. Asimismo, los valores de asimilación de CO₂ reportados en este trabajo indican similitud con los encontrados en *Prosopis glandulosa* Torr. (mezquite) en la etapa adulta, por Hernández et al. (2007).

Una de las razones que puede explicar el comportamiento de la fotosíntesis entre los tratamientos con restricción de humedad del 50 % versus 100 %, es que debido a la disminución del Ψ_o foliar en los tratamientos Mali-50 y Cid-50 (**Figura 2**) la enzima o el sistema enzimático se ajustó de tal manera que las actividades de las mismas no se inhibieron y permitió un buen funcionamiento, tal vez apoyado por la síntesis de compuestos osmoprotectores que mantuvieron los potenciales osmótico y de presión óptimos, que evitaron el abatimiento de la fotosíntesis entre los tratamientos con restricción hídrica (Foolad, 2007; Cortés & Del Real, 2007).

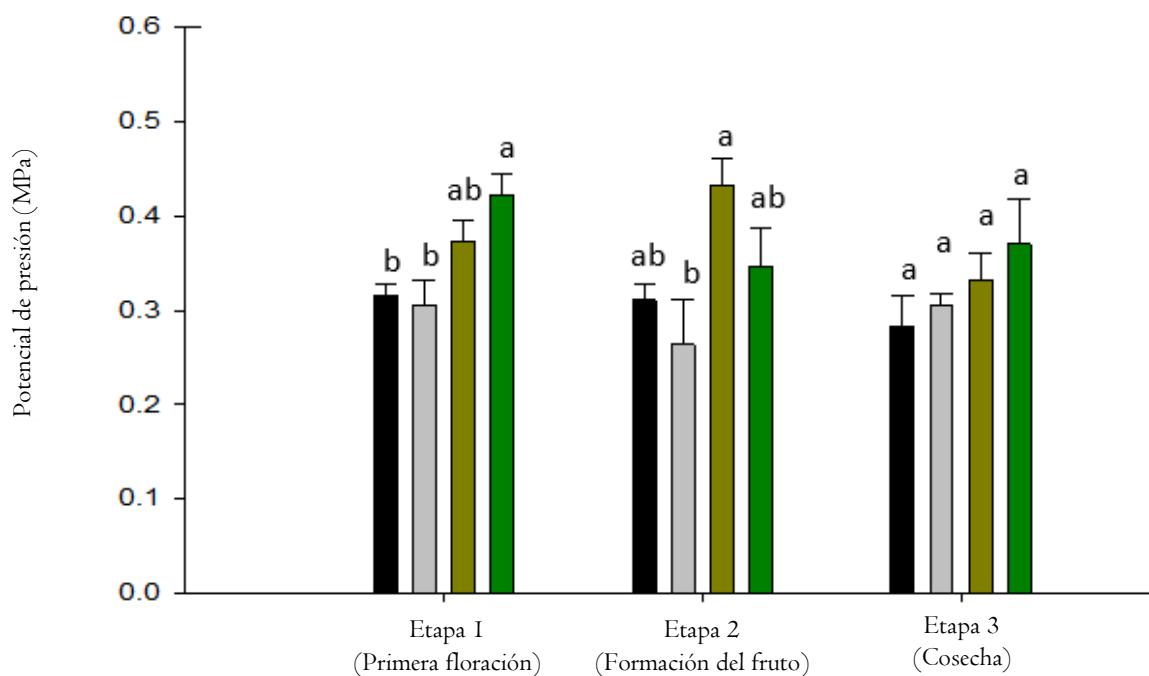


Figura 3. Efecto sobre el potencial de presión (MPa) de dos tratamientos de humedad aprovechable en tres etapas fenológicas del cultivo de jitomate. Las líneas verticales en las barras y por etapa fenológica representan el error estándar del promedio de $n = 5$. Letras diferentes dentro de la misma etapa indican diferencias estadísticas (Tukey, 0.05).

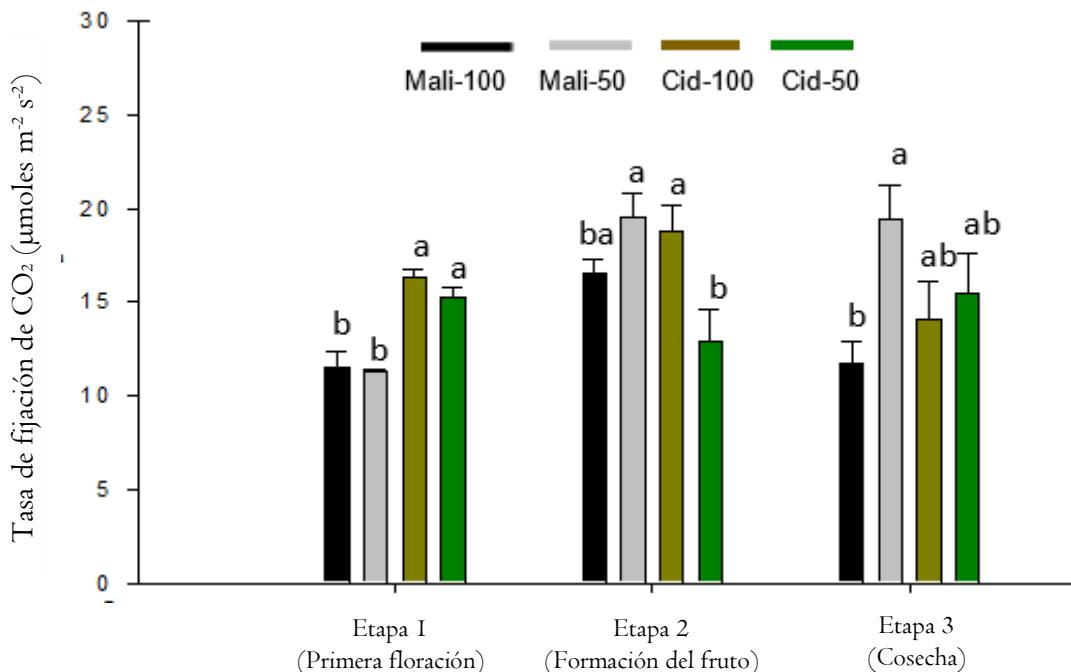


Figura 4. Efecto sobre tasa de fijación de CO_2 ($\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-2}$) de dos tratamientos de humedad aprovechable en tres etapas fenológicas del cultivo de jitomate. Las líneas verticales en las barras y por etapa fenológica representan el error estándar del promedio de $n = 5$. Letras diferentes dentro de la misma etapa indican diferencias estadísticas (Tukey, 0.05).

Transpiración y conductancia estomática

El potencial hídrico de las plantas está altamente relacionado con el proceso de la transpiración, proceso mediante el cual las plantas pierden agua en forma de vapor a través de los estomas. Así pues, los resultados obtenidos en la transpiración con respecto a los tratamientos Mali-50 y Cid-50 mostraron disminución en esta variable a partir de la etapa 2 (Figura 5) y esta se mantuvo hasta la etapa 3.

Tahi et al. (2007) indicaron en su trabajo con *S. lycopersicum* que la transpiración disminuye en un 50 % con respecto a su testigo cuando se restringe el 50 % de humedad aprovechable y que este comportamiento también se presenta en tratamientos de raíz dividida. Sin embargo, aunque la conductividad estomática no se ve afectada durante las etapas I y 2 en los cuatro tratamientos evaluados, para la etapa 3 (cosecha) se observó

disminución en esta variable para los tratamientos Mali-50 (440 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-2}$) y Cid-50 (486 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-2}$) debido a la disminución del recurso hídrico.

Cabe mencionar que esta señalización de cierre parcial estomático puede estar relacionado entre la interacción de la raíz y el contenido de agua del sustrato (Christmann et al., 2007). Con estos resultados se trata de definir si bajo estas condiciones *S. lycopersicum* mantiene los estomas parcialmente cerrados para su buen funcionamiento, con limitaciones en la captación de electrones de CO_2 , o tal vez se prefiera tolerar la pérdida de agua por transpiración; los resultados indicaron que el comportamiento depende de la etapa (I y/o 2) en que se encuentre *S. lycopersicum*, que corresponden a la floración y formación del fruto.

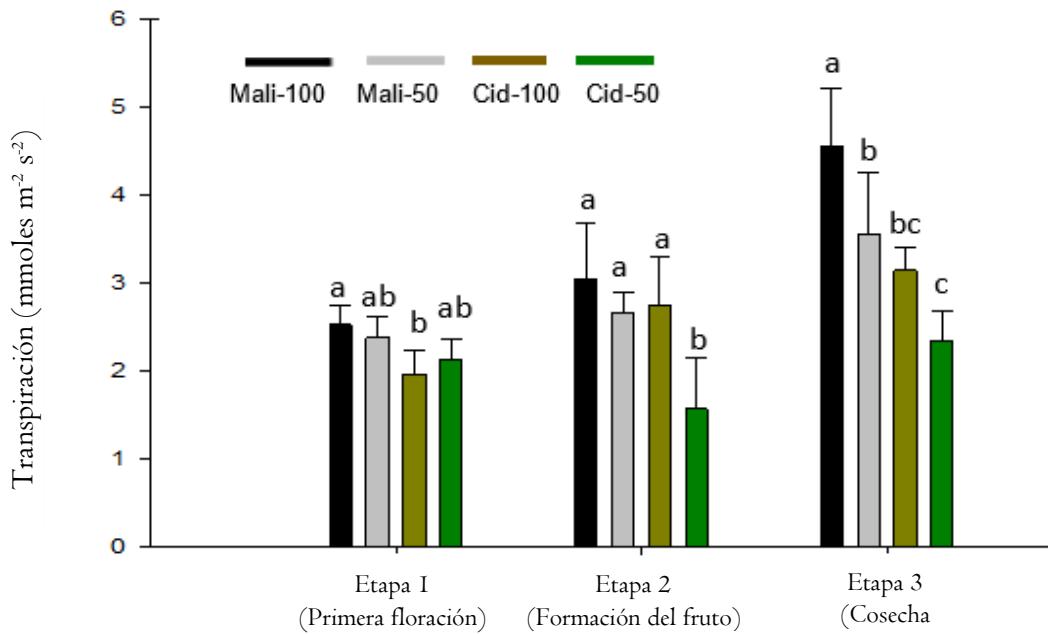


Figura 5. Efecto sobre la transpiración ($mmoles m^{-2} s^{-2}$) de dos tratamientos de humedad aprovechable en tres etapas fenológicas del cultivo de jitomate. Las líneas verticales en las barras y por etapa fenológica representan el error estándar del promedio de $n = 5$. Letras diferentes dentro de la misma etapa indican diferencias estadísticas (Tukey, 0.05).

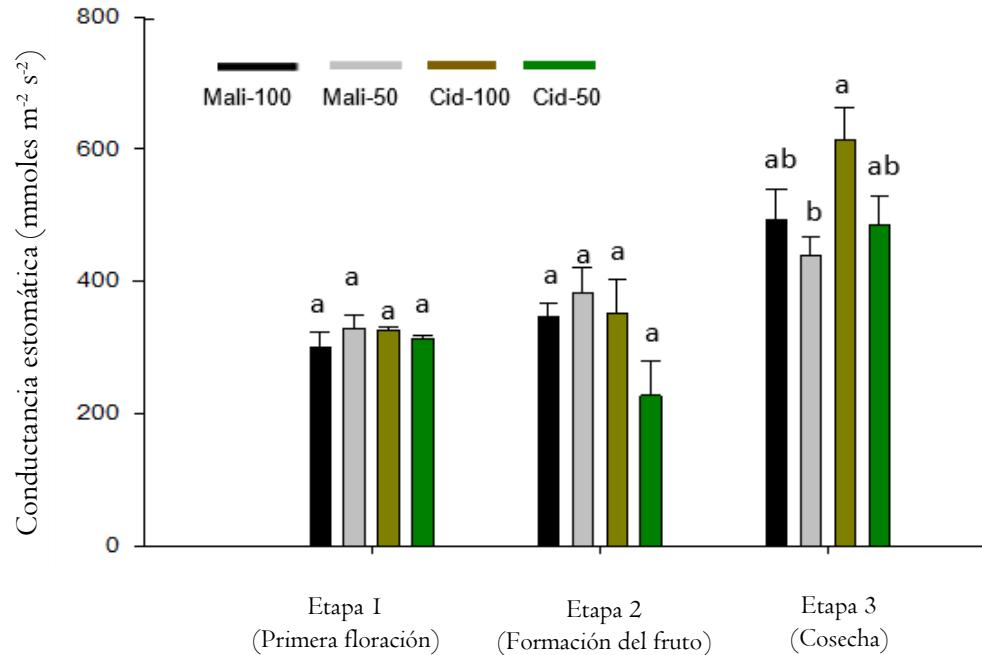


Figura 6. Efecto sobre la conductancia estomática ($mmoles m^{-2} s^{-2}$) de dos tratamientos de humedad aprovechable en tres etapas fenológicas del cultivo de jitomate. Las líneas verticales en las barras y por etapa fenológica representan el error estándar del promedio de $n = 5$. Letras diferentes dentro de la misma etapa indican diferencias estadísticas (Tukey, 0.05).

Solanum lycopersicum requiere toda la energía necesaria para producir biomasa a través de la fotosíntesis, esto se ve por la disminución del potencial osmótico (**Figura 2**), que indirectamente indicó un aumento en el contenido de osmoprotectores sin afectar la actividad enzimática, entonces la planta pudo mantener su turgencia (Cortés & Del Real, 2007; Lamz & González, 2013). Asimismo, en el caso de la etapa 3 (cosecha) el índice de transpiración (**Figura 5**) y conductividad estomática (**Figura 6**) se ve disminuido en los tratamientos Mali-50 y Cid-50, posiblemente ante la necesidad de ahorrar energía para reservarla en la formación de nuevas estructuras.

Conclusiones

La limitación del recurso hídrico provocó una reducción del potencial de agua (Ψ_a) en las plantas de jitomate en los tratamientos del 50 % de humedad evaluado, y en consecuencia se redujo el potencial osmótico (Ψ_o) y aumentó el potencial de presión (Ψ_p) que puede ser indicador de un ajuste osmótico. Se obtuvo alteración en los procesos fotosintéticos para los tratamientos Cid-100 y Cid-50 en la etapa uno. Asimismo, los tratamientos Mali-100 y Mali-50 presentaron una mayor tasa de transpiración en la tercera etapa del muestro. La conductancia no resultó afectada por efecto de la disminución del Ψ_a en ambos materiales de jitomate evaluados. De tal forma, si los resultados en esta investigación son completamente repetibles, entonces se puede aseverar que con la disminución del recurso hídrico en plantas de jitomate como las estudiadas en esta investigación se puede permitir: A) disminuir la cantidad de agua de aproximadamente 12 000 L en 96 plantas. B) disminuir el costo de inversión (fertilizantes), C) mayor rentabilidad.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) antes (CONACyT) por el apoyo económico y al Colegio de Postgraduados por la

aportación del material biológico, instalaciones y equipos especializados para que esta investigación se llevara a cabo.

Referencias

Agarwal, S., & Rao, A. V. (2000). Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal*, 163(6), 739-744.

Borguini, R. G., & Da Silva Torres, E. A. F. (2009). Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants. *Food Reviews International*, 25(4), 313-325. <https://doi.org/10.1080/87559120903155859>

Chen, J., Wang, S., Jing, R. & Mao, X. (2008). Cloning the PvP5CS gene from common bean (*Phaseolus vulgaris*) and its expression patterns under abiotic stresses. *Journal of Plant Physiology*, 166(1), 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.02.010>

Chen, X., Tait, A. R. & Kitts, D. D. (2016). Flavonoid composition of orange peel and its association with antioxidant and anti-inflammatory activities. *Food Chemistry*, 218, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.016>

Christmann, A., Weiler, E. W., Steudle, E. & Grill, E. (2007). A hydraulic signal in root-to-shoot signalling of water shortage. *The Plant Journal*, 52(1), 167-174. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313x.2007.03234.x>

Cortés, V. G., & Del Real, G. S. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia*, 25(3), 47-58. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292007000300006>

Foolad, M. R. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics*, (2007)1, e64358. <https://doi.org/10.1155/2007/64358>

García López, A., Cun González, R. & Montero San José, L. (2010). Efecto de la hora del día en el potencial hídrico foliar del sorgo y su relación con la humedad en el suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3), 7-11.

Hernández, D. C., Calzada, R. T., Arriaga, O. E., Avila, J. G. A. & Hernández, A. F. (2007). Evaluación de un método para medir fotosíntesis en mezquite (*Prosopis glandulosa*). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6(2), 185-190.

Levinsh, G. (2023). Water content of plant tissues: so simple that almost forgotten?. *Plants*, 12(6), 1238. <https://doi.org/10.3390/plants12061238>

Kane, C. & McAdam, S. (2023). Abscisic acid driven stomatal closure during drought in anisohydric *Fagus sylvatica*. *Journal of Plant Hydraulics*, 9, 002. <https://doi.org/10.20870/jph.2023.002>

Kaur, G., Sanwal, S. K., Kumar, A., Pundir, R. K., Yadav, M. & Sehrawat, N. (2024). Role of osmolytes dynamics in plant metabolism to cope with salinity induced osmotic stress. *Discover Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00070-x>

Lamz, P.A. & González, C.M.C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31-42.

Langridge, P. (2006). Functional genomics of abiotic stress tolerance in cereals. *Briefings In Functional Genomics and Proteomics*, 4(4), 343-354. <https://doi.org/10.1093/bfgp/eli005>

López-Ordaz, A., Trejo-López, C., Peña-Valdivia, C. B., Ramírez-Ayala, C., Tijerina-Chávez, L. & Carrillo-Salazar, J. A. (2008). Secado parcial de la raíz de jitomate: efectos en la fisiología de la planta y calidad de fruto. *Agricultura Técnica en México*, 34(3), 297-302.

Miura, K., Sato, A., Shiba, H., Kang, S. W., Kamada, H. & Ezura, H. (2012). Accumulation of antioxidants and antioxidant activity in tomato, *Solanum lycopersicum*, are enhanced by the transcription factor SLICE1. *Plant Biotechnology*, 29(3), 261-269. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.12.0303b>

Moreno F., L. P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191.

Omoni, A. O., & Aluko, R. E. (2005). The anti-carcinogenic and anti-atherogenic effects of lycopene: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 16(8), 344-350. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.02.002>

Reynaldo, I. M., Pérez, I., Jerez, E. & Dell'Amico, J. M. (2002). Efectos del estrés hídrico en la asimilación del nitrógeno en plantas de tomate cv INCA 9-1. *Cultivos Tropicales*, 23(2), 47-50.

SAS Institute Inc. (2022). SAS (Versión 9.0).

Tahi, H., Wahbi, S., Wakrim, R., Aganchich, B., Serraj, R. & Centritto, M. (2007). Water relations, photosynthesis, growth and water-use efficiency in tomato plants subjected to partial rootzone drying and regulated deficit irrigation. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 141(2), 265-274. <https://doi.org/10.1080/11263500701401927>

Velázquez-Márquez, S., Conde-Martínez, V., Trejo, C., Delgado-Alvarado, A., Carballo, A., Suárez, R., Mascorro, J. O. & Trujillo, A. R. (2015). Effects of water deficit on radicle apex elongation and solute accumulation in *Zea mays* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 96, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.07.006>

Zhao, F., Yoshida, H., Goto, E., & Hikosaka, S. (2022). Development of an Automatic Irrigation Method Using an Image-Based Irrigation System for High-Quality Tomato Production. *Agronomy*, 12(1), 106. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010106>