

Efecto del estrés hídrico en poblaciones nativas de tomate mexicano

Effect of water stress on tomato landraces mexican

Ramiro Maldonado-Peralta¹ ,
María de los Ángeles Maldonado-Peralta² ,
Adelaido Rafael Rojas-García² ,
Delfina Salinas-Vargas^{1*} 

¹Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Carretera a la Brecha, S/N. CP. 81149. Burriocito, Guasave, Sinaloa, México.

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia N.2 - Universidad Autónoma de Guerrero. CP. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

*Autor de correspondencia: salinas.delfina@gmail.com

Artículo científico

Recibido: 11 de marzo 2021

Aceptado: 27 de septiembre 2021

Como citar: Maldonado-Peralta R, Maldonado-Peralta MA, Rojas-García AR, Salinas-Vargas D (2021) Efecto del estrés hídrico en poblaciones nativas de tomate mexicano. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Núm. Esp. II: e2889. DOI: 10.19136/era.a8nII.2889

RESUMEN. Existe la necesidad de utilizar el agua de manera eficaz y eficiente, debido a la escasa disponibilidad del agua y a que es el principal factor limitante de la producción agrícola. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta del estrés hídrico de cuatro poblaciones de tomates nativos y un híbrido comercial, en comparación con un régimen ideal de riego. Las variables evaluadas durante el ciclo de cultivo fueron: clorofila, área foliar, rendimiento, peso por fruto, número de fruto, número de lóculos, firmeza, sólidos solubles totales y biomasa. Se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas (características agronómicas y de calidad de fruta). El híbrido Cid F1 (Harris Moran[®]) en condiciones ideales de riego (100%) presentó el doble de área foliar que la población Campeche. El déficit hídrico provocó una disminución del área foliar en todos los genotipos, siendo el híbrido el más afectado (38%). El mayor rendimiento en cuatro racimos al 100% de riego lo produjeron el híbrido y Oaxaca (3.8 y 3.6 kg planta⁻¹) y el menor lo produjo la población Campeche (2.2 kg planta⁻¹). El déficit hídrico provocó una reducción en el rendimiento, en la variedad Oaxaca (64%) resultando ser la más afectada. En conclusión, los genotipos de mayor rendimiento resultaron más afectados por el déficit hídrico, el cual incremento los sólidos solubles, en aquellos genotipos de menor rendimiento.

Palabras clave: Área foliar, biomasa, rendimiento, sólidos solubles totales y tomates nativos.

ABSTRACT. There is a need to use water effectively and efficiently, due to the scarce availability of water and it is the main limiting factor in agricultural production. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the water stress response of four tomato landraces and a commercial hybrid, compared to an ideal irrigation regime. The variables evaluated during the growing cycle were: chlorophyll, leaf area, yield, weight per fruit, number of fruit, number of locules, firmness, total soluble solids and biomass. There were statistical differences ($p \leq 0.05$) with all the variables evaluated (agronomic and fruit quality characteristics). The Cid F1 hybrid (Harris Moran[®]) under ideal irrigation conditions (100%) presented twice the leaf area of the Campeche landraces. Water deficit caused a decrease in leaf area in all genotypes, with the hybrid being the most affected (38%). The highest yield in four bunches at 100% irrigation was produced by the hybrid and Oaxaca (3.8 and 3.6 kg plant⁻¹) and the lowest by the Campeche landraces (2.2 kg plant⁻¹). The water deficit caused a reduction in yield, in the Oaxaca variety (64%), turning out to be the most affected. In conclusion, the genotypes with the highest yield were more affected by the hybrid deficit, which increased soluble solids, in those genotypes with the lowest yield.

Key words: Leaf área, biomass, yield, total soluble solids and Tomato landraces.

INTRODUCCIÓN

En México y Latinoamérica es común encontrar alta diversidad morfológica de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), sin embargo, existe poca evidencia del aprovechamiento de poblaciones silvestres o cultivadas de tomate nativo en los centros de diversificación y donde se conserva *in situ*, ya sea como fuentes de genes para el mejoramiento o uso directo de variabilidad morfológica, distribución geográfica y adaptación a la heterogeneidad ambiental (Mercer y Perales 2010, Pacheco *et al.* 2014, Razifard *et al.* 2020). Las variedades de tomate comerciales son sustancialmente menos apetecibles que las variedades nativas (Tieman *et al.* 2017). Una manera rápida de documentar las divergencias genotípicas entre poblaciones de tomate es mediante la evaluación de las diferencias en caracteres cualitativos representados por pocos genes (Falconer y Mackay 1996). La producción de tomates nativos tiene alta demanda en mercados locales de forma fresca y para platillos como tamales, mole y salsas por su sabor diferente a los cultivados (Ríos *et al.* 2014).

El cultivo comercial de tomate es una actividad agrícola que conlleva una alta demanda de agua durante todo el ciclo productivo lo que la hace muy sensible al estrés hídrico (Shao *et al.* 2015). Se ha reportado que bajo este tipo de estrés el tomate disminuye la asimilación de CO₂, el crecimiento, la calidad y rendimiento (Parkash y Singh 2020). La producción de biomasa de un cultivo vegetal está en función de la cantidad de agua disponible (Medrano *et al.* 2007). En variedades comerciales de tomate se ha demostrado que el fruto constituye la demanda prioritaria de agua y de fotoasimilados (Salinas-Vargas *et al.* 2020). Entre otras respuestas, las condiciones de estrés hídrico en las plantas inhiben la síntesis de proteínas y el crecimiento celular, y los solutos se acumulan en las células con el fin de mantener el volumen y la turgencia para evitar la deshidratación (Chaves *et al.* 2003). Los efectos del estrés hídrico en la productividad y los procesos de uso del agua impactan directamente en: (1) el crecimiento del dosel, (2) la conductancia estomática,

(3) la senescencia del dosel, (4) la profundización de las raíces y (5) el índice de cosecha. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta del estrés hídrico de cuatro poblaciones de tomates nativos y un híbrido comercial, en comparación con un régimen ideal de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de polietileno en Instituto Tecnológico Superior de Guasave, Sinaloa, localizado a 25° 33' 55" LN y 108° 28' 18" LO a una altitud de 21 m. En Guasave prevalecen tres tipos de clima: el seco, muy cálido y cálido que predomina en la sindicatura del Burrión, con una temperatura media de 25.1 °C, una máxima 43.0 °C y la mínima 3.0 °C (INEGI 2017).

Se seleccionaron cuatro poblaciones nativas de tomate, provenientes de diferentes estados de México: i) Campeche con una forma de fruto chato de tipo calabaza, ii) México con fruto en forma de pera, iii) Oaxaca con fruto en forma de riñón o costilla, y iv) Puebla con fruto en forma de pimiento (chinos), todos ellos colectados por el Dr. Porfirio Ramírez Vallejo[†]. Como testigo se usó el híbrido Cid F1, (Harris Moran[®]).

Las cinco variedades se evaluaron en dos regímenes de humedad (RH) en sustrato, como 100 y 25% de riego (1.2 y 0.3 L d⁻¹ por planta) con respecto a la demanda total de agua. Estos regímenes hídricos se basaron en información proporcionada por Flores *et al.* (2007), quienes mencionaron que el consumo de agua en tomate va de 0.2 L d⁻¹ en la etapa inicial de plántula hasta 1.5 L d⁻¹ por planta en la etapa adulta con máxima demanda de agua.

La siembra de las semillas se realizó el 20 de septiembre del 2019, en charolas germinadoras de poliestireno de 200 cavidades, se utilizó turba como sustrato. A los 30 días se realizó el trasplante de las plántulas en bolsas negras de polietileno de 40 x 40 cm, las cuales contenían arena de río con un diámetro inferior a los 5 mm. Los brotes laterales se podaron, para que las plantas crecieran a un solo tallo, posteriormente se tutoraron individualmente con

rafia y se podaron a dos hojas arriba de los cuatro racimos.

Se instalaron dos sistemas de riego por goteo para poder aplicar los dos regímenes de humedad en el invernadero, cada uno con su tinaco, ya que hubo necesidad de aplicar dos tasas de riego por cada tratamiento: el de 100% con 1200 mL d⁻¹, y el de 25% con 300 mL d⁻¹, ambos preparados con la solución nutritiva de Steiner (1961). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (cinco variedades x dos regímenes hídricos), con cuatro repeticiones (una planta por repetición).

Las variables agronómicas evaluadas fueron: 1) intensidad del verdor de las hojas que fue medida en la hoja superior madura mediante un SPAD-Konica Minolta 502 (Japón) portátil cada siete días, 2) área foliar (m²) por planta se determinó en todas las hojas frescas muestreadas para biomasa a los 135 días después del trasplante con un aparato LI3100 (Licor, Inc. Lincoln, NE, EE. UU.), 3) rendimiento de fruto (kg planta⁻¹), para lo cual se recolectaron y pesaron todos los frutos por corte para luego sumarlos para obtener el peso total, 4) número de frutos por planta para lo cual se contaron los frutos cosechados en cada muestreo, 5) peso por fruto (g), que se calculó con el cociente del peso total entre el número total de frutos.

Las variables de calidad del fruto se evaluaron en cuatro frutos de cada tratamiento, las cuales fueron: 1) firmeza (kg cm⁻²), medida con un texturómetro de Chatillón (Wagner, modelo FDV-30, EE. UU.), adaptado con un puntal cónico de 2 mm, 2) número de lóculos, 3) grosor de pericarpio (mm), que se midió en los frutos cortados transversalmente, 4) sólidos solubles totales, medido en por ciento, en tres gotas de jugo de fruto que se colocaron sobre la celda de un refractómetro digital ATAGO PR-100[®] (Japón) (A.O.A.C., 1990) y 5) pH, que se determinó en la pulpa de los frutos molidos y homogenizados con un potenciómetro (Corning, modelo 12, EE. UU.).

La biomasa se evaluó mediante un muestreo destructivo a los 135 días después del trasplante, se seleccionaron dos plantas por unidad experimental y se llevaron al laboratorio para disecar el tallo, hojas, frutos y raíz, para su cuantificación total, se colocaron

en bolsas de papel etiquetadas y se secaron en una estufa de aire forzado (Riossa[®], México) a 70 °C hasta peso constante, posteriormente se registró el peso seco con la balanza Ohaus (Pine Brook, China) de cada parte de la planta.

Las variables agronómicas, calidad del fruto y biomasa se sometieron a un análisis de varianza mediante el diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de dos factores, y una prueba de separación medias por el método Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el programa estadístico SAS (Versión 9.0).

RESULTADOS

Los resultados evidenciaron que las variables agronómicas acumulación de biomasa y calidad de fruto fueron afectadas significativamente ($p \leq 0.05$) por los factores variedad (Var), régimen hídrico (RH) y por la interacción Var x RH, (Tablas 1 y 2). Sin embargo, la intensidad del verdor de las hojas y el número de frutos (98 y 90%) dependen solo de la variedad, lo que indica que son características estables aun en condiciones de estrés hídrico. En cambio, el rendimiento (76%) y peso por fruto (63%) dependieron principalmente del RH, y en menor grado del genotipo (8 y 19%), por lo que estas características son alteradas por la disponibilidad de agua. Mientras que el área foliar, que cuantifica la magnitud del área fotosintética, depende casi en igual grado de la Variedad y del RH (49 y 45%). Aunque, significativamente en casi todas las variables agronómicas, la interacción Var x RH fue de baja importancia con un rango de 1 a 18% (Tabla 1).

En la Tabla 2 se observa que todas las variables de calidad de fruta fueron significativas: biomasa total (67%), grosor de pericarpio (66%) número de lóculos (99%) y firmeza (87%) que son las características principales de la variedad. En cambio, los sólidos solubles totales (SST) (74%) dependieron principalmente del RH. La interacción Var x RH fue baja, aunque el pH del fruto fue similar en la Var (45%) y en la interacción Var x RH (54%). Lo que indica que la calidad del fruto se determina principalmente por el genotipo, y los SST se pueden elevar

Tabla 1. Sumas de cuadrados de las variables agronómicas medidas en plantas de tomates cultivadas en invernadero con fertirriego, y podadas a cuatro racimos.

FV	GL	Lecturas	Área foliar	Número de	Peso por	Rendimiento
		SPAD	(m ²)	frutos	fruto (g)	(kg planta ⁻¹)
		Sumas de cuadrados				
Trats	9	3419**	0.77**	981**	58134**	31.99**
Var	4	3333**(98)	0.37**(49)	879**(90)	11131**(19)	2.65**(8)
RH	1	31**(1)	0.35**(45)	19ns(2)	36669**(63)	24.18**(76)
Var x RH	4	47**(1)	0.04**(6)	82ns(8)	10333**(18)	5.16**(16)
Error	30	27	0.01	301	3070	1.46
Total	39	3440	0.78	1283	61204	33.45

** Significancia estadística ($p \leq 0.01$); ns: no hay significancia; FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; Trats: tratamientos, Var: variedad, RH: régimen hídrico, Var x RH: variedad x régimen hídrico. Entre paréntesis se anotan las proporciones de la SC de cada factor (Var, RH y Var x RH) con respecto a la SC de tratamientos.

Tabla 2. Sumas de cuadrados (SC) de biomasa total y las variables de calidad de fruto de plantas de tomates cultivadas en invernadero con fertirriego, y podadas a cuatro racimos.

FV	GL	Biomasa Total	Grosor de	Número de	Sólidos solubles	Firmeza	pH del
		(g planta ⁻¹)	pericarpio (mm)	lúcidos	totales (%)	(kg cm ⁻²)	fruto
		Sumas de cuadrados					
Trats	9	64008**	152**	672**	65.01**	57.69**	0.88**
Var	4	43042**(67)	99**(66)	670**(99)	13.99**(21)	50.11**(87)	0.40**(45)
RH	1	16715**(26)	41**(27)	0.22ns(0)	47.96**(74)	0.61ns(1)	0.01* (1)
Var x RH	4	4250**(7)	10** (7)	1.65ns(1)	3.06**(5)	6.97** (12)	0.48**(54)
Error	30	204	12	26.17	5.01	10.52	0.05
Total	39	64213	164	698	70.11	68.22	0.94

** Significancia estadística ($p \leq 0.01$); * ($p \leq 0.05$); ns: no hay significancia; FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; Trats: tratamiento, Var: variedad, RH: régimen hídrico, Var x RH: variedad x régimen hídrico. Entre paréntesis se anotan las proporciones de la SC de cada factor (Var, RH y Var x RH) con respecto a la SC de tratamientos.

aún más con sequía, y el efecto del pH del fruto difiere entre variedades.

La intensidad del verdor de las hojas fue similar en todos los genotipos, excepto en la población nativa Campeche que fue menor, en los dos regímenes la concentración es similar y el tratamiento Campeche 100% contiene 41% menos color en comparación con las demás variedades. El déficit hídrico afectó la intensidad del verdor de las hojas en dos variedades (testigo y Oaxaca) RH 25%, que tuvieron el mayor rendimiento y área foliar, pero no afectaron a las demás variedades (Tabla 3).

En condiciones de riego se detectaron diferencias entre variedades, en cuanto a área foliar, desde 0.39 en Campeche 100% a 0.78 m² planta⁻¹ en el híbrido 100%, ambas con un promedio de 21 hojas. Es decir, las diferencias varietales en área foliar se deben al tamaño de las hojas. El área foliar, se redujo en el tratamiento con déficit hídrico en todas las variedades, el testigo 25% disminuyó 39%, y el menos afectado fue México 25% con 19% (Tabla 3).

El número de frutos en riego fluctuó de 22 a 34 por planta (Puebla e híbrido 100%), con menor variación entre las variedades; pero a diferencia de la sequía, redujo en menor grado el número de frutos por planta (17 y 33.5) en las mismas variedades (25%). El peso por fruto en riego osciló de 79 a 155 g en Campeche y Oaxaca 100%. Aunque, todas las variedades tuvieron reducción significativa de peso en fruto por el déficit hídrico, la más afectada fue Oaxaca con 72%, mientras que Campeche con 26% fue la menos afectada por el estrés hídrico (Tabla 3).

En el rendimiento de fruto acumulado en los cuatro racimos presentó diferencias significativas entre variedades, desde 2.3 en Campeche a 3.8 kg planta⁻¹ en el testigo 100%, destacando la población Oaxaca 100% con rendimiento similar al híbrido (Tabla 3). El déficit hídrico provocó reducción del rendimiento en todos los genotipos (Campeche: 26, México: 31, híbrido: 55, Oaxaca: 64 y Puebla: 63%), presentando mayor efecto los de mayor rendimiento (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias de variables de calidad de plantas de tomates cultivados a cuatro racimos en dos regímenes hídricos (25 y 100% de 1.2 L d⁻¹ por planta).

Tratamiento	Lecturas SPAD	Área foliar (m ²)	Número de frutos	Peso por fruto (g)	Rendimiento (kg planta ⁻¹)
Híbrido 100	58.5 ^a	0.78 ^a	34.0 ^a	112.6 ^b	3.8 ^a
Híbrido 25	53.1 ^c	0.48 ^c	33.5 ^a	50.4 ^{ef}	1.7 ^d
Oaxaca 100	55.8 ^b	0.60 ^b	27.5 ^{ab}	154.8 ^a	3.6 ^{ab}
Oaxaca 25	52.7 ^c	0.39 ^e	30.5 ^a	43.5 ^e	1.3 ^d
Puebla 100	57.5 ^{ab}	0.59 ^b	22.2 ^{bc}	147.8 ^a	3.2 ^b
Puebla 25	57.4 ^{ab}	0.45 ^d	17.0 ^c	72.4 ^{cde}	1.2 ^d
México 100	58.2 ^a	0.43 ^d	31.0 ^a	87.1 ^c	2.6 ^d
México 25	58.4 ^a	0.35 ^e	27.2 ^{ab}	53.4 ^{def}	1.8 ^d
Campeche 100	34.2 ^d	0.39 ^e	30.5 ^a	76.8 ^{cd}	2.3 ^c
Campeche 25	33.6 ^d	0.28 ^f	30.0 ^{ab}	56.7 ^{def}	1.7 ^d

Medias con distintas letras en cada columna indican diferencias significativas (p < 0.05).

En todas las variedades, la falta de agua produjo disminuciones severas en el crecimiento, excepto en la biomasa total en las poblaciones México y Campeche cultivadas con RH 25% que obtuvo 17 y 22 g, lo cual indica tolerancia a sequía, ya que en otras características mostraron disminuciones significativas por déficit hídrico como en tasa fotosintética (biomasa total) y rendimiento. En riego completo (RH 100%) se observaron diferencias en crecimiento entre variedades, desde 144 g por planta en México hasta 249 g por planta en el híbrido y Oaxaca (Tabla 3).

El número de lóculos es diferente entre las variedades (desde 2.5 en el híbrido a 13.7 en Campeche), el cual no fue afectado por el régimen hídrico. La falta de agua redujo el grosor de pericarpio de los frutos en todas las poblaciones, presentando Oaxaca y México el menor grosor. Para la concentración de SST se encontraron diferencias, ya que en condiciones de riego (RH 100%) van desde 4.8 en México hasta 6.5 en Campeche. Mientras que el déficit hídrico (RH 25%) elevó de 2 a 3% los SST, excepto en Campeche donde el aumento fue de 1.3% (Tabla 4). La firmeza del fruto, fue igual en los dos tratamientos de riego, excepto en la variedad Puebla (RH 25%) que tuvo un aumento significativo de firmeza, la cual fue estadísticamente igual al híbrido (máxima firmeza). En pH de fruto tampoco tuvo cambios importantes por el régimen hídrico (Tabla 4).

DISCUSIÓN

Las características fisiológicas y morfológicas (Tabla 1 y 2) afectadas por la variedad son: clorofila, área foliar, número de frutos, biomasa total, grosor de pericarpio y número de lóculos. Estas respuestas son atribuibles al origen geográfico de las poblaciones que proceden de diferentes lugares y condiciones climáticas, ya que según Zanne *et al.* (2014) los cambios en la morfología y fisiología son consecuencia de las adaptaciones evolutivas de las plantas en el ambiente donde crecen. El régimen hídrico afectó principalmente a las variables: rendimiento, peso por fruto, área foliar y sólidos solubles totales. La interacción de variedad por régimen hídrico afectó el pH, en general, el déficit hídrico afecta cada aspecto del crecimiento de la planta que involucra a la anatomía, morfología, fisiología y bioquímica (Florida y Bao 2014). El conocimiento de las características de estos genotipos es importante, porque una agricultura sustentable requiere la explotación racional de variedades eficientes que sean tolerantes a factores adversos en la producción (Borrego *et al.* 2001, Maldonado-Peralta *et al.* 2016, Salinas-Vargas *et al.* 2020).

La intensidad del verdor de las hojas fue similar en todos los genotipos (Tabla 3), excepto en la población nativa de Campeche cuyas hojas son de color verde pálido y cuyo valor fue de 40% menor que el verdor del testigo. Al respecto, se debe considerar que el contenido de clorofila es responsable de la coloración verde de las hojas (Steele *et al.*

Tabla 4. Comparación de medias de variables de biomasa total y calidad del fruto de plantas de tomate cultivadas a cuatro racimos en dos regímenes hídricos (25 y 100% de 1.2 L d⁻¹ por planta).

Tratamiento	Biomasa total (g)	Número de lóculos	Grosor de pericarpio (mm)	Sólidos solubles totales (%)	Firmeza (kg cm ⁻²)	pH del fruto
Híbrido 100	248.1 ^a	2.5 ^f	9.9 ^a	5.8 ^{cd}	3.75 ^a	5.05 ^{ab}
Híbrido 25	195.5 ^b	2.5 ^f	6.4 ^{bc}	8.8 ^a	3.80 ^a	4.80 ^d
Oaxaca 100	249.4 ^a	10.7 ^{bc}	6.8 ^b	5.7 ^{de}	1.63 ^{bc}	5.00 ^b
Oaxaca 25	175.4 ^c	10.5 ^c	5.8 ^{bc}	8.3 ^a	1.91 ^{bc}	5.00 ^b
Puebla 100	194.9 ^b	6.0 ^{de}	8.9 ^a	6.4 ^{cd}	2.26 ^b	5.05 ^{ab}
Puebla 25	157.3 ^e	6.5 ^d	6.4 ^b	8.6 ^a	3.10 ^a	5.15 ^a
México 100	143.9 ^f	4.0 ^{ef}	6.7 ^b	4.8 ^e	1.23 ^{bc}	4.95 ^{bc}
México 25	126.4 ^g	3.8 ^{ef}	5.9 ^{bc}	6.8 ^{bc}	0.69 ^c	4.85 ^{cd}
Campeche 100	167.8 ^d	13.7 ^a	4.8 ^c	6.5 ^{bc}	1.26 ^{bc}	4.60 ^e
Campeche 25	145.1 ^f	13.0 ^{ab}	3.5 ^d	7.8 ^{ab}	0.94 ^{bc}	5.00 ^b

Medias con distintas letras indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

2008). El bajo contenido de clorofila corresponde a un color verde amarillento o pálido, lo cual, indica menor contenido de complejos antena en el fotosistema II. Según Blum (2005), esto reduce la absorción de la radiación fotosintéticamente activa y, posteriormente derriba la eficiencia del uso del agua. El déficit hídrico redujo la intensidad del verdor de las hojas en el híbrido (9%) y Oaxaca (6%), lo cual, puede perjudicar el proceso fotosintético en la fijación de carbono (González 2009, Steele *et al.* 2008); mientras que en los otros genotipos la disminución no fue significativa. En condiciones ideales de riego (RH 100%) el área foliar del testigo fue el doble que en la variedad Campeche (Tabla 3). Sin embargo, la óptima en riego tiene una media de 2.3 cm² g⁻¹, valor que es mayor a lo reportado por Fischer *et al.* (2012); aunque, la óptima encontrada para varias especies es de 2 cm² g⁻¹ de fruta.

El déficit hídrico provocó una disminución del área foliar en todos los genotipos, y el híbrido fue el más afectado (35%), lo que demuestra que los genotipos nativos han sido domesticados al riego en diferente grado. Según Rosabal-Ayan *et al.* (2014), esta disminución se debe a que en sequía las hojas detienen sus procesos fisiológicos y afectan los procesos enzimáticos. En esta condición adversa es de destacar que la variedad nativa México no es afectada por la sequía, lo cual, puede ser tolerante al estrés hídrico. La disminución del área foliar por la sequía en poblaciones nativas, se reflejó en la menor acumulación de biomasa, como en Oaxaca que perdió 74 g por planta, mientras que México

perdió 17 g, lo que demuestra que la tolerancia a sequía depende de la capacidad genéticamente determinada de cada planta (Chaves *et al.* 2009), mientras que el tamaño del fruto depende más de la relación fuente-demanda (Fischer *et al.* 2012).

El genotipo Oaxaca cultivado en riego (RH 100%) produjo frutos más grandes. Esta variable, según Santiago *et al.* (1998), está determinada por la relación entre la potencia de la fuente y la demanda durante el periodo de crecimiento del fruto; es decir, la variedad nativa Oaxaca posee la mayor capacidad de demanda en fruto, y una fuente suficiente para abastecerla. En sequía los frutos de la variedad Oaxaca mostraron la mayor pérdida de peso con 72%. Al respecto, Medrano *et al.* (2007) y Sibomana *et al.* (2013), reportan que la falta de agua es el principal factor limitante del crecimiento y del rendimiento. El mayor rendimiento, tamaño de fruto y número de frutos en cuatro racimos los produjeron el testigo y la población nativa Oaxaca en el RH 100% (Tabla 3). Estas características son importantes en la producción de un cultivo, porque indican la capacidad de acumular biomasa en los órganos que se destinan a la cosecha (Peil y Galvez 2005), por lo que a mayor tamaño de la demanda es mayor el rendimiento económico. Lo que coincide con Villegas-Cota *et al.* (2004) y Mendoza-Pérez *et al.* (2018) quienes encontraron que a mayor número de frutos es mayor el rendimiento.

Los componentes del rendimiento son el número de frutos por planta y el peso individual del fruto (Santiago *et al.* 1998). Estos dos componentes

del rendimiento, involucran procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo y reproductivo, están fuertemente influenciados por la relación entre la fuente y la demanda a través de las diferentes fases del ciclo de vida de la planta. El déficit hídrico provocó una reducción en el rendimiento de 55% en el testigo y de 64% en Oaxaca. Tan alta reducción se atribuye a que el déficit hídrico afecta negativamente la turgencia celular con la consecuente baja en la producción del cultivo (Jonghan y Piccinni 2009). Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los de Sibomana *et al.* (2013) quienes reportaron que la mayor reducción del rendimiento fue de 69%, mientras que, Peil y Galvez (2005) reportaron pérdidas de 74%. En tanto que Cui *et al.* (2020) encontraron que la disminución del rendimiento fue menor con 26%. Sobre esto se sabe que el déficit hídrico disminuye el rendimiento, la calidad y el crecimiento de las plantas, y por consecuencia reduce la expansión foliar y la transpiración (Blum, 2005). Lo que coincide con Flexas *et al.* (2004), quienes reportan que la baja disponibilidad de agua es un factor ambiental que limita la fotosíntesis, y como resultado, el crecimiento y rendimiento de las plantas a nivel mundial.

El testigo y la variedad nativa Oaxaca desarrolladas en el RH 100% acumularon la mayor cantidad de biomasa total con 248 y 249 g/planta en 135 días después del trasplante (Tabla 4). Mientras, la falta de agua perjudicó en mayor proporción a la variedad Oaxaca (30%) con respecto a la México (12%). Lo que demuestra que no todas las poblaciones tienen la misma respuesta al estrés hídrico RH 25% reportadas en variedades comerciales de tomate por Osorio *et al.* (2014). Según Heuvelink *et al.* (2005) y Núñez-Ramírez *et al.* (2012), la mayor cantidad de biomasa del tomate se destina hacia los frutos y su magnitud depende de la capacidad de la fuente (área foliar).

En cuanto a las variables de calidad del fruto (Tabla 4), el número de lóculos varió entre genotipos, desde 2.5 hasta 13 lóculos, rasgo genético que no fue modificado por la sequía. Al respecto, Vásquez-Ortiz *et al.* (2010) reportaron que el número lóculos de las poblaciones nativas de tomate dependen de la forma del fruto. La falta de agua inducida por el RH 25%

afectó el grosor del pericarpio de los frutos en todas las variedades, pero fue menor en las poblaciones nativas Oaxaca y México (Tabla 4). Para el contenido de sólidos solubles totales la variedad Campeche en el RH 100% fue mayor de 6.4%. Esta diferencia se atribuye a la gran diversidad en formas de tomate cultivadas y silvestres en el país (Maldonado-Peralta *et al.* 2016); sobre lo mismo otros investigadores reportan que los genotipos silvestres de tomate poseen mayor concentración de sólidos solubles totales que las variedades cultivadas (Martínez 2003, Juárez-López *et al.* 2012, Nangare *et al.* 2016), lo que implica mayor contenido total de azúcares y de ácidos orgánicos que aumentan la intensidad del sabor (Monge-Pérez 2014). La concentración de sólidos solubles totales se incrementó en 3% por efecto del déficit hídrico, lo cual representa una ventaja cualitativa de este factor adverso. Al respecto, Nuruddin *et al.* (2003), indican que esto se debe a la absorción limitada de agua en el fruto sometido a estrés y por consecuencia ocurre mayor concentración de soluto.

El genotipo Puebla incremento la firmeza en los frutos en déficit hídrico con respecto a los que recibieron el mayor contenido de agua y es similar a lo reportado por Cui *et al.* (2020) y Patané y Cosentino (2010). Los frutos más pequeños tienden a ser más firmes debido a un aumento en el contenido de sólidos solubles totales y la densidad celular (Shao *et al.* 2015), lo que fue confirmado por los resultados de este estudio. Los valores de pH variaron entre 4.6 y 5.1, sin embargo, los resultados obtenidos fueron más altos que los reportados que van de 4.2 a 4.4; lo cual es una característica deseable en tomates destinados al proceso industrial (Díez y Nuez 2008). Estas variables de calidad hacen que los frutos nativos sean más deliciosos que las variedades tradicionales (Tie-man *et al.* 2017).

CONCLUSIONES

Los genotipos nativos de los estados de Campeche y México tuvieron menor daño al déficit hídrico en las variables agronómicas y de calidad del fruto. Los frutos de mayor peso fueron más afectados por el déficit hídrico, mientras que en los de

menor peso, el déficit hídrico incrementa la concentración de sólidos solubles totales. Es posible que las poblaciones nativas que fueron menos afectadas

por el déficit hídrico, se pueden usar como donadores de tolerancia a la sequía, en un programa de mejoramiento genético a futuro.

LITERATURA CITADA

- AOAC (1990) Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Ed. Washington DC, USA. pp: 918-919.
- Borrego F, López A, Fernández JM, Murillo M, Rodríguez SA, Reyes A, Martínez JM (2001) Evaluación agronómica de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Agronomía Mesoamericana* 12: 49-56.
- Blum A (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 1159-1168.
- Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS (2003) Understanding plant responses to drought -fromgenes to the whole plant. *Functional Plant Biology* 30: 239-264.
- Chaves MM, Flexas J, Pinheiro C (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103:551-560.
- Cui J, Shao G, Lu J, Keabetswe L, and Hoogenboom G (2020) Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. *Scientia Agricola* 77(2): e20180390. DOI: 10.1590/1678-992x-2018-0390.
- Díez MJ, Nuez F (2008) Tomato. In: Prohens J, Nuez F (eds) Handbook of plant breeding. Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae. Springer. New York, USA. pp: 249-323.
- Falconer DS, Mackay TFC (1996) Introduction to quantitative genetics. Longman Group Ltd. Harlow, Essex, U.K. 464p.
- Fischer G, Almanza-Merchán PJ, Ramírez F (2012) Source-sink relationships in fruit species: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6: 238-253.
- Flexas J, Bota J, Loreto F, Cornic G, Sharkey TD (2004) Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology* 6: 269-279.
- Florido BM, Bao FL (2014) Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) *Cultivos Tropicales* 35: 70-88.
- González A (2009) Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. *Agroecología* 4: 111-116.
- Heuvelink E, Bakker MJ, Elings A, Kaarsemaker RC, Marcelis LFM (2005) Effect of leaf area on tomato yield. *Acta Horticulturae* 691: 43-50.
- INEGI (2017) Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades. Anuario Estadístico de Sinaloa 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. 475p.
- Juárez-López P, Castro BR, Colinas LT, Ramírez-Vallejo P, Sandoval-Villa M, Reed DW, Cisneros ZL, King S (2012) Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18: 207-216.
- Jonghan KA, Piccinni GB (2009) Corn yield responses under crop evapotranspiration- irrigation management based. *Agricultural Water Management* 96: 799-808.

- Maldonado-Peralta R, Ramírez-Vallejo P, González Hernández VA, Castillo-González F, Sandoval-Villa M, Livera-Muñoz M, Cruz-Huerta N (2016) Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates nativos. *Agroproductividad* 12: 68-75.
- Martínez BE (2003) Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agrociencia* 37: 363-370.
- Medrano H, Bota J, Cifre J, Flexas J, Ribas MC, Gulías J (2007) Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84.
- Mendoza-Pérez C, Ramírez-Ayala C, Martínez-Ruiz A, Rubiños-Panta JE, Trejo C, Vargas-Orozco AG (2018) Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 9*: 355-366.
- Mercer KL, Perales HR (2010) Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary Applications* 3: 480-493.
- Monge-Pérez JE (2014) Caracterización de 14 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 27: 59-68.
- Nangare DD, Singh Y, Kumar PS, Minhas PS (2016) Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. *Agricultural Water Management* 171: 73-79.
- Núñez-Ramírez F, Grijalva-Contreras RL, Macías-Duarte R, Robles-Contreras F, Ceceña-Duran C (2012) Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Bioteconia* 14: 25-31.
- Nuruddin MMD, Madramootoo CA, Dodds GT (2003) Effects of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. *Hortscience* 38: 1389-1393.
- Obidiegwu JE, Bryan GJ, Jones HG, and Prashar A (2015) Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontier in plant Science* 6: 542. DOI: 10.3389/fpls.2015.00542.
- Osorio S, Yong-Ling R, Alisdair RF (2014) An update on source-to-sink carbon partitioning in tomato. *Frontiers in Plant Science* 5: 516. DOI: 10.3389/fpls.2014.00516.
- Pacheco TIA, Chávez SJL, Carrillo R JC (2014) Relación entre variación ecológica-orográfica y variabilidad morfológica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1: 28-39.
- Patanè C, Cosentino SL (2010) Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato in a Mediterranean climate. *Agricultural Water Management* 97: 131-138.
- Parkash V, Singh S (2020) A review on potential plant-based water stress indicator for vegetables crops. *Sustainability* 12: 3945.
- Peil RM, Galvez JL (2005) Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista brasileira de agrociencia* 11: 5-11.
- Razifard H, Ramos A, Della-Valle AL, Bodary C, Goetz E, Manser EJ, Li X, Zhang L, Visa S, Tieman D, van der Knaap E, Caicedo AL (2020) Genomic evidence for complex domestication history of the cultivated tomato in Latin America. *Molecular Biology and Evolution* 37: 1118-1132.
- Rosabal-Ayan L, Martínez-González L, Reyes-Guerrero Y, Dell'Amico-Rodríguez J, Núñez-Vázquez M (2014) Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. *Cultivos Tropicales* 35: 24-35.

- Ríos-Osorio O, Chávez-Servia JL, Carrillo-Rodríguez JC (2014) Producción tradicional y diversidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo: un estudio de caso en Tehuantepec-Juchitán, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 11: 35-51.
- Salinas-Vargas D, Maldonado-Peralta MA, Rojas-García AR, León-Villanueva A, Álvarez-Vázquez P, Maldonado-Peralta R (2020) Response of tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.) to water stress. *Agroproductividad* 13: 69-74.
- Santiago J, Mendoza M, Borrego F (1998) Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9: 59-65.
- Shao GC, Deng S, Liu N, Wang MH, She DL (2015) Fruit quality and yield of tomato as influenced by rain shelters and deficit irrigation. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17: 691-704.
- Sibomana I C, Aguyoh JN, Opiyo AM (2013) Water stress affects growth and yield of container grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. *Global Journal of Bio-Science and Biotechnology* 2: 461-466.
- Steiner AA, (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15: 134-154.
- Steele M, Gitelson A, Rundquist D (2008) A comparison of two techniques for nondestructive measurement of chlorophyll content in grapevine leaves. *Agronomy Journal* 100: 779-782.
- Tieman D, Zhu G, Resende M, Lin T, Nguyen C, Bies D, Rambla J, Ortis KS, Taylor M, Zhang B, Ikeda H, Liu Z, Fisher J, Zemach I, Monforte A, Zamir D, Granell A, Kirst M, Huang S, Klee H (2017) A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. *Science* 355: 391-394.
- Vásquez-Ortiz R, Carrillo-Rodríguez JC, Ramírez-Vallejo P (2010) Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del centro y sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo* 8: 49-64.
- Villegas-Cota JR, González-Hernández VA, Carrillo-Salazar J A, Livera-Muñoz M, Sánchez-Castillo F, Osuna-Enciso T (2004) Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 333-338.
- Zanne AE, Tank DC, Cornwell WK, Eastman JM, Smith SA, FitzJohn RG, McGlenn DJ, O'Meara BC, Moles AT, Reich PB, Royer DL, Soltis DE, Stevens PF, Westoby M, Wright IJ, Aarssen L, Bertin RI, Calaminus A, Govaerts R, Hemmings F, Leishman RM, Oleksyn J, Soltis PS, Swenson NG, Warman L, Beaulieu JM (2014) Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. *Nature* 506: 89-92.