



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FISIOLOGÍA VEGETAL**

## **ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RESPUESTA A SEQUÍA EN POBLACIONES NATIVAS DE TOMATE**

**RAMIRO MALDONADO PERALTA**

**T E S I S**  
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE :**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

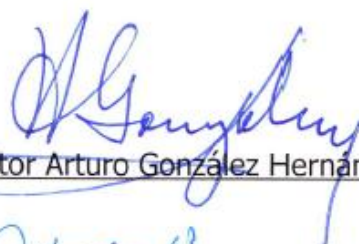
**2017**

La presente tesis titulada: **Análisis de crecimiento y respuesta a sequía en poblaciones nativas de tomate**, realizada por el alumno **Ramiro Maldonado Peralta** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:


DOCTOR EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO  \_\_\_\_\_  
Dr. Víctor Arturo González Hernández

ASESOR  \_\_\_\_\_  
Dr. Fernando Castillo González

ASESOR  \_\_\_\_\_  
Dr. Manuel Sandoval Villa

ASESOR  \_\_\_\_\_  
Dr. Manuel Livera Muñoz

ASESOR  \_\_\_\_\_  
Dr. Nicacio Cruz Huerta

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2017

# ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RESPUESTA A SEQUÍA EN POBLACIONES NATIVAS DE TOMATE

Ramiro Maldonado Peralta  
Colegio de Postgraduados, 2017

## RESUMEN

La diversidad ambiental de México ha permitido el desarrollo de diferentes formas silvestres y cultivadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cuyos frutos se comercializan local y regionalmente en diferentes estados del país. Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar en campo y en condiciones protegidas de invernadero con fertirriego automatizado el desempeño fisiológico de variedades nativas de tomate mexicano en cuanto a su capacidad y eficiencia del crecimiento, en comparación con al menos una variedad comercial de tomate. En campo se midieron variables agronómicas y de calidad de fruto, y en invernadero se midió además acumulación de biomasa, eficiencia del crecimiento y eficiencia en el uso del agua como variables fisiológicas. Los resultados muestran que las poblaciones nativas de tomate cultivadas en condiciones de campo abierto en el que hubo granizadas e incidencia de plagas y enfermedades, condiciones en las que todos los genotipos de tomate mostraron bajo crecimiento y pobre rendimiento, pero algunos de ellos sobresalieron en morfología de planta y fruto. Por ejemplo, la población nativa G3 presentó el valor mayor en rendimiento en campo con 10.85 kg m<sup>-2</sup> que superó al híbrido comercial que produjo 5 kg m<sup>-2</sup>; esta variedad G3 generó 121 frutos por planta de 74.3 g por fruto, y fruto con forma de calabaza de 8 a 9 lóculos. En condiciones protegidas de invernadero las poblaciones nativas de tomate mexicano también mostraron amplia variabilidad morfológica en planta y fruto, así como importantes diferencias fisiológicas. Así destacó el híbrido testigo por alcanzar la mayor acumulación de biomasa total y el mayor rendimiento de fruto por planta, con un manejo sin poda. Entre las poblaciones nativas destacó la de Campeche (CAM) que asignó 61 % de la biomasa total a la formación de fruto, al igual que el testigo. En un manejo a cuatro racimos el HIB testigo y la población OAX 100 % rindieron la misma cantidad de fruto, con 3.7 y 3.6 kg/planta. Por su parte, cuando se aplicó déficit hídrico durante casi todo el ciclo (25 % del riego completo) se provocó una severa reducción en el rendimiento en todos los genotipos (CAM: 26 %, EMX: 31 %, HIB: 55 %, OAX: 64, y PUE: 63 %), donde destacan dos genotipos nativos en los que el efecto del estrés fue menor. El mayor rendimiento a crecimiento indeterminado (150 días después del trasplante) y con riego completo (100 %) lo produjo el HIB con 3.3 kg/planta y las plantas CAM solo produjeron 2.5 kg/planta con una diferencia de 800 g. En cambio, cuando se aplicó el tratamiento de estrés al 25 % el HIB testigo rindió 400 g menos de fruto por planta que el genotipo nativo CAM. De lo anterior se concluye que hay poblaciones nativas de tomate con características fisiológicas o morfológicas superiores al híbrido testigo, como tolerancia a sequía y a la pudrición apical, por su tasa fotosintética, y con tan buena partición de biomasa hacia el fruto como la del híbrido mejorado.

**Palabras clave:** campo abierto, invernadero, rendimiento, biomasa total y pudrición apical.

# **GROWTH ANALYSIS AND DROUGHT RESPONSE IN NATIVE TOMATO POPULATIONS**

Ramiro Maldonado Peralta  
Colegio de Postgraduados, 2017

## **ABSTRACT**

Mexico's environmental diversity has allowed the development of different wild and cultivated tomato forms whose fruits are marketed locally and regionally in different states of the country. This work was done with the objective of evaluating the physiological response of native varieties of Mexican tomato in terms of their capacity and growth efficiency, in comparison with at least one commercial variety of tomato, in the field and in protected conditions of greenhouse with automated fertigation. In the field, agronomic and fruit quality variables were measured, and in greenhouse were also measured accumulation of biomass, growth efficiency and water use efficiency as physiological variables. The results showed that native tomato populations cultivated under open field conditions in which hailstones and pests and diseases occurred, conditions in which all tomato genotypes showed low growth and poor yield, but some of them stood out in plant morphology and fruit. For example, the native G3 population in field presented the highest yield with 10.85 kg m<sup>-2</sup>, which exceeded the commercial hybrid (5 kg m<sup>-2</sup>); this G3 variety generated 121 fruits per plant of 74.3 g per fruit, and pumpkin shaped fruit of 8 to 9 locules. In greenhouse conditions, the native populations of Mexican tomato also showed wide morphological variability in plant and fruit, as well as important physiological differences. This highlighted the hybrid control for achieving the largest accumulation of total biomass and the highest yield of fruit per plant, without pruning. Among the native populations, the Campeche (CAM), which assigned 61% of the total biomass to the fruit formation, stood out among the native populations, as also did the control. In a four-cluster management of the tomato plants the control HIB and the OAX 100 % yielded the similar amount of fruit, 3.7 and 3.6 kg per plant, respectively. On the other hand, when water deficit was applied during almost all the cycle (25 % of the complete irrigation) a severe reduction in yield in all the genotypes was caused (CAM: 26 %, EMX: 31 %, HIB: 55 %, OAX: 64, and PUE: 63 %), and two native genotypes clearly stand out in which the stress effect was lower. The highest yield at indeterminate growth (150 days after transplanting) and complete irrigation (100%) was produced by the HIB with 3.3 kg per plant and the CAM plants only produced 2.5 kg per plant with a difference of 800 g. In contrast, when the stress treatment was applied at 25 %, the control HIB yielded 400 g less fruit per plant than the native genotype CAM. From the above, it is concluded that there are native populations of tomato with physiological or morphological characteristics superior to the control hybrid, such as tolerance to drought and apical fruit rot, due to their photosynthetic rate, and with an outstanding biomass partition to the fruit as the improved hybrid.

Key words: Open field, greenhouse, yield, total biomass and apical rot.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Colegio de Postgraduados, por abrirme sus puertas, acogerme en sus instalaciones durante los cuatro años de mi formación académica, y por los conocimientos impartidos por sus catedráticos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por proporcionarme los medios económicos para realizar los estudios de Doctor en Ciencias.

Al Dr. Porfirio Ramírez Vallejo<sup>†</sup> por ser el responsable de todo este trabajo que he realizado, por compartir su sabiduría y por impulsarme a ser cada día mejor en mi aprendizaje.

A mi consejero, Dr. Víctor A. González Hernández por su magnífica dirección, acompañamiento y por guíame en mi formación profesional.

A mis asesores: Dr. Fernando Castillo González; Dr. Manuel Sandoval Villa; Dr. Manuel Livera Muñoz; Dr. Nicacio Cruz Huerta, por sus consejos en planeación de los experimentos y quienes con su valiosa dedicación y tiempo guiaron el desarrollo de mi tesis.

A la familia Ramírez-Ramírez por su amistad y su apoyo en estos años de trabajo.

A mis padres, hermano, cuñado (a) y sobrinos por su amor, paciencia, enseñanzas y apoyo incondicional en esta etapa que hoy concluyo.

A las todas las personas que con su apoyo, amistad y tiempo han estado conmigo de principio a fin en la realización de esta investigación.

A mis amigos que son muchos y no quiero dejar alguno sin mencionar a todos los que he compartido una palabra una sonrisa en estos años que estado estudiando y han sido parte importante en esta etapa gracias.

## DEDICATORIA

A mis padres **Policarpo Maldonado Altamirano** y **Georgina Peralta Parada** les dedico este trabajo con respeto y amor, son los que me apoyan de manera incondicional, responsables de mi desarrollo personal y profesional, que se refleja con la educación que me inculcaron en casa.

A mi esposa **Delfina Salinas Vargas** y mi hijo **Jesús Maldonado Salinas** quienes son el motor que me hace levantarme cada día y son la luz de mi vida.

Dedico también todo mi esfuerzo en estas páginas a mis hermanos **María de los Ángeles, Zenaida y Noé**.

Mi familia es mi gran inspiración de cada día

*El título es un requisito para obtener el grado que a muchos nos queda grande ya que la realidad está a la vuelta de la esquina donde lo que importa es sobrevivir y no morir de hambre.*

*Ramiro Maldonado Peralta*

## CONTENIDO

	Páginas
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	x
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
1.1. Importancia de las poblaciones nativas de tomate .....	3
1.2 HIPÓTESIS .....	6
1.2.1 Hipótesis general .....	6
1.2.2 Hipótesis específicas .....	6
1.3 OBJETIVOS.....	6
1.3.1 Objetivo general .....	6
1.3.2 Objetivo específicas .....	6
1.1 LITERATURA CITADA .....	7
<b>CAPÍTULO II. RIQUEZA AGRONÓMICA EN COLECTAS MEXICANAS DE TOMATES NATIVOS</b> .....	10
2.1 RESUMEN .....	10
2.2 INTRODUCCIÓN .....	11
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
1.3.1 Material biológico .....	12
2.3.2 Manejo experimental.....	12
2.3.3 Diseño experimental y variables medidas .....	14
2.3.4 Análisis de los datos .....	15
2.4 RESULTADOS.....	15
2.4.1 Rendimiento y calidad de planta y fruto .....	18
2.4.2 La diversidad de formas de frutos de tomate .....	20
2.5 DISCUSIÓN .....	20
2.6 CONCLUSIONES .....	23
2.7 LITERATURA CITADA .....	23
<b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RELACIONES FUENTE-DEMANDA EN POBLACIONES CRIOLLAS DE TOMATE MEXICANO</b> ....	26
3.1 RESUMEN .....	26
3.2 INTRODUCCIÓN .....	27
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.4 RESULTADOS.....	31
3.4.1 Cinéticas de crecimiento y distribución de biomasa.....	31
3.4.2 Balance entre órganos vegetativos y reproductivos.....	34
3.4.3 Relaciones entre la fuente y la demanda .....	36
3.4.3.1 Área foliar (tamaño de la fuente).....	36
3.4.3.1 Fuerza de la fuente (tasa de asimilación neta, TAN) .....	37

3.4.3.3 Fuerza de la demanda en frutos (tasa absoluta de crecimiento, TAC).....	38
3.4.3.4 Actividad de la demanda en frutos (tasa de crecimiento relativo, TRC) .....	39
<b>3.5 DISCUSIÓN .....</b>	<b>40</b>
<b>3.6 CONCLUSIONES .....</b>	<b>44</b>
<b>3.7 LITERATURA CITADA .....</b>	<b>44</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESPUESTA DE POBLACIONES NATIVAS DE TOMATE MEXICANO AL ESTRÉS HÍDRICO .....</b>	<b>48</b>
<b>4.1 RESUMEN .....</b>	<b>48</b>
<b>4.2 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>50</b>
4.3.1 Análisis estadísticos .....	53
<b>4.4 RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
4.4.1 Comparación de medias .....	56
4.4.2 Tasa fotosintética de CO <sub>2</sub> .....	60
4.4.3 Eficiencia en el uso de agua (EUA).....	61
<b>4.5 DISCUSIÓN .....</b>	<b>63</b>
<b>4.6 CONCLUSIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>4.7 LITERATURA CITADA .....</b>	<b>70</b>
<b>CAPÍTULO V. CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE POBLACIONES NATIVAS DE TOMATE EN FUNCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE RIEGO.....</b>	<b>75</b>
<b>5.1 RESUMEN .....</b>	<b>75</b>
<b>5.2 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>76</b>
<b>5.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>77</b>
5.3.1 Análisis estadísticos .....	80
<b>5.4 RESULTADOS.....</b>	<b>80</b>
5.4.1 Comparación de medias .....	82
5.4.2 La cinética de acumulación de biomasa .....	86
<b>5.5 DISCUSIÓN .....</b>	<b>87</b>
<b>5.6 CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>5.8 LITERATURA CITADA .....</b>	<b>94</b>
<b>CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN GENERAL .....</b>	<b>99</b>
<b>6.1 LITERATURA CITADA .....</b>	<b>102</b>



## LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 2.1.	Valores estimados de los parámetros poblacionales: media, coeficiente de variación (CV), diferencia mínima significativa (DMS) y desviación estándar.....	16
Cuadro 2.2.	Colectas destacadas de tomates nativos dentro de cada estado. En negritas se marcan los valores más altos en cada variable .....	19
Cuadro 3.1.	Correlaciones de biomasa total con área foliar y TAN .....	42
Cuadro 4.1.	Sumas de cuadrados (SC) de las variables agronómicas medidas en plantas de tomates cultivadas en invernadero con fertirriego, y podadas a cuatro racimos. Entre paréntesis se anotan las proporción de las SC de cada factor (Var., RH y Var. x RH) con respecto a la SC de tratamientos.....	54
Cuadro 4.2.	Sumas de cuadrados (SC) de las variables de acumulación de biomasa de plantas de tomates cultivadas en invernadero con fertirriego, y podadas a cuatro racimos. Entre paréntesis se anotan las proporción de las SC de cada factor (Var., RH y Var. x RH) con respecto a la SC de tratamientos.....	55
Cuadro 4.3.	Sumas de cuadrados (SC) de las variables de calidad de fruto de plantas de tomates cultivadas en invernadero con fertirriego, y podadas a cuatro racimos. Entre paréntesis se anotan las proporción de las SC de cada factor (Var., RH y Var. x RH) con respecto a la SC de tratamientos.....	56
Cuadro 4.4.	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 <sup>-1</sup> por planta) .....	57
Cuadro 4.5.	Comparación de medias de variables de biomasa en plantas de tomates del muestro final y cultivados a cuatro racimos en dos regímenes hídricos (25 y 100 % de 1.2 L d <sup>-1</sup> por planta) ....	59
Cuadro 4.6.	Comparación de medias de variables de calidad del fruto de plantas de tomates cultivados a cuatro racimos en dos regímenes hídricos (25 y 100 % de 1.2 L d <sup>-1</sup> por planta).....	60

Cuadro 4.7.	Requerimientos hídricos de los dos regímenes (litros de agua por kilo de producto fresco) en invernadero con un sistema de riego por goteo.....	69
Cuadro 5.1.	Sumas de cuadrados (SC) de las variables agronómicas medidas en plantas de tomates cultivadas en invernadero con cuatro regímenes de humedad. Entre paréntesis se anota la proporción de las SC de cada factor (Var, RH y Var x RH) respecto a la SC de tratamientos.....	81
Cuadro 5.2.	Sumas de cuadrados (SC) de las variables de acumulación de biomasa en cada órgano de la planta de tomate cultivada en invernadero con cuatro regímenes de humedad. Entre paréntesis se anota la proporción de la SC de cada factor (Var, RH y Var x RH) respecto a la SC de tratamientos.....	81
Cuadro 5.3.	Sumas de cuadrados (SC) de las variables de calidad de fruto de plantas de tomates cultivadas en invernadero con cuatro regímenes. Entre paréntesis se anota la proporción de las SC de cada factor (Var., RH y Var x RH) respecto a la SC de tratamientos.....	82
Cuadro 5.4.	Comparación de medias de variables de calidad de planta en tomates cultivados en invernadero con cuatro regímenes hídricos (25, 50, 75 y 100 % de 1.2 L d <sup>-1</sup> por planta). .....	84
Cuadro 5.5.	Comparación de medias de variables de calidad de los frutos de plantas de tomate cultivado en invernadero con cuatro regímenes hídricos (25, 50, 75 y 100 % de 1.2 L d <sup>-1</sup> por planta) .....	85

## LISTA DE FIGURAS

		Páginas
Figura 2.1.	Diversos aspectos de los tomates criollos cultivados en campo en 2013. Plantas antes (A) y después (B) de la granizada. Muestras de tipos de fruto "arriñonado" (C), "calabaza" (D), "cherry" (E), "bola grande" (F), "bola plana" (G), "pera" (H), "pimiento" (I), y "saladette" (J).....	13
Figura 2.2.	Histogramas de distribución de altura de planta (A), rendimiento (B), número de fruto por planta (C) y número de lóculos (D), en 100 poblaciones nativas de tomate y dos híbridos comerciales .....	17
Figura 2.3.	Variación en la forma y tamaño de los frutos de tomates mexicanos nativos: Bola plana (Campeche 1); Campeche (C); Guerrero (G); Estado de México (M); Oaxaca (O); Puebla (P); Veracruz (V); Yucatán (Y) y en los testigo H1 (El Cid) y H2 (Río Grande) .....	20
Figura 3.1.	Formas de frutos de las diferentes poblaciones criollas de tomate .....	29
Figura 3.2.	Cinética de la acumulación de biomasa total por planta en cinco poblaciones nativas de tomate cultivadas en invernadero con fertirriego. Modelo polinomial de mejor ajuste para cada genotipo: Híbrido (HIB) $y = -5E-06x^4 + 0.0011x^3 - 0.0442x^2 + 1.1009x + 12.55$ ( $R^2 = 0.9994$ ); Oaxaca (OAX) $y = -3E-06x^4 + 0.0007x^3 - 0.0225x^2 + 0.7197x + 12.184$ ( $R^2 = 0.9997$ ); Puebla (PUE) $y = -3E-06x^4 + 0.0006x^3 - 0.0129x^2 + 0.4189x + 8.8169$ ( $R^2 = 0.9995$ ); Estado de México (EMX) $y = -3E-06x^4 + 0.0006x^3 - 0.0129x^2 + 0.4189x + 8.8169$ ( $R^2 = 0.9995$ ); Campeche (CAM) $y = -0.0002x^3 + 0.0419x^2 - 0.561x + 5.0676$ ( $R^2 = 0.9994$ ).....	32
Figura 3.3.	Porcentajes de la biomasa total de la planta asignados a frutos, hojas, tallo y raíz en cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con fertirriego. CAM, Campeche; EMX, Estado de México; HIB, Híbrido; OAX, Oaxaca; PUE, Puebla, MS: Biomasa.....	33
Figura 3.4.	Acumulación de biomasa en órganos vegetativos (VEG) y reproductivos (REP) en genotipos de tomate. Modelo polinomial de mejor ajuste para cada genotipo y para cada grupo de órganos: Campeche (CAM), órganos reproductivos y	

=  $-9E-07x^4+0.0002x^3+0.0044x^2-0.109x+2.192$  ( $R^2 = 0.9989$ ), y órganos vegetativos  $y = 1E-06x^4-0.0004x^3+0.0397x^2-0.4938x+2.8889$  ( $R^2 = 0.999$ ). Híbrido (HIB), órganos reproductivos  $y = -5E-06x^4+0.0013x^3-0.068x^2+1.0573x+0.5392$  ( $R^2 = 0.9989$ ), y órganos vegetativos  $y = -9E-05x^3+0.0206x^2+0.1363x+11.775$  ( $R^2 = 0.9997$ ). Puebla (PUE), órganos reproductivos  $y = -3E-06x^4+0.0007x^3-0.0331x^2+0.4614x+0.4171$  ( $R^2 = 0.9994$ ), y órganos vegetativos  $y = -1E-04x^3+0.0222x^2-0.0972x+8.5387$  ( $R^2 = 0.9996$ ). Oaxaca (OAX): órganos reproductivos  $y = -2E-06x^4+0.0006x^3-0.031x^2+0.461x+0.485$  ( $R^2 = 0.9994$ ), y órganos vegetativos  $y = -9E-05x^3+0.0236x^2-0.1729x+12.796$  ( $R^2 = 0.9992$ ). Estado de México (EMX), órganos reproductivos  $y = -2E-06x^4+0.0004x^3+0.0193x^2+0.298x+0.4381$  ( $R^2 = 0.9996$ ) y vegetativos  $y = -7E-05x^3+0.0173x^2-0.0707x+9.5506$  ( $R^2 = 0.9992$ ) ..... 35

Figura 3.5 Cinética de crecimiento en área foliar por planta de cinco genotipos de tomate cultivados en invernadero con fertirriego. Modelo polinomial de mejor ajuste para cada genotipo: Híbrido (HIB)  $y = 8E-09x^4-3E-06x^3+0.0003x^2+0.0032x-0.007$  ( $R^2 = 0.9976$ ). Oaxaca (OAX)  $y = 8E-09x^4-3E-06x^3+0.0003x^2+0.0004x+0.0042$  ( $R^2 = 1$ ). Puebla (PUE)  $y = 6E-09x^4-2E-06x^3+0.0003x^2-0.0011x+0.0047$  ( $R^2 = 0.9998$ ). Estado de México (EMX)  $y = -3E-07x^3+5E-05x^2+0.0047x-0.0042$  ( $R^2 = 0.999$ ). Campeche (CAM)  $y = 7E-09x^4-2E-06x^3+0.0002x^2-4E-06x+0.0086$  ( $R^2 = 0.9992$ )..... 36

Figura 3.6. Tasa de asimilación neta (TAN) de la biomasa total de la planta de tomates cultivados bajo cubierta plástica, para cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con hidroponía (CAM, Campeche; EMX, Estado de México; HIB, Híbrido; OAX, Oaxaca; PUE, Puebla). Los valores fueron calculados a partir de los datos predichos por los modelos de mejor ajuste 38

Figura 3.7. La tasa absoluta de crecimiento (TAC) de la biomasa de fruto de plantas de tomates cultivados bajo cubierta plástica, para cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con hidroponía (CAM, Campeche; EMX, Estado de México; HIB, Híbrido; OAX, Oaxaca; PUE, Puebla). Los valores fueron calculados a partir de los datos predichos por los modelos de mejor ajuste..... 39

Figura 3.8. Comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) de la biomasa de frutos de plantas de tomates cultivados bajo cubierta plástica, para cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con hidroponía (CAM, Campeche; EMX, Estado de México; HIB, Híbrido; OAX, Oaxaca; PUE, Puebla). Los

	valores fueron calculados a partir de los datos predichos por los modelos de mejor ajuste.....	40
Figura 4.1.	Régimen hídrico en fruto y planta de los cinco genotipos evaluados en invernadero.....	53
Figura 4.2.	Medición de la lectura SPAD en dos genotipos nativos de tomate evaluados en invernadero.....	58
Figura 4.3.	Tasa fotosintética en cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con fertirriego. En dos regímenes (100 y 25 %), Híbrido (HIB), Puebla (PUE), Oaxaca (OAX), Estado de México (EMX) y Campeche (CAM). .....	61
Figura 4.4.	Eficiencia en el uso de agua (EUA) en cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con fertirriego. En dos regímenes (100 y 25 %), Híbrido (HIB), Puebla (PUE), Oaxaca (OAX), Estado de México (EMX) y Campeche (CAM). Calculados en de biomasa y agua utilizada. ....	62
Figura 5.1.	1a (Número de lóculos), 1b (frutos con pudrición apical) y 1c (efecto del régimen hídrico en frutos) en los tres genotipos.....	86
Figura 5.2.	Cinética de la acumulación de biomasa total por planta en tres genotipos de tomate cultivadas en invernadero con cuatro regímenes de agua. Modelo polinomial de mejor ajuste para cada genotipo: Híbrido (HIB 25 %) $y = -0.0001x^3 + 0.0168x^2 + 1.3263x + 3.1388$ ( $R^2 = 0.9997$ ); (HIB 50 %) $y = -0.0001x^3 + 0.0193x^2 + 1.9642x + 1.1925$ ( $R^2 = 0.999$ ); (HIB 75 %) $y = -0.0003x^3 + 0.0521x^2 + 1.3547x + 0.2648$ ( $R^2 = 0.9993$ ); (HIB 100 %) $y = -0.0003x^3 + 0.0469x^2 + 1.4772x + 0.4574$ ( $R^2 = 0.9994$ ); Puebla (PUE 25 %) $y = -2E-05x^3 - 0.0052x^2 + 2.4684x + 1.8494$ ( $R^2 = 0.9998$ ); (PUE 50 %) $y = -8E-05x^3 + 0.0078x^2 + 2.2841x + 1.6358$ ( $R^2 = 0.9999$ ); (PUE 75 %) $y = -0.0003x^3 + 0.0477x^2 + 1.2625x + 0.6782$ ( $R^2 = 0.9995$ ); (PUE 100 %) $y = -0.0002x^3 + 0.0413x^2 + 1.4296x + 0.7262$ ( $R^2 = 0.9997$ ); Campeche (CAM 25 %) $y = -1E-04x^3 + 0.0152x^2 + 1.3216x + 0.4991$ ( $R^2 = 0.9997$ ); (CAM 50 %) $y = -0.0002x^3 + 0.0312x^2 + 1.1729x - 0.2653$ ( $R^2 = 0.9995$ ); (CAM 75 %) $y = -0.0002x^3 + 0.042x^2 + 0.8848x + 0.4069$ ( $R^2 = 0.9996$ ); (CAM 100 %) $y = -0.0002x^3 + 0.0408x^2 + 0.6311x + 0.9758$ ( $R^2 = 0.9996$ ).....	87
Figura 5.3.	Efecto de los cuatro regímenes de agua en los tres genotipos de tomate.....	93

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN GENERAL

El centro de origen del tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) es la región andina aunque su centro de domesticación y diversificación es México (Rick, 1978). La diversidad climática de México ha permitido el desarrollo de diferentes formas silvestres de las especies *Lycopersicon esculentum* y *L. esculentum* var. *cerasiforme* desde Sinaloa hasta Chiapas, así como diferentes formas cultivadas de la especie *Solanum lycopersicum*, cuyos frutos se comercializan local y regionalmente en diferentes estados del país, principalmente en zonas en las que predominan poblaciones indígenas (Villaseñor y Espinosa, 1998).

El tomate es la hortaliza de mayor importancia económica en el mundo (Nuez, 1995), y se cultiva en todos los países (Rick, 1978). En el 2015, el tomate fue el producto más importante en el valor de las exportaciones agropecuarias mexicanas, con una participación de 13.0 %, al ubicarse en 1.6 millones de dólares y 1.43 millones de toneladas. El volumen exportado durante ese año fue equivalente al 53.3 por ciento de la producción nacional de esta hortaliza. La producción de las variedades de tomate Saladette representó el 79.9 %, bola el 16.5 % y cherry el 3.6 % del total de la producción de tomate en México, SIAP, 2016. Durante el mismo año, el consumo nacional aparente de tomate rojo se ubicó en 1.26 millones de toneladas, volumen que representa el 47 % de la producción nacional. El consumo per cápita anual de tomate en México se ubica en alrededor de 15 kilogramos por año, volumen que es inferior al consumo per cápita promedio mundial, de 18 kilogramos (FIRA, 2016).

Nuestro país enfrenta un incremento poblacional constante, por lo que la disponibilidad del agua, por habitante, es cada vez menor. En la agricultura, la eficiencia se logra cuando se obtienen mayores rendimientos económicos al emplear menos agua, especialmente en aquellas áreas donde es escasa (Boutraa,

2010). El concepto de productividad del agua fue establecido por Kijne *et al.* (2003) como medida para determinar la capacidad de los cultivos de convertir el agua en alimento. Con la disminución de las lluvias y el aumento de temperatura, la escasez de agua es una severa limitación ambiental para la productividad de alimentos y que obliga a utilizar el agua de manera más eficiente.

El cultivo de tomate es también uno de los mayores consumidores de agua con una demanda de 23 a 30 litros de agua por kilo de producto fresco (Santiago *et al.*, 1998). Las plantas a menudo están expuestas a diversas tensiones ambientales. La sequía es uno de los factores ambientales importantes que inhiben la fotosíntesis y la disminución del crecimiento y la productividad de las plantas (Shamsi y Kobraee, 2011; Zlatev y Cebola, 2012). Se han descrito tres estrategias de respuesta frente al déficit hídrico, que se fundamentan en las respuestas morfológicas y fisiológicas para reducir o retrasar la incidencia de los efectos, y son: Escape de la sequía, que consiste en acoplar el ciclo biológico a los meses con disponibilidad de agua; tolerar la desecación, que consiste en un conjunto de modificaciones fisiológicas que permiten soportar un cierto grado de deshidratación de los tejidos sin reducción drástica de la actividad vital; e incrementar la eficiencia en el uso del agua, lo que aumenta la capacidad de permanecer y sobrevivir durante los períodos de sequía (Medrano *et al.*, 2007)

Una forma de estudiar los procesos de acumulación y distribución de biomasa en las plantas es haciendo un análisis de crecimiento vegetal mediante índices de eficiencia fisiológica, como: la tasa de crecimiento relativo (TRC), que se define como la ganancia de biomasa por unidad de biomasa y por unidad de tiempo ( $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ); la tasa de asimilación neta (TAN), una medida de la eficiencia del follaje que equivale a la tasa de incremento en el peso de la planta por unidad de área foliar y por unidad de tiempo ( $\text{g dm}^{-2} \text{d}^{-1}$ ); y la tasa absoluta de crecimiento (TAC) que se refiere al incremento en biomasa de la planta por unidad de tiempo ( $\text{g d}^{-1}$ ) (Hunt, 1979; Aguilar-León *et al.*, 2006).

La importancia de estos efectos dependen de la capacidad genética de la planta, que obedecen a la intensidad y duración el estrés, cuando se aplica solo o en combinación (Chaves *et al.*, 2009). La capacidad de aclimatación de los organismos vegetales a una mayor resistencia de un factor de estrés dado, se determina por la capacidad de la planta para mantener sus procesos fisiológicos dentro de la norma de reacción, a una mayor variación de este factor (Valladares *et al.*, 2007). Cuando el estrés hídrico aumenta muchos procesos fisiológicos en la planta se ven afectados. Es una de las causas principales de la pérdida de rendimiento de los cultivos en todo el mundo, y es equivalente a 50% (Wang *et al.*, 2003).

### **1.1 Importancia de las poblaciones nativas de tomate**

México es uno de los centros de origen de la agricultura y de muchas especies vegetales fundamentales para la vida humana (Perales y Aguirre, 2008). Dentro de estas especies se encuentra el tomate cuyo centro de domesticación es muy probable haya ocurrido en nuestro país (Jenkins, 1948). De México se propagó a Europa a inicios del año 1500 y desde ahí llegó a ser ampliamente distribuido; tiene ocho especies silvestres relacionadas, las cuales se han utilizado extensamente para mejorar su cultivo.

A nivel mundial hay más de 75,000 accesiones de *Lycopersicon* en más de 120 países, en una serie de instituciones. Los países con el mayor número de accesiones de germoplasma de *Lycopersicon*, además de los EE.UU., son Brasil, Bulgaria, Canadá, China, Colombia, Alemania, Hungría, Filipinas y España. De acuerdo con Robertson y Labate (2007), las principales colecciones de germoplasma de tomate se mantienen en los Estados Unidos, en la Unidad de Recursos Fitogenéticos, del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en Geneva, Nueva York, y en el Centro de Recursos Genéticos de Tomate (TGRC) ubicado en el Departamento de Cultivos Vegetales de la Universidad de California en Davis.



En el proyecto “Valoración Integral de la Diversidad de Poblaciones Nativas de Jitomate mexicano (*Lycopersicon esculentum* M.)” que se realizó en el Colegio de Postgraduados desde 2009 a 2013 con apoyo económico del CONACYT, tiene 600 accesiones colectadas en México. En esta colección se han realizado diversos estudios que muestran la amplia diversidad en características morfológicas de planta, flor y fruto de tomate, y aún en características determinantes de la calidad del fruto.

Así, Moreno *et al.* (2010) evaluaron la diversidad morfológica de poblaciones nativas de tomate del centro, sur y sureste de México, y encontraron una amplia variabilidad morfológica en características cuantitativas. Salgado *et al.* (2011) encontraron una gran variabilidad en poblaciones nativas de tomate originarias de siete regiones de México, en caracteres de calidad externa e interna del fruto, y mencionan que esta variabilidad puede ser usada para el mejoramiento y desarrollo de variedades con mayor calidad de fruto. En tanto que Juárez *et al.* (2012), en una evaluación del efecto de la concentración de la solución nutritiva en la calidad de frutos de genotipos nativos de tomate tipo ‘cherry’, encontraron que al incrementar la conductividad eléctrica de la solución nutritiva de 0.5 a 2.0 dS m<sup>-1</sup> la mayoría de los parámetros de calidad mejoraron (firmeza, acidez titulable, sólidos solubles totales y licopeno).

Por su parte, Flores-González *et al.* (2012) encontraron que los genotipos nativos de tomate superaron a los híbridos comerciales en el contenido de sólidos solubles totales y en concentración de licopeno. Urrieta *et al.* (2012) compararon tres selecciones de tomate de costilla en seis tratamientos derivados de la combinación de las tres selecciones y dos potenciales osmóticos, mediante variables agronómicas y la calidad de frutos; los autores concluyeron que los frutos tipo costilla constituyen una alternativa viable para la producción intensiva y a cielo abierto, pues presentan varias ventajas con respecto a variedades comerciales.

En tanto que Sanjuan *et al.* (2013) encontraron variabilidad amplia para tolerancia a la salinidad, en 48 familias seleccionadas de una población nativa de tomate proveniente del estado de Puebla, México. En este grupo de genotipos al menos una familia seleccionada (112) mostró mayor tolerancia al NaCl al nivel de 119 mM ( $12 \text{ dS m}^{-1}$ ), en comparación con los testigos comerciales Sun-7705 y Nun 290, en relación con la calidad del fruto, por lo que el factor nutrimental precosecha debe ser un elemento a considerar cuando se evalúa la calidad de genotipos nativos de tomate. Bouchan (2014) trabajó en valoración isoenzimática en poblaciones nativas de tomate, y encontró información de 14 loci con un total de 57 alelos.

En otros trabajos realizados en México con poblaciones nativas de tomate, como los de Carrillo-Rodríguez y Chávez-Servia (2010) valoraron 49 poblaciones, 21 semidomesticadas y 28 silvestre nativas de algunos municipios del estado de Oaxaca, con registro de 20 descriptores. Vásquez-Ortiz *et al.* (2010) evaluaron 16 poblaciones de tomate nativo del Centro y Sureste de México, y sus frutos los clasificaron en cuatro tipos: riñón, 'saladette', 'cherry' o tomatillo y bola pequeño, al haber registrado 21 variables de las cuales fueron 9 eran cualitativas y 12 cuantitativas.

Pacheco (2011) evaluó 104 muestras de tomate silvestre y cultivado, nativos del estado de Oaxaca; mediante 27 variables cualitativas determinó el índice de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1949) a través de las variables con mayor variación. Gaspar-Peralta *et al.* (2012) evaluaron ocho líneas avanzadas de tomate con caracteres agronómicos y componentes de calidad como el licopeno. Bonilla (2013) utilizó 40 colectas de tomate nativo de Puebla y Oaxaca. Estrada (2013) utilizó 34 poblaciones nativas de tomate tipo cereza de los estados Puebla y Veracruz; en dos ciclos de evaluación, 2010 y 2011, registraron 43 variables.

Los trabajos previos realizados han mostrado el potencial agronómico de los genotipos nativos de tomate mexicano, que están sentando las bases para conocer las características de fisiológicas para el futuro mejoramiento de estos genotipos nativos.

## **1.2 HIPÓTESIS**

### **1.2.1 Hipótesis general**

Entre las poblaciones nativas de tomate mexicano hay algunas con igual o mayor potencial de rendimiento y calidad de fruto que las variedades comerciales en uso. Al igual que los tomates comerciales, las poblaciones nativas también responden positivamente a las condiciones favorables de crecimiento, como en un sistema de alta producción en invernadero con sistema hidropónico.

### **1.2.2 Hipótesis específicas**

Crecidos en condiciones de invernadero e hidroponía las poblaciones nativas de tomate puede crecer y producir fruto en cantidades iguales o mejores que un híbrido comercial.

Hay poblaciones nativas de tomate que presentan mayor tolerancia al estrés hídrico que un híbrido comercial usado como testigo.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

La caracterización y evaluación de las poblaciones nativas de tomate mexicano en condiciones de campo y protegidas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Comparar cuatro poblaciones contrastantes de tomates nativas con un híbrido comercial en cuanto al patrón de crecimiento y a la distribución de fotoasimilados entre órganos vegetativos y reproductivos.

Evaluar las cuatro poblaciones de tomates nativas y un híbrido comercial en cuanto a tolerancia al déficit hídrico y en eficiencia del uso del agua, al ser cultivado en regímenes contrastantes de riego.

#### 1.4 LITERATURA CITADA

- Aguilar-León M. G., J. A. Carrillo-Salazar, A. Rivera-Peña y V. A. González-Hernández. 2006. Análisis de crecimiento y de relaciones fuente-demanda en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Revista Fitotecnia Mexicana 29 (2):145-156.
- Bonilla B. O. 2013. Diversidad agronómica y morfológica de jitomates arriñodados y tipo pimiento de alto valor comercial en los estados de Puebla y Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, México. 77 p.
- Bouchan G. R. 2014. Morfología y valoración isoenzimática en poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, México. 85 p.
- Boutraa T. (2010). Growth performance and biomass partitioning of the desert shrub *Calotropis procera* under water stress conditions. Research journal of agriculture and biological sciences 6: 20-26.
- Carrillo-Rodríguez J. C. y J. L. Chávez-Servia. 2010. Caracterización agromorfológica de muestras de jitomate de Oaxaca. Revista Fitotecnia Mexicana 33 (4): 1-6.
- Chaves M. M., J. Flexas and C. Pinheiro. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany 103:551-560.
- Estrada T. V. 2013. Diversidad del jitomate nativo de Puebla y Veracruz: Valoración morfoagronómica y germinación en medio salina. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, México. 141 p.
- FIRA. 2016. Fideicomiso institucional en relación con la agricultura. Panorama Agroalimentario. Tomate Rojo. Pp 2-22. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama\\_Agroalimentario\\_Tomate\\_Rojo\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf) (Consulta marzo 20, 2017).
- Flores-González D., M. Sandoval-Villa, P. Sánchez-García, P. Ramírez-Vallejo , M. N. Rodríguez-García. 2012. Yield of native genotypes of tomato as affected by electrical conductivity of nutrient solution. Acta Horticulturae 947:67-73.

- Gaspar-Peralta P. J. L. Carrillo-Rodríguez, J. L. Chávez-Servia, A. M. Vera-Guzmán y I. Pérez-León. 2012. Variación de caracteres agronómicos y licopeno en líneas avanzadas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Phyton* 81:15-22.
- Hunt R. 1979. Plant growth analysis. The rationale behind the use and the fitted function. *Annals of Botany* 43(2): 245-249.
- Jenkins J. A. 1948. The origin of the cultivated tomato. *Economic Botany* 2 (4): 379-392.
- Juárez-López P., R. Castro-Brindis, T. Colinas-León, M. Sandoval-Villa, P. Ramírez-Vallejo, W. D. Reed, L. Cisneros-Zevallos y S. King. 2012. Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(2): 207-216.
- Kijne J. W., R. Barker y D. Molden. 2003. Water productivity in agriculture: Limits and opportunity for improvement. CABI. Cambridge, UK. pp: 11-19.
- Medrano H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas C. y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84.
- Moreno R. y R. 2010. Diversidad morfológica y agronómica de poblaciones nativas de jitomate del centro, sur y sureste de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. México. 121 p.
- Nuez, F. 1995. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa, España, Barcelona: 15-41.
- Pacheco T. I. A. 2011. Distribución geográfica de la variabilidad morfológica intraespecífica de *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae) en el estado de Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido. Oaxaca, México. 88 p.
- Perales R. H. R. y J. R. Aguirre R. 2008. Biodiversidad humanizada. In: Capital Natural de México. Conocimiento Actual de la Biodiversidad. Conabio, México. 1:565-603.
- Robertson L. D. y J. A. Labate. 2007. Genetic resources of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and wild relatives. In: Razdan M. K. and A. K. Mattoo (eds). Genetic Improvement of Solanaceous Crops. New York. pp:24-75.
- Rick, C. M. 1978. The Tomato. *Scientific American* 239 (2): 76-87.
- Santiago J., M. Mendoza y F. Borrego. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9(1): 59-65.

- Salgado M. L. 2011. Calidad de fruto de jitomate en acervos y poblaciones nativas de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 110p.
- San Juan L. F. 2013. Portainjertos de jitomate nativos (*Solanum lycopersicum* L.) tolerantes a niveles altos de conductividad eléctrica en la solución nutritiva. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. México. 134p.
- Shannon, C. E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University Illinois Press, Urbana, IL.
- Shamsi K. and S. Kobraee. 2011. Bread wheat production under drought stress conditions. *Annals of Biological Research* 2(3):352-358.
- SIAP 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Avances de la Producción Agrícola. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do) (Consulta mayo 20, 2017).
- Urrieta-Velázquez J. A., M. N. Rodríguez-Mendoza, P. Ramírez-Vallejo, G. S. Baca-Castillo, L. M. Ruiz-Posada, y J. A. Cueto Wong. 2012. Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18: 371-381.
- Valladares F., E. Gianoli and J. M. Gómez. 2007. Ecological limits to plant phenotypic plasticity. *New Phytologist* 176:749-763.
- Vásquez-Orti R. J. C. Carrillo-Rodríguez., P. Ramírez-Vallejo. 2010. Evaluación morfoagronómica de una muestra del jitomate nativo del centro y sureste del México. *Naturaleza y Desarrollo* 8 (2): 49-64.
- Villaseñor J. L. y F. Espinosa G, 1998. Catálogo de Malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. 449 p.
- Wang W., B. Vinocur and A. Altman. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218:1-14.
- Zlatev Z. and F. Cebola L. 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 24: 57-72.

## CAPÍTULO II

### RIQUEZA AGRONÓMICA EN COLECTAS MEXICANAS DE TOMATES NATIVOS

#### 2.1 Resumen

La producción de tomate a nivel nacional solo usa tres tipos cultivados “Saladette”, “Bola” y “Cherry” son los que predominan en el mercado. El uso de tomates nativos es para mercados regionales, pero tiene un potencial para ser aprovechado como fuente de genes para el mejoramiento. Se planteó el objetivo para evaluar en campo, como usualmente lo hacen los productores regionales, el potencial de rendimiento y calidad de fruto de 100 poblaciones nativos de tomate. El trasplante al terreno se realizó el día 16 de abril del 2013. El riego se aplicó por goteo. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, índice diferencial de vegetación normalizado, número total de frutos y rendimiento, largo y ancho de fruto, grosor del pericarpio, número de lóculos, sólidos solubles totales, luminosidad, croma y °Hue. Los resultados demuestran que la población G3 presentó el valor mayor en rendimiento con  $10.85 \text{ kg m}^{-2}$ , con 121 fruto, de 74.3 g en promedio, con forma de fruto calabaza, con número de lóculos con 8.7. Las variables número de frutos y rendimiento por planta, no tiene distribución normal comparadas con las demás que si la tienen. Los resultados obtenidos en las poblaciones nativas de tomate cultivadas en condiciones de campo abierto tienen una amplia variación en morfología de planta y fruto.

**Palabras clave:** campo, poblaciones nativos, rendimiento, calabaza, número de lóculos.

## 2.2 INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicon* L.) es la hortaliza más cultivada en todo el mundo y la de mayor valor económico. En México anualmente se siembran más de 52,374 ha de tomate híbrido que producen 1.6 millones de toneladas, con un rendimiento promedio de 56 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014). Pero su semilla es de precio alto (Ramos *et al.*, 2006) y con altos costos de producción. Según Cih-Dzul *et al.* (2011) y Ríos-Osorio *et al.* (2014), en los estados de mayor producción y exportación de tomate no se encuentra la mayor diversidad genética del cultivo, sino que ésta se concentra en los agro-ecosistemas tradicionales del centro y sureste del país donde se cultiva en parcelas no mayores a 1000 m<sup>2</sup> y en huertos caseros, los cuales desempeñan un papel importante en la conservación *in situ* de la agro-biodiversidad.

Las numerosas poblaciones criollas aunque son de uso local o regional, son muy apreciadas por su mayor calidad organoléptica en relación con frutos de híbridos modernos de tomate (Parisi *et al.*, 2008); algunos criollos tienen igual o mayor contenido de sólidos solubles, de ácido ascórbico y de licopeno (Juárez-López *et al.*, 2009). Sin embargo, los frutos de los tomates criollos tienen menor firmeza y vida de anaquel que los de híbridos comerciales, y solo se comercializan en mercados locales (Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010). Según Ríos-Osorio *et al.* (2014), entre las variedades registradas en México ninguna aparece con frutos achatados tipo riñón, lo que indica que no existe un programa de mejoramiento enfocado a la obtención de variedades mejoradas para estos sistemas de producción.

Con el fin de aportar más al conocimiento del valor agronómico de las poblaciones nativas de tomate mexicano, a partir de 2010 se lleva a cabo el proyecto denominado “Valoración Integral de la Diversidad de Poblaciones Nativas de Jitomate Mexicano” dirigido por el Dr. Porfirio Ramírez Vallejo (QEPD) del Colegio de Postgraduados, financiado por el CONACYT. En esta primera parte del proyecto que aquí se presenta, el objetivo fue evaluar en campo, como usualmente lo hacen



los productores regionales, el potencial de rendimiento y calidad de fruto de 100 poblaciones criollas de tomate.

## **2.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se desarrolló en condiciones de campo durante el periodo primavera-verano del 2013, en Montecillo, Texcoco, Estado de México, localizado a 19° 29´ N, 98° 52´ O y una altitud de 2250 m. En campo las plantas están más expuestas a condiciones adversas, como la granizada que incidió el 2 de agosto de 2013 y que generó severos daños mecánicos, como se ilustra en la Figura 1(A y B).

### **2.3.1 Material biológico**

Las 100 colectas de frutos se obtuvieron de siete estados de México: Puebla [Sierra Norte de Puebla (9), Tehuacán (9) y Zinacantepec (13)]; Guerrero [Chilapa (9) y Coyuca de Benítez (5)]; Oaxaca [Tehuantepec (5), La Mixteca (3), Pochutla (4) y Valles Centrales (12)]; Yucatán [Oxkutzcab (10)]; Campeche [Campeche (10)]; Estado de México [Malinalco (8)]; y Veracruz [Coyutla (3)]. Como testigos se usó una variedad híbrida comercial El Cid F1<sup>®</sup> (Harris Moran) y una variedad Río Grande<sup>®</sup> (Batlle). Una muestra de los tipos de fruto de estas colectas se ilustra en la Figura 2.1(C-J).

### **2.3.2 Manejo experimental**

De los frutos colectados se extrajo la semilla y se germinó en charolas de poliestireno de 200 cavidades que se rellenaron con el sustrato “peat-moss” Grow-mix<sup>®</sup>. El trasplante a campo se hizo el día 16 de abril, con plantas de 40 días, en terreno previamente preparado. La fertilización en campo se hizo con solución Steiner a 25% (Steiner, 1961) aplicada dos veces por semana mediante riego por goteo con 0.4 L durante el primer mes, y luego se incrementó a 0.8 L. Los deshierbes se hicieron manualmente con azadón. El tutorado consistió en

estacones de pino colocados al inicio y final del surco y de estacones de carrizo colocados en el interior del surco a una distancia de 2 m entre cada uno, a los que las plantas de tomate se sujetaron con hilo de rafia tomatera. Para el control de mosquita blanca se utilizó el insecticida Engeo® (2 mL L<sup>-1</sup>); para el control de tizones se utilizaron de manera alternada los fungicidas Mancozeb® (2 g L<sup>-1</sup>) y Ridomil gold® (1.5 mL L<sup>-1</sup>).



**Figura 2.1.** Diversos aspectos de los tomates criollos cultivados en campo en 2013. Plantas antes (A) y después (B) de la granizada. Muestras de tipos de fruto “arriñonado” (C), “calabaza” (D), “cherry” (E), “bola grande” (F), “bola plana” (G), “pera” (H), “pimiento” (I), y “saladette” (J).

### 2.3.3 Diseño experimental y variables medidas

Los 102 materiales se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por una parcela de 3 m con 10 plantas separadas a 30 cm entre plantas y 1 m entre surcos. Las variables registradas fueron: altura de planta al final del ciclo (m), medida desde la base del suelo hasta el ápice; índice de vegetación de diferencial normalizado (IVDN), medido con el aparato portátil GreenSeeker™ (NTech Industries, Inc., USA), cuyo sensor se colocó a 0.5 m sobre las plantas a 30 días después de la fuerte granizada que generó defoliación (02-08-2013); rendimiento de fruto ( $\text{kg m}^{-2}$ ), medido con una balanza digital compacta Ohaus® (modelo CS 5000; China), y número de frutos por planta, contados a la madurez comercial a lo largo de cuatro cortes.

Las variables de calidad de fruto medidas fueron: peso promedio de fruto (en g), que se calculó con el cociente número de frutos por parcela/rendimiento por parcela; clasificación de fruto, mediante el cociente diámetro polar/diámetro ecuatorial, y agrupados conforme a la clasificación siguiente:  $> 1$  = frutos largos,  $= 1$ , frutos redondos, y  $< 1$  = frutos achatados; los diámetros polar y ecuatorial se midieron con un vernier electrónico Truper 14388® modelo CALDI-6MP (México); el grosor de pericarpio (en mm) se midió en cuatro frutos cortados a la mitad, con el mismo vernier; en los frutos cortados a la mitad también se contó el número de lóculos.

El color del fruto (luminosidad, croma y °Hue) se midió en dos zonas opuestas de la región ecuatorial de cuatro frutos, con un colorímetro Hunter Lab D25-PC2® (Reston, Virginia, USA), que da los parámetros de cromaticidad (Minolta, 1994): L (luminosidad), a y b; a: registra tonalidades desde el verde (-a) al rojo (+a), y b: registra tonalidades desde el amarillo (+b) al azul (-b). Con estos valores se calculó el ángulo de tono (°Hue) y la pureza del color (croma), con las fórmulas citadas por Little (1975):  $^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1}(b/a)$ ;  $\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$ . Los sólidos solubles totales

(SST), en por ciento (AOAC, 1990), se midieron en tres gotas de jugo de fruto que se colocaron sobre la celda de un refractómetro digital ATAGO PR-100<sup>®</sup> (Japón) con escala de Brix de 0.0 a 32.0 %.

#### **2.3.4 Análisis de los datos**

Cada variable fue sometida a un análisis de varianza con el procedimiento GLM (General Linear Models Procedure), y también pruebas de normalidad. La comparación de medias se hizo con la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Estos análisis estadísticos se corrieron con el programa Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., 1988). Las medias y cuadros se elaboraron con el programa Microsoft Excel 2010<sup>®</sup> y las gráficas de distribución de frecuencias se hicieron con el programa Minitab<sup>®</sup> 17.

### **2.4 RESULTADOS**

En todas las características medidas se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre las variedades estudiadas. Los parámetros estadísticos del Cuadro 1 evidencian una amplia diversidad entre las poblaciones evaluadas de tomate mexicano, diversidad que demuestra variación genética en atributos agronómicos y de calidad de fruto, la cual ofrecen amplias posibilidades de selección por tamaño de planta, y por rendimiento y calidad de fruto.

De los gráficos de distribución de frecuencias elaborados para todas las características, aquí se muestran los de altura de planta, número de frutos y número de lóculos. Con excepción del número de frutos y rendimiento por planta, todas las variables mostraron una distribución de tipo normal (Figura 2.2).

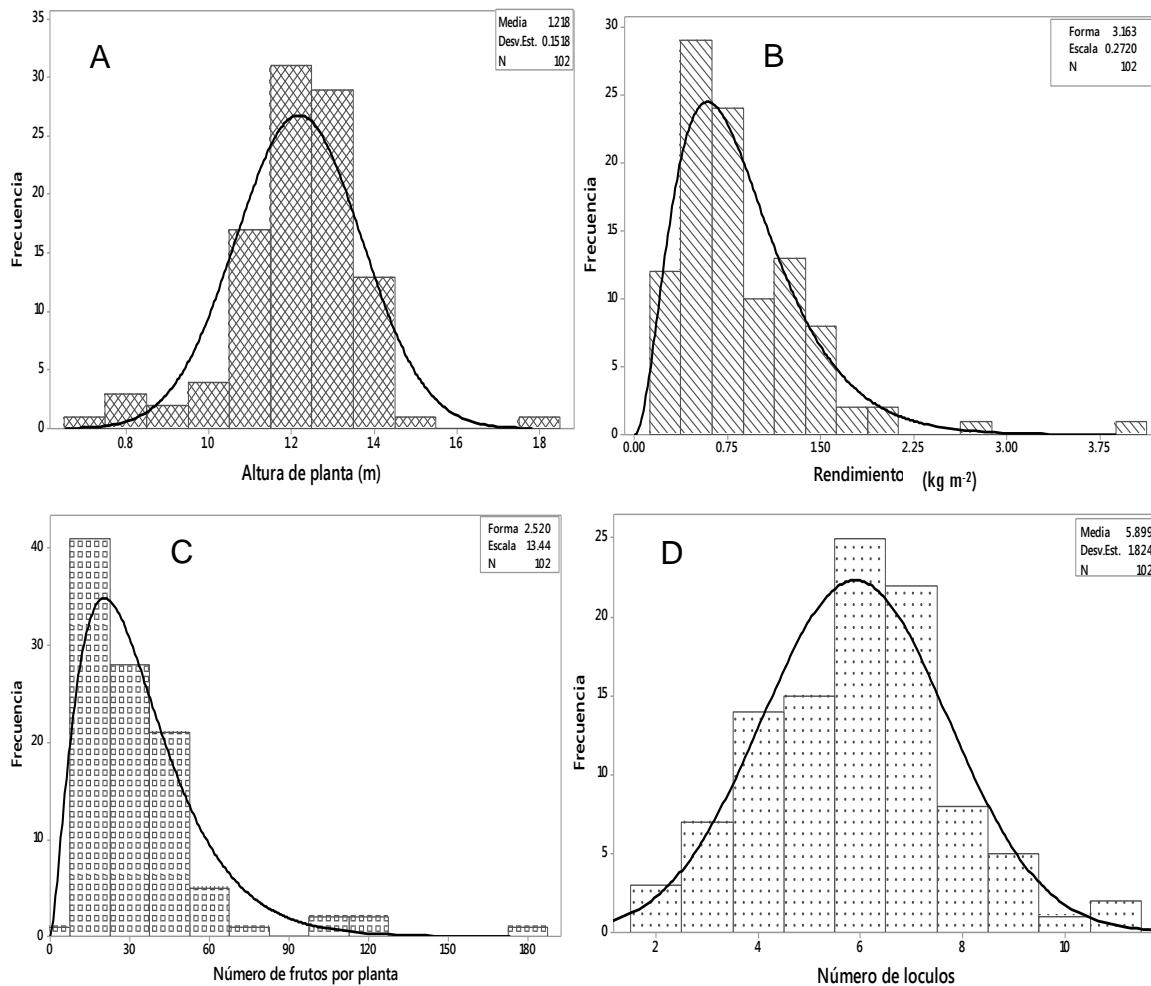
**Cuadro 2.1.** Valores estimados de los parámetros poblacionales: media, coeficiente de variación (CV), diferencia mínima significativa (DMS) y desviación estándar.

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. est.</b>	<b>Intervalo (mín.-máx.)</b>	<b>CV (%)</b>	<b>DMS</b>
Altura de planta (m)	1.2	15.18	0.7-1.75	12	22.03
IVDN	0.4	0.14	0.1-0.7	35	0.14
Número de frutos por planta	33	27	5-181	82	27.6
Rendimiento (kg m <sup>-2</sup> )	2.4	1.50	0.44-10	63	0.90
Peso promedio de fruto	31.3	11.07	1.6-85.6	35	45.03
Diám. polar (mm)	37.9	7.7	22-66	20	22.31
Diám. ecuatorial (mm)	47.1	6.73	23-61	14	16.69
Índice de forma de fruto	0.8	0.18	0.5-1.5	22	0.53
Luminosidad (color)	38.2	2.55	34-48	6	8.37
Croma (color)	28.0	3.48	22.6-39	12	7.82
Hue (color)	30.7	5.57	16-48	15	13.00
Número de lóculos	5.8	1.82	2-11.3	30	4.64
Grosor de pericarpio (mm)	3.8	0.94	1.6-6.0	24	2.87
Sólidos solubles totales (%)	3.8	0.52	3-5.3	13	1.59

IVDN: índice normalizado de diferencial de vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés).

En altura de planta 80 % de las poblaciones estuvieron dentro del intervalo de 1.1 a 1.4 m (Figura 2.1a). En rendimiento 93 % de las poblaciones nativas se ubica en el intervalo de 1 a 4 kg m<sup>-2</sup> que es muy bajo (Figura 2.1b), y que se atribuye a las condiciones adversas de campo ocurridas en esta evaluación hecha en una región templada como los Valles Altos centrales del país, en la que ocurrió una granizada severa y hubo incidencia de plagas y enfermedades que no se pudieron evitar a pesar de los pesticidas aplicados. A pesar de tales condiciones, 6 % de las poblaciones (G3, O6, M1, H2, P20 y Y10) presentaron un rendimiento igual o mayor al del mejor híbrido testigo.

En el número de lóculos por fruto 76 % de las poblaciones oscilaron de 4 a 7 lóculos, y 16 % tuvo de 8 a 11 lóculos que corresponden a los frutos “arriñonados” o tipo “calabaza”, en contraste con los híbridos testigo que solo tienen 2 lóculos (Figura 2.1d). En el número de frutos por planta 90 % de las poblaciones produjo entre 5 y 60 frutos, y solo 5 % generó 100 frutos por planta. En tamaño de fruto destaca la población G3 cuyos frutos pesaron 74 g, mientras que los testigos pesaron 55 g)



**Figura 2.2.** Histogramas de distribución de altura de planta (A), rendimiento (B), número de fruto por planta (C) y número de lóculos (D), en 100 poblaciones nativas de tomate y dos testigos comerciales.

### 2.4.1 Rendimiento y calidad de planta y fruto

La mayor altura de planta se presentó en la población O19 (1.75 m) mientras que el híbrido H1 presentó la menor altura (0.7 m) a lo largo del ciclo de crecimiento (Cuadro 2). El índice diferencial de vegetación normalizado medido después de la granizada permitió apreciar que unos tomates nativos tienen capacidad de recuperación, en particular la población nativa G11 que dio el valor más alto de IVDN (0.72), en contraste con la población O1 que no se pudo recuperar (0.10) de la granizada. Entre los tomates nativos el mejor rendimiento fue producido por las poblaciones G3 y O6 con 10.85 y 7.36 kg m<sup>-2</sup>, ambas con fruto arriñonado. El mayor número de frutos por planta lo presentó la población M1 con 181, cuyos frutos son de tipo “cherry”.

Los tomates nativos Y10 y G3 presentaron el valor más alto en peso promedio de fruto con 85.6 y 74.3 g (Cuadro 2.2), mientras que la población M1 produjo los frutos más pequeños con apenas 1.6 g. En forma del fruto la mayor parte de colectas son diferentes a los testigo H2 y H1 (tipo “saladette”) que tuvieron valores de 1.5 y 1.47 correspondientes a frutos más largos que gruesos con un cociente mayor de 1; ello se atribuye a que en las colectas nativas predominaron los frutos con muchos lóculos que conducen a las formas con “costillas”, como los arriñonados, tipo calabaza y tipo bola plana.

Las imágenes muestran las formas más comunes de las poblaciones he valuadas y el resultado de la conservación de nuestros productores y tienen una diversidad que no ha sido aprovechado.

**Cuadro 2.2.** Colectas destacadas de tomates nativos dentro de cada estado. En negritas se marcan los valores más altos en cada variable.

Var.	Número de frutos por planta	Rendimiento (kg m <sup>-2</sup> )	Peso por fruto (g)	Sólidos solubles totales (%)	Forma de fruto
C1	12.3 t-w	1.92 f-x	55.33a-f	<b>4.90</b> ab	Bola plana
C4	48.3 e-m	4.44 c-f	37.00 b-i	3.80 a-f	Bola plana
C10	65.6 de	4.10 c-h	22.33 c-i	3.36 b-f	Bola plana
G3	121.0 b	<b>10.85</b> a	74.33 ab	4.07 a-f	Calabaza
G9	40.6 e-r	4.01 c-j	35.00 b-i	4.70 a-d	Calabaza
G10	23.6 l-w	4.06 c-i	32.00 b-i	4.43 a-f	Calabaza
H1	19.0 n-w	2.47 f-x	46.67 a-i	4.40 a-f	Saladette
H2	38.3 e-u	5.39 bcd	51.33 a-h	4.30 a-f	Saladette
M1	<b>181.3</b> a	5.48 bc	1.67 i	4.50 a-f	Cherry
M3	25.0 j-w	2.20 f-x	31.67 b-i	3.40 b-f	Pera
M4	29.3 i-w	2.31 f-x	28.33 c-i	3.00 f	Pera
O3	32.6 h-w	3.34 c-s	37.33 b-i	3.50 b-f	Arriñonado
O6	78.3 cd	7.36 b	33.67 b-i	3.33 b-f	Arriñonado
O13	32.3 h-w	4.12c-g	51.33a-h	4.57a-f	Arriñonado
P5	44.0 e-o	3.74cn	31.00b-i	4.50a-f	Calabaza
P18	31.0 h-w	3.92c-k	46.33a-i	3.93a-f	Pimiento
P20	47.3 e-m	5.08b-e	41.00a-i	3.83a-f	Costilla
V1	42.0 e-q	2.41f-x	20.67c-i	3.70b-f	Calabaza
V2	60.6 d-g	2.21f-x	13.33f-i	3.00f	Calabaza
V3	44.0 e-o	2.00f-x	16.33d-i	3.77a-f	Calabaza
Y4	51.6 d-k	2.34f-x	16.33d-i	4.20a-f	Bola plana
Y6	39.0 e-t	2.58d-x	23.67c-i	4.80.abc	Bola plana
Y10	21.3 m-w	5.00c-f	<b>85.67</b> a	3.83a-f	Bola plana

C: Campeche; G: Guerrero; H1(Cid); H2 (Rio grande); M: Estado de México; O: Oaxaca; P: Puebla; V; Veracruz; Y: Yucatán.



## 2.4.2 La diversidad de formas de frutos de tomate



**Figura 2.3.** Variación en la forma y tamaño de los frutos de tomates mexicanos nativos: Bola plana (Campeche 1); Campeche (C); Guerrero (G); Estado de México (M); Oaxaca (O); Puebla (P); Veracruz (V); Yucatán (Y) y en los testigo H1 (El Cid) y H2 (Río Grande).

## 2.5 DISCUSIÓN

Las variables tamaño y número de frutos mostraron los mayores valores de dispersión medidos como desviación estándar, intervalo y coeficiente de variación, con respecto a las demás variables (Cuadro 2.1). Ello se atribuye a que las poblaciones nativas de origen precolombino, que si bien no han sido sometidas al mejoramiento genético formal, a través de generaciones han sido seleccionadas de forma empírica por los propios productores que las conservan y siguen cultivando,

quienes probablemente han basado su selección en la forma, color, tamaño del fruto y cantidad de frutos por planta, y las dos últimas variables están estrechamente asociadas con el rendimiento.

Si bien las variedades comerciales modernas liberadas superan a las poblaciones nativas (Bai y Lindhout, 2007) y a las poblaciones criollas cultivadas, los tomates silvestres aportan una amplia diversidad genética que serviría para enriquecer la cantidad y calidad del fruto de tomate, además de reducir el problema de la deriva genética (Rick, 1988).

De acuerdo con Ríos-Osorio *et al.* (2014), el uso de poblaciones nativas en los sistemas tradicionales de cultivo generalmente responde a un enfoque de subsistencia, y aunque la producción es baja sus frutos constituyen una importante fuente de alimento para el productor y su familia, y así también se conserva la semilla de esos tomates así como la tradición que se ha transmitido de generación a generación; en adición, cuando estos productos se comercializan en mercados regionales generan algún ingreso económico, aunque no siempre con altas tasas de retorno.

En la presente evaluación de campo la altura de planta fluctuó entre colectas de tomate de 0.75 a 1.75 m, mientras que en condiciones protegidas de invernadero, Carrillo y Chávez (2010) reportaron que la altura de planta en poblaciones nativas de tomate varió de 1.3 a 1.8 m. En cuanto a la cobertura vegetal medida como índice diferencial de vegetación normalizado (IDVN), la población G11 destacó por mostrar el valor de 0.7 que Según Gutiérrez-Soto *et al.* (2011) los valores de 0.7 a 0.8 corresponden a plantas con buenas condiciones de cobertura vegetal, vigor, acumulación de biomasa, concentración de clorofila y de productividad. Los suelos descubiertos generan valores de 0.1 a 0.2, que indican escasa vegetación.

En tales condiciones ambientales, la población nativa G3 fue la de mayor rendimiento por planta con 10.85 kg m<sup>-2</sup>, que duplicó el del mejor testigo 2 en esta

evaluación ( $5.39 \text{ kg m}^{-2}$ ). Tan buen desempeño agronómico de la colecta G3 se debe a su tolerancia a esas condiciones adversas y a su capacidad de formar numerosos frutos por planta (121) de tamaño grande (74.33 g) de forma “arriñonada” o “calabaza”; estos valores son indicativos del alto potencial agronómico y productivo de este germoplasma nativo de tomate. En cualquier caso, el número de frutos depende de variables como variedad, condiciones climáticas, su vigor y las exigencias del mercado (Bojacá *et al.*, 2009).

Es necesario hacer notar que en las presentes condiciones tan adversas de campo el mejor rendimiento por planta fue de apenas 0.390 kg/planta, que es 3.73 veces menor que el rendimiento reportado por Jaramillo *et al.* (2006) de 1.5 kg/planta en tomates híbridos creciendo en condiciones óptimas de campo. También los rendimientos aquí obtenidos son inferiores a los registrados en poblaciones nativas de tomate tipo “arriñonado” de Guerrero pero crecidas en condiciones protegidas, que fueron de a 1.32 kg/planta (Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010).

En cuanto a la calidad de fruto el tamaño una característica muy importante, los más pesados fueron los de tipo “arriñonado” o “calabaza”, que según Tanksley (2004) está evolutivamente relacionado con el proceso de domesticación de esta especie y controlado genéticamente por un loci específico. En su estudio hechos con poblaciones nativas Agong *et al.* (2001) encontraron que las variedades comerciales testigo producen frutos más pesados (56.5 g) que las poblaciones variedades locales (40.6 g). En cambio, en nuestro estudio se detectaron colectas con frutos de mayor tamaño que los de los híbridos testigo (49 g por fruto), como los de la población nativa Y10 (85 g por fruto).

La forma de fruto en 95 poblaciones nativas resultó menor a 1, porque son de formas “aplanadas” o “arriñonadas”. De acuerdo con Nuez *et al.* (2004), la forma de riñón se debe a la fusión de dos o más flores en una sola lo que da lugar a un fruto con mayor cantidad de lóculos (frutos multiloculares), en contraste con los dos lóculos típicos del tomate tipo “saladette”.

En sólidos solubles totales hay poblaciones nativas, como Puebla 15, Campeche 1 y Yucatán 6 que tienden a tener mayor contenido (5.3 %) que los híbridos comerciales (4.3 a 4.4 %). También Agong *et al.* (2001) reportaron que las poblaciones nativas tienen frutos con más sólidos solubles totales que el testigo. Según Santiago *et al.* (1998), el tomate para consumo en fresco debe de contener un mínimo de 4.0 % de SST, mientras que según Díez (2001) el tomate para el procesado industrial debe contener de 4.5 a 5.5 %. Los sólidos solubles son muy importantes porque indican el contenido de sustancia antioxidantes a con la prevención de enfermedades carcinogénicas y cardiovasculares (Luna y Delgado, 2014).

Los frutos de la población nativa Oaxaca 14 destacan por tener 11 lóculos y con forma de riñón. Según Ramos *et al.* (2009) y Estrada *et al.* (2011), los frutos tipo riñón o “costilla” son muy apreciados por los agricultores y consumidores regionales de Oaxaca, debido a sus características organolépticas asociadas con el sabor y aroma. Vásquez-Ortiz *et al.* (2010) también reportaron poblaciones nativas con frutos en forma de riñón con 11 lóculos. En otro trabajo realizados en genotipos nativos, Juárez-López *et al.* (2012) reportaron de 5.6 a 6 lóculos.

## 2.6 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las poblaciones nativas de tomate cultivadas en condiciones de campo abierto tienen una amplia variación en morfología de planta y fruto.

## 2.8 LITERATURA CITADA

Agong S.G., Schittenhelm S. Friedt. W. 2001. Genotypic variation of Kenyan tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) germplasm. *Journal of Food Technology in Africa* 6:13-17.

A.O.A.C., Assotiation of Official Analytical Chemists. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15ª ed. Ed. Washington DC, USA. pp:918-919.

- Bai Y., Lindhout. P. 2007. Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany* 100:1084-1094.
- Bojacá C.R., Luque N.Y., Monsalve O.I. 2009. Análisis de la productividad del tomate en invernadero bajo diferentes manejos mediante modelos mixtos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 3(2):188-198.
- Carrillo-Rodríguez J.C., Chávez-Servia J.L. 2010. Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33 (4):1-6.
- Cih-Dzul I.R., Jaramillo J.L., Tornero M.A., Schwentesius R. 2011. Caracterización de los sistemas de producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en el estado de Jalisco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14. 501-512.
- Díez J.M. 2001 Tipos varietales. *In: El Cultivo del Tomate*. F. Nuez (ed.). Mundi-Prensa. D.F. 796 p.
- Estrada C., J.B., Carrillo-Rodríguez J.C., S. Jerez M. S., Chávez-Servia J.L., Perales S.C. 2011. Small farmer practices for production improvement of the kidneytype tomato landrace: A case study in Oaxaca. *African Journal of Agricultural Research* 6 (13):3176-3182.
- Gutiérrez-Soto M.V., Cadet-Piedra E., Rodríguez-Montero W., Araya-Alfaro J.M. 2011. El Greenseeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. *Agronomía Mesoamericana* 22(2): 397-403.
- Jaramillo N.J., Rodríguez V.P., Guzmán A. M., Zapata M. A. 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero (*Lycopersicon esculentum* Mill). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA, Centro de Investigación C.I. La Selva Rionegro, Antioquía, Colombia. 46 p.
- Juárez-López P., Castro B.R., Colinas L.T., Ramírez-Vallejo P., Sandoval-Villa M., Reed D.W., Cisneros Z.L., King S. 2009. Evaluación de calidad de siete genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15:5-9.
- Juárez-López P., Castro B.R., Colinas L.T., Ramírez Vallejo P., Sandoval-Villa. M., Reed D.W., Cisneros Z. L., 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(2): 207-216.
- Little, A. C. 1975. Research note off on a tangent. *Journal of Food Science* 40(2): 410-411.

- Luna G.M.L., Delgado A.A. 2014. Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Revista de Investigación y Difusión Científica Agropecuaria 18(1): 51-66.
- Minolta. 1994. Precise color communication. Konica Minolta Sensing, Inc. Japón. 59
- Nuez F., Prohens J., Blanca J.M. 2004. Relationships, origin, and diversity of Galápagos tomatoes: implications for the conservation of natural populations. American Journal of Botany 91: 86-99.
- Parisi M., D'Onofrio B., Pentangelo A., Villari G., Giordano I. 2008. Morphology, productivity and characterization of the traditional ecotype pomodoro di Sorrento originating from the Campania region, southern Italy. Acta Horticultura 789: 205-209.
- Ramos O.A., Carballo C.A., Hernández L.A., Corona T.T., Sandoval Villa M. 2006. Caracterización de líneas de jitomate en hidroponía. Agricultura Técnica de México 32 (2): 213-223.
- Ramos P.M., Carrillo-Rodríguez J.C., Enríquez-del Valle R., Velasco-Velasco V. 2009. Fertilizantes orgánicos en la producción de tomate tipo riñón en Oaxaca, México. Naturaleza y Desarrollo 7(1): 39-44.
- Rick C.M. 1988. Tomato-like nightshades: affinities, auto-ecology, and breeders opportunities. Economic Botany 42:145-154.
- Ríos-Osorio O., Chávez-Servia J.L., Carrillo-Rodríguez J.C. 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.
- Tanksley S.D. 2004. The Genetic, Developmental, and Molecular Bases of Fruit Size and Shape Variation in Tomato. The Plant Cell 16:181-189.
- SAS Institute Inc (1988) SAS/STAT® User's Guide. Version 9.0 SAS Institute Inc., Cary, NC: pp: 209-243.
- SIAP, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2014. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (Enero 2015).
- Steiner A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil 15:134-154.
- Vásquez-Ortiz R. Carrillo-Rodríguez J.C., Ramírez-Vallejo P. 2010. Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate del centro y sureste de México. Naturaleza y Desarrollo 8 (2):49-64.

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RELACIONES FUENTE-DEMANDA EN POBLACIONES CRIOLLAS DE TOMATE MEXICANO

#### 3.1 RESUMEN

En producción intensiva de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) se requiere conocer el efecto en el crecimiento de la planta para optimizar el proceso de producción. El objetivo de esta investigación fue comparar cuatro poblaciones contrastantes de tomates criollos y un híbrido comercial en cuanto a su patrón de crecimiento y a la distribución de fotoasimilados entre órganos vegetativos y reproductivos. El experimento se realizó en un invernadero en el Colegio de Postgraduados. Los muestreos se realizaron cada 25 días, a partir del trasplante, se muestrearon 4 plantas de cada variedad, se determinó la materia seca en cada sección (raíz, tallo, hojas y fruto) y el área foliar, con estos datos se determinó los índices fisiológicos. Los resultados de la acumulación de biomasa en la parte reproductiva es mayor a la vegetativa y hay genotipos que no se cumple. A los 150 días después del trasplante (ddt) el testigo acumuló la mayor biomasa (504 g), seguida por la población Oaxaca (434 g), Puebla (379 g), Estado de México (294 g) y Campeche (244 g). Los cinco acervos estudiados en la distribución de la biomasa en los órganos tiene el siguiente orden: fruto > hojas > tallo > raíz. El mayor incremento de la tasa de asimilación neta (TAN) ocurrió en el intervalo de 50-75 días después del trasplante, en este período, las plantas presentaron el mayor crecimiento de fruto. La población testigo fue la de mayor eficiencia en la acumulación de biomasa. El crecimiento en biomasa de plantas de tomate se explica primordialmente por la magnitud del aparato fotosintético (i.e., área foliar), y en menor grado por la tasa fotosintética.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicon* L., índices de fisiológicos, biomasa, área foliar, vegetativo, reproductivo y tasa fotosintética.

### 3.2 INTRODUCCIÓN

En México y Latinoamérica es común encontrar una alta diversidad de formas de frutos de tomate (*Solanum lycopersicon* L.), pero existe poca evidencia documental del aprovechamiento directo de poblaciones silvestres o. Una manera rápida de documentar las divergencias genotípicas entre poblaciones de tomate es mediante la evaluación de las diferencias en caracteres cualitativos gobernados por pocos genes (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016; Falconer y Mackay, 1996). La producción de tomates nativos tiene alta demanda en mercados locales en forma fresca y para elaboración de platillos típicos como tamales, mole y salsas, por su sabor diferente (Ríos *et al.*, 2014).

El rendimiento y la producción de las plantas cultivadas puede medirse mediante el empleo de índices de crecimiento, los cuales cuantifican la eficacia de las plantas para aprovechar los factores ambientales del sitio donde crecen y la forma en que las plantas distribuyen sus fotoasimilados (Barraza *et al.*, 2004). El crecimiento es una aproximación holística, explicativa e integral para comprender la forma y funciones de los vegetales (Hunt *et al.*, 2002; Hunt, 2003), y se define como un incremento irreversible en el tamaño de la planta, el cual es acompañado por cambios en la forma (Hunt 1982; Rodríguez y Leihner, 2006).

El patrón el crecimiento es indispensable para la aplicación racional de las labores culturales en el momento adecuado, para garantizar una respuesta óptima del vegetal de acuerdo con las necesidades y exigencias de los productores (Casierra *et al.*, 2004). El patrón de crecimiento de una generación se describe por medio de la curva que resulta de las tasas de crecimiento diferenciales durante el ciclo de vida; si la materia seca, el área foliar o la altura de una planta se grafican con respecto al tiempo, la curva será de tipo sigmoide (Hunt, 1978).

El análisis matemático de crecimiento usa medidas directas, tales como materia seca (MS), área foliar total (AF) y tiempo (T), mientras que los índices propuestos



por Hunt (1990) para el análisis de crecimiento son varias tasas: la tasa absoluta de crecimiento (TAC), que se refiere al incremento en biomasa de la planta por unidad de tiempo ( $\text{g d}^{-1}$ ); la tasa de crecimiento relativo (TRC), que se define como la ganancia de biomasa por unidad de biomasa y de tiempo ( $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ); y la tasa de asimilación neta (TAN), que es la tasa de incremento en el peso de la planta por unidad de área foliar y por unidad de tiempo ( $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ).

Mientras que las medidas directas tienen que ver con el crecimiento absoluto de la planta, los índices de eficiencia explican la capacidad en acumular materia seca como producto de sus procesos metabólicos (Hunt, 2003). El análisis de crecimiento también sirve para estudiar las relaciones entre la fuente y la demanda, ya que la TAC estima la fuerza de la demanda (cantidad de biomasa acumulada por día) y la TRC estima la actividad de la demanda (cantidad de biomasa ganada por unidad de biomasa presente, por día). En cuanto a la fuente de fotoasimilados que se calcula con el producto tamaño de la fuente x actividad de la misma, el tamaño de la fuente está representado por el área foliar y su actividad por la tasa fotosintética unitaria (Ho *et al.*, 1989); un estimador de la tasa fotosintética es la TAN (Ayala *et al.*, 2011).

Las relaciones fuente-demanda son fundamentales para entender el crecimiento y el rendimiento en las plantas (Ruan *et al.*, 2013). Después de la fructificación, el crecimiento y desarrollo de los frutos dependen, en gran medida, del transporte de metabolitos, elementos minerales y agua (Bénard *et al.*, 2015) y la fuerza de los mismos como destino o fuerza de demanda está dada por su tamaño, determinado por la cantidad de células y por su actividad (Ho, 1996).

El objetivo de este trabajo fue comparar cuatro poblaciones contrastantes de tomates criollos y un híbrido comercial en cuanto su patrón de crecimiento y a la distribución de fotoasimilados entre órganos vegetativos y reproductivos.

### 3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en un invernadero de polietileno ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Posgraduados (19°29' N y 98°52' O, a 2250 m de altitud). El material genético estuvo constituido por cuatro poblaciones criollas de tomate, provenientes de los estados de Campeche (fruto con forma de bola chata), Estado de México (fruto con forma de pera), Oaxaca (fruto con forma de riñón o costilla) y Puebla (fruto de forma cuadrada, llamados “Chinos”). Estos tomates fueron colectados por el Dr. Porfirio Ramírez Vallejo<sup>†</sup> (Figura 3.1). Como testigo se usó al híbrido El Cid F1 tipo “saladette” (Harris Moran compañía de semillas).



**Figura 3.1.** Formas de frutos de las diferentes poblaciones criollas de tomate.

Las semillas se sembraron el 26 de junio del 2014 en charolas germinadoras de poliestireno de 200 cavidades, rellenas con turba (“peat moss”) como sustrato. A los 30 d después de siembra se hizo el trasplante en bolsas negras de polietileno de 40 X 40 cm, las cuales contenían como sustrato tezontle rojo. Los brotes laterales se podaron cuando tenían una longitud de 3 cm o menos, de tal forma que

las plantas crecieran a un solo tallo, y posteriormente las plantas se tutoraron con rafia. El manejo de plagas y enfermedades consistió en aplicaciones de fungicidas (Cupravit® 2 g L<sup>-1</sup> y Raly 40® 0.5 g L<sup>-1</sup>) e insecticidas con 2 mL L<sup>-1</sup> de cada uno (Confidor® y Engeo®). La fertilización de las plantas fue por medio del sistema de riego con la solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1961), y se proporcionaron nueve riegos al día (uno cada hora), a una dosis inicial de 0.250 L por planta, que luego se incrementó según la creciente demanda hasta 1.2 L por planta.

El análisis de crecimiento se hizo con el método Hunt (1990), con muestras tomadas en forma aleatoria durante cada muestreo. Los muestreos se realizaron cada 25 d después de siembra, con siete muestreos de cuatro plantas cada uno, éstas cortadas a ras del sustrato. En las plantas muestreadas se midió área foliar (m<sup>2</sup>) con un integrador LI-3100 (LI-COR, Inc. Lincoln, NE, USA). La biomasa seca se midió en tallo, hojas, frutos, flores y raíz, cuyo secado se hizo en bolsas de papel previamente identificadas que se metieron a una estufa (Riossa®, México) con circulación forzada de aire a 70 °C, hasta peso contante, y posteriormente pesada con una balanza Ohaus® (Pine Brook, China).

Para eliminar el error experimental, los datos de peso de la biomasa seca (g) total y de cada uno de los órganos de la planta se probaron los siguientes modelos: polinomial cúbico ( $y=a+bx+cx^2+dx^3$ ), polinomial cuadrático ( $y=a+bx+cx^2$ ), Richards ( $y=a/(1+\exp(b-cx)(1/d))$ ) y Gauss  $y=a \cdot \exp(-x+b)^2/(2c^2)$ ; en cada caso el mejor modelo se seleccionó con base en la máxima R<sup>2</sup>.

Los índices de eficiencia fisiológica del crecimiento se calcularon con datos predichos por el modelo de mayor ajuste (máxima R<sup>2</sup>), por lo que los índices obtenidos ya están desprovistos del error experimental. Los índices se calcularon con las ecuaciones propuestas por Hunt (1990): tasa absoluta de crecimiento TAC = FD =  $(P_2 - P_1) / (t_2 - t_1)$ , en g d<sup>-1</sup>; tasa de crecimiento relativo TRC = AD =  $(\ln P_2 - \ln P_1) / (t_2 - t_1)$ , que se expresó en g g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; y tasa de asimilación neta TAN =  $(P_2 - P_1) / (A_2 - A_1) \times (\ln A_2 - \ln A_1) / (t_2 - t_1)$ , en g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>; donde P<sub>2</sub> y P<sub>1</sub> es la biomasa seca de

la planta al final y al inicio de un periodo determinado;  $t_1$  y  $t_2$  es el tiempo transcurrido entre dos muestreos;  $AF_2$  y  $AF_1$  es el área foliar por planta al final y al inicio del mismo periodo; y  $\ln$  es el logaritmo natural.

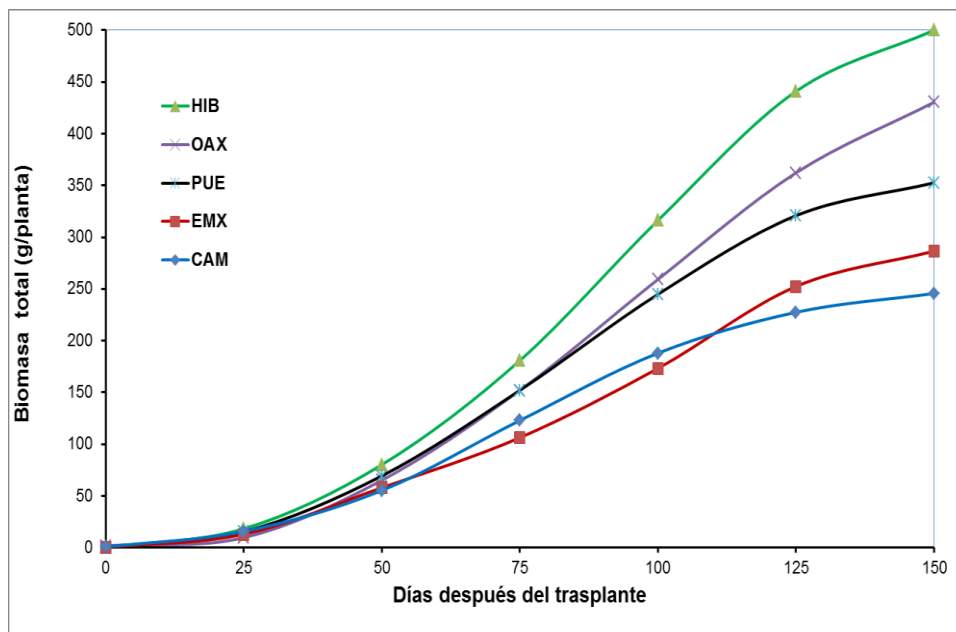
Para calcular los índices de fuerza de la demanda (FD) y fuerza de la fuente (FF), se aplicaron los modelos propuestos por Aguilar-León *et al.* (2006), como sigue: FD = tamaño de la demanda (TD, biomasa acumulada en g) x actividad de la demanda (AD, que equivale a la TRC), de modo que FD corresponde a la TAC, y fuerza de la fuente (FF, en  $g\ d^{-1}$ ) = tamaño de la fuente (TF, en  $m^2$  de área foliar x actividad de la fuente (TAN, en  $g\ m^{-2}\ d^{-1}$ ).

El análisis estadístico de datos se hizo con el programa CurveExpert Basic® ver. 1.4 (<http://www.curveexpert.net/>) que permitió identificar el modelo de mejor ajuste para representar el crecimiento de la biomasa total y por órgano; las curvas de crecimiento se trazaron con el programa Excel® 2010 (Microsoft).

### 3.4 RESULTADOS

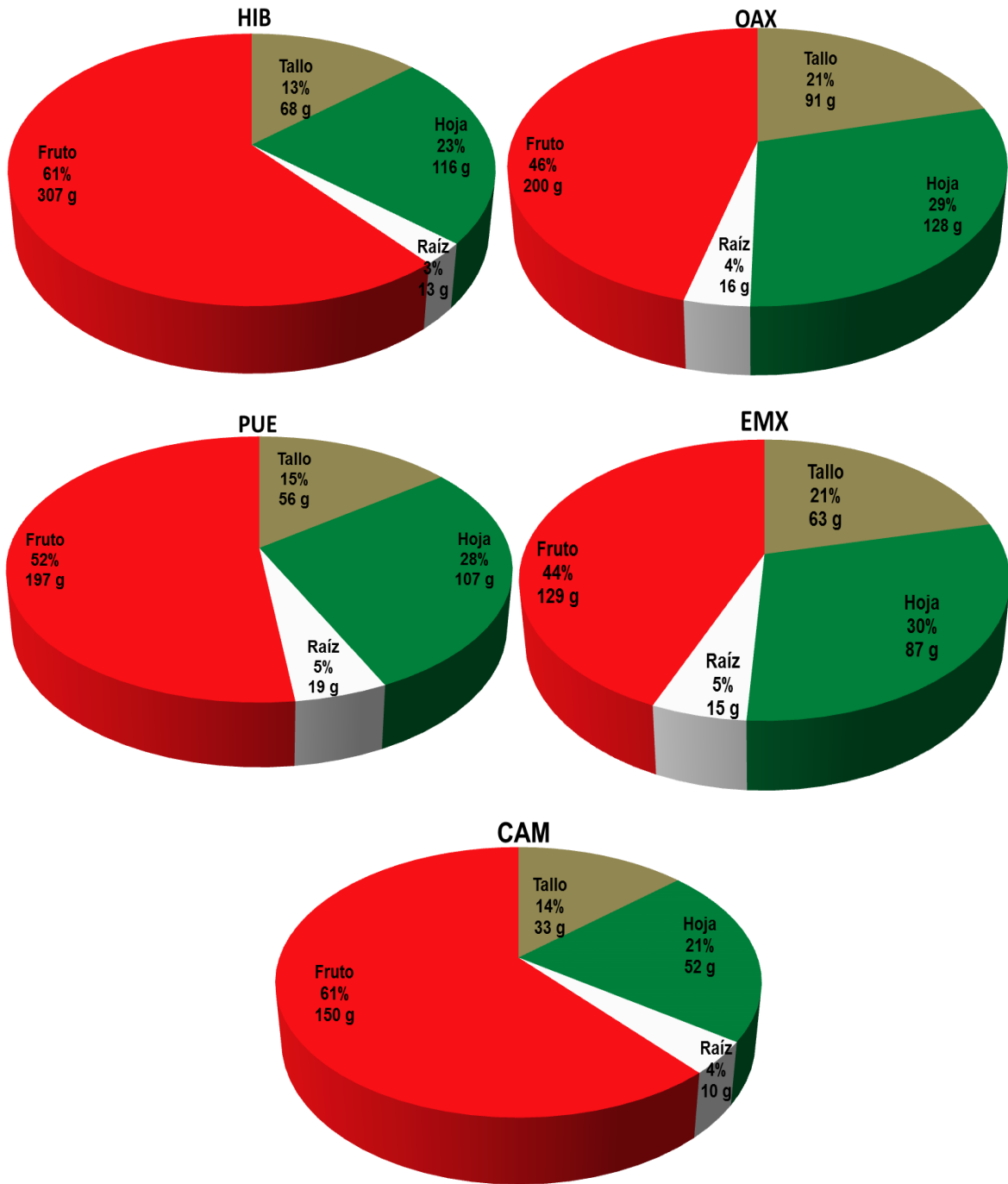
#### 3.4.1 Cinéticas de crecimiento y distribución de biomasa

La cinética de acumulación de biomasa total correspondió a una curva sigmoidea en los cinco genotipos de tomate aquí evaluados. Al final de la evaluación (a los 150 ddt), el híbrido había acumulado (504 g/planta) con lo que superó en forma contundente ( $P \leq 0.05$ ) a las cuatro poblaciones nativas de tomate en cuanto a cantidad de biomasa producida (Oaxaca, 434 g/planta; Puebla, 379 g/planta; Estado de México, 294 g/planta; y Campeche, 244 g/planta), como se ilustra en la Figura 3.2. El orden de genotipos en producción acumulada final de biomasa es: Híbrido > Oaxaca > Puebla > Estado de México  $\geq$  Campeche.



**Figura 3.2.** Cinética de la acumulación de biomasa total por planta en cinco poblaciones nativas de tomate cultivadas en invernadero con fertirriego. Modelo polinomial de mejor ajuste para cada genotipo: Híbrido (HIB)  $y = -5E-06x^4 + 0.0011x^3 - 0.0442x^2 + 1.1009x + 12.55$  ( $R^2 = 0.9994$ ); Oaxaca (OAX)  $y = -3E-06x^4 + 0.0007x^3 - 0.0225x^2 + 0.7197x + 12.184$  ( $R^2 = 0.9997$ ); Puebla (PUE)  $y = -3E-06x^4 + 0.0006x^3 - 0.0129x^2 + 0.4189x + 8.8169$  ( $R^2 = 0.9995$ ); Estado de México (EMX)  $y = -3E-06x^4 + 0.0006x^3 - 0.0129x^2 + 0.4189x + 8.8169$  ( $R^2 = 0.9995$ ); Campeche (CAM)  $y = -0.0002x^3 + 0.0419x^2 - 0.561x + 5.0676$  ( $R^2 = 0.9994$ ).

En cuanto a la distribución de la biomasa total, las cinco variedades estudiadas asignaron la mayor proporción a los frutos y la menor proporción a la raíz. En la distribución de biomasa destaca que la población Campeche y el híbrido destinaron 61 % a la formación de fruto (con índices de cosecha de 0.58 y 0.59 y biomasa total de 244 y 504 g/planta, respectivamente); estos dos genotipos de tomate destinaron 21 y 23 % a hojas, y 14 y 13 % a tallos, respectivamente. En la población Puebla la tasa de acumulación de biomasa fresca en fruto fue de apenas  $1.4 \text{ g d}^{-1}$  (64 % de la tasa en el híbrido). En las cinco variedades la distribución de biomasa entre los órganos mostró el siguiente orden: fruto > hojas > tallo > raíz, lo que claramente evidencia que los frutos son los órganos con mayor capacidad de demanda de fotoasimilados, y por ende son los más beneficiados (Figura 3.3).



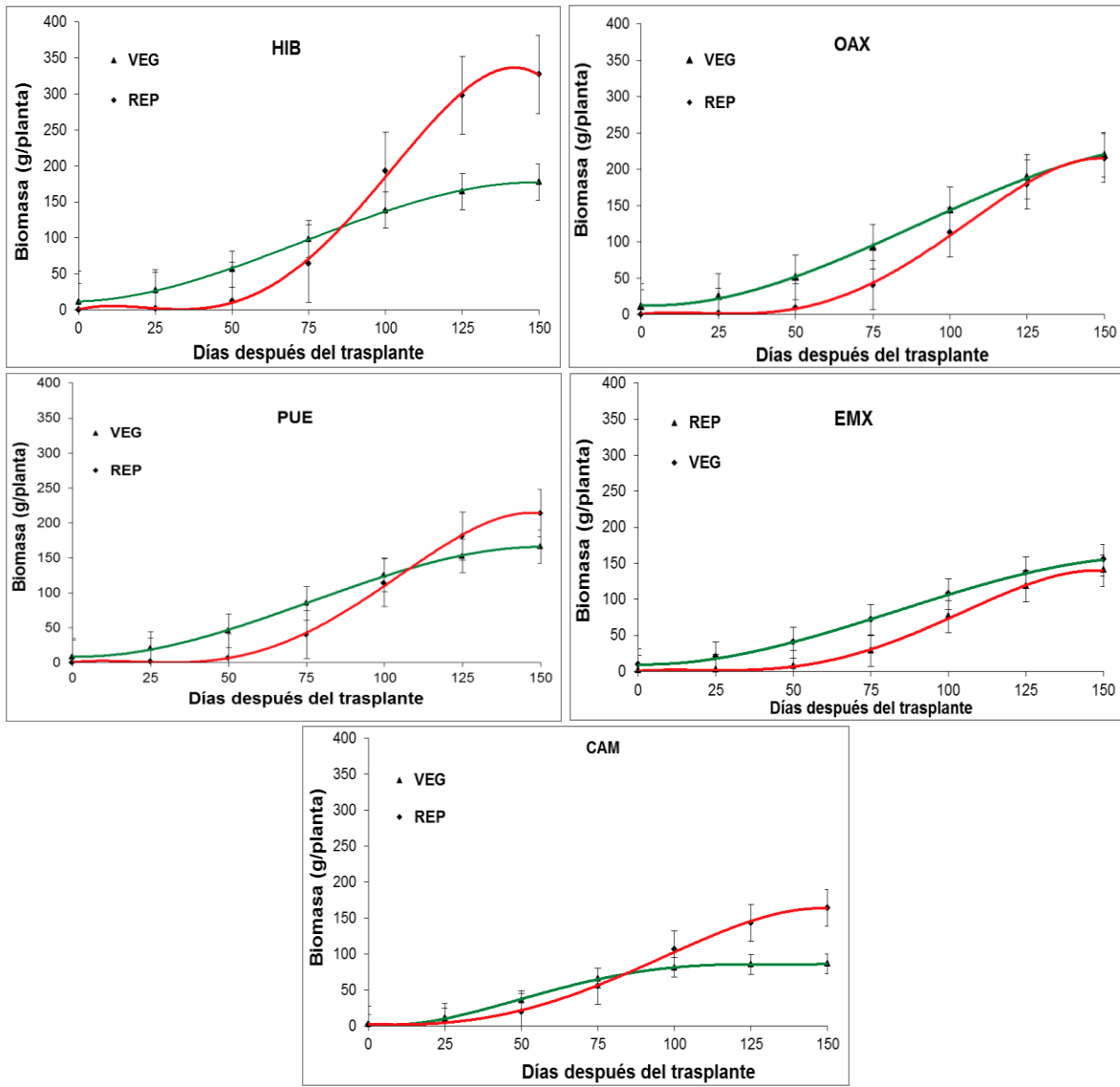
**Figura 3.3.** Porcentajes de la biomasa total de la planta asignados a frutos, hojas, tallo y raíz en cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con fertirriego. CAM, Campeche; EMX, Estado de México; HIB, Híbrido; OAX, Oaxaca; PUE, Puebla, MS: Biomasa.

### **3.4.2 Balance entre órganos vegetativos y reproductivos**

Tres de las cinco variedades (Campeche, Puebla y el híbrido) acumularon más biomasa en los órganos reproductivos que en los vegetativos (Figura 3.4); en contraste, en las otras dos poblaciones (Estado de México y Oaxaca) las partes reproductivas nunca rebasaron a las partes vegetativas en biomasa acumulada, lo que quiere decir que en estas dos poblaciones nativas la demanda que ejercen los frutos es menor a la demanda de las partes vegetativas. La población Campeche también destaca por haber sido la más precoz en la formación de frutos por haber iniciado su crecimiento a los 25 ddt, en comparación con las otras cuatro variedades cuyos frutos empezaron a crecer hasta los 50 ddt.

El híbrido, la única variedad genéticamente mejorada aquí estudiada, tuvo la mayor acumulación de biomasa tanto en las partes reproductivas (326 g/planta) como en las partes vegetativas (177 g/planta), lo cual explica su mayor rendimiento de fruto a los 150 ddt (Figura 3.3). Entre las cuatro poblaciones nativas de tomate aquí evaluadas, la de mayor rendimiento de fruto a los 150 ddt fue la colecta de Puebla con 213 g/planta, lo que representa 58 % del producido por el híbrido; en órganos vegetativos la colecta Puebla acumuló 165 g/planta, que equivale a 93 % de la producida por el híbrido.

Esta gran diferencia genotípica en rendimiento de fruto a favor del híbrido, se atribuye al mejoramiento genético por hibridación dirigido al rendimiento, que modificó la distribución de biomasa sin afectar el crecimiento vegetativo. Por su parte, a la misma edad de planta la población Oaxaca había acumulado 219 g/planta en órganos vegetativos, y la parte reproductiva con 216 g/planta. Esta colecta de Oaxaca y la del Estado de México son las únicas poblaciones en donde la parte reproductiva no supera a la vegetativa, en donde la mayor demanda de la planta son hojas, tallos y raíces.



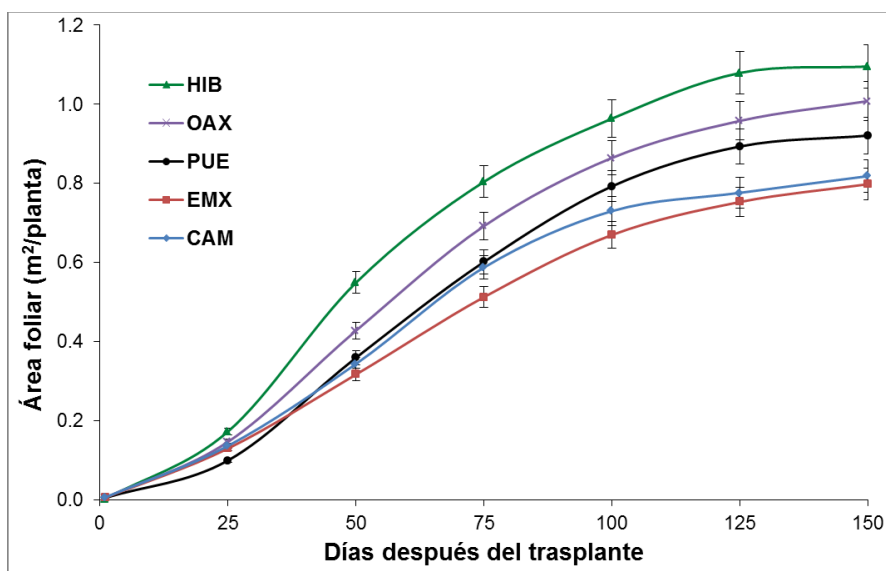
**Figura 3.4.** Acumulación de biomasa en órganos vegetativos (VEG) y reproductivos (REP) en genotipos de tomate. Modelo polinomial de mejor ajuste para cada genotipo y para cada grupo de órganos: Campeche (CAM), órganos reproductivos  $y = -9E-07x^4 + 0.0002x^3 + 0.0044x^2 - 0.109x + 2.192$  ( $R^2 = 0.9989$ ), y órganos vegetativos  $y = 1E-06x^4 - 0.0004x^3 + 0.0397x^2 - 0.4938x + 2.8889$  ( $R^2 = 0.999$ ). Híbrido (HIB), órganos reproductivos  $y = -5E-06x^4 + 0.0013x^3 - 0.068x^2 + 1.0573x + 0.5392$  ( $R^2 = 0.9989$ ), y órganos vegetativos  $y = -9E-05x^3 + 0.0206x^2 + 0.1363x + 11.775$  ( $R^2 = 0.9997$ ). Puebla (PUE), órganos reproductivos  $y = -3E-06x^4 + 0.0007x^3 - 0.0331x^2 + 0.4614x + 0.4171$  ( $R^2 = 0.9994$ ), y órganos vegetativos  $y = -1E-04x^3 + 0.0222x^2 - 0.0972x + 8.5387$  ( $R^2 = 0.9996$ ). Oaxaca (OAX): órganos reproductivos  $y = -2E-06x^4 + 0.0006x^3 - 0.031x^2 + 0.461x + 0.485$  ( $R^2 = 0.9994$ ), y órganos vegetativos  $y = -9E-05x^3 + 0.0236x^2 - 0.1729x + 12.796$  ( $R^2 = 0.9992$ ). Estado de México (EMX), órganos reproductivos  $y = -2E-06x^4 + 0.0004x^3 - 0.0193x^2 + 0.298x + 0.4381$  ( $R^2 = 0.9996$ ) y vegetativos  $y = -7E-05x^3 + 0.0173x^2 - 0.0707x + 9.5506$  ( $R^2 = 0.9992$ ).



### 3.4.3 Relaciones entre la fuente y la demanda

#### 3.4.3.1 Área foliar (tamaño de la fuente)

Al igual que en la cinética de acumulación de biomasa total (Figura 3.2), en la cinética de crecimiento en área foliar los cinco genotipos presentaron curvas sigmoideas y con el mismo orden: Híbrido > Oaxaca ≥ Puebla > Estado de México ≥ Campeche (Figura 4). En todos los casos se pueden reconocer las fases: lenta, exponencial, lineal y estacionaria. La fase lenta corresponde al establecimiento de las plantas (1 a 15 ddt); la fase exponencial es cuando la tasa de crecimiento es cada vez mayor y corresponde al desarrollo y crecimiento vegetativo (15 a 50 ddt). En la fase lineal la tasa de crecimiento es constante y usualmente corresponde a la máxima del ciclo de vida, es cuando inicia la floración y el crecimiento de frutos (50 a 100 ddt). La fase estacionaria se caracteriza por el cese del crecimiento, y ocurre cuando los frutos han alcanzado la madurez y comienza a envejecer la planta (100 a 150 ddt).



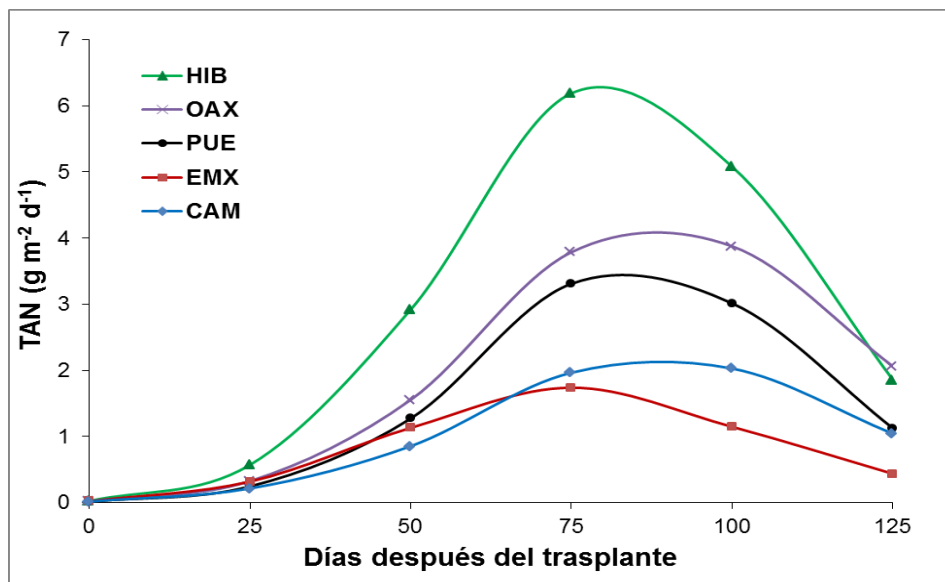
**Figura 3.5.** Cinética de crecimiento en área foliar por planta de cinco genotipos de tomate cultivados en invernadero con fertirriego. Modelo polinomial de mejor ajuste para cada genotipo: Híbrido (HIB)  $y = 8E-09x^4 - 3E-06x^3 + 0.0003x^2 + 0.0032x - 0.007$  ( $R^2 = 0.9976$ ). Oaxaca (OAX)  $y = 8E-09x^4 - 3E-06x^3 + 0.0003x^2 + 0.0004x + 0.0042$  ( $R^2 = 1$ ). Puebla (PUE)  $y = 6E-09x^4 - 2E-06x^3 + 0.0003x^2 - 0.0011x + 0.0047$  ( $R^2 = 0.9998$ ). Estado de México (EMX)  $y = -3E-07x^3 + 5E-05x^2 + 0.0047x - 0.0042$  ( $R^2 = 0.999$ ). Campeche (CAM)  $y = 7E-09x^4 - 2E-06x^3 + 0.0002x^2 - 4E-06x + 0.0086$  ( $R^2 = 0.9992$ ).

Al final del estudio, el híbrido alcanzó el mayor tamaño de la fuente con 1.09 m<sup>2</sup>/planta, seguido por las poblaciones Oaxaca, Puebla y Campeche (1.01, 0.92 y 0.81 m<sup>2</sup>/planta respectivamente), mientras que la colecta del Estado de México tuvo la menor área foliar con 0.79 m<sup>2</sup>/planta, como se ilustra en la Figura 3.5.

#### **3.4.3.2 Fuerza de la fuente (tasa de asimilación neta, TAN)**

Como se indicó, la fuerza de la fuente (FF) es el producto del tamaño de la fuente (*i.e.*, área foliar) X la actividad de la fuente (*i.e.*, tasa fotosintética o tasa de asimilación neta), y se calculó en diferentes periodos del ciclo. En la actividad de la fuente (AF) en biomasa total se encontró que en todas las variedades el mayor incremento del TAN ocurrió en el intervalo de 50 a 75 ddt, cuando las plantas presentaron el mayor crecimiento de fruto. Después de los 75 ddt todas las variedades presentaron una disminución progresiva de la TAN que continuó hasta el final del ciclo del cultivo por el proceso de senescencia.

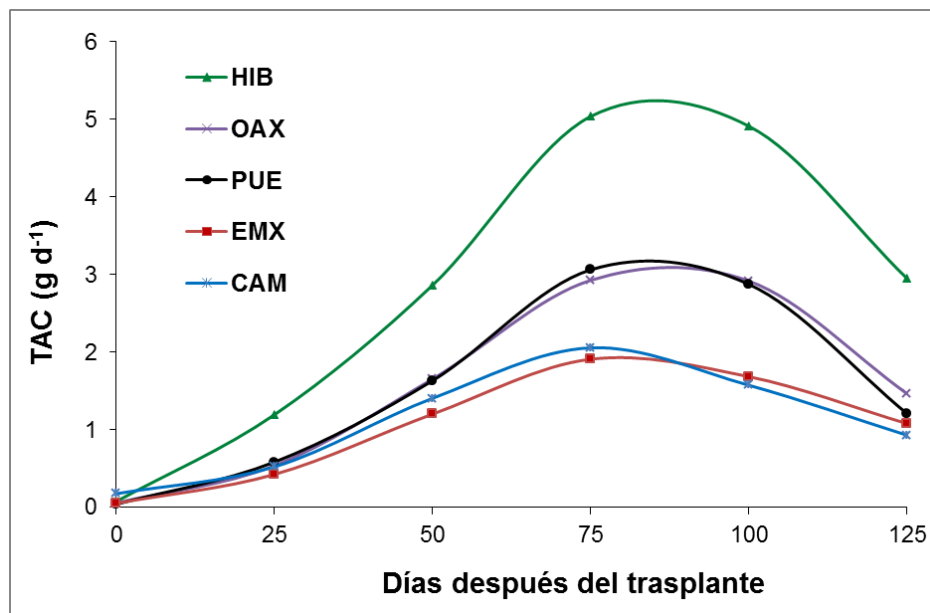
Entre los genotipos, el Híbrido generó la TAN mayor con 6.1 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> a los 75 ddt cuando se encuentra con la máxima acumulación de materia seca en frutos y con una eficiencia fotosintética alta, para luego mostrar un descenso de 1.8 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> a los 125 ddt como consecuencia de la disminución del área foliar (Figura 3.6). La población del Edo. De México presentó la TAN menor a los 50 ddt con 1.7 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> que luego decreció a 0.4 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, a los 125 días lo que denota una capacidad fotosintética de apenas 22 % de la máxima lograda en el ciclo.



**Figura 3.6.** Tasa de asimilación neta (TAN) de la biomasa total de la planta de tomates cultivados bajo cubierta plástica, para cinco genotipos de tomate cultivados en invernadero con hidroponía (CAM, Campeche; EMX, Estado de México; HIB, Híbrido; OAX, Oaxaca; PUE, Puebla). Los valores fueron calculados a partir de los datos predichos por los modelos de mejor ajuste.

### 3.4.3.3 Fuerza de la demanda en frutos (tasa absoluta de crecimiento, TAC)

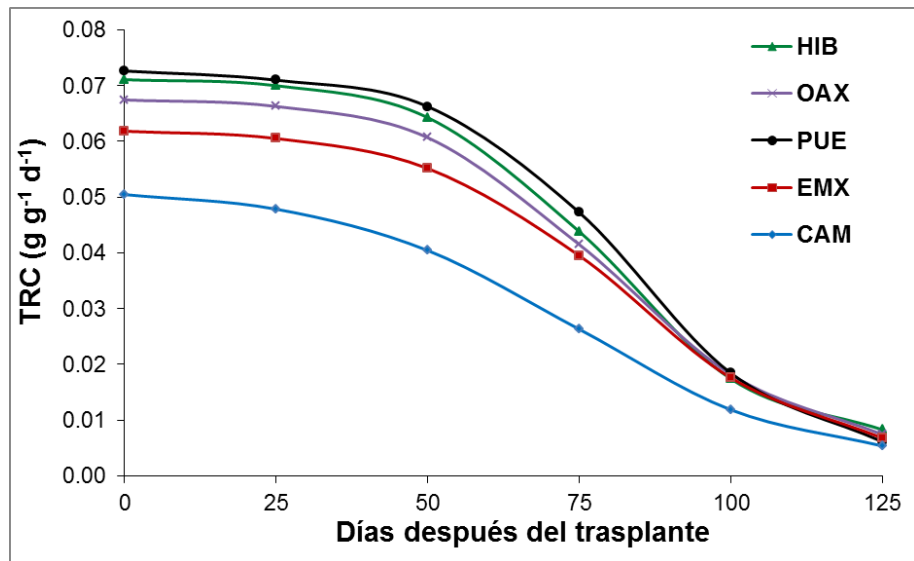
En concordancia con las curvas de acumulación de biomasa en órganos reproductores (flores + frutos), entre los genotipos el híbrido testigo tuvo una TAC máxima de  $5.03 \text{ g d}^{-1}$  que superó ampliamente a las poblaciones nativas de tomate cuyas máximas TAC fueron de  $3.0$  (Puebla y Oaxaca),  $1.9$  (Campeche y Edo. De México), todas ellas alcanzadas a los 75 ddt (Figura 3.7). Al final del ciclo (periodo de 125 a 150 ddt) la TAC del híbrido había bajado a  $2.9 \text{ g d}^{-1}$  mientras que la de la población Campeche descendió a  $0.9 \text{ g d}^{-1}$ .



**Figura 3.7.** La tasa absoluta de crecimiento (TAC) de la biomasa de fruto de plantas de tomates cultivados bajo cubierta plástica, para cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con hidroponía (CAM, Campeche; EMX, Estado de México; HIB, Híbrido; OAX, Oaxaca; PUE, Puebla). Los valores fueron calculados a partir de los datos predichos por los modelos de mejor ajuste.

#### 3.4.3.4 Actividad de la demanda en frutos (tasa de crecimiento relativo, TRC)

En los cinco genotipos la TRC de frutos, que representa la actividad meristemática en estos órganos de demanda, inició con valores altos que luego fueron disminuyendo conforme avanzó el ciclo (Figura 3.8). En el periodo de 0 a 25 ddt, la máxima TRC registrada se observó en la población Puebla y en el híbrido testigo con  $0.073 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , que luego con la edad fue disminuyendo hasta alcanzar un valor de apenas  $0.006 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  en el periodo de 125 a 150 ddt. En contraste, la población Campeche fue la menos eficiente con una TRC inicial de tan solo  $0.05 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , que luego disminuyó a  $0.005 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  a los 125 - 150 ddt. Los otros tres genotipos tuvieron valores de TRC intermedios, y el orden de genotipos resultó como sigue: Puebla = Híbrido > Oaxaca > Estado de México > Campeche.



**Figura 3.8.** Comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) de la biomasa de frutos de plantas de tomates cultivados bajo cubierta plástica, para cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con hidroponía (CAM, Campeche; EMX, Estado de México; HIB, Híbrido; OAX, Oaxaca; PUE, Puebla). Los valores fueron calculados a partir de los datos predichos por los modelos de mejor ajuste.

### 3.5 DISCUSIÓN

En cuanto a la biomasa total acumulada destaca que las cinco variedades estudiadas asignaron la mayor proporción hacia los frutos, lo que concuerda con Link (2000) quien afirma que estos son los órganos prioritarios de demanda en el contexto de competencia por fotoasimilados en la planta. El híbrido acumuló la mayor cantidad de biomasa con 504 g/planta en 150 ddt distribuida de la siguiente manera: fruto (307 g), hojas (116 g) y tallo (68 g) por planta. En tomate híbrido de 105 ddt Enríquez-Reyes *et al.* (2003) encontraron una asignación similar de biomasa entre órganos: fruto (471 g), hojas (230 g) y tallo (119 g) por planta.

En el porcentaje de biomasa asignada a frutos la población Campeche y el híbrido destinaron 61 % a la formación de fruto; estos dos genotipos de tomate destinaron 21 y 23 % a hojas, y 14 y 13 % a tallos, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los de Núñez-Ramírez *et al.* (2012), quienes reportaron que a los 175 ddt cada planta de tomate híbrido había acumulado 1003 g de materia seca, de

los cuales asignaron 54 % a frutos y 46 % a hojas y tallos. Similarmente, Heuvelink (1995) apuntó que a los 100 d la distribución de materia seca en tomate híbrido ocurre en el siguiente orden: frutos (54 a 60 %), hojas (28 a 33 %) y tallo (12 a 13 %), y que el peso seco total de los frutos representa entre 52 y 72 % del total de la planta.

La tasa de acumulación de biomasa fresca en fruto en el híbrido fue de 2.2 g d<sup>-1</sup>, valor que coincide con la tasa de 2.05 g d<sup>-1</sup> reportada por Maher (1976). En este contexto, expertos en la fisiología del tomate han señalado que las labores culturales se deben de realizar en el momento adecuado para garantizar una respuesta óptima del órganos de demanda (Hunt, 2003; Casierra *et al.*, 2004).

El balance de materia seca entre órganos vegetativos y reproductivos es relevante porque el rendimiento de un cultivo depende de la capacidad de acumular biomasa en los órganos que se destinan a la cosecha. Como se aprecia en la Figura 3.4, en el híbrido y las poblaciones de Campeche y Puebla la parte reproductiva superó a la vegetativa, mientras que en las poblaciones Oaxaca y Edo. De México la parte reproductiva no pudo superar a la vegetativa. Según Li *et al.* (2010) y Peil y Galvez (2005), el balance apropiado entre asimilados para las distintas partes de una planta tiene importancia para optimizar la producción a través de una adecuada relación entre los órganos vegetativos y reproductivos.

Conviene destacar que la fuerza de la demanda es la habilidad de los frutos para obtener asimilados, habilidad que está relacionada con la rápida división y expansión celular de los frutos en esta etapa del desarrollo del cultivo, lo que se refleja en la fase lineal de acumulación de materia seca de estos órganos (Albacete *et al.*, 2008). La mayor parte de la materia seca de los frutos del tomate proviene de los fotoasimilados producidos en las hojas y transportados a los frutos, acorde con la relación fuente/demanda (Casierra y Constanza, 2009).

El tamaño de la fuente de fotoasimilados medida en magnitud de área foliar, es importante ya que es donde éstos se producen y de donde son transportados para cubrir la demanda de la planta. Según Núñez-Ramírez *et al.* (2012), las plantas de tomate híbrido presentan un crecimiento vigoroso del área foliar en durante los primeros 40 ddt y después presenta una reducción, lo cual coincide con la cinética de formación y producción de frutos.

Al respecto, las correlaciones aquí calculadas entre biomasa y área foliar fueron significativas en los cinco genotipos, lo cual es una importante asociación cuantitativa de que la acumulación de biomasa depende en alto grado de la magnitud del área fotosintética (que corresponde a la magnitud del tamaño de la fuente) en las plantas de tomate. En cambio, ninguna correlación de biomasa con la tasa de asimilación neta (TAN) resulto significativa, de modo que se puede inferir que el tamaño de la fuente es más importante que la actividad de la fuente (Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.1.** Correlaciones de biomasa total con área foliar y la tasa de asimilación neta (TAN).

Genotipo	PS x AF	PS x TAN
Campeche	0.97 **	0.55 ns
Estado de México	0.94 **	-0.10 ns
Híbrido	0.91 **	0.09 ns
Oaxaca	0.92**	0.45 ns
Puebla	0.94 **	0.22 ns

\*\*  $P \leq 0.01$ ; ns: No significativo; PS: biomasa; AF: área foliar; TAN: tasa de asimilación neta.

El mayor incremento de la fuerza de la fuente (FF) ocurrió en el intervalo de 50-75 ddt, y en este periodo el híbrido logró la mayor TAN con  $6.1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Estos datos de TAN significan que el híbrido puede lograr mayor producción de materia seca

por unidad de área foliar y por unidad de tiempo, lo que se refleja en obtener una mayor AF. Esto es muy similar a lo reportado por Barraza *et al.* (2004), quienes al evaluar densidades de población en tomate encontraron una TAN a los 105 ddt con  $7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Según Castellanos *et al.* (2009), una planta con óptimo TAN puede tener un mayor rendimiento biológico y productivo.

Los estudios de relaciones fuente-demanda han permitido medir la competencia por fotoasimilados en las plantas. En este estudio se detectó que la fuerza de la fuente (FF) aumentó en todos los genotipos hasta alcanzar valores máximos a los 75 ddt para después disminuir paulatinamente a causa de la reducción del follaje, ya que la FF depende del tamaño del área foliar y de su capacidad para hacer fotosíntesis. Estos resultados de FF permiten deducir que el tamaño del área foliar es más importante para la acumulación de biomasa que la tasa de asimilación neta, como se indicó arriba. Por otra parte, el crecimiento y el rendimiento de fruto están determinados por el número de células más que por el tamaño de las mismas (Ho, 1996).

La cinética de la fuerza de la demanda (FD) en frutos (medida con la tasa absoluta de crecimiento, TAC) evidencia que durante el desarrollo reproductivo el híbrido superó en 40 % a las poblaciones nativas, superioridad de una magnitud mayor a la registrada en acumulación total de biomasa (Figura 3.7).

Esto también evidencia que el mejoramiento genético del tomate mediante hibridación ha sido exitoso no solamente en lograr que la planta crezca más y más rápido sino también en que rinda más debido a que asigna mayor proporción de biomasa a los frutos en crecimiento. Por esta razón, es probable que las poblaciones nativas puedan lograr una ganancia similar en rendimiento de fruto mediante el aprovechamiento de la heterosis derivada de la hibridación. Según la TAC de frutos, los genotipos aquí evaluados se pueden ordenar como sigue: Híbrido > Oaxaca = Puebla > Estado de México = Campeche.



En cuanto a la actividad de la demanda ejercida por los frutos, aquí medida como la TRC de los frutos, se encontraron dos poblaciones nativas (Puebla y Oaxaca) con la misma capacidad del híbrido testigo, lo cual significa que en esta característica fisiológica estas dos poblaciones no necesitan ser mejoradas. Según González-Hernández *et al.* (1986), la TRC es un indicador de la actividad meristemática de la planta u órgano, que corresponde a la capacidad de división y crecimiento celular; por ello la TRC decrece conforme la planta crece y con ello aumenta la cantidad de tejidos maduros. Según Castellanos *et al.* (2009) y Ayala *et al.* (2011), esta disminución de TRC se debe a la baja del potencial fotosintético que ocurre con la edad biológica de la planta.

### 3.6 CONCLUSIÓN

El crecimiento en biomasa de plantas de tomate se explica primordialmente por la magnitud del aparato fotosintético (i.e., área foliar), y en menor grado por la tasa fotosintética. Es decir, para mejorar el crecimiento conviene más elevar el área foliar (AF) que el tamaño de la fuente (TF). Además, hay poblaciones nativas de tomate que son tan eficientes como un híbrido en varios índices fisiológicos, como tasa de tasa de crecimiento relativo (TRC) del fruto y en porcentaje de biomasa asignada a frutos, aunque les hace falta ser mayores en AF y tasa absoluta de crecimiento (TAC) del fruto, lo que probablemente podrían lograr mediante hibridación.

### 3.8 LITERATURA CITADA

- Aguilar-León M. G., J. A. Carrillo-Salazar, A. Rivera-Peña y V. A. González-Hernández. 2006. Análisis de crecimiento y de relaciones fuente-demanda en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Revista Fitotecnia Mexicana 29 (2):145-156.
- Albacete A., M. E. Ghanem, C. Martínez A., M. Acosta, J. Sánchez B., V. Martínez, S. Lutts, I. C. Dodd, and F. Pérez A. 2008. Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato

- (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Journal of Experimental Botany 59: 4119-4131.
- Ayala G. O. J., J. A. Carrillo S., E. Hernández G., E. Díaz M., M. Livera M. y G. Almaguer V. 2011. Crecimiento de plántulas de estátice (*Limonium sinuatum*) y viola (*Viola cornuta*) en ambientes contrastantes. Revista Chapingo Serie Horticultura 17(2): 129-140.
- Barraza F., V., G. Fischer, y C. E. Cardona. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. Agronomía Colombiana 22 (1): 81-90.
- Bénard C., S. Bernillon, B. Biais, S. Osorio, M. Maucourt, P. Ballias, C. Deborde, Sophie Colombié, C. Cabasson, D. Jacob, G. Vercambre, H. Gautier, D. Rolin, M. Génard, A. R. Fernie, Y. Gibon and A. Moing. 2015. Metabolomic profiling in tomato reveals diel compositional changes in fruit affected by source-sink relationships. Journal of Experimental Botany 151: 3-14.
- Castellanos C., J. A. Barrera, M. S. Hernández, L. M. Melgarejo, M. Carrillo, L. Rodríguez, y O. Martínez. 2009. Efecto de la densidad de plantación sobre crecimiento, producción y calidad en cinco accesiones de aji (*Capsicum* spp.) cultivadas en la Amazonia occidental colombiana. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 3:95-109.
- Casierra P., F., V. E. Barreto, y O. L. Fonseca. 2004. Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. Conservero) en los altiplanos colombianos. Agronomía Colombiana 22(1): 40-45.
- Casierra P., F. y M. Constanza C. 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 62(1):4815-4822.
- Enriquez-Reyes S., A., G. Alcántar-González, J. Z. Castellanos-Ramos, S. Arjona, E., D. González-Eguiarte, y I. Lazcano-Ferrat 2003. Nutrición mineral acoplada al crecimiento (numac): nutrición con N para tomate en invernadero descripción del modelo y obtención de parámetros. Terra Latinoamericana 21(2): 167-175.
- Falconer D., S., and T. F. C. Mackay. 1996. Introduction to quantitative genetics. Longman Group Ltd. Harlow, Essex, U.K. 464 pp.
- González-Hernández., V. A., M. Livera-Muñoz., L. E. Mendoza-Onofre. y C. Barrera O. 1986. Crecimiento y desarrollo de sorgos contrastantes en vigor y precocidad. Revista Fitotecnia Mexicana 8: 95-110.
- Heuvelink, E. 1995. Growth, Development and Yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. Scientia Horticulturae 61: 77-99.

- Ho L., C., R. I. Grange, and A. F Shaw. 1989. Source/sink regulation. *In: Transport of Photoassimilates*. D. Baker, and J. A. Millburn (eds.). Longman Scientific and Technical. Essex, U.K. p: 306-343.
- Ho L., C. 1996. The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. *Journal of Experimental Botany* 47: 1239-1243.
- Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. The Institute of Biology's Studies in Biology No. 76. Edward Arnol. London 67 pp.
- Hunt, R. 1982 Plant growth analysis: second derivatives and compound second derivatives of splined plant growth curves. *Annals of Botany* 50: 317-328.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman, Boston 110 p.
- Hunt, R., D. R. Causton, B. Shipley, and A. P. Askew. 2002. A modern tool for classical growth analysis. *Annals of Botany* 90: 485-488.
- Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants. 579-588. *In: Thomas, B., D.J. Murphy and B.G. Murray (Eds). Encyclopedia of applied plant sciences*. Academic Press, London 1618 p.
- Li Q., X. Wang, M. Chu, X. Chen, Q. Mi, M. Wei, Q. Shi, and F. Yang. 2010. Effects of neotype greenhouse film on light and temperature, growth and development of tomato in greenhouse. *Shandong Agricultural Sciences* 3: 41-45.
- Link, H. 2000. Significance of flower and fruit thinning on fruit quality. *Plant Growth Regulation* 31: 17-26.
- Maher M., J. 1976. Growth and nutrient content of glasshouse tomato crop grown in peat. *Scientia Horticulturae* 4:23-26.
- Maldonado-Peralta R., P.† Ramírez-Vallejo, V. A. González Hernández, F. Castillo-González, M. Sandoval-Villa, M. Livera-Muñoz, y N. Cruz-Huerta. 2016. Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates nativos. *Agroproductividad* 12:68-75.
- Núñez-Ramírez., T., R. L. Grijalva C., R. Macías D., F. Robles C., y C. Ceceña D. 2012. Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud* 14 (3): 25-31.
- Peil R. M., y J. L. Galvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasil Agrociência* 11(1): 05-11.

- Ríos O., O., J. L. Chávez S., y J. C. Carrillo R. 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.
- Rodríguez, W. y D. Leihner. 2006. Análisis del crecimiento vegetal. Ed. Universidad de Costa Rica 7: 1-97.
- Ruan Y., L., J. W. Patrick, S. Shabala, and T. L. Slewinski. 2013. Uptake and regulation of resource allocation for optimal plant performance and adaptation to stress. *Frontier in Plant Science* 4(455): 1-2.
- Steiner A., A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.

## CAPÍTULO IV

### RESPUESTA DE POBLACIONES NATIVAS DE TOMATE MEXICANO AL ESTRÉS HÍDRICO

#### 4.1 RESUMEN

Existe la necesidad de utilizar el agua de manera eficaz y eficiente, porque la disponibilidad del agua es escasa y es el principal factor limitante de la producción agrícola. Este estudio se realizó para comparar la respuesta a sequía (25 %) de cuatro poblaciones de tomates nativos y un híbrido comercial, en comparación con un régimen suficiente riego (100 %). Las variables evaluadas durante el ciclo de cultivo fueron: lecturas SPAD, área foliar, rendimiento, peso por fruto, número de fruto, número de lóculos, firmeza, sólidos solubles totales, biomasa, tasa fotosintética y eficiencia en el uso del agua. Los resultados muestran que todas las características medidas se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). El área foliar del testigo en riego tiene el doble que la población Campeche. El déficit hídrico provocó una disminución del área foliar en todos los genotipos y el testigo resultó el más afectado (35 %). El mayor rendimiento en cuatro racimos lo produjo el testigo y Oaxaca 100 % (3.7 y 3.6 kg/planta) y la menor producción fue la población Campeche 100 % (2.2 kg/planta). El déficit hídrico provocó una reducción en el rendimiento, en la variedad Oaxaca (64 %) resultando la más afectada. La eficiencia en el uso de agua el testigo tubo la producción de biomasa mayor con 4.6 g/L-1 y se requiere 27 litros para producir un kilogramo de fruto. La eficiencia en el uso del agua en los cinco genotipos de tomate muestra que las plantas en sequía son más eficientes que las plantas que recibieron mayor cantidad de agua (100 %).

**Palabras clave:** Tomates, Área foliar, Rendimiento, Biomasa y eficiencia en el uso de agua.

## 4.2 INTRODUCCIÓN

La diversidad climática de México ha permitido el desarrollo de diferentes formas silvestres y cultivadas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.), aunque en muchas de ellas sus frutos se comercializan solamente a nivel local y regional en diferentes estados del país, principalmente en zonas donde predominan poblaciones humanas indígenas (Villaseñor y Espinosa, 1998). La explotación y conservación de las poblaciones nativas de tomates mexicanos requiere del estudio de la variabilidad genética o genotípica, la que está influenciada por factores biológicos y ambientales, entre ellas por la selección que hace el agricultor (García-Martínez *et al.*, 2006; Terzopoulos y Bebeli, 2010).

El cultivo de tomate se considera una actividad agrícola de alta demanda de insumos y servicios, como abundante disponibilidad de agua durante todo el ciclo porque la planta de tomate es muy sensible al estrés hídrico que inhibe la fotosíntesis, ocasiona disminución del crecimiento y afecta la calidad y cantidad de producción (Shamsi y Kobraee, 2011; Zlatev y Cebola, 2012).

La producción de biomasa en cualquier cultivo o comunidad vegetal está fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible (Medrano *et al.*, 2007). En condiciones de estrés hídrico las plantas inhiben la síntesis de proteínas y el crecimiento celular, lo que constituye la primera respuesta de la planta a la falta de agua, y los solutos se acumulan en las células con el fin de mantener el volumen y la turgencia celular, para evitar la deshidratación. Este fenómeno se conoce como ajuste osmótico y se presenta en los tallos, hojas y raíces (Chaves *et al.*, 2003).

La falta de agua es una de las causas principales de la pérdida de rendimiento de fruto en los cultivos que se estima en 50 % (Wang *et al.*, 2003), porque el fruto constituye la demanda prioritaria en el contexto de competencia por agua y fotoasimilados (Maldonado-Peralta *et al.*, 2017). Una forma de medir el efecto de la cantidad de agua disponible es mediante el índice denominado eficiencia del uso

del agua, que es el cociente de los gramos de agua transpirados entre los gramos de materia seca producida por el cultivo (Aspiazú *et al.*, 2010).

Este estudio se hizo para comparar la respuesta a sequía (25 %) de cuatro poblaciones de tomates nativas y un híbrido comercial, en comparación con un régimen suficiente riego (100 %).

### 4.3 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de cubierta plástica de 600 m<sup>2</sup> donde se sembró el material genético (cinco variedades) constituido por cuatro poblaciones nativas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), provenientes de diferentes estados de México: Campeche con una forma de fruto chato de tipo calabaza, Estado de México con fruto en forma de tipo pera, Oaxaca con fruto en forma de riñón o tipo costilla, y Puebla con fruto en forma de pimiento (Chinos), todos ellos colectados por el Dr. Porfirio Ramírez Vallejo<sup>†</sup>. Como testigo se usó a la variedad híbrida Cid F1 (compañía de semillas Harris Moran). Todos los genotipos aquí estudiados son de hábito de crecimiento indeterminado.

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

La siembra de las semillas se realizó el 26 de junio del 2015, en charolas germinadoras de poliestireno de 200 cavidades, en las que se utilizó turba como sustrato. A los 30 días se hizo el trasplante de las plántulas en bolsas negras de polietileno de 40 x 40 cm, las cuales contenían tezontle rojo de grano fino como sustrato. Los brotes laterales se podaron cuando tenían una longitud de 3 cm, para

que las plantas crecieran a un solo tallo, y posteriormente se tutoraron individualmente con rafia. A los 75 días después de trasplante (ddt) se despuntaron (eliminación de la yema terminal) a dos hojas por arriba del cuarto racimo.

Los regímenes involucran no solo dos dosis de agua sino también dos dosis de nutrimentos, de manera que estos tratamientos tienen efectos confundidos entre cantidad de agua y cantidad de nutrimentos, porque las plantas a las que se aplicó menor agua también recibieron menor contenido de nutrimentos. Para poder aplicar los dos regímenes de humedad en el invernadero se instalaron dos sistemas de riego por goteo, cada uno con su tinaco, ya que hubo necesidad de aplicar dos tasas de riego: el de 100 % con 1200 mL d<sup>-1</sup>, y el de 25 % con 300 mL d<sup>-1</sup>, ambos preparados con la solución nutritiva de Steiner 100 % (Steiner, 1961). Los dos regímenes de riego se iniciaron a los 60 días después del trasplante.

Para la comparación de los 10 tratamientos se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (5 genotipos x 2 regímenes hídricos), con cuatro repeticiones (una planta por repetición).

Las variables agronómicas evaluadas durante el ciclo de cultivo fueron: 1) lecturas SPAD (intensidad del color verde de las hojas) en la hoja superior recientemente madura con un SPAD-Konica Minolta 502 (Japón) portátil cada 7 días. 2) el área foliar (m<sup>2</sup>) por planta, que se determinó en todas las hojas frescas de cada planta muestreada para biomasa, con un aparato LI3100 (Licor, Inc. Lincoln, NE, EE. UU.). 3) rendimiento de fruto (kg/planta), en los frutos recolectados por corte cuyas pesadas se sumaron para obtener el total. 4) número de frutos por planta, que se contaron en cada muestreo. 5) peso por fruto (g), que se calculó con el cociente del peso total de frutos entre el número total de frutos.

Las variables de calidad del fruto que se describen a continuación se midieron en cuatro frutos muestreados de cada tratamiento. Las variables fueron: 1) firmeza (kg/cm<sup>2</sup>), medida con un texturómetro de Chatillón (Wagner, modelo FDV-30, EE.



UU.), adaptado con un puntal cónico de 2 mm. 2) número de lóculos, que se contaron en frutos cortados a la mitad. 3) grosor de pericarpio (mm), medido en los mismos frutos que se cortaron a la mitad. 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<sup>®</sup> (Japón) (A.O.A.C., 1990); 5) pH, que se determinó en la pulpa de los frutos molidos y homogenizados con un potenciómetro (Corning, modelo 12, EE. UU.).

Para medir las variables de biomasa se realizaron muestreos destructivos al azar cada 15 días (60, 75, 90, 105, 120 y 135 días después del trasplante), y en cada muestreo se tomaron dos plantas por unidad experimental, las cuales fueron llevadas al laboratorio donde se disecaron para separar cada uno de los órganos y poder cuantificar materia seca de tallo, hojas, frutos, raíces y total, después de secar en una estufa de aire forzado (Riossa<sup>®</sup>, México) a 70 °C hasta peso constante.

La medición de las variables fisiológicas se realizó a partir de los 60 días después de trasplante en cuatro plantas de cada tratamiento, y luego cada 7 días hasta el final del estudio; todas las mediciones de este tipo referentes al intercambio de gases se hicieron entre las 11:00 a 14:00 horas, con un aparato portátil de fotosíntesis Licor-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, EE. UU.), en hojas recientemente maduras. Se midió la tasa fotosintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y luego se calculó la eficiencia en el uso del agua (EUA) mediante el cociente que resulta de dividir la biomasa total (g) entre el agua utilizada (L). Para el análisis de los datos fisiológicos se estimaron la media y desviación estándar de cada una de las variables, y se graficaron con respecto a la edad de la planta, para cada uno de los 10 tratamientos (cinco variedades x dos regímenes hídricos).

### 4.3.1 Análisis estadístico

Las variables agronómicas, calidad del fruto y biomasa fueron evaluadas con 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 paquete estadístico SAS (versión 9.0). Las variables de fotosíntesis y eficiencia en el uso del agua se compararon con estadísticos básicos (medias y desviación estándar). Las gráficas y cuadros se elaboraron con el programa Microsoft Excel 2010®.

## 4.4 RESULTADOS

Las poblaciones de tomate aquí estudiadas resultaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) afectadas por los factores variedad (Var), régimen hídrico (RH) y por la interacción Var x RH, tanto en las variables agronómicas como en las de acumulación de biomasa y las de calidad de fruto medidas (Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3).



**Figura 4.1.** Régimen hídrico en fruto y planta de los cinco genotipos evaluados en invernadero.

Las unidades SPAD y el número de frutos dependen casi únicamente del genotipo, lo que indica que son características estables aún en condiciones de estrés hídrico. En cambio, el rendimiento y peso por fruto dependieron principalmente (73 y 63%) del RH, y en mucho menor grado del genotipo (11 y 19 %), por lo que estas características son muy alteradas por la disponibilidad de agua (Figura 4.1). Por su parte, el área foliar (que cuantifica la magnitud del área fotosintética) depende casi en igual grado de la Var y del RH. Aunque significativa en casi todas las variables agronómicas, la interacción Var x RH fue de baja importancia relativa.

**Cuadro 4.1.** Sumas de cuadrados (SC) de las variables agronómicas medidas en plantas de tomates cultivadas en invernadero con fertirriego, y podadas a cuatro racimos. Entre paréntesis se anotan las proporción de las SC de cada factor (Var, RH y Var x RH) con respecto a la SC de tratamientos.

FV	GL	Lecturas	Área foliar	Número	Peso por	Rendimiento
		SPAD	(m <sup>2</sup> )	de frutos	fruto (g)	(kg/planta)
		Sumas de cuadrados				
Trats	9	3419**	0.77**	981**	58134**	42.09**
Var	4	3333**(98)	0.37**(49)	879**(90)	11131**(19)	4.64**(11)
RH	1	31**(1)	0.35**(45)	19(2)	36669**(63)	31.15**(73)
Var x RH	4	47**(1)	0.04**(6)	82(8)	10333**(18)	6.29**(16)
Error	30	27	0.01	301	3070	2.50
Total	39	3440	0.78	1283	61204	44.59

\*\* : Significancia estadística con  $p \leq 0.01$ ; FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; Trats: tratamientos, Var: variedad, RH: régimen hídrico, Var x RH: variedad x régimen hídrico.

Todas las variables medidas del crecimiento (acumulación por órganos y distribución de biomasa) dependieron en mayor medida del Genotipo (67 a 88 % de la varianza debida a tratamientos). El RH afectó poco a la acumulación de biomasa vegetativa (0.2 % en raíz a 14 % en tallo), pero afectó severamente al fruto (23 %) y a la biomasa total (26 %). La interacción Var x RH tuvo efectos significativos pero de baja magnitud relativa, con 5 % en tallo hasta 12 % en raíz. La biomasa del fruto

depende más del genotipo, pero el rendimiento de fruto es más afectado por el RH, lo que muestra que en la producción de fruto se conjuntan y combinan efectos de genotipo y del ambiente.

**Cuadro 4.2.** Sumas de cuadrados (SC) de las variables de acumulación de biomasa en cada órgano de la planta de tomate cultivada en invernadero con fertirriego, y podadas a cuatro racimos. Entre paréntesis se anota la proporción de la SC de cada factor (Var, RH y Var x RH) respecto a la SC de tratamientos.

		Tallo (g)	Hoja (g)	Fruto (g)	Raíz (g)	Total (g/planta)
FV	GL	Sumas de cuadrados				
Trats	9	1804**	4498**	32312**	87.48**	64008**
Var	4	1467**(81)	3490**(78)	23032**(71)	76.67**(88)	43042**(67)
RH	1	246**(14)	731**(16)	7553**(23)	0.17**(0.2)	16715**(26)
Var x RH	4	91**(5)	277**(6)	1706**(6)	10.60**(12)	4250**(7)
Error	30	12	43	134	0.57	204
Total	39	1816	4545	32447	88.01	64213

\*\* : Significancia estadística con  $p \leq 0.01$ ; FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; Trats: tratamiento, Var: variedad, RH: régimen hídrico, Var·RH: variedad x régimen hídrico.

La calidad del fruto dependió de la variedad en las características de grosor de pericarpio, número de lóculos y firmeza. En cambio, la variable sólidos solubles totales (SST) depende en mucho mayor grado del RH (74 %) que de la Var (21 %). Y el pH depende casi por igual de la Var (45 %) y de la interacción Var x RH (54 %). Es decir, la calidad del fruto se determina primariamente por el genotipo, los SST se pueden elevar aún más con sequía, y el efecto del pH difiere entre variedades.

**Cuadro 4.3.** Sumas de cuadrados (SC) de las variables de calidad de fruto de plantas de tomates cultivadas en invernadero con fertirriego, y podadas a cuatro racimos. Entre paréntesis se anotan las proporción de las SC de cada factor (Var, RH y Var. x RH) con respecto a la SC de tratamientos.

FV	GL	Grosor de	Número de	Sólidos	Firmeza	pH
		pericarpio (mm)	lóculos	solubles totales (%)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
		Sumas de cuadrados				
Trats	9	152**	672**	65.01**	57.69**	0.88**
Var	4	99**(66)	670**(99)	13.99**(21)	50.11**(87)	0.40**(45)
RH	1	41**(27)	0.22(0)	47.96**(74)	0.61(1)	0.01(1)
Var x RH	4	10(7)	1.65(.002)	3.06(5)	6.97(12)	0.48**(54)
Error	30	12	26.17	5.01	10.52	0.05
Total	39	164	698	70.11	68.22	0.94

\*\* : Significancia estadística con  $p \leq 0.01$ ; FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; Trats: tratamiento, Var: variedad, RH: régimen hídrico, Var x RH: variedad x régimen hídrico.

#### 4.4.1 Comparación de medias

Las lecturas SPAD fueron similares en todos los genotipos, excepto en la población nativa Campeche en el RH de 100 % (CAM 100 %) que apenas contiene 60 % en comparación con las demás variedades (Figura 4.2). La sequía afectó las lecturas SPAD en dos variedades (HIB y OAX en el RH 25 %) que son las que tiene el mayor rendimiento y área foliar, pero no afectaron a las demás variedades.

En condiciones de riego (sin déficit hídrico) se detectaron grandes diferencias entre variedades en área foliar, desde 0.39 en CAM 100 % a 0.78 m<sup>2</sup>/planta en HIB 100 %, ambas con un promedio de 21 hojas. Es decir, las diferencias varietales en área foliar se deben al tamaño de las hojas. El tratamiento con déficit hídrico en todas las variedades redujo el área foliar, en más grado en el HIB 25 % (39 %) y menos en EMX 25 % (19 %). El número de frutos en riego fluctuó de 22 en PUE 100 % a

34 por planta en HIB 100 %, fluctuación de menor proporción entre las variedades; pero a diferencia de la sequía, redujo mucho menos el número de frutos por planta.

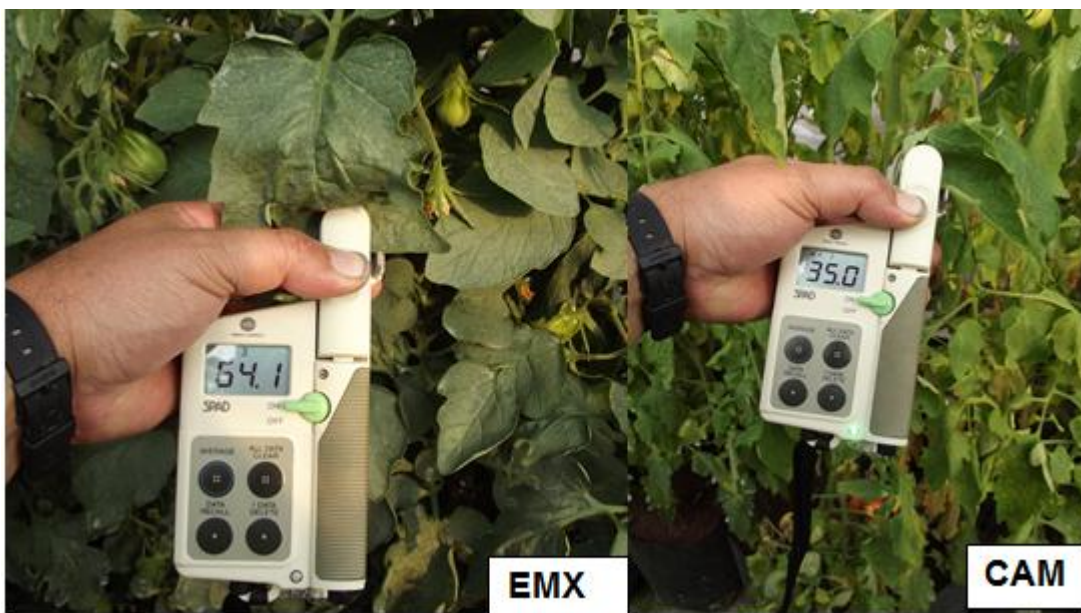
El peso por fruto en riego osciló de 77 g en CAM 100 % a 155 g en OAX 100 %. En todas las variedades la sequía redujo significativamente el peso del fruto, y la menor reducción relativa fue en CAM con 27 % y la mayor fue en OAX con 72 %.

**Cuadro 4.4.** 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<sup>-1</sup> por planta).

Tratamiento	Lecturas SPAD	Área foliar (m <sup>2</sup> )	Número de frutos	Peso por fruto (g)	Rendimiento (kg/planta)
<b>HIB 100</b>	<b>58.5 a</b>	<b>0.78 a</b>	<b>34 a</b>	<b>112.6 b</b>	<b>3.77 a</b>
HIB 25	53.1 c	0.48 c	33.5 a	50.4 ef	1.70 d
<b>OAX 100</b>	<b>55.8 b</b>	<b>0.60 b</b>	<b>27.5 ab</b>	<b>154.8 a</b>	<b>3.63 ab</b>
OAX 25	52.7 c	0.39 e	30.5 a	43.5 e	1.30 d
<b>PUE 100</b>	<b>57.5 ab</b>	<b>0.59 b</b>	<b>22.2 bc</b>	<b>147.8 a</b>	<b>3.20 b</b>
PUE 25	57.4 ab	0.45 d	17.0 c	72.4 cde	1.20 d
<b>EMX 100</b>	<b>58.2 a</b>	<b>0.43 d</b>	<b>31 a</b>	<b>87.1 c</b>	<b>2.65 d</b>
EMX 25	58.4 a	0.35 e	27.2 ab	53.4 def	1.82 d
<b>CAM 100</b>	<b>34.2 d</b>	<b>0.39 e</b>	<b>30.5 a</b>	<b>76.8 cd</b>	<b>2.28 c</b>
CAM 25	33.6 d	0.28 f	30.0 ab	56.7 def	1.67 d

Híbrido (HIB); Oaxaca (OAX); Puebla (PUE); Estado de México (EMX) y Campeche (CAM). Medias con distintas letras indican diferencias significativas (p<0.05).

En el rendimiento de fruto acumulado en los cuatro racimos también hubo amplias diferencias entre las variedades, que van desde 2.28 kg/planta en CAM 100 % a 3.77 kg/planta en el HIB 100 %, y es de destacar que la población OAX 100 % rindió casi lo mismo que el HIB. El déficit hídrico provocó una severa reducción en el rendimiento en todos los genotipos (CAM: 26, EMX: 31, HIB: 55, OAX: 64 y PUE: 63 %), donde los genotipos de mayor rendimiento resultaron proporcionalmente más afectados por la sequía.



**Figura 4.2.** Medición de la lectura SPAD en dos genotipos nativos de tomate evaluados en invernadero.

En todas las variedades y órganos del tomate, la falta de riego produjo disminuciones severas en el crecimiento, excepto en el peso seco de hoja en las poblaciones EMX y CAM crecidas con RH 25 %, lo cual es interesante porque denota cierta tolerancia a sequía, ya que en otras características mostraron disminuciones significantes por sequía como en tasa fotosintética, rendimiento y biomasa. En riego completo (RH 100 %) hay diferencias en crecimiento entre variedades, desde 144 g/planta en EMX hasta 249 en HIB y OAX.

Cabe destacar que el peso seco de fruto representa la mayor proporción de biomasa en la planta, tanto en riego como en sequía, excepto en las variedades PUE y EMX sometidas a déficit hídrico en las que el peso seco de hojas fue igual que el peso de fruto. En asignación de biomasa al fruto (fuerza de demanda del fruto) resaltan las variedades HIB (53 %) y CAM (59 %). El efecto de déficit hídrico generó un incremento en la raíz de las poblaciones PUE (12 %), OAX y EMX con (10 %); en cambio, en las variedades CAM y HIB la raíz se redujo en 17 y 13 %.

**Cuadro 4.5.** Comparación de medias de variables de biomasa en plantas de tomates del muestro final y cultivados a cuatro racimos en dos regímenes hídricos (25 y 100 % de 1.2 L d<sup>-1</sup> por planta).

Tratamiento	Tallo (g)	Hoja (g)	Fruto (g)	Raíz (g)	Biomasa total (g)
<b>HIB 100</b>	<b>37.9 b</b>	<b>69.2 a</b>	<b>132.9 a</b>	<b>8.17 d</b>	<b>248.1 a</b>
HIB 25	32.8 c	55.5 c	100.1 b	7.10 f	195.5 b
<b>OAX 100</b>	<b>44.2 a</b>	<b>67.6 a</b>	<b>128.2 a</b>	<b>9.50 b</b>	<b>249.4 a</b>
OAX 25	33.5 c	52.3 d	79.3 d	10.45 a	175.4 c
<b>PUE 100</b>	<b>36.5 b</b>	<b>63.8 b</b>	<b>85.2 c</b>	<b>9.52 b</b>	<b>194.9 b</b>
PUE 25	33.0 c	55.8 c	57.8 e	10.65 a	157.3 e
<b>EMX 100</b>	<b>33.1 c</b>	<b>48.6 e</b>	<b>54.4 e</b>	<b>7.77 e</b>	<b>143.9 f</b>
EMX 25	29.4 d	45.6 e	42.8 f	8.60 c	126.4 g
<b>CAM 100</b>	<b>22.1 e</b>	<b>39.5 f</b>	<b>99.2 b</b>	<b>7.07 f</b>	<b>167.8 d</b>
CAM 25	20.1 f	36.8 f	82.3 cd	5.90 g	145.1 f

Híbrido (HIB); Oaxaca (OAX); Puebla (PUE); Estado de México (EMX) y Campeche (CAM). Medias con distintas letras indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

El número de lóculos es diferente entre las variedades (desde 2.5 en HIB a 13.7 en CAM), y no varió por efecto del régimen hídrico. La sequía redujo el grosor de pericarpio de los frutos en todas variedades, aunque muy poco en las poblaciones OAX y EMX. Hay diferencias varietales en el contenido de sólidos solubles totales que en condiciones de riego (RH 100 %) van desde 4.8 en EMX hasta 6.5 en CAM. En todas las variedades la sequía (RH 25 %) elevó en 2 a 3 unidades a los sólidos solubles totales, excepto en CAM donde el aumento fue de 1.3 unidades.

En cambio, el régimen hídrico afectó poco o nada a la firmeza de los frutos, que se mantuvieron igual en riego que en sequía, excepto en la variedad PUE en la que la sequía causó un aumento significativo de firmeza; esta misma variedad PUE es la que tuvo la firmeza más cercana al HIB testigo (máxima firmeza). En pH tampoco hubo cambios importantes por el régimen hídrico.



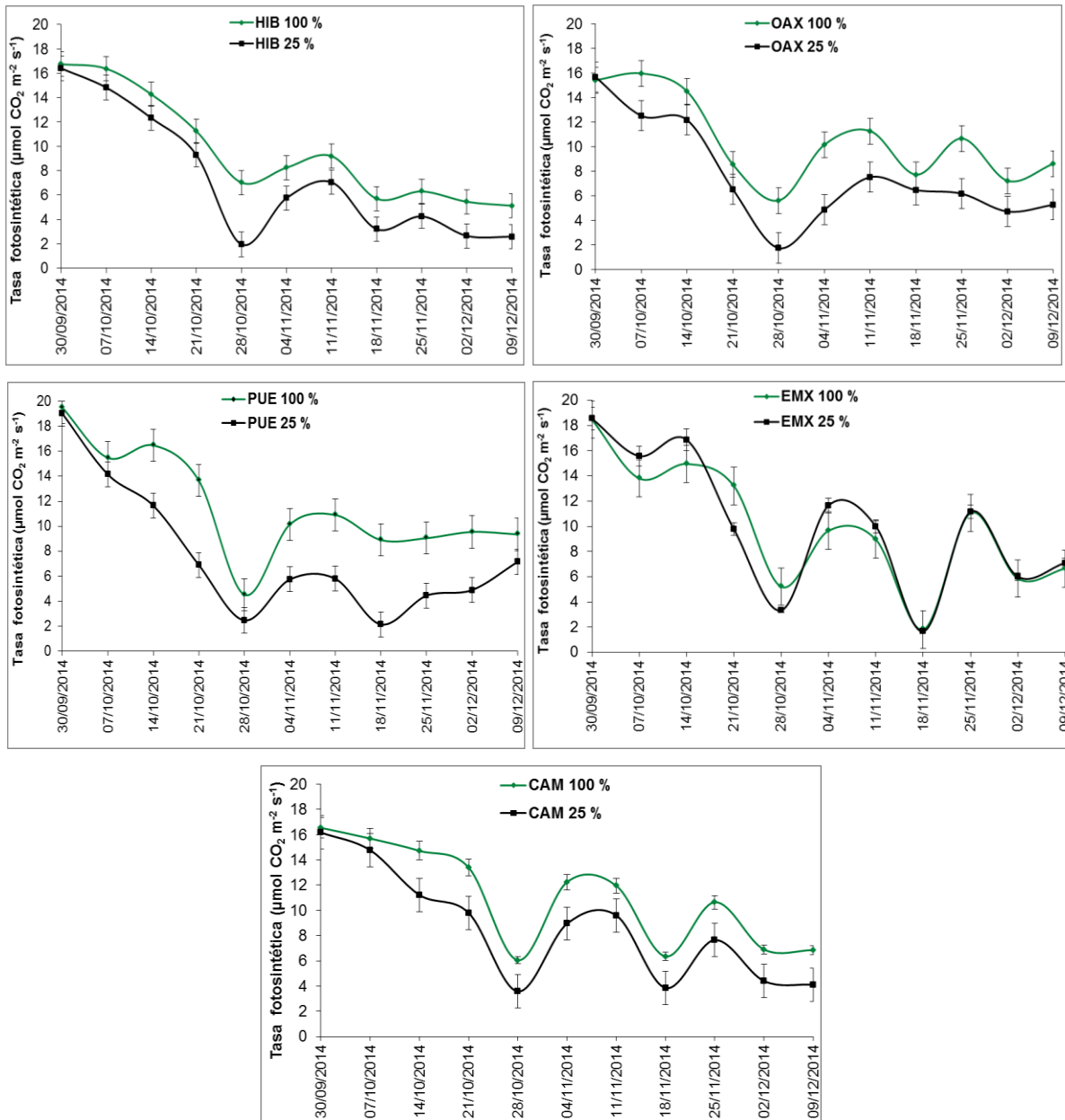
**Cuadro 4.6.** Comparación de medias de variables de calidad del fruto de plantas de tomates cultivados a cuatro racimos en dos regímenes hídricos (25 y 100 % de 1.2 L d<sup>-1</sup> por planta).

Tratamiento	Número de lóculos	Grosor de pericarpio (mm)	Sólidos solubles totales (%)	Firmeza (kg/cm <sup>2</sup> )	pH
<b>HIB 100</b>	<b>2.5 f</b>	<b>9.9 a</b>	<b>5.8 cd</b>	<b>3.75 a</b>	<b>5.05 ab</b>
HIB 25	2.5 f	6.4 bc	8.8 a	3.80 a	4.80 d
<b>OAX 100</b>	<b>10.7 bc</b>	<b>6.8 b</b>	<b>5.7 de</b>	<b>1.63 bc</b>	<b>5.00 b</b>
OAX 25	10.5 c	5.8 bc	8.3 a	1.91 bc	5.00 b
<b>PUE 100</b>	<b>6.0 de</b>	<b>8.9 a</b>	<b>6.4 cd</b>	<b>2.26 b</b>	<b>5.05 ab</b>
PUE 25	6.5 d	6.4 b	8.6 a	3.10 a	5.15 a
<b>EMX 100</b>	<b>4.0 ef</b>	<b>6.7 b</b>	<b>4.8 e</b>	<b>1.23 bc</b>	<b>4.95 bc</b>
EMX 25	3.8 ef	5.9 bc	6.8 bc	0.69 c	4.85 cd
<b>CAM 100</b>	<b>13.7 a</b>	<b>4.8 c</b>	<b>6.5 bc</b>	<b>1.26 bc</b>	<b>4.60 e</b>
CAM 25	13.0 ab	3.5 d	7.8 ab	0.94 bc	5.00 b

Híbrido (HIB); Oaxaca (OAX); Puebla (PUE); estado de México (EMX) y Campeche (CAM). Medias con distintas letras indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4.2 Tasa fotosintética de CO<sub>2</sub>

La Figura 4.3 muestra que el comportamiento fotosintético de los cinco genotipos crecidos en los dos regímenes hídricos (100 y 25 %) que en todos los genotipos presentaron una disminución a lo largo del ciclo. Las variedades nativas EMX y PUE tuvieron la mayor tasa fotosintética al inicio con 18.5 y 19.5  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. En sequía destaca que el genotipo EMX presentó una tasa fotosintética prácticamente igual a las plantas en riego. Las variedades OAX y PUE resultaron con la mayor pérdida en la tasa fotosintética causada por el estrés.

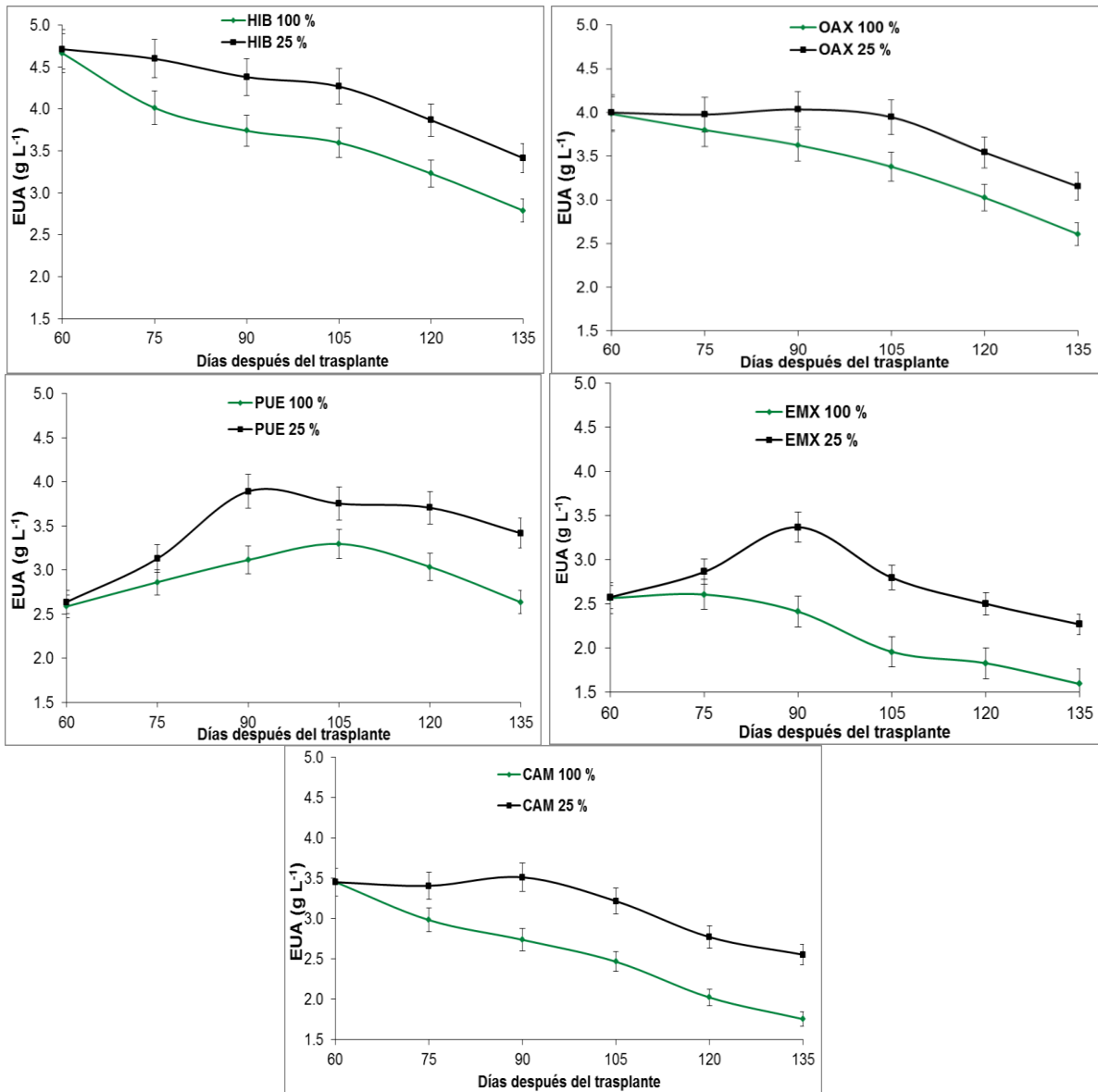


**Figura 4.3.** Tasa fotosintética en cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con fertirriego. En dos regímenes (100 y 25 %), Híbrido (HIB), Puebla (PUE), Oaxaca (OAX), Estado de México (EMX) y Campeche (CAM).

#### 4.4.3 Eficiencia en el uso de agua (EUA)

En todas las variedades de tomate el régimen hídrico restringido (25 %) elevó la EUA medida en g de materia seca acumulada por litro de agua consumido, y la

menor diferencia entre riego y sequía ocurrió en las variedades OAX y PUE, lo que denota más tolerancia a sequía en éstas. Y en todas las variedades la EUA fue declinando con la edad, excepto en las variedades nativas EMX y PUE en las que la EUA aumentó en los primeros 90 días del ciclo. Cabe señalar que las poblaciones en riego son menos eficientes en la producción de biomasa.



**Figura 4.4.** Eficiencia en el uso de agua (EUA) en cinco genotipos de tomate crecidos en invernadero con fertirriego. En dos regímenes (100 y 25 %), Híbrido (HIB), Puebla (PUE), Oaxaca (OAX), Estado de México (EMX) y Campeche (CAM). Calculados en de biomasa y agua utilizada.

## 4.5 DISCUSIÓN

Las características fisiológicas y morfológicas (Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3) que resultaron afectadas por el factor variedad son: clorofila, área foliar, número de frutos, distribución de biomasa, 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.

Por su parte, el régimen hídrico afectó primordialmente a las variables: rendimiento, peso por fruto, área foliar, sólidos solubles totales y acidez titulable. La interacción de variedad por régimen hídrico afectó al pH, en general, el déficit hídrico afecta cada aspecto del crecimiento de la planta que involucra a la anatomía, morfología, fisiología y bioquímica (Florido y Bao, 2014). El conocimiento acerca del de sus características de estos genotipos es importante, porque una agricultura sustentable requiere la explotación racional de variedades eficientes en su morfología y fisiología, que sean tolerantes a factores adversos y limitantes de la producción (Borrego *et al.*, 2001; Maldonado-Peralta *et al.*, 2016).

Las lecturas SPAD fueron similares en todos los genotipos (Cuadro 4.4), excepto en la población nativa de Campeche (CAM) cuyas hojas son de color verde pálido y cuyo valor SPAD fue de apenas 60 % respecto a los demás genotipos. Al respecto, se debe considerar que el contenido de clorofila es responsable de la coloración verde de las hojas (Steele *et al.*, 2008).

El bajo contenido de clorofila, expresado en bajos valores SPAD que corresponden a color verde amarillento o pálido, es indicativo de menor contenido de complejos antena en el fotosistema II. Según Blum (2005), esto reduce la absorción de la radiación fotosintéticamente activa y, posteriormente abate la eficiencia del uso del

agua. El déficit hídrico redujo las lecturas SPAD en el testigo HIB (9 %) y en la variedad nativa OAX (6 %), disminuciones que pueden perjudicar el proceso fotosintético en la fijación de carbono (González, 2009; Steele *et al.*, 2008); en cambio, en los demás genotipos la disminución no fue significativa.

En condiciones de riego (RH 100 %) el área foliar del testigo fue el doble que en la variedad CAM (Cuadro 4.4). En este aspecto, Maldonado-Peralta *et al.* (2017), enviado a la revista Botanical Sciences), afirman que los genotipos de tomate con mayor área foliar (tamaño de la fuente de fotoasimilados) son más eficientes en la producción de biomasa y rendimiento. El área foliar óptima en riego tiene una media de 2.3 cm<sup>2</sup>/g, valor que es mayor a lo reportado por Fischer *et al.* (2012); el área foliar óptima encontrada para varias especies es de 200 cm<sup>2</sup> por 100 g de fruta.

El déficit hídrico provocó una disminución del área foliar en todos los genotipos, y el HIB testigo fue la variedad que resultó el más afectada (35 %), lo que demuestra que los genotipos nativos también han sido domesticados al riego pero en diferente grado. Según Rosabal-Ayan *et al.* (2014), esta disminución se debe a que en sequía las hojas detienen sus procesos fisiológicos y se afectan los procesos enzimáticos. En esta condición adversa es de destacar que la variedad nativa EMX resultó la menos afectada (19 %), y se debe a que su tasa fotosintética no es afectada por la sequía y por ello resulta con tolerancia a sequía.

Según Blum (2005), una menor área foliar y floración precoz son importantes mecanismos para moderar el uso del agua y reducir la lesión bajo estrés por sequía; en cambio, en la variedad que tiene un área foliar grande que conduce a un mayor potencial de rendimiento, gran parte de esta área foliar será irreversiblemente desecada y perdida con el estrés, lo que significa también pérdida en materia seca acumulada. De acuerdo con los presentes resultados, esto fue lo que pasó en la variedad nativa OAX y en el testigo HIB.

El genotipo OAX crecido en riego (RH 100 %) produjo los frutos más grandes. Esta variable, según Santiago *et al.* (1998), está determinada por la relación entre la potencia de la fuente y la potencia de la demanda durante el periodo de crecimiento del fruto; es decir, la variedad nativa OAX posee la mayor capacidad de demanda en fruto, y una fuente suficiente para abastecerla. En sequía los frutos de la variedad OAX mostraron la mayor pérdida de peso con 72 %. Según Medrano *et al.* (2007) y Sibomana *et al.* (2013), 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 dos genotipos, el HIB testigo y la población nativa OAX en el RH 100 % (Cuadro 4.4). Estas características son preferidas 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), y a mayor tamaño de la demanda es mayor el rendimiento económico. Similarmente, Villegas-Cota *et al.* (2004) 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, que 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.

La sequía provocó una reducción en el rendimiento de 55 % en el testigo HIB y de 64 % en la nativa OAX. 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 %, y con los de Peil y Galvez (2005) que reportaron pérdidas de 74 %. La disminución en el rendimiento, la calidad y el

crecimiento de las plantas inducidas por el déficit hídrico son consecuencia de una reducción tanto de la expansión foliar como de la transpiración (Blum, 2005).

En cuanto a la distribución de la biomasa total (Cuadro 4.5), las cinco variedades aquí estudiadas asignaron la mayor proporción a los frutos y la menor proporción a la raíz, lo que concuerda con Link (2000) quien afirma que estos son los órganos prioritarios de demanda en el contexto de competencia por fotoasimilados en la planta. El testigo HIB y la variedad nativa OAX crecidas en el RH 100 % acumularon la mayor cantidad de biomasa con 248 y 249 g/planta en 135 días después trasplante, distribuida de la siguiente manera: fruto (132 y 128 g), hojas (69 y 67 g) y tallo (37 y 44 g) por planta.

Los diversos resultados aquí presentados enriquecen lo señalado por Rick (1986), en el sentido de que las especies silvestres de tomate son fuentes genéticas valiosas para mejorar los rasgos agronómicos importantes y de tolerancia al estrés en el tomate cultivado, y también las variedades cultivadas nativas pueden aportar genes de interés. En la fuerza de demanda del fruto cabe resaltar que la variedad nativa CAM (59 % del total de biomasa fue asignada a frutos) es igual o más eficiente que el testigo HIB (53 %). Según Heuvelink (1995), la distribución de materia seca en tomates híbridos ocurre es de 54 a 60 % hacia frutos, y Maldonado-Peralta *et al.*, 2016) encontraron que los mejores genotipos llegan a 61 %.

En biomasa total la sequía perjudicó en mayor proporción a la variedad OAX (30 %) mientras que el genotipo del EMX presentó el menor efecto (12 %). Además de la acumulación de biomasa, como se indicó antes el estrés hídrico RH 25 % también afectó a la fuente y la demanda, como se refleja en la distribución de carbohidratos, en el rendimiento, la calidad de los frutos y biomasa, aspectos que antes fueron reportados en variedades comerciales de tomate por Osorio *et al.* (2014).

En cuanto a las variables de calidad del fruto (Cuadro 4.6), cabe destacar que el número de lóculos varió ampliamente entre genotipos, desde 2.5 hasta 13 lóculos, rasgo genético que no fue modificado por la sequía (Figura 4.4). Al respecto, Vásquez-Ortiz *et al.* (2010) reportaron que el número lóculos de las poblaciones nativas de tomate depende de la forma del fruto. La sequía inducida por el RH 25 % afectó el grosor del pericarpio de los frutos en todas las variedades, pero tal efecto fue menor en las poblaciones nativas OAX y EMX.

En el contenido de sólidos solubles totales la variedad CAM crecida en el RH 100 % resultó con el mayor valor de 6.4 %. Esta diferencia con los demás genotipos de tomate se atribuye a la gran diversidad en formas de tomate cultivadas y silvestres en todo el país (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016); otros investigadores han reportado que los genotipos silvestres de tomate poseen mayor concentración de sólidos solubles totales que las variedades cultivadas (Martínez, 2003; Juárez-López *et al.*, 2012), lo cual implica un mayor contenido total de azúcares y de ácidos orgánicos que aumentan la intensidad del sabor (Monge-Pérez, 2014). El contenido de sólidos solubles totales se incrementó en 3 unidades por efecto de la sequía, lo cual representa una ventaja cualitativa de este factor adverso. Según Nuruddin *et al.* (2003), ello se debe a la absorción limitada de agua en el fruto sometido a estrés y por consecuencia ocurre mayor concentración de soluto.

La tasa fotosintética instantánea (Figura 4.3) resultó disminuida en todos los genotipos a causa de la sequía inducida por el RH 25 %, pero no es la misma magnitud de dicho efecto en todos. El genotipo nativo EMX mostró el menor efecto de sequía comparado con las demás. Las respuestas de las plantas al estrés por sequía dependen de la especie y el genotipo, de la edad de la planta, del nivel y duración de la sequía (Grzesiak *et al.*, 2013). Según Flexas *et al.* (2004), la baja disponibilidad de agua se considera el principal factor ambiental que limita la fotosíntesis y, en consecuencia, el crecimiento y rendimiento de las plantas a nivel mundial.



La baja en la capacidad fotosintética por la sequía se reflejó en la menor acumulación de biomasa, como en la variedad nativa OAX que perdió 74 g por planta, mientras que la variedad EMX solo bajó 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). 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.

La eficiencia en el uso de agua (EUA) en los cinco genotipos de tomate aquí estudiados, demuestra que si bien hubo una reducción de biomasa causada por la sequía en todas las poblaciones, las plantas en sequía resultaron más eficientes en el uso del agua (EUA) que las plantas crecidas sin estrés hídrico, cuando la EUA es medida en gramos de biomasa acumulada por litro de agua gastada (Figura 4.4). Similarmente, Morad *et al.* (2009) reportaron que una alta tasa de agua de riego puede eliminar el estrés hídrico del cultivo, pero también reducirá la eficiencia en su uso.

De manera similar, el déficit hídrico en sandía (*Citrullus lanatus*) afecta el rendimiento, la producción de biomasa, la composición mineral foliar y el estado hídrico de las hojas, a la vez que reduce el uso del agua y aumenta el EUA (Rouphael *et al.*, 2008). Según Blum (2005), la EUA es una manera simple de medir la resistencia a la sequía porque se basa en la relación entre dos procesos fisiológicos (transpiración y fotosíntesis) o agronómicos (rendimiento y uso del agua del cultivo).

Los tomates nativos EMX y PUE mostraron una EUA creciente en los primeros 90 días del ciclo, y coincidentemente sus tasas fotosintéticas también fueron mayores al inicio del ciclo, pero fueron menos eficientes en la producción de biomasa. Según Medrano *et al.* (2007), las plantas han desarrollado diferentes respuestas frente al

estrés hídrico que en conjunto implican asegurar la supervivencia de la especie, para mejorar la eficiencia del uso de agua.

El genotipo HIB presentó la mayor EUA con  $4.6 \text{ g L}^{-1}$  en este sistema abierto de hidroponía aquí usado, valor que es muy bajo comparado con los valores de 12 a  $18 \text{ g L}^{-1}$  reportados por Fernández y Camacho (2005) en tomate cultivado en invernadero en la Universidad de Almería.

**Cuadro 4.7.** Requerimientos hídricos de los dos regímenes (litros de agua por kilogramo de frutos fresco) aplicados a tomates crecidos en invernadero con un sistema de riego por goteo.

Variedad	L kg <sup>-1</sup>	
	100 % (1200 mL planta/día)	25 % (300 mL planta/día)
Híbrido	27	34
Oaxaca	29	43
Puebla	32	47
Estado de México	39	30
Campeche	45	33

La comparación de la EUA en cinco variedades de tomate cultivados en dos regímenes hídricos en invernadero, muestran variación entre genotipos (Cuadro 4.7). Los genotipos de mayor rendimiento en riego muestran los valores más bajos, el HIB ( $27 \text{ L kg}^{-1}$ ) y OAX ( $29 \text{ L kg}^{-1}$ ); estos valores son iguales a los que reporta Stanghellini (2005) para tomate crecido en invernadero en la región de Almería, España con  $27 \text{ L kg}^{-1}$ . En cambio, Santiago *et al.* (1998) encontraron que el tomate solo requiere 22.5 litros para producir un kilogramo de fruto. El genotipo nativo PUE tiene una eficiencia menor en la producción de litros de agua por kilogramo de producto fresco, ya que su EUA es de  $45 \text{ L kg}^{-1}$ . La sequía reduce el rendimiento y hace menos eficiente a los genotipos más rendidores; En contraste, los genotipos nativos EMX y CAM aumentaron su EUA al pasar de riego a sequía, y es al tomate

EMX al que el régimen hídrico 25 % afectó en menor grado su tasa fotosintética instantánea (Figura 4.1).

#### **4.6 CONCLUSIONES**

En condiciones de riego (régimen hídrico de 100 %) el testigo de tomate híbrido y la población nativa OAX, que no ha tenido mejoramiento genético formal, tuvieron el mismo rendimiento de fruto acumulado en los cuatro racimos, con de 3.77 kg/planta y rindió 3.63 kg/planta, respectivamente.

Los genotipos de mayor rendimiento resultaron proporcionalmente más afectados por la sequía (Campeche: 26, Estado de México: 31, Híbrido: 55, Oaxaca: 64 y Puebla: 63 %), de modo que se encontraron genotipos que son menos afectados y que se pueden usar como donadores de tolerancia a sequía en un programa de mejoramiento genético.

En biomasa total la sequía (régimen hídrico de 25 %) afectó en mayor proporción al genotipo nativo Oaxaca con un 30 % de pérdida, en contraste con la variedad nativa del Estado de México que presentó el menor efecto con 12 %.

En todas las variedades la sequía elevó en 2 a 3 unidades a los sólidos solubles totales contenidos en el fruto. Los cinco genotipos de tomate aquí evaluados fueron más eficientes en el uso del agua cuando crecieron en sequía (régimen hídrico de 25 %) que cuando recibieron mayor cantidad de agua (100 %), y el testigo (híbrido) es el genotipo de mayor eficiencia en el uso de agua con 4.6 g L<sup>-1</sup>, y se requieren, para el caso del híbrido, 27 litros para producir un kilogramo de fruto.

#### **4.8 LITERATURA CITADA**

A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Ed. Washington DC, USA. pp:918-919.

- Aspiazú I., T. Sedyama, J. Ribeiro, A. A. Silva, G. Concenco, L. Galon, E. A. Ferreira, A. F. Silva, E. T. Borges y W. F. Araujo. 2010. Eficiencia fotosintética y de uso del agua por malezas. *Planta Daninha* 28(1): 87-92.
- Borrego F., A. López, J. M. Fernández, M. Murillo, S. A. Rodríguez, A. Reyes y J. M. Martínez. 2001. Evaluación agronómica de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Agronomía Mesoamericana* 12(1): 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 M. M., J. P. Maroco and J. S. Pereira. 2003. Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology* 30:239-264.
- Chaves M. M., J. Flexas and C. Pinheiro. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103:551-560.
- Flores J., W. Ojeda-Bustamante, I. López, A. Rojano e I. Salazar. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana* 25(2):127-134.
- Fernández R.E. y F. Camacho. 2005. Eficiencia en el uso del agua. *Revista Viveros* 86-89.
- Fischer G., P. J. Almanza-Merchán and F. Ramírez. 2012. Source-sink relationships in fruit species: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6(2): 238-253
- Flexas J., J. Bota, F. Loreto, G. Cornic, T. D. Sharkey. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology* 6: 269-279.
- Florido B. M. y F. Bao. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales* 35(3): 70-88.
- García-Martínez S., L. Andreani, M. García-Gusano, F. Geuna, and J. J. Ruiz 2006. Evaluation of amplified fragment length polymorphism and simple sequence repeats for tomato germplasm fingerprinting: utility for grouping closely related traditional cultivars. *Genome* 49(6):648-656.
- González A. 2009. Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. *Agroecología* 4:111-116.

- Grzesiak S., M.T. Grzesiak, T. Hura, I. Marcinska and A. Rzepka. 2013. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. *Environmental and Experimental Botany* 88:2-10.
- Heuvelink, E. 1995. Growth, Development and Yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. *Scientia Horticulturae* 61: 77-99.
- Heuvelink E., M.J. Bakker, A. Elings, R.C. Kaarsemaker and L.F.M. Marcelis. 2005. Effect of leaf area on tomato yield. *Acta Horticulturae* 691:43-50.
- Juárez-López P., B. R. Castro, L.T. Colinas, P. Ramírez Vallejo, M. Sandoval-Villa., D.W. Reed, Z. L. Cisneros, and S. King. 2012. Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(2): 207-216.
- Jonghan K. A. and G. B. Piccinni. 2009. Corn yield responses under crop evapotranspiration-irrigation management based. *Agricultural Water Management* 96 (5): 799-808.
- Link, H. 2000. Significance of flower and fruit thinning on fruit quality. *Plant Growth Regulation* 31: 17-26.
- Maldonado-Peralta R., P. Ramírez-Vallejo †, V.A. González Hernández, F. Castillo-González, M. Sandoval-Villa, M. Livera-Muñoz y N. Cruz-Huerta. 2016. Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates nativos. *Agroproductividad* 12:68-75.
- Maldonado-Peralta R., F. Castillo-González, M. Sandoval-Villa, M. Livera-Muñoz, I. Ramírez Ramírez, N. Cruz-Huerta and V.A. González Hernández. 2017. Plant growth analysis and source-sink relationships in landraces of Mexican tomatoes. *Botanical Sciences*.
- Martínez B. E. 2003. Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agrociencia* 37: 363-370.
- Medrano H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas C. y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84.
- Monge-Pérez J. E. 2014. Caracterización de 14 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 27(4):59-68.

- Morad H. A., M. A. Ebrahimizadeh and S. Beecham. 2009. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. *Agricultural Water Management* 96: 93-99.
- Núñez-Ramírez, F, R. L. Grijalva-Contreras, R. Macías-Duarte, F. Robles-Contreras y C. Ceceña-Duran. 2012. Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Biotecnia* 14(3): 25-31.
- Nuruddin M. M. D., C. A. Madramootoo, and G. T. Dodds. 2003. Effects of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. *Hortscience* 38(7):1389-1393.
- Osorio S., R. Yong-Ling and R.F. Alisdair. 2014. An update on source-to-sink carbon partitioning in tomato. *Frontiers in Plant Science* 5:1-7.
- Peil R. M. y J. L. Galvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileira de Agrociência* 11(1): 05-11.
- Rouphael Y., M. Cardarelli, E. Rea, G. Colla. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. *Scientia Horticulturae* 118:328-337.
- Rick C. M. 1986. Germplasm resources in the wild tomato species. *Acta Horticulturae* 190: 39-47.
- Rosabal-Ayan L., L. Martínez-González, Y. Reyes-Guerrero, J. Dell'Amico-Rodríguez, y M. Núñez-Vázquez. 2014. Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. *Cultivos Tropicales* 35(3): 24-35.
- Santiago, J. M. Mendoza y F. Borrego. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9(1): 59-65.
- Shamsi K. and S. Kobraee. 2011. Bread wheat production under drought stress conditions. *Annals of Biological Research* 2(3):352-358.
- Sibomana I. C., J. N. Aguyoh and A. M. Opiyo. 2013. Water stress affects growth and yield of container grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. *Global Journal of Bio-Science and Biotechnology* 2(4):461-466.
- Stanghellini, C. 2005: Irrigation water: use, efficiency and economics, en *Improvement in water use efficiency in protected crops*, Junta de Andalucía, Sevilla, España. pp. 23-33.

- Steele M., A. Gitelson, and D. Rundquist. 2008. A comparison of two techniques for nondestructive measurement of chlorophyll content in grapevine leaves. *Agronomy Journal* 100 (3): 779-782.
- Steiner A., A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15: 134-154.
- Terzopoulos P. J. and P. J. Bebeli. 2010. Phenotypic diversity in greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Scientia Horticulturae* 126:138-144.
- Vásquez-Ortiz, R., J. C. Carrillo-Rodríguez y P. Ramírez-Vallejo. 2010. Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del centro y sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo* 8(2): 49-64.
- Villaseñor R J. L. y F. Espinosa G. 1998. Catálogo de Malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. 449 p.
- Villegas-Cota J. R., V. A. González-Hernández, J. A. Carrillo-Salazar, M. Livera-Muñoz, F. Sánchez-Castillo y T. Osuna-Enciso. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(4): 333-338.
- Wang W., B. Vinocur and A. Altman. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218:1-14.
- Zanne A. E., D. C. Tank, W. K. Cornwell, J. M. Eastman, S. A. Smith, R. G. FitzJohn, D. J. McGlenn, B. C. O'Meara, A. T. Moles, P. B. Reich, D. L. Royer, D. E. Soltis, P. F. Stevens, M. Westoby, I. J. Wright, L. Aarssen, R. I. Bertin, A. Calaminus, R. Govaerts, F. Hemmings, M. R. Leishman, J. Oleksyn, P. S. Soltis, N. G. Swenson, L. Warman and J. M. Beaulieu. 2014. Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. *Nature* 506: 89-92.
- Zlatev Z. and F. L. Cebola 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 24: 57-72.

## CAPÍTULO 5

### CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE POBLACIONES NATIVAS DE TOMATE EN FUNCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE RIEGO

#### 5.1 RESUMEN

La escasez de agua es una severa limitación ambiental para la productividad de las plantas y el cultivo de tomate, es sensible al estrés hídrico en diferentes fases de desarrollo, el riego se debe realizar de forma óptima. Que permite plantear el siguiente el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de cuatro regímenes de riego, en dos poblaciones nativas de tomate y un híbrido comercial, aplicados durante la fase de crecimiento y rendimiento de la planta cultivados bajo invernadero. Se midieron las variables agronómicas, de biomasa y de calidad de fruto. Los resultados muestran que los genotipos de tomate resultaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) afectadas por los factores variedad (Var), régimen hídrico (RH) y en menor proporción por la interacción Var x RH, en todas las variables que se evaluaron: agronómicas, biomasa y de calidad de fruto. El peso de fruto en la variedad nativa PUE 100 % tuvo los frutos de mayor peso con 122 g. La disminución del agua al 25 % en los genotipos HIB, PUE y CAM fue de 78, 73 y 34 % respectivamente. El rendimiento y el área foliar fue mayor en genotipo HIB 100 % con 3.3 kg/planta y 8.6 m<sup>2</sup>. La conclusión es que el genotipo nativo Campeche es menos afectado por el estrés hídrico en rendimiento, biomasa y peso por fruto además de que no presenta la pudrición apical que es una fisiopatía importante en calidad de la fruta.

**Palabras clave:** Genotipo nativos, peso por fruto, rendimiento, área foliar, biomasa y pudrición apical.



## 5.2 INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza de mayor importancia económica en el mundo. De acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en el 2015 México produjo cerca de 3.1 millones de toneladas de tomate. Según la Organización Mundial del Comercio (OMC, 2015), México es el exportador más importante de tomate en el mundo, con un valor de 1814 millones de dólares. Su principal destino es los Estados Unidos, con 80 % de sus importaciones de este producto (Borja y García, 2014). A pesar de ello, la superficie mexicana dedicada a la producción de tomate ha ido decreciendo gradualmente debido a problemas de plagas, altos costos de producción, fluctuaciones en precios internacionales, cambio de divisa desfavorable y disponibilidad limitada de recursos hídricos (FAO-2012).

Las condiciones climáticas adversas que generan estrés abiótico están entre los principales factores limitantes de la disminución de la productividad agrícola (Grayson, 2013). El déficit hídrico (sequía) afecta a 64% de la superficie terrestre global (Mittler, 2006). La escasez de agua es una severa limitación ambiental para la productividad de las plantas. El cultivo de tomate es también uno de los mayores consumidores de agua, con una demanda de 23 a 30 litros de agua por kilogramo de producto fresco (Santiago *et al.*, 1998; Medrano *et al.*, 2007). Los agricultores no están seguros de cuándo y cuánta agua deben regar, y tienden a decidir el tiempo y la cantidad de riego según la experiencia empírica convencional, pero generalmente abusan de este recurso al aplicar cantidades superiores a las requeridas por la planta, ya sea por desconocimiento o por considerar que con una mayor cantidad de agua se obtienen mayores rendimientos (Ortega-Farías, 2003; Vázquez-Gálvez *et al.*, 2008).

El cultivo de tomate es sensible al estrés hídrico en diferentes fases de desarrollo; desde la germinación hasta el cuajado de los frutos (Florido y Bao, 2014), y también afecta fuertemente el crecimiento de las plantas y la producción (Farooq *et*

*al.*, 2009). Otro problema agrícola en tomate es la pudrición apical (PA), que es un trastorno fisiológico común que ocurre en el fruto del tomate y que puede reducir el rendimiento comercial hasta en 50 % (DeKock *et al.*, 1982; Taylor *et al.*, 2004). La PA se relaciona con muchos factores, como altos niveles de salinidad, de temperatura, de transpiración, de humedad relativa, y el bajo contenido de calcio en planta (DeKock *et al.*, 1982).

La respuesta de la planta al estrés hídrico depende del genotipo, la etapa de desarrollo en el momento del estrés, de la duración, la severidad y de los factores ambientales que lo provoquen (Florido y Bao, 2014). Respecto a la severidad y duración del estrés, las plantas activan mecanismos de defensa a nivel molecular, morfológico, fisiológico y celular, para dar como resultado una mayor resistencia estomática (Witcombe *et al.*, 2008; Peleg *et al.*, 2011). Por lo tanto, el uso eficiente del agua es altamente conveniente para la producción agrícola.

Con base en los antecedentes anteriores, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de cuatro dosis de riego suministrados en dos poblaciones nativas de tomate y un híbrido comercial, y aplicados durante la estación de crecimiento de la planta cultivada bajo invernadero.

### **5.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se realizó en el Campus Montecillo del Colegio de Posgraduados, en el municipio de Texcoco, estado de México, localizado a 19° 29´ N, 98° 52´ O y una altitud de 2250 m. El cultivo se llevó a cabo en un invernadero con cubierta de plástico UV-720 con 85 % de transmitancia de luz solar. El material genético utilizado fueron dos poblaciones nativas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), uno proveniente del estado de Campeche con fruto en forma de calabaza y el otro del estado de Puebla con forma cuadrada (Chinos); ambos materiales fueron colectados por el Dr. Porfirio Ramírez Vallejo<sup>†</sup>. Como testigo se utilizó la variedad

Cid F1 (Harris Moran). Las tres variedades son de hábito de crecimiento indeterminado.

Los tres genotipos se evaluaron en cuatro regímenes de humedad hídrica en sustrato aplicados durante 150 días después del trasplante. Estos regímenes hídricos se basaron en información de Flores *et al.* (2007) quienes reportaron que el consumo de agua del tomate va desde 0.2 L por planta en la etapa inicial de plántula, hasta 1.5 L por planta en la etapa de planta adulta con máxima demanda de agua. Aquí se decidió usar como mínimo 0.3 L para simular la falta de agua (25 %), y como máximo 1.2 L por planta (100%). Los cuatro tratamientos fueron: T1 (25 % = 300 mL d<sup>-1</sup>); T2 (50 % = 600 mL d<sup>-1</sup>); T3 (75 % = 900 mL d<sup>-1</sup>); y T4 (100 % = 1200 mL d<sup>-1</sup>).

Los cuatro regímenes de riego se iniciaron a los 30 días después del trasplante. Para aplicarlos se instalaron dos sistemas de riego por goteo, en uno se aplicó el fertilizante que concentró tres veces la solución Steiner a 100 % (Steiner, 1961). Para evitar los efectos confundidos de los cuatro tratamientos se aplicó la misma cantidad de nutrientes a todas las plantas de los cuatro tratamientos de régimen hídrico (Conductividad eléctrica (CE) de 6.25 dS·m<sup>-1</sup>) y se agregó agua para completar las cantidades de cada régimen hídrico (300, 600 y 900 mL; el tratamiento de menor volumen de agua (300 mL) no tuvo suministro de agua adicional).

Para la comparación de los 12 tratamientos resultantes (cuatro regímenes hídricos x 3 variedades de tomate) se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, con cuatro repeticiones (una planta por repetición). La siembra de las semillas se realizó el 3 de marzo de 2015, en charolas germinadoras de poliestireno de 200 cavidades de 9 mL, en las que se utilizó turba como sustrato. A los 30 días se hizo el trasplante de las plántulas en bolsas negras de polietileno de 40 x 40, las cuales contenían 13 L de tezontle rojo de grano fino como sustrato. Los brotes laterales se podaron cuando tenían una longitud de 3 cm, para que las

plantas crecieran a un solo tallo, y posteriormente se tutoraron individualmente con rafia.

Las variables agronómicas evaluadas durante el ciclo de cultivo fueron: 1) Altura de planta (m), medida con flexómetro desde la base hasta el ápice de la planta. 2) Número de hojas presentes en la planta. 3) lectura SPAD (índice de verdor), medida cada 7 días en la hoja superior recientemente madura con un medidor portátil SPAD-502 (Konica Minolta, Japan). 4) área foliar (m<sup>2</sup>) por planta; que se determinó en todas las hojas frescas de cada planta muestreada, con un medidor de área foliar LI3100 (Licor, Inc. Lincoln, NE, USA). 5) número de frutos por planta, contados en cada muestreo. 6) peso por fruto (g), que se calculó con el cociente del peso total de frutos entre el número total de frutos. 7) rendimiento de fruto (kg/planta), en los frutos recolectados por corte cuyas pesadas se sumaron para obtener el total.

Las variables de calidad del fruto que se describen a continuación se midieron en cuatro frutos muestreados aleatoriamente de cada tratamiento. Las variables fueron: 1) grosor de pericarpio (mm), medido en los frutos cortados ecuatorialmente. 2) número de lóculos, contados en los frutos cortados a la mitad. 3) sólidos solubles totales (%), en tres gotas de jugo de fruto que se colocaron sobre la celda de un refractómetro digital ATAGO PR-100<sup>®</sup> (Japón) (A.O.A.C., 1990); 4) número de frutos con pudrición apical, contados por planta y por muestreo en frutos con pudrición apical.

Para las variables de biomasa se hicieron muestreos destructivos al azar cada 25 días (0, 25, 50, 75, 100, 125 y 150 días después del trasplante), y en cada muestreo se tomaron dos plantas por unidad experimental, las cuales fueron disecadas en el laboratorio para separar cada uno de los órganos y para cuantificar materia seca de tallo, hojas, frutos, raíces y total, después de secar en una estufa con circulación de aire forzado(Riossa®, México) a 70 °C por 72 horas hasta peso constante.

### 5.3.1 Análisis estadístico

Las variables agronómicas, calidad del fruto y biomasa fueron evaluadas con un análisis de varianza mediante el diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de cuatro regímenes y una prueba de medias usando el método de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Todos los análisis se efectuaron mediante el programa estadístico SAS (versión 9.0). En adición, las variables de biomasa total se graficaron con sus parámetros estadísticos básicos (medias y desviación estándar), y las gráficas y cuadros se elaboraron con el programa Microsoft Excel 2010®.

## 5.4 RESULTADOS

Los resultados muestran que los genotipos de tomate resultaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) afectados por los factores variedad (Var), régimen hídrico (RH) y por la interacción Var x RH, en todas las variables que se evaluaron: agronómicas, biomasa y de calidad de fruto (Cuadros 5.1, 5.2 y 5.3). Sin embargo, la proporción del efecto genético o del efecto ambiental difirieron entre variables,

Entre las variables agronómicas (Cuadro 5.1), solamente en lecturas SPAD y el número de frutos por planta variaron principalmente por efecto de la Var, con proporciones 91 y 74 % con respecto a la variación total debida a tratamientos. En cambio, el RH causó el mayor efecto en las variables agronómicas AP (69 %), NH (62 %), AF (78 %), PPF (60 %) y rendimiento (87 %). Por su parte, en estas variables la interacción Var x RH tuvo efectos significativos pero de baja magnitud relativa, con proporciones de 1 a 10 % en la mayoría, y solo en PPF llegó hasta 16 %.

**Cuadro 5.1.** Sumas de cuadrados (SC) de las variables agronómicas medidas en plantas de tomates cultivadas en invernadero con cuatro regímenes de humedad. Entre paréntesis se anota la proporción de las SC de cada factor (Var, RH y Var x RH) respecto a la SC de tratamientos.

		AP (m)	NH	Lecturas SPAD	AF (m <sup>2</sup> )	NF	PPF (g)	Rendimiento (kg/planta)
FV	GL	Suma de cuadrados						
Trats	11	6.1**	737**	2711**	254**	5957**	58736**	45.1**
Var	2	1.3**(21)	218**(30)	2457**(91)	37**(15)	4362**(74)	13778**(24)	1.7**(4)
RH	3	4.2**(69)	458**(62)	228**(8)	198**(78)	1103**(18)	35493**(60)	39.1**(87)
Var x RH	6	0.6**(10)	61**(8)	26**(1)	19**(7)	492**(8)	9465**(16)	4.3**(9)
Error	36	0.008	13	70	0.001	71	490	0.2
Total	47	6.1	750	2781	254	6028	59226	45

\*\* : Significancia estadística con  $P \leq 0.01$ ; AP: Altura de planta (m), NH: Número de hojas, AF: área foliar (m<sup>2</sup>), NF: Número de frutos por planta, PPF: Peso por fruto (g), FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad, Trats: tratamientos, Var: variedad, RH: régimen hídrico, Var x RH: variedad x régimen hídrico.

**Cuadro 5.2.** Sumas de cuadrados (SC) de las variables de acumulación de biomasa en cada órgano de la planta de tomate cultivada en invernadero con cuatro regímenes de humedad. Entre paréntesis se anota la proporción de la SC de cada factor (Var, RH y Var x RH) respecto a la SC de tratamientos.

		Tallo (g)	Hoja (g)	Fruto (g)	Raíz (g)	Total (g/planta)
FV	GL	Suma de cuadrados				
Trats	11	11693**	17513**	183576**	518**	279544**
Var	2	6865**(59)	7067**(41)	10342**(6)	451**(87)	15405**(5)
RH	3	3219**(28)	6701**(38)	164080**(89)	27**(5)	245450**(88)
Var x RH	6	1609**(13)	3745**(21)	9154**(5)	40**(8)	18689**(7)
Error	36	43	118	2545	7.7	2522
Total	47	11736	17632	186122	526	282066

\*\* : Significancia estadística con  $P \leq 0.01$ ; FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; Trats: tratamientos, Var: variedad, RH: régimen hídrico, Var x RH: variedad x régimen hídrico.

En cuanto a las variables de biomasa (Cuadro 5.2), la biomasa de tallo (59 %), de las hojas (41 %) y de raíces (87 %) fueron principalmente afectadas por la

variedad. En cambio, el efecto del régimen hídrico fue el factor de variación más importante en el peso del fruto (89 %) y en la biomasa total (88 %), lo cual evidencia que la biomasa total depende en alto grado de la biomasa asignada a frutos. En estas variables la interacción Var x RH también mostró porcentajes bajos de efecto, con valores de 5 a 13 %, excepto en el peso seco de hoja donde su efecto subió a 21 %.

Las variables de calidad de fruto (Cuadro 5.3) que resultaron primariamente afectadas por la VAR son: grosor de pericarpio (66 %), cantidad de frutos con deficiencia de calcio (71 %) y número de lóculos (97 %), lo que muestra que estas características dependen principalmente del genotipo. En cambio, la variable sólidos solubles totales fue la única que resultó con el mayor daño causado por el RH (59 %). En este grupo de variables la interacción Var x RH también fue significativa en todas las variables, pero en magnitudes bajas que oscilaron entre 1 y 17 %.

Cuadro 5.3. Sumas de cuadrados (SC) de las variables de calidad de fruto de plantas de tomates cultivadas en invernadero con cuatro regímenes. Entre paréntesis se anota la proporción de las SC de cada factor (Var, RH y Var x RH) respecto a la SC de tratamientos.

Fuente de variación	Grados de libertad	Grosor de pericarpio (mm)	Número de lóculos	Sólidos solubles totales (%)	Frutos con pudrición apical
		Suma de cuadrados			
Trats	11	241.3**	1007.7**	109.2**	2267**
Var	2	160.6**(66)	978.5**(97)	25.7**(24)	1607(71)**
RH	3	78.6**(33)	9.7(1)*	64.4**(59)	420(18)**
Var x RH	6	2.1*(1)	19.5(2)**	19.1(17)**	240(11)**
Error	36	4.1	19.5	3.6	52
Total	47	245.4	1027.2	112.8	2319

\*\*\*: Significancia estadística con  $P \leq 0.05$  y  $0.01$ ; RH: régimen hídrico, Trats: tratamientos, Var: variedad, Var x RH: variedad x régimen hídrico.

#### 5.4.1 Comparación de medias

La altura de planta decreció conforme se redujo la disponibilidad del agua para las plantas, de modo que las plantas más bajas fueron las que recibieron el menor volumen de riego. El HIB (testigo) y PUE 100 % tuvieron las plantas más altas, y en riego completo el genotipo nativo CAM 100 % resultó con el menor porte. En las plantas que recibieron el tratamiento 25 % de agua, los tres genotipos evaluados presentaron una altura similar. El número de hojas al final del cultivo es diferente entre tratamientos; los genotipos nativos tienen el mayor número de hojas con 37 vs. 34 hojas en el HIB, y la reducción del agua disminuyó la cantidad a 25 hojas en el híbrido testigo. El área foliar del HIB 100 % ( $8.6 \text{ m}^2$ ) es el doble que la del genotipo CAM 100 % ( $3.7 \text{ m}^2$ ); en los tres genotipos la reducción del agua generó una disminución del área foliar, de modo que los tratamientos HIB, PUE y CAM a 25 % del riego, sus AF se redujeron en 4, 6 y 4.8 veces en comparación con sus testigos a 100 %.

Las lecturas SPAD indicadores del verdor de las hojas, fueron mayores en el HIB y PUE que en el genotipo nativo CAM, y esto se debe a que las hojas de CAM son de color verde claro. Con el tratamiento de RH al 25 % los genotipos HIB y PUE presentaron los menores valores de SPAD con 6.5 y 4 respectivamente, en comparación con tratamiento 100 %. En cuanto al número de frutos por planta la mayor cantidad la presentó el genotipo CAM en contraste con PUE que tuvo el menor. La disminución del riego al 25 % causó una reducción 6 frutos en HIB, de 9 en PUE y de 18 en CAM, en el número de frutos por planta. La variedad nativa PUE 100 % tuvo los frutos de mayor peso y la CAM 100 % los de menor peso; en el tratamiento 25 % de agua el peso por fruto disminuyó en 84, 89 y 18 g en HIB, PUE y CAM respectivamente, en comparación al RH 100 % (Figura 1c).



**Cuadro 5.4.** Comparación de medias de variables de calidad de planta en tomates cultivados en invernadero con cuatro regímenes hídricos (25, 50, 75 y 100 % de 1.2 L d<sup>-1</sup> por planta).

Tratamiento	Altura de		Área foliar (m <sup>2</sup> /planta)	Lecturas SPAD	Número de		
	planta (m)	Número de hojas			frutos por planta	Peso por fruto (g)	Rend. (kg/planta)
HIB 25	1.3 h	25.5 g	2.1 g	49.5 c	25.3 e	22.4 g	0.6 h
HIB 50	1.8 d	28.8 f	3.9 e	53.3 ab	34.8 b	45.5 d	1.5 f
HIB 75	2.3 a	34.5cd	6.2 b	55.2 a	33.0 bc	95.8 b	3.1 b
HIB 100	2.3 a	34.3 d	8.6 a	56.0 a	31.5 cd	106.1 b	3.3 a
PUE 25	1.4 g	28.3 f	1.4 h	51.4 bc	13.3 g	32.8 fg	0.4 h
PUE 50	1.8 d	36.0 b	3.6 f	53.4 ab	16.3 g	72.7 c	1.2 g
PUE 75	2.0 c	35.5 bcd	5.8 c	55.5 a	21.5 f	124.3 a	2.7 cd
PUE 100	2.2 b	37.8 a	8.5 a	55.4 a	22.3 ef	122.2 a	2.7 c
CAM 25	1.2 i	32.3 e	0.9 i	34.4 e	29.3 d	34.5 ef	1.0 g
CAM 50	1.4 f	35.8 bc	2.0 g	38.6 d	46.0 a	44.4 de	2.0 e
CAM 75	1.6 e	37.5 a	3.7 f	40.2 d	46.5 a	47.9 d	2.2 e
CAM 100	1.7 d	37.7 a	4.4 d	41.4 d	47.5 a	52.4 d	2.5 d

HIB (Híbrido); PUE (Puebla) y CAM (Campeche). Rend.: rendimiento. Medias con distintas letras indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

El tratamiento HIB 100 % generó el mayor rendimiento vs. el CAM 100 % que dio el menor rendimiento. La disminución del agua a 25 % generó reducción del rendimiento en los tres genotipos HIB, PUE y CAM pero en magnitudes diferentes (2.7, 2.3 y 1.5 kg/planta) con respecto al tratamiento 100 %, de modo que el genotipo nativo CAM destacó por haber sido el menos afectado relativamente en rendimiento por el estrés hídrico y así produjo la mayor cantidad de fruto en la condición de sequía severa (RH 25 %).

La cantidad de lóculos en el fruto fue mayor en el genotipo CAM (13) por su forma de calabaza, en comparación con los demás genotipos HIB y PUE que tuvieron 2 a 3 lóculos; en esta característica el efecto de la sequía no influyó (Figura 1a). El grosor de pericarpio es mayor en los genotipos HIB y PUE 100 % comparada con el genotipo CAM 100 % en la fue casi de la mitad (46 % menor); la reducción del

riego a 25 % disminuyó el grosor de pericarpio en los tres genotipos HIB, PUE y CAM en 3.4, 4 y 2.3 mm respectivamente, donde el genotipo de tomate menos afectado fue CAM.

**Cuadro 5.5.** Comparación de medias de variables de calidad de los frutos de plantas de tomate cultivado en invernadero con cuatro regímenes hídricos (25, 50, 75 y 100 % de 1.2 L d<sup>-1</sup> por planta)

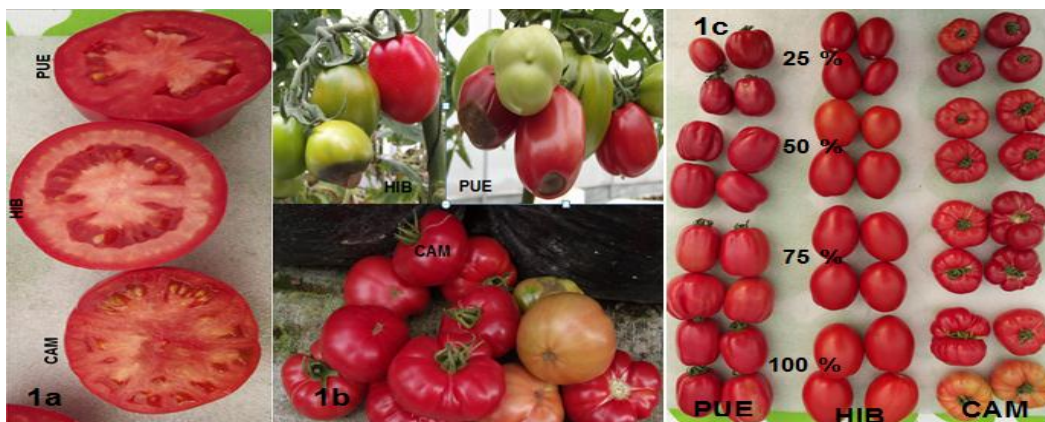
Tratamiento	Número de lóculos	Grosor de pericarpio (mm)	Sólidos solubles totales (%)	Frutos con pudrición apical
HIB 25	2.2 d	6.2 d	10.2 a	14.0 bc
HIB 50	2.5 d	7.8 c	7.3 c	13.0 cd
HIB 75	2.7 d	8.8 ab	6.0 defg	5.0 f
HIB 100	2.0 d	9.6 a	5.4 fg	4.8 f
PUE 25	3.0 d	5.4 de	9.3 b	20.3 a
PUE 50	3.0 d	7.9 c	7.3 c	16.5 b
PUE 75	2.8 d	8.2 bc	6.5 cd	11.0 d
PUE 100	3.3 c	9.4 a	6.0 def	8.0 e
CAM 25	12.2 a	2.3 g	6.2 de	0 g
CAM 50	12.0 bc	3.8 f	5.8 defg	0 g
CAM 75	13.2 a	5.0 e	5.6 efg	0 g
CAM 100	13.2 a	5.2 e	5.2 g	0 g

HIB (Híbrido); PUE (Puebla) y CAM (Campeche). Medias con distintas letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

En riego completo (100 %) el contenido de sólidos solubles totales en el fruto varió de 5 a 6 entre genotipos. La reducción de agua a 25 % en los tres genotipos incrementó los sólidos solubles totales en 4.8, 3.3 y 16 % para HIB, PUE y CAM, respectivamente.

Es de hacer notar que en la cantidad de frutos con pudrición apical destaca el genotipo nativo CAM por no presentar ningún fruto con este desorden fisiológico, en contraste con los genotipos PUE y el HIB testigo que presentaron frutos con

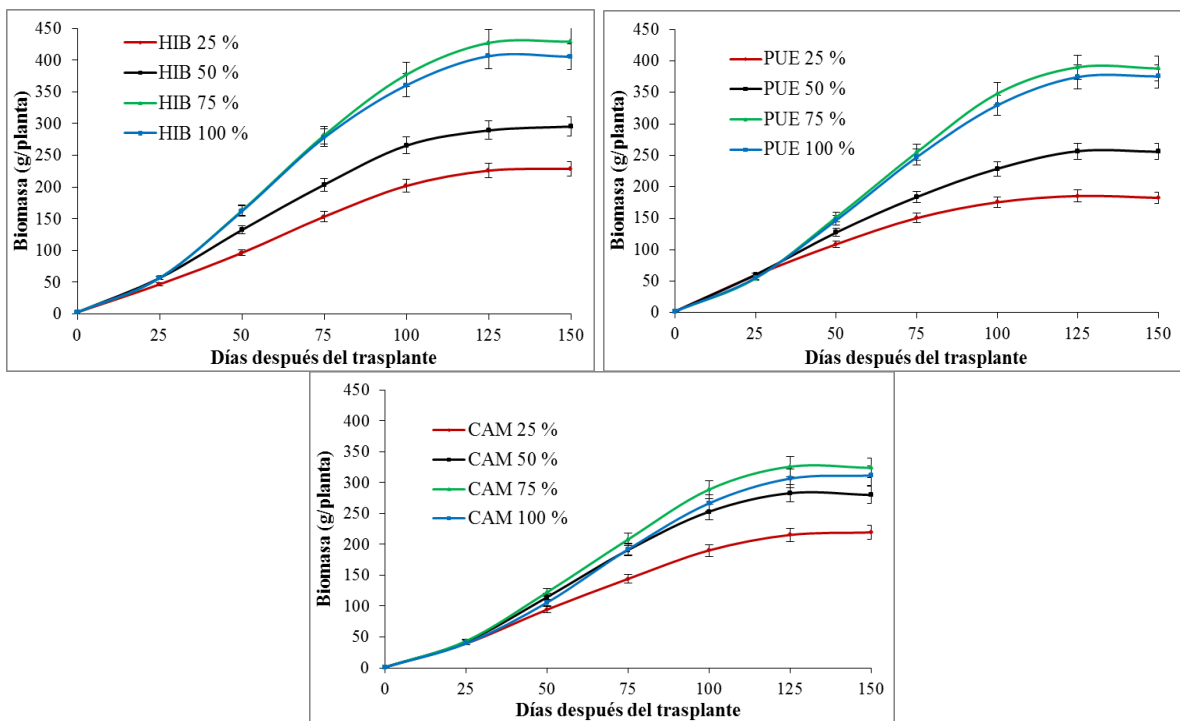
este fisiopatía tanto en riego a 100% como en todos los niveles de reducción del agua (Figura 1b).



**Figura 5.1 a** (Número de lóculos ), **1b** (frutos con pudrición apical ) y **1c** (efecto del régimen hidrico en frutos) en los tres genotipos.

#### 5.4.2 La cinética de acumulación de biomasa

Las curvas de crecimiento vegetal son un reflejo del comportamiento de una planta en un ecosistema particular con respecto al tiempo y al manejo de los factores de producción como los regímenes de agua. Es notorio que al final del estudio (150 días después del trasplante) todos los genotipos evaluados no presentaron diferencias en acumulación de biomasa entre los tratamientos 100 y 75 %, y que todos los genotipos disminuyeron considerablemente la acumulación de biomasa cuando la dosis de riego se abatió a 50 y 25 %. De hecho, el tratamiento RH 75 % tendió a dar mayor acumulación de biomasa total, que entre genotipos fluctuó desde 322 en CAM a 429 g/planta en el HIB. En el tratamiento 25 % cantidad de biomasa total se redujo a 219 y 228 g/planta en CAM e HIB; cabe resaltar que en la variedad nativa CAM la reducción de biomasa total fue menor entre los niveles de riego, por lo que esta población muestra la mayor tolerancia a la sequía (Figura 5.2).



**Figura 5.2.** Cinética de la acumulación de biomasa total por planta en tres genotipos de tomate cultivadas en invernadero con cuatro regímenes de agua. Modelo polinomial de mejor ajuste para cada genotipo: Híbrido (HIB 25 %)  $y = -0.0001x^3 + 0.0168x^2 + 1.3263x + 3.1388$  ( $R^2 = 0.9997$ ); (HIB 50 %)  $y = -0.0001x^3 + 0.0193x^2 + 1.9642x + 1.1925$  ( $R^2 = 0.999$ ); (HIB 75 %)  $y = -0.0003x^3 + 0.0521x^2 + 1.3547x + 0.2648$  ( $R^2 = 0.9993$ ); (HIB 100 %)  $y = -0.0003x^3 + 0.0469x^2 + 1.4772x + 0.4574$  ( $R^2 = 0.9994$ ); Puebla (PUE 25 %)  $y = -2E-05x^3 - 0.0052x^2 + 2.4684x + 1.8494$  ( $R^2 = 0.9998$ ); (PUE 50 %)  $y = -8E-05x^3 + 0.0078x^2 + 2.2841x + 1.6358$  ( $R^2 = 0.9999$ ); (PUE 75 %)  $y = -0.0003x^3 + 0.0477x^2 + 1.2625x + 0.6782$  ( $R^2 = 0.9995$ ); (PUE 100 %)  $y = -0.0002x^3 + 0.0413x^2 + 1.4296x + 0.7262$  ( $R^2 = 0.9997$ ); Campeche (CAM 25 %)  $y = -1E-04x^3 + 0.0152x^2 + 1.3216x + 0.4991$  ( $R^2 = 0.9997$ ); (CAM 50 %)  $y = -0.0002x^3 + 0.0312x^2 + 1.1729x - 0.2653$  ( $R^2 = 0.9995$ ); (CAM 75 %)  $y = -0.0002x^3 + 0.042x^2 + 0.8848x + 0.4069$  ( $R^2 = 0.9996$ ); (CAM 100 %)  $y = -0.0002x^3 + 0.0408x^2 + 0.6311x + 0.9758$  ( $R^2 = 0.9996$ ).

## 5.5 DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en este estudio indican que las características de los genotipos evaluados presentan diferencias significativas (Cuadros 5.1, 5.2 y 5.3). La disminución del agua afecta a las funciones fisiológicas de la planta y por ende se afecta toda la planta. Las siguientes variables: lectura SPAD, número de frutos, biomasa de tallo, hojas y raíz, grosor de pericarpio, número de lóculos y cantidad

de frutos con pudrición apical (deficiencia de calcio), muestran los mayores porcentajes de efecto de la variedad que las demás variables, lo cual indica que dependen del genotipo. En cambio, el régimen hídrico tiene el mayor efecto sobre las variables: peso por fruto (60 %), rendimiento (87 %), biomasa de fruto y biomasa total (89 y 88 %) y los sólidos solubles totales (59 %). A nivel fisiológico uno de los mecanismos fundamentales de tolerancia al estrés por déficit hídrico es el cierre de estomas, ya que éstos son los responsables de la mayor pérdida de agua en las plantas (Taiz, y Zeiger 2006; Al-Omran *et al.*, 2010). Las plantas expuestas a déficit hídrico presentan alteraciones en procesos fisiológicos y metabólicos, como reducción en las tasas de fotosíntesis, disminución de la síntesis de proteínas totales y en las tasas de crecimiento (Chaves *et al.*, 2009; Florido y Bao, 2014).

La variedad comercial HIB tiene una altura de 2.3 m, alcanzada en 150 días después trasplante (Cuadro 5.4). Este dato es similar al reportado por Núñez *et al.* (2012), donde la máxima altura de 2.8 m se obtuvo en 180 días después trasplante en tomate tipo bola variedad Beatrice. El genotipo CAM 100 % tuvo una altura de 1.7 m, semejante a lo reportado por Carrillo-Rodríguez y Chávez-Servia (2010) quienes trabajaron con poblaciones nativas de tomate evaluadas en invernadero, con una altura de planta de 1.3 a 1.8 m. En invernadero es deseable tener plantas de porte mediano para reducir la mano de obra en el manejo del cultivo (Juárez-López *et al.*, 2012).

Los genotipos nativos CAM y PUE 100 % presentaron el mayor número de hojas con 37 hojas por planta producidas hasta los 150 días después del trasplante (Cuadro 5.4). Las hojas maduras son importantes ya que asimilan hasta 80% del carbono fijado (Lemoine *et al.*, 2013). En tomate tipo bola variedad Beatrice se reportaron 53 hojas maduras a los 180 días después del trasplante (Núñez *et al.*, 2012), lo que coincide con lo encontrado en este trabajo. Con el tratamiento a 25 % del riego el número de hojas del testigo HIB se redujo en 8.8, lo cual se debe al estrés por falta de agua y a que la planta reduce la transpiración, por la cual

acumula solutos y reduce el tamaño de sus células, para así disminuir el potencial hídrico y de esta manera abrir parcialmente sus estomas y continuar con sus funciones vitales (Osakabe *et al.*, 2016).

El área foliar fluctuó en un rango desde 4.4 a 8.6 m<sup>2</sup>, en plantas CAM y HIB crecidas con riego 100 %; en las plantas de las mismas variedades crecidas con estrés (25 %) el área foliar disminuyó a 0.9 a 2.1 m<sup>2</sup> (Cuadro 5.4). Tal pérdida de área foliar es importante porque la hoja es un órgano fundamental para la fotosíntesis, donde la energía de la luz es capturada por la clorofila y utilizada para sintetizar los compuestos de carbono y agua (Fischer *et al.*, 2012; Heuvelink *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2014). Según Florido y Bao (2014), la limitación de la expansión foliar es uno de los procesos más afectados en estas condiciones de falta de agua.

El efecto de la sequía en el cultivo de tomate también se midió en unidades SPAD (intensidad del color verde de las hojas) de los tres genotipos (Cuadro 5.4) crecidos en los distintos tratamientos de riego, donde el HIB 100 mostró el mayor contenido (56 unidades SPAD) y el genotipo CAM 100 % el valor menor (41 unidades SPAD). El efecto del estrés hídrico en el tratamiento a 25 % del riego, causó reducción en la intensidad del color verde de las hojas de la variedad comercial HIB y de la población nativa CAM (49.5 y 34.4 SPAD). Según Carter y Spiering (2002), los cambios en clorofila foliar pueden servir como indicadores relativos del vigor de la planta y de la calidad ambiental.

El número de frutos por planta varió entre los genotipos nativos de 22 en PUE 100 % a 47 en CAM 100 % (Cuadro 5.4); y la reducción de agua a 25 % disminuyó notoriamente el número de frutos en HIB, PUE y CAM a 6, 9 y 18 frutos, respectivamente. Esto demuestra que la sequía afecta en diferente proporción a los genotipos de tomate. De manera similar, Pervez *et al.* (2009) reportaron que por la sequía se redujo significativamente el número de frutos, la altura y el número de hojas por planta.

El peso por fruto osciló desde 52 a 122 g en los genotipos nativos CAM y PUE con riego (100 %), y el estrés hídrico (25 %) el peso de los mismos genotipos disminuyó a 34 y 32 g (Cuadro 5.4). Esto muestra que el genotipo CAM es más tolerante a la sequía en términos de tamaño del fruto. El suministro de fotoasimilados y agua son importantes para el crecimiento y desarrollo del fruto, y también determinan su calidad (Guichard *et al.*, 2005). Según Kinet y Peet (1997), el tamaño final del fruto está estrechamente relacionado con las condiciones ambientales dominantes durante la fase de crecimiento del fruto. Los resultados obtenidos en el genotipo nativo CAM coinciden con lo que reportaron Vásquez-Ortiz *et al.* (2010) quienes determinaron un promedio de 89.7 g en genotipo nativos, aunque las poblaciones nativas PUE y HIB produjeron frutos más pesados. Estos resultados también coinciden con lo reportado por Mahadeen *et al.* (2011), en el sentido de que el tratamiento de riego a 100 % generó los frutos de mayor peso en todas las variedades.

El mayor rendimiento de fruto fue producido por la variedad comercial HIB crecida con riego completo (100 %) con 3.3 kg/planta, en contraste con las plantas CAM en riego a 100 % que produjeron 2.5 kg/planta lo que representa una disminución de 800 g por planta (Cuadro 5.4). En cambio, en el tratamiento de riego a 25 % el cultivar CAM fue mayor en rendimiento con 1000 g por planta, que es superior a los 600 g por planta producidos por el HIB. Según Nuruddin (2001), el déficit hídrico afecta negativamente tanto al rendimiento como a la del fruto, debido a deficiencias de agua y nutrientes.

Es común la creencia de que las poblaciones nativas no superan a las variedades comerciales modernas liberadas, aunque desde hace años Rick (1988) apuntó que los tomates silvestres poseen una gran diversidad genética que reduce la deriva genética. Por su parte, Maldonado-Peralta *et al.* (2016) reportaron un rendimiento de 0.390 kg/planta en genotipos nativos crecido en condiciones de campo, sin protección. Con los resultados obtenidos en condiciones protegidas de invernadero se encontró que los rendimientos de fruto son mayores que en campo, y solo

coinciden en cantidad con el rendimiento del genotipo nativo PUE crecido con riego a 25 %, con 0.4 kg/planta. En este contexto, Osakabe *et al.* (2016) mencionaron que el estrés hídrico prolongado disminuye el potencial hídrico de las hojas y la apertura estomática, reduce el tamaño de las hojas, limita el crecimiento y la productividad de la planta. Según Obreza *et al.* (1996), las pérdidas económicas de 15 y 30 % causadas por las reducciones de riego reducirán los ingresos brutos en 15 y 22 % .

En calidad de frutos de tomate se descubrieron los siguientes resultados: el número de lóculos (Cuadro 5.5) varió de 2.8 a 13.2, superior al rango reportado por Carrillo-Rodríguez y Chávez-Servia (2010), quienes en genotipos nativos de tomate encontraron que el número de lóculos varió de 2.0 a 4.4. Por su parte, Vásquez-Ortiz *et al.* (2010) reportaron de 2 a 6 lóculos en frutos de tomate. Juárez-López *et al.* (2012) encontraron resultados semejantes con 5.6 lóculos en promedio de los genotipos nativos. En este trabajo el mayor número de lóculos por fruto se registró en el genotipo nativo CAM con 13.

El grosor de pericarpio de los frutos es mayor en el HIB y PUE crecidos con riego al 100 % (Cuadro 5.5), y con estos resultados se descubrió que los genotipos con mayor grosor de pericarpio fueron más afectados por la reducción del agua a 25 % del riego completo con valores de 3.4, 4.0 y 2.3 mm en los genotipos HIB, PUE y CAM respectivamente. Según la clasificación que usó Monge-Pérez (2014), dos genotipos aquí evaluados resultaron con pericarpio grueso (PUE y HIB) y uno con delgado (CAM).

La cantidad de sólidos solubles totales es una variable de calidad del fruto que los presentes resultados muestran que puede variar con el estrés hídrico y durante el desarrollo del fruto (Cuadro 5.5). Cuando hay disminución del agua de riego se reduce también el flujo de agua hacia el fruto, lo que ocasiona un estrés por sales (osmótico) que inducen una acumulación activa de solutos. Según Sakamoto *et al.* (1999), los frutos de tomate bajo estrés acumulan principalmente iones y moléculas



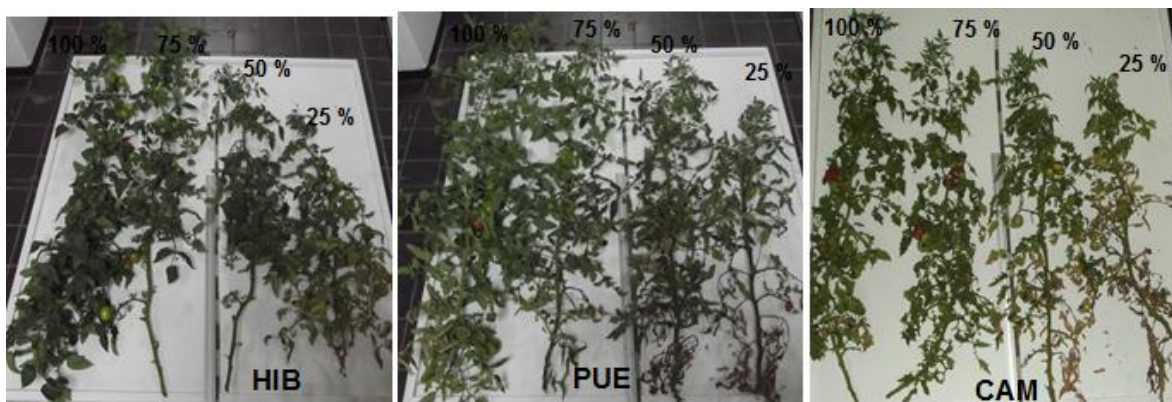
orgánicas (fructosa y glucosa). Los resultados de sólidos solubles totales en riego 100 % coincide con los resultados de Baldwin *et al.* (1998), quienes indicaron que los tomates deben tener entre 4 y 6 % de sólidos solubles.

La deficiencia de calcio o podredumbre apical del tomate solo la presentaron los genotipos HIB y PUE en todos los tratamientos, y fue en el tratamiento RH 25 % donde ocurrió el mayor número de frutos con ese desorden fisiológico (Cuadro 5.4). Su aparición se atribuye a alteraciones en absorción y transporte de calcio de las raíces a los frutos, concretamente en su parte distal, y los factores que los aceleran son temperatura alta, la irradiación alta y humedad relativa baja (Ho *et al.*, 1993; Cardona *et al.*, 2005). El desorden comienza en el fruto inmaduro, durante la etapa de rápido crecimiento; del total de calcio que es absorbido por la planta, apenas 3 % se va a los frutos, a pesar de que el crecimiento de los frutos representa 90 % del crecimiento del cultivo (Ho *et al.*, 1993). El genotipo nativo CAM no presenta este fisiopatía, lo que es una clara evidencia de tolerancia o inmunidad. Según Ho *et al.* (1993), los frutos menos susceptibles al podredumbre apical en los genotipos de tomate son los que poseen una red de xilema más fuerte.

La cinética de acumulación de biomasa total (Figura 5.2) durante el ciclo de crecimiento de los tres genotipos, correspondió a una curva sigmoide típica de crecimiento de los vegetales (Sedano-Castro *et al.*, 2005; Taiz y Zeiger, 2006). Los tratamientos 75 y 100 % resultaron sin diferencias entre sí, y ambos claramente superiores a los tratamientos RH 50 % y RH 25 % (Figura 5.3). El tratamiento más afectado fue el que recibió el menor contenido de agua (RH 25 %), lo cual se puede explicar porque los frutos de tomate contienen 95 % agua (Cardona *et al.*, 2005). Además, las plantas de tomate presentaron crecimiento vegetativo solamente en la primera fase desarrollo inicial que fue muy corta, ya que inmediatamente los frutos iniciaron su desarrollo.

En este contexto Heuvelink (1995) y Link (2000) mencionaron que 70 % de la materia seca total se destina los frutos; sin embargo, si la oferta de fotoasimilados

es limitada las partes más afectadas son los frutos. La producción de fotoasimilados es a menudo influenciada por genotipo y por factores ambientales como luz, temperatura, CO<sub>2</sub>, agua, elementos minerales, así como por la etapa de la hoja y la posición (Casierra y Constanza, 2009; Wang *et al.*, 2014). La producción de biomasa en cualquier cultivo está fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible Medrano *et al.* (2007).



**Figura 5.3.** Efecto de los cuatro regimenes de agua en los tres genotipos de tomate.

## 5.6 CONCLUSIONES

Los resultados mostraron evidencias de diferencias genotípicas en variables agronómicas, calidad del fruto y biomasa, lo que demuestra que los genotipos tienen diferentes respuestas al estrés hídrico.

El mayor rendimiento lo produjo el genotipo comercial híbrido con 3.3 kg/planta, mientras que las plantas Campeche solo produjeron 2.5 kg/planta, ambas con el régimen hídrico de 100 %. En cambio, en el régimen hídrico al 25 % el cultivar nativo Campeche superó significativamente al híbrido, con una diferencia a favor de 400 g por planta.

El genotipo nativo Campeche fue el menos afectado por el estrés hídrico en rendimiento, biomasa y peso de fruto; además de que no presenta pudrición apical de los frutos (deficiencia de calcio) que es una fisiopatía importante, lo que lo hace

a este tomate nativo mexicano una importante fuente de tolerancia la sequía y a pudrición apical del fruto (deficiencia de calcio).

## 5.7 LITERATURA CITADA

- Al-Omran, A. M., A. R. AL-Harbi, M. A. Wahb-Allah, M. Nadeem and A. AL-Eter. 2010. Impact of irrigation water quality, irrigation systems, irrigation rates and soil amendments on tomato production in sandy calcareous soil. *Turk Journal Agriculture* 34: 59-73.
- Baldwin, E. A.; Scott, J. W.; Malundo, T. M. M.; Shewfelt, R. L. and Tandom, K. S. 1998. Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123(5):900-915.
- Borja, B. M. y J. A. S. García. 2014. Los efectos del tipo de cambio en el mercado de tomate en la zona del TLCAN, 2005-2008. *Región y Sociedad* 26(59):11-42.
- Cardona, C, H. Arjona, y H. Araméndiz-Tatis. 2005. Influencia de la fertilización foliar con Ca sobre la pudrición apical en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agronomía Colombiana* 23(2): 223-229.
- Carrillo-Rodríguez, J. C. y J. Chávez-Servia, 2010. Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 1-6.
- Carter, G. A. and B. A. Spiering. 2002. Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *Journal of Environmental Quality* 31(5): 1424-1432.
- Casierra, P. F. y M. Constanza C. 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 62(1):4815-4822.
- Chaves, M. M.; Flexas, J. and C. Pinheiro. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103(4): 551-60.
- DeKock, P. C., R. H. E. Inkson and A. Hall. 1982. Blossom-end rot of tomato as influenced by truss size. *Journal of Plant Nutrition* 5: 57-62.
- Diez, M. and Nuez, F. 2008. Tomato. *In: Vegetables II*. Prohens-Tomás, J.; Nuez, F. (eds.). Springer. Nueva York, USA. pp. 1-75.

- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture* 29: 153-188
- FAO, 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Tomate. p 196-213 Disponible en línea: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>. (Consulta Marzo 20, 2017).
- Florido, B. C. M., L. Bao F. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales* 35(3): 70-88.
- Flores J., W. Ojeda-Bustamante, I. López, A. Rojano e I. Salazar. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana* 25(2):127-134.
- Fischer, G., P. J. Almanza M. and F. Ramírez. 2012. Source-sink relationships in fruit species: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6 (2): 238-253.
- Guichard, S., C. Gary, C. Leonardi and N. Bertin. 2005. Analysis of Growth and water relations of tomato fruits in relation to air vapor pressure deficit and plant fruit load. *Journal of Plant Growth Regulation* 24:1-13.
- Grayson, M. 2013. Agriculture and drought. *Nature* 501:51.
- Heuvelink, E., M. J. Bakker, A. Elings, R. Kaarsemaker and L. F. M Marcelis. 2005. Effect of leaf area on tomato yield. *Acta Horticulturae* 691:43-50.
- Heuvelink, E. 1995. Growth, Development and Yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. *Scientia Horticulturae* 61: 77-99.
- Ho, L., R. Belda, M. Brown, J. Andrews and P. Adams. 1993. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. *Journal of Experimental Botany* 44(2): 509-518.
- Juárez-López, P., R. Castro-Brindis, T. Colinas-León, M. Sandoval-Villa, P. Ramírez-Vallejo; D. W. Reed, L. Cisneros-Zevallos, y S. King. 2012. Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(2): 207-216.
- Kinet, J. y M. Peet. 1997. Tomato. *In*: H.C. Wien, (ed.). *The physiology of vegetable crops*. Cabi Publishing, Wallingford, UK. pp. 207-258.
- Lemoine, R., S. La Camera, R. Atanassova, F. Dédaldéchamp, T. Allario, N. Pourtau, J. L. Bonnemain, M. Laloi, P. Coutos T, L. Maurousset, M. Faucher, C. Grousse, P. Lemonnier, J. Parrilla, and M. Durand. 2013. Source-to-sink

- transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science* 4:272-283.
- Link, H. 2000. Significance of flower and fruit thinning on fruit quality. *Plant Growth Regulation*. 31: 17-26.
- Mahadeen A.Y., O. E. Mohawesh, K. Al-Absi and W. Al-Shareef. 2011. Effect of irrigation regimes on water use efficiency and tomato yield (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in an arid environment. *Archives of Agronomy and Soil Science* 57: 105-114.
- Maldonado-Peralta R., P. Ramírez-Vallejo †, V.A. González Hernández, F. Castillo-González, M. Sandoval-Villa, M. Livera-Muñoz y N. Cruz-Huerta. 2016. Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates nativos. *Agroproductividad* 12:68-75.
- Medrano, H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas-Carbó y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84.
- Mittler, R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends Plant Science* 11: 15-19.
- Monge-Pérez, J. 2014. Caracterización de 14 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 27(4): 58-68.
- Nuruddin, M. 2001. Effects of water stress on tomato at different growth stages. Department of agricultural and biosystems engineering McGill university, Macdonald Campus Montreal, Canada. 97 p.
- Núñez-Ramírez, F, R. L. Grijalva-Contreras, R. Macías-Duarte, F. Robles-Contreras y C. Ceceña-Duran. 2012. Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Biotecnia* 14(3): 25-31.
- OMC, 2015. Organización Mundial del Comercio. Exportaciones de tomate de México y Holanda. [https://www.wto.org/spanish/res\\_s/statis\\_s/its2015\\_s/its15\\_toc\\_s.htm](https://www.wto.org/spanish/res_s/statis_s/its2015_s/its15_toc_s.htm) (Consulta marzo 20, 2017).
- Osakabe, Y., N. Arinaga, T. Umezawa, S. Katsura, K. Nagamachi, H. Tanaka. 2013. Osmotic stress responses and plant growth controlled by potassium transporters in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 25: 609-624.
- Ortega-Farias S., B. Leyton, H. Valdés, y J. H. Paillán. 2003. Efecto de cuatro láminas de agua sobre el rendimiento y calidad de tomates de invernadero producido en primavera-verano. *Agricultura Técnica* 63 (4): 479-487.

- Obreza, T. A., D. J Pitts, R. J. MC Govern, and T. H. Spreen, 1996. Deficit irrigation of micro-irrigated tomato affects yield, fruit quality, and disease severity. *Journal of Production Agriculture* 9: 270-275.
- Peleg, Z., M. P. Apse, and E. Blumwald. 2011. Engineering salinity and water-stress tolerance in crop plants: getting closer to the field. *Advances in Botanical Research* 57: 407-443.
- Pervez, M. A, C. M. Ayub, H. A. Khan, M. A. Shahid and I. Ashraf, 2009. Effect of drought stress on growth, yield and seed quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 46 (3): 174-178.
- Rick, C. M. 1988. Tomato-like nightshades: affinities, auto-ecology, and breeders opportunities. *Economic Botany* 42:145-154.
- Sakamoto, Y., S. Watanabe, T. Nakashima and K. Okano 1999. Effects of salinity at two ripening stages on the fruit quality of single-truss tomato grown in hydroponics. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74: 690-693.
- Santiago, J. M. Mendoza y F. Borrego. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, MILL) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9(1): 59-65.
- Sedano-Castro, G., V. A. González-Hernández, E. M. Englema, C. Villanueva-Verduzco. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 291-297.
- SIAP, 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo "Modalidad riego + temporal". Tomate SAGARPA, D.F., México. Disponible en línea: [http://infosiap.siap.gob.mx/agricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/icultivo/index.jsp) (Consulta Marzo 10, 2017).
- Steiner A., A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15: 134-154.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 2006. *Plant Physiology*. 4a ed. Sinauer. Sunderland, Massachusetts, USA. 690 p.
- Taylor, M. D., S. J. Locascio, and M.R. Alligood. 2004. Blossom-end rot incidence of tomato as affected by irrigation quantity, calcium source, and reduced potassium. *Hortscience* 39(5):1110-1115.
- Vásquez-Ortiz, R., J. C. Carrillo-Rodríguez, y Ramírez-Vallejo. P. 2010. Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del Centro y Sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo* 8(2):49-64.

- Vázquez-Gálvez, G., R. Cárdenas-Navarro, y P. Lobit. 2008. Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de fresa regada por goteo y gravedad. *Agricultura Técnica de México* 34(2): 235-241.
- Wang, L., X. Yang, Z. Ren, and X. Wang. 2014. Regulation of Photoassimilate Distribution between Source and Sink Organs of Crops through Light Environment Control in Greenhouses. *Agricultural Sciences* 5: 250-256.
- Witcombe, J. R., P. A. Hollington, C. J. Howarth, S. Reader, y K. Steele. A. 2008. Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 363(1492): 703-716.

## CAPÍTULO VI

### DISCUSIÓN GENERAL

Las diversas evaluaciones efectuadas en este estudio para medir el desempeño de tomates nativos mexicanos en comparación con un híbrido comercial usado como testigo, permitieron comprobar que los tomates nativos representan una riqueza genética importante tanto en condiciones de campo como en invernadero.

En condiciones adversas de campo (con incidencia de granizadas y de severas infestaciones por plagas y enfermedades), si bien todos los tomates resultaron afectados las poblaciones nativas G3 y O6 destacaron por producir más fruto y de mejor calidad que las variedades comerciales, lo que evidencia que estas variedades nativas son útiles como progenitoras para formar nuevas variedades híbridas comerciales. Según Rick (1988), los tomates silvestres también aportan una amplia diversidad genética para enriquecer la cantidad y calidad del fruto de tomate, además de reducir el problema de la deriva genética.

En condiciones de agricultura protegida (invernadero con fertirriego), se descubrieron variedades nativas sobresalientes, como la Campeche que asigna una alta proporción de biomasa (61 %) para la formación de fruto como lo hizo el híbrido comercial. Estos resultados concuerdan con los de Núñez-Ramírez *et al.* (2012), quienes detectaron que la biomasa que se asigna frutos es de 54 %, y también similar a lo registrado por Heuvelink (1995) quien apuntó que la materia seca en frutos de tomate híbrido varía de 54 a 60 %, y que el peso seco total de los frutos representa entre 52 y 72 % del peso total de la planta.

En la tasa de crecimiento relativo (TRC) que corresponde a la capacidad de división y crecimiento celular, destacó el genotipo nativo PUE ya que en el intervalo de 0 a 25 días después trasplante logró la mayor TRC con  $0.073 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . Según



González-Hernández *et al.* (1986), la TRC es un indicador de la actividad meristemática de la planta.

En condiciones de riego combinado con manejo agronómico de aplicar despunte arriba del cuarto racimo y dejar un total de 27 hojas, se encontró un amplio rango de tamaños de planta en área foliar, de 0.39 a 0.78 m<sup>2</sup> en donde el valor más bajo corresponde a la población CAM y el más alto al HIB testigo. Como el número de hojas fue igual en todas variedades, se infiere entonces que las diferencias genotípicas en área foliar se deben al tamaño de las hojas. Según Blum (2005), la variedad que posea una área foliar grande es la que logra un mayor rendimiento potencial. En cambio, una menor área foliar y floración precoz son importantes mecanismos para moderar el uso del agua y reducir daños bajo estrés por sequía. Así, en los tomates crecidos con RH 25 el híbrido redujo su área a 0.48 m<sup>2</sup> (pérdida de 39 %) mientras que la variedad nativa CAM bajó a 0.28 m<sup>2</sup> (bajó en 28 %).

En el manejo indicado de poda a cuatro racimos, los mayores rendimientos de fruto fueron producidos por el HIB testigo y por el genotipo nativo OAX cuando fueron crecidos en el RH 100 %, con 3.7 y 3.6 kg/planta. Estos altos rendimientos indican la capacidad de estos dos genotipos de tomate para asignar biomasa hacia los órganos que se destinan a la cosecha (Peil y Galvez, 2005), lo que ayuda a mejorar el ingreso económico para el productor. La reducción del agua al 25 % provocó una severa reducción en el rendimiento en todos los genotipos (CAM: 26 %, EMX: 31 %, HIB: 55 %, OAX: 64 %, y PUE: 63 %), donde los genotipos de mayor rendimiento resultaron proporcionalmente más afectados por la sequía.

Los resultados de este estudio coinciden con los de Sibomana *et al.* (2013) quienes reportaron que la mayor reducción del rendimiento por efecto del déficit hídrico fue de 69 %, y también con los resultados de Peil y Galvez (2005) quienes reportaron pérdidas de 74 % por déficit hídrico. Pero en el presente estudio se identificaron variedades nativas de tomate que fueron relativamente menos afectadas por la

sequía impuesta RH 25 %, como CAM y EMX cuyas pérdidas en rendimiento fueron de 26 y 31 %.

En la búsqueda de la tolerancia a la sequía hay que tener en cuenta que tales características son fisiológicamente complejas, con multitud de componentes, debido a que cuando una planta se desarrolla en un ambiente hostil todos sus genes y todas sus reacciones fisiológicas están encaminados a sobrevivir (Florido y Bao, 2014). Uno de los criterios para medir la tolerancia a sequía son las variables fisiológicas, como la tasa fotosintética, que en el presente estudio mostró con claridad que el genotipo nativo EMX tuvo una tasa fotosintética igual en riego que en sequía; en contraste, las demás variedades redujeron su tasa fotosintética en sequía en comparación con la condición de riego (Figura 4.3).

La productividad del agua también es un indicador importante para mejorar el aprovechamiento de los recursos hídricos y así hacer un uso racional en la producción de alimentos. Aquí se encontró que la eficiencia en el uso de agua es mayor en los genotipos de mayor rendimiento (Figura 4.4); por ejemplo, el HIB testigo presentó la mayor producción de biomasa seca en fruto con  $4.6 \text{ g L}^{-1}$ . En el rendimiento de fruto fresco se requiere 27 y 29 litros para producir un kilogramo en el HIB testigo y en el genotipo nativo OAX, y según Nederhoff y Stanghellini (2010) se reportan en un invernadero de plástico sin calefacción en España y Israel se requieren de 30 a 40 litros de agua utilizados por kilogramo de tomate.

En el régimen hídrico sin estrés (RH 100 %) se encontró que la población nativa de Campeche es la que presentó el rendimiento menor comparada con el HIB testigo y las demás variedades. En cambio, cuando las plantas crecieron con estrés hídrico (RH 25 %) la variedad nativa CAM produjo 600 g por planta más de rendimiento con respecto al testigo. En adición, la var CAM no presentó la pudrición apical que es una fisiopatía grave que deteriora la calidad de la fruta. Según Nuruddin (2001), el déficit hídrico afecta negativamente tanto al rendimiento como a la calidad del fruto, debido tanto a la deficiencia de agua como a la de nutrientes. Según Ho *et al.*

(1993), los frutos menos susceptibles al podredumbre apical son los genotipos de tomate que poseen una red de xilema más fuerte.

En virtud de los resultados obtenidos en esta investigación, se aceptan las hipótesis planteadas en el sentido de que existen diferencias varietales en las respuestas fisiológicas al déficit hídrico y la calidad interna de los frutos, de modo que se pueden identificar poblaciones nativas de tomate que son iguales o mejores que la variedad híbrida usada como testigo. Por lo tanto, es conveniente evaluar más poblaciones nativas para seleccionar las que puedan servir más para elevar la cantidad y calidad de fruto del tomate mexicano.

La colección y aprovechamiento de la diversidad nativa del tomate mexicano representan aspectos importantes para el mejoramiento de la producción de este cultivo en México. También se requiere dar a conocer la información y la calidad de los frutos de las poblaciones nativas y hacer conciencia de la importancia de mantener el material genético, y así también evitar la sobredependencia de las empresas transnacionales que dominan el mercado de semillas de tomate. Aún hay mucho por hacer y esto solo es el principio.

## 6.1 LITERATURA CITADA

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.

Flrido B. M., y L. Bao F. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales* 35 (3) 70-88.

González-Hernández., V. A., M. Livera-Muñoz., L. E. Mendoza-Onofre. y C. Barrera O. 1986. Crecimiento y desarrollo de sorgos contrastantes en vigor y precocidad. *Revista Fitotecnia Mexicana* 8: 95-110.

Heuvelink, E. 1995. Growth, Development and Yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. *Scientia Horticulturae* 61: 77-99.

- Ho, L., R. Belda, M. Brown, J. Andrews and P. Adams. 1993. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. *Journal of Experimental Botany* 44(2): 509-518.
- Nuruddin, M. 2001. Effects of water stress on tomato at different growth stages. Department of agricultural and biosystems engineering McGill university, Macdonald Campus Montreal, Canada. 97 p.
- Núñez-Ramírez., T., R. L. Grijalva C., R. Macías D., F. Robles C., y C. Ceceña D. 2012. Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud* 14 (3): 25-31.
- Peil R. M., y J. L. Galvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasil Agrociência* 11(1): 05-11.
- Rick C.M. 1988. Tomato-like nightshades: affinities, auto-ecology, and breeders opportunities. *Economic Botany* 42:145-154.
- Nederhoff E. M.; C. Stanghellini, 2010. Water Use Efficiency in Tomatos. *Practical Hidroponics and Greenhouses* 115: 52-59
- Sibomana I. C., J. N. Aguyoh and A. M. Opiyo. 2013. Water stress affects growth and yield of container grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. *Global Journal of Bio-Science and Biotechnology* 2(4):461-466.