

Comportamiento agronómico de poblaciones mexicanas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo bajo dos sistemas de producción.

Agronomic performance of native Mexican tomato (*Solanum lycopersicum* L.) populations, grown under two growing systems.

Maldonado-Peralta, M.Á.¹, Salinas-Vargas, D.², Rojas-García, A.R.¹,
Hernández-Bautista, A.³, Álvarez-Vázquez, P.,⁴ Maldonado-Peralta, R.^{2*}

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia N.

² Universidad Autónoma de Guerrero, S/N Cuajinicuilapa, CP. 41940. Guerrero, México.

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Carretera a la Brecha, S/N. Burriónico, CP. 81149, Guasave, Sinaloa.

³ KWS Vegetables México S.A. de C.V. C. P.80107, Culiacán, Sinaloa.

⁴ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Departamento de Producción Animal, Buenavista, Saltillo, CP. 253 Coahuila, México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Maldonado-Peralta, M.Á., Salinas-Vargas, D., Rojas-García, A.R., Hernández-Bautista, A., Álvarez-Vázquez, P., Maldonado-Peralta, R (2023). Agronomic performance of native Mexican tomato (*Solanum lycopersicum* L.) populations, grown under two growing systems. *Revista Bio Ciencias*, 10 e1413. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1413>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: September 10th 2022.

Accepted/Aceptado: April 10th 2023.

Available on line/Publicado: May 09th 2023.

RESUMEN

La diversidad ambiental de México ha permitido el desarrollo de diferentes formas nativas y cultivadas de tomate. Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la calidad agronómica de 23 poblaciones mexicanas de tomate nativo y dos híbridos comerciales como testigo, establecida en condiciones de invernadero y campo abierto. Esta investigación se estableció en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, de febrero a junio de 2018. Las poblaciones nativas de tomate fueron obtenidas del centro y sur de México; se evaluaron variables agronómicas y calidad de fruta. Los resultados muestran que las poblaciones de tomate fueron más afectadas por el factor población, en las variables: número de frutos, diámetro polar y ecuatorial, y número de lóculos; el ambiente produjo el mayor efecto en altura de planta, número de hojas, peso de fruto, rendimiento y grosor de pericarpio. Cabe destacar que bajo condiciones protegidas y de campo abierto el genotipo nativo G3 generó el mayor rendimiento de frutos, con 4.4 kg/planta en invernadero y 2.8 kg/planta en campo. El rendimiento promedio de fruto en invernadero fue mayor en un 131 % comparado con el de campo abierto. En conclusión, se pudo observar que el genotipo Guerrero 3 evaluado en condiciones protegidas presentó un rendimiento mayor de fruta con respecto al testigo. En invernadero se incrementó su peso y rendimiento de fruto en 200 y 130 %, respectivamente con respecto a campo. Estos resultados demuestran que algunos materiales nativos pudieran ser explotados de mejor forma bajo invernadero y otros en campo abierto.

PALABRAS CLAVE: Tomate nativo, ambiente, invernadero, campo abierto, rendimiento.

*Corresponding Author:

Ramiro Maldonado-Peralta. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Carretera a la Brecha, S/N., Burriónico, CP. 81149, Guasave, Sinaloa. Teléfono: (687) 366 9245. E-mail: ramiro.mp@guasave.tecnm.mx

ABSTRACT

The environmental diversity of Mexico has allowed the development of different native and cultivated forms of tomato. This work was carried out with the objective of evaluating the agronomic quality of 23 Mexican native tomato populations and two commercial hybrids as control, established under greenhouse and open field conditions. This research was established at the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico, from February to June 2018. The native tomato populations were obtained from central and southern Mexico; agronomic variables and fruit quality were evaluated. The results show that the tomato populations were more affected by the population factor, in the variables: number of fruits, polar and equatorial diameter, and number of locules; the environment produced the greatest effect on plant height, number of leaves, fruit weight, yield and pericarp thickness. It should be noted that under protected and open field conditions the native G3 genotype generated the highest fruit yield, with 4.4 kg/plant in the greenhouse and 2.8 kg/plant in the field. The average fruit yield in the greenhouse was 131 % higher compared to that in the open field. In conclusion, it was possible to observe that the genotype Guerrero 3 evaluated in protected conditions presented a higher fruit yield with respect to the control. In the greenhouse, its weight and fruit yield increased by 200 and 130 %, respectively, compared to the field. These results show that some native materials could be exploited in a better way under a greenhouse and others in the open field.

KEY WORDS: Native tomato, environment, greenhouse, open field, yield.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las tres principales hortalizas cultivadas en el mundo (Hernández *et al.* 2014; Calero *et al.* 2019); China es el principal productor con 34 % del total (FOASTAT, 2021). Estados Unidos es el principal importador de tomate y México es el principal exportador de esta hortaliza, destinando 99.7 % de sus exportaciones a dicho mercado (SIAP, 2020). El consumo per cápita en el año 2021 a nivel mundial fue de 22 kg/año/habitante y estas cantidades se han incrementado, y en el año 2020 en México, se situó en 13 kg/año/habitante (SADER, 2022).

El tomate es la hortaliza de mayor importancia a nivel nacional, debido a su amplio consumo, el área cosechada y valor económico de la producción (Abera *et al.*, 2020). El cultivo a campo abierto, ha disminuido, mientras que el cultivo bajo cubierta se ha incrementado, esto debido en gran medida a que la producción de tomate bajo este último sistema (malla sombra o invernadero) ha puesto un incremento en el rendimiento por unidad de superficie; en realidad, el cultivo de tomate a campo abierto se está volviendo cada vez más difícil, debido a condiciones ambientales adversas como heladas, lluvia, granizo, rocío y la incidencia de plagas y enfermedades

(Gatahi, 2020; Juárez-López *et al.*, 2012a). En cambio, en condiciones protegidas se alcanzan altos niveles de calidad, inocuidad alimentaria, certificación de productos (Bojacá *et al.*, 2009), entre otros.

Las especies nativas han desarrollado tolerancia a condiciones adversas, lo que les ha permitido contar con características diferentes para responder a los factores bióticos y abióticos, siendo el ambiente uno de los factores que influyen mayormente en la variabilidad biológica (Álvarez-Hernández *et al.* 2009; Sanjuan-Lara *et al.* 2014). La reducción de la variación genética de los cultivares modernos de tomate ha limitado su mejoramiento (Fridman *et al.* 2000; Bai & Lindhout, 2007). La diversidad disponible en los parientes silvestres puede ser aprovechada para mejorar rasgos de interés; de esta manera, las características sensoriales del tomate tipo cereza (cherry) podrían ser utilizadas en la generación de híbridos (Lecomte *et al.* 2004; Salgado-Meraz *et al.*, 2018).

Cabe mencionar que existen estudios básicos donde han evaluado especies de tomate nativo, en diferentes estados del país (Estrada-Castellanos *et al.* 2011; Ríos-Osorio *et al.* 2014; Sanjuan-Lara *et al.* 2014; Maldonado-Peralta *et al.* 2016); sin embargo, no existe algún estudio que pueda comparar la adaptabilidad del tomate nativo a un sistema de producción bajo cubierta para fines de comercialización, dado que éste recurso genético sigue manteniendo un amplio uso (Bonilla-Barrientos *et al.* 2014; Magdaleno-Hernández *et al.* 2016), encontrándose en los mercados locales en diversas regiones de México. La hipótesis de esta investigación fue que existen materiales que pudieran adaptarse a un sistema de producción intensivo bajo cubierta conservando sus atributos de calidad de fruto. Para ello, se realizó la presente investigación con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico de 23 poblaciones mexicanas de tomate nativo y dos híbridos comerciales como testigo, establecidas en condiciones de invernadero y campo abierto.

Material y Métodos

Ubicación del área de estudio

El experimento se realizó en el Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, Texcoco, estado de México, localizado a 19° 29' LN, 98° 53' LO y una altitud de 2,240 msnm. La temperatura promedio anual es de 15.2 °C, el clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano y precipitación media anual de 636.5 mm (García, 2004).

Material genético

Las poblaciones de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) nativo, evaluadas provinieron de los estados de Campeche (C1, C2, C3 y C4), Estado de México (M1 y M2), Guerrero (G1, G2 y G3), Oaxaca (O1, O2, O3, O4 y O5), Puebla (P1, P2, P3, P4, P5 y P6), Yucatán (Y1 y Y2) y Veracruz (V1), todos ellos colectados por el Dr. Porfirio Ramírez Vallejo[†]; como resultado del Proyecto de Evaluación Integral de la Diversidad de Poblaciones Nativas de Jitomate mexicano (CONACYT), en el Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad, del Colegio de Postgraduados. Cabe

mentar que son tomates que se han conservado por los productores ya que se venden en mercados locales y regionales de México (Figura 1).

El cultivo se estableció de febrero a junio de 2018, bajo condiciones de invernadero y campo abierto; donde se evaluaron 23 poblaciones de tomate nativo, de hábito de crecimiento indeterminado; y, como testigos se utilizaron los híbridos comerciales, El Cid y Reserva (Harris Moran® y Nunhems®, tipo saladette), denominados H1 y H2 en este estudio.



Figura 1. Diferentes formas y tamaños de poblaciones mexicanas de tomates nativos, que representa el lugar de colecta.

Conducción del experimento

La siembra se realizó en charolas de germinación de 200 cavidades, se usó peat-moss® como sustrato, en ambiente controlado. A los 40 días de la germinación se realizó el transplante en invernadero y campo.

En el invernadero el trasplante se hizo en bolsas de polietileno negro con capacidad de 10 litros, con tezontle rojo tipo sello, como sustrato (diámetro ≤ 12 mm), a una densidad de 6 plantas/m². Las plantas se fertilizaron con la solución nutritiva Steiner al 100 % (Steiner, 1984), con pH de 5.5 y Conductividad Eléctrica de 1.0 a 2.5 dsm⁻¹, durante todo el ciclo de desarrollo y producción. El riego se determinó con base en información de Flores *et al.* (2007), quienes reportan que este cultivo en la etapa inicial consume 0.2 L d⁻¹ de agua por planta, y en la etapa adulta 1.5 L d⁻¹, como máxima demanda de agua. Durante el desarrollo del cultivo se efectuaron las siguientes actividades: tutorio, poda de brotes, hojas y frutos, se manejó a un tallo, se aplicaron insecticidas y fungicidas.

En campo abierto, el trasplante se realizó en el terreno previamente preparado, en surcos con 1.2 m de separación, a una densidad de 3 plantas/m². En cada surco se colocaron estacas de carrizo, a 2 m de distancia cada uno; las plantas fueron sostenidas durante su crecimiento, por ambos lados, con rafia de polipropileno. Se dejaron todos los tallos por planta y las hojas inferiores se eliminaron. Las prácticas de manejo agronómico como riegos, fertilización y aplicación de agroquímicos se realizaron según la recomendación de León y Arozamena (1980).

Variables respuesta

Las variables agronómicas tomadas en invernadero y campo se evaluaron a partir de los 150 días después del trasplante, durante el ciclo de cultivo, en todos los tratamientos; fueron: 1) Altura de planta, se determinó con un flexómetro, se midió desde la base de la planta hasta el ápice; 2) Número de hojas, se contó el número de hojas por planta; 3) Número de frutos por planta, contados en cada muestreo; 4) Peso por fruto (g), se calculó con el peso total de frutos entre el número total de éstos; 5) El rendimiento de fruto (kg), se tomó en los frutos recolectados por corte, cuyos pesos se sumaron para obtener el total.

La cosecha en campo e invernadero inició a los 100 días. Para obtener las variables de calidad, se realizaron muestreos, al azar se tomaron cuatro frutos; a los que se les midió el 1) Diámetro polar y 2) ecuatorial (mm), se usó un vernier digital (Marca Truper®) para medir de polo a polo y en el ecuador del fruto, respectivamente; 3) Número de lóculos, para el conteo, los frutos se cortaron en forma transversal; 4) Contenido de Sólidos Solubles Totales (TSS), medido en tres gotas de jugo de fruto, que se colocaron sobre la celda de un refractómetro digital ATAGO PR-100® (Japan), reportado en porcentaje (AOAC, 2012) y 5) Grosor de pericarpio (mm), medido con vernier en los mismos frutos cortados.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos de las variables agronómicas y de fruto, se utilizó un análisis estadístico conforme al diseño experimental en bloques completos al azar con arreglo factorial 25 X 2 (25 genotipos*2 ambientes); se realizó un análisis de varianza empleando el siguiente modelo estadístico:

$$y_{ijk} = \beta_k(S_j) + P_i + S_j + P * S_{ij} + E_{ijk}$$

Dónde: Y_{ijk} =valor de la variable respuesta correspondiente a la población i en el sistema de producción j en el bloque k ; μ =media general, β_k =Efecto de bloque k anidado al sistema de producción j ; P_i =Efecto de la población i ; S_j =Efecto del sistema de producción j ; PS_{ij} =Interacción población por sistema de producción; E_{ijk} =Error experimental.

Finalmente, se realizó una comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$), para factores principales e interacción, con el paquete estadístico SAS® 9.0 (SAS Institute 2009).

Resultados

Con excepción de la variable número de lóculos, los resultados de la Tablas 1 y 2 muestran que la mayoría de las variables resultaron ser significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) para los factores: población (Pob), sistema de producción (Sis) y la interacción Pob x Sis, evidenciando la presencia de una variación genética significativa dentro la población total, un comportamiento agronómico diferente de las poblaciones entre los dos sistemas de producción evaluadas y, una eficacia diferente de los sistemas de producción entre las variables. Sin embargo, la proporción del efecto genético o del efecto ambiental difirieron entre variables. Entre las variables agronómicas (Tabla 1), el número de frutos por planta varió principalmente por efecto del factor Pob, con proporción de 55 % con respecto a la variación total de los tratamientos. En contraste, el factor Sis acumuló una mayor proporción de la variación en las variables agronómicas, altura de planta (61 %), número de hojas (81 %), peso por fruto (64 %) y rendimiento (57 %). Por su parte, para estas variables la interacción Pob x Sis tuvo efectos significativos, con proporciones de variación de 9 a 38 %, lo cual evidencia que no todas las poblaciones responden igual mismo sistema de producción. Esto sugiere que el comportamiento de las poblaciones depende en alto grado de las condiciones que reciben, se presentan en las variables número de frutos y rendimiento.

Las variables de calidad de fruto (Tabla 2) que resultaron principalmente afectadas por el factor Pob fueron: diámetro polar (42 %), diámetro ecuatorial (43 %) y número de lóculos (93 %). Mientras que, el grosor de pericarpio (49 %), diámetro ecuatorial (49 %) y TSS (43 %) presentaron un mayor efecto causado por el factor Sis. La interacción Pob x Sis también fue significativa en todas las variables, pero en magnitudes bajas, que oscilaron entre 7 y 30 %.

Tabla 1. Cuadrados medios de las variables agronómicas medidas en plantas de tomate nativo cultivadas en invernadero y campo.

FV	GL	Altura de planta (m)	Número de hojas	Número de frutos	Peso por fruto (g)	Rendimiento (kg/planta)
Trat	53	16.3**	1077468**	17034**	344030**	206.8**
Pob(Bloque)	4	0.1NS(0)	44NS(0)	20NS(0)	39NS(0)	0.1*(0)
Pob	24	4.0**(25)	107401**(10)	9307**(55)	79365**(23)	50.9**(25)
Sis	1	9.9**(61)	873024**(81)	1206** (7)	218989**(64)	111.9**(54)
PobXSis	24	2.3**(14)	96999**(9)	6501**(38)	45637**(13)	43.9**(21)
Error	96	0.7	762	175	462	0.4
Total	149	17.0	1078230	17209	344492	207.2

**: Significancia estadística ($p \leq 0.05$); NS: No Significativo; FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; Trat: tratamientos, Pob: Población, Sis: Sistema, PobXSis: PoblaciónXSistema. Entre paréntesis se anota la proporción de los cuadrados medio de cada factor (Pob, Sis y PobXSis) respecto a la suma total de cuadrados medios para cada variable.

Tabla 2. Cuadrados Medios de las variables de calidad de fruto de plantas de tomate nativo cultivadas en invernadero y campo.

Fuente Variación	GL	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Número de lóculos	Sólidos solubles totales (%)	Grosor de pericarpio (mm)
Tratamiento	53	23033**	23000**	1156**	64**	809**
Pob(Bloque)	4	8NS(0)	10NS(0)	2NS(0)	0NS(0)	0* (0)
Población	24	9602**(42)	9968**(43)	1071**(93)	23**(36)	272**(34)
Sistema	1	6519**(28)	11134**(49)	0NS(0)	28**(44)	400**(49)
PobXSis	24	6904**(30)	1888** (8)	83** (7)	13** (20)	137**(17)
Error	96	160	266	20	0	1
Total	149	23193	23266	1176	64	810

**: Significancia estadística ($p \leq 0.05$); NS: No Significativo; GL: grados de libertad; PobXSis: PoblaciónXSistema. Entre paréntesis se anota la proporción de los cuadrados medio de cada factor (Pob, Sis y PobXSis) respecto a la suma total de cuadrados medios para cada variable.

Tabla 3. ANOVA y prueba de Tukey entre las variables agronómicas de plantas de tomate nativo cultivado en dos sistemas de producción: los cinco mejores y peores genotipos.

No.	Altura de planta (m)	Número de hojas	Número de frutos	Peso por fruto (g)	Rendimiento (kg/planta)
1	H1i 2.2 ^a	V1c 329 ^a	O3c 57 ^a	G3i 179 ^a	G3i 4.4 ^a
2	G3i 2.1 ^a	O4c 294 ^b	V1i 55 ^a	G1i 176 ^a	P5i 4.2 ^{ab}
3	H2i 2.1 ^{ab}	O1c 264 ^c	P5c 53 ^{ab}	O3i 164 ^b	P3i 4.2 ^{abc}
4	2Pi 2.0 ^{abc}	Y1c 250 ^d	C2c 49 ^{bc}	P6i 161 ^b	P1i 4.1 ^{bcd}
5	P1i 1.9 ^{abcd}	P6c 230 ^e	P6c 46 ^{cd}	H1i 146 ^c	H1i 4.1 ^{bcd}
46	G2i 1.1 ^{pqrs}	Y2i 33 ^{pqr}	Y1i 18 ^{lu}	P1c 22 ^{xy}	G1c 0.5 ^w
47	H2c 1.0 ^{qrs}	O2i 33 ^{pqr}	G3i 18 ^{lu}	P5c 21 ^{xy}	O2c 0.5 ^w
48	P4c 0.9 ^{rs}	M2i 32 ^{pqr}	G1c 14 ^{uv}	P4c 18 ^{xyz}	P4c 0.4 ^w
49	O2c 0.9 ^s	M1i 29 ^{qr}	Y1c 13 ^v	C4c 15 ^{yz}	C3c 0.4 ^w
50	G2c 0.9 ^s	G2i 27 ^r	O2c 12 ^v	C3c 12 ^z	Y1c 0.4 ^w

Poblaciones (negritas): Medias con distintas letras dentro de columnas son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).

En la comparación de medias de las combinaciones Pob x Sis (Tablas 3 y 4), las plantas cultivadas en invernadero (i=invernadero) presentaron mayor altura que las de campo (c=campo), siendo el testigo (H1) el que presentó las plantas más altas en los dos ambientes de cultivo, y el G2c resultó con menor tamaño. El número de hojas fue mayor en el genotipo nativo V1c con 329 hojas, bajo condiciones protegidas se obtuvo un rango de 27 a 40 (G2i y Y1i).

Tabla 4. ANOVA y prueba de Tukey entre las variables de calidad de frutos de tomate nativas cultivadas en dos sistemas de producción: los cinco mejores y peores genotipos.

No.	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Número de lóculos	Sólidos solubles totales (%)	Grosor de pericarpio (mm)
1	H2i 7.3 ^a	O4i 8.3 ^a	O3i 11.5 ^a	P1i 5.5 ^a	P3i 10.6 ^a
2	P1i 6.9 ^{ab}	O2i 8.2 ^{ab}	O1i 11.1 ^{ab}	M1i 5.5 ^a	G3i 10.3 ^b
3	P4i 6.9 ^b	O5i 7.8 ^{abc}	O2i 11.0 ^{abc}	M2i 5.5 ^a	P5i 9.8 ^c
4	P3i 6.8 ^{bc}	G3i 7.7 ^{bc}	C1i 10.5 ^{abc}	C1i 5.5 ^{abc}	H2i 9.7 ^{cd}
5	G2i 6.7 ^{bc}	O3i 7.6 ^{bcd}	O4i 10.3 ^{abcd}	C1c 5.4 ^{abc}	P4i 9.3 ^{de}
46	V1c 3.3 ^{vw}	C1c 4.0 ^{tu}	G2c 2.1 ^{tu}	O5c 3.5 ^{uv}	P5c 2.7 ^{vw}
47	C1c 3.1 ^w	H1c 3.9 ^{uv}	H1i 2.1 ^{tu}	O1c 3.4 ^v	P1c 2.5 ^w
48	G1c 3.1 ^w	P2c 3.6 ^v	H1c 2.0 ^u	V1c 3.3 ^{vw}	G1c 2.1 ^x
49	P1c 3.1 ^w	M2c 3.5 ^v	H2c 2.0 ^u	P1c 3.2 ^w	M1c 1.7 ^y
50	P3c 3.0 ^w	M1c 3.4 ^v	H2i 2.0 ^u	O4c 2.9 ^x	C1c 1.5 ^y

Poblaciones (negritas): Medias con distintas letras dentro de columnas son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).

Para número de frutos, el rango se distribuyó entre 12 a 55 frutos por planta, siendo la población O3c la que tuvo el número más alto en el estudio con un valor de 57 frutos por planta. El peso de fruto en condiciones protegidas del genotipo G3i fue el mayor con 179 g, mientras que, en condiciones de campo se obtuvo el menor peso de fruto con 12 g en el genotipo C3c. Dada esta situación, el genotipo nativo G3i generó el mayor rendimiento en condiciones protegidas, con 4.4 kg/planta. Los rendimientos obtenidos en campo abierto fueron muy variables, el rango de producción promedio fue de 0.4 a 2 kg/planta; el menor rendimiento correspondió al genotipo P4c y mayor al genotipo G3i.

Los valores para las variables de diámetro polar y ecuatorial, el número de lóculos, TSS y grosor del pericarpio, tomado de frutos producidos en condiciones protegidas, fueron mayores a los obtenidos en condiciones de campo. El mayor diámetro polar lo presentó el testigo (H2i), con 7.3 cm, y el diámetro ecuatorial la población O4i, con 8.3 cm; cabe mencionar que H2i presentó frutos alargados; mientras los de O4i fueron más anchos, variable que determina el empaque a utilizar para la vida de anaquel. De igual manera, el número de lóculos fue mayor en el genotipo nativo O3i, con 11.5 lóculos, y en campo fue el testigo H2c, con sólo 2 lóculos. El valor mayor en TSS fue de 5.5 %, en el genotipo P1i y el menor de 2.9 %, en la población nativa O4c; y, el grosor del pericarpio mayor lo obtuvo el genotipo nativo P3i, con 10.6 mm, tomate producido en invernadero; mientras que, en condiciones de campo los frutos mostraron el menor grosor, con 1.5 mm (C1c).

Tabla 5. ANOVA y prueba de Tukey entre caracteres promedio entre condiciones protegidas y campo abierto de poblaciones mexicanas de plantas de tomate nativo.

Variable	Sistemas de producción		Diferencia	%
	Invernadero	Campo		
Altura de planta (m)	1.7 ^a	1.2 ^b	0.5	41
Número de hojas	35 ^b	187 ^a	152	434
Número de frutos	29 ^b	35 ^a	6	21
Peso por fruto (g)	115 ^a	39 ^b	76	200
Rendimiento (kg/planta)	3.1 ^a	1.3 ^b	1.7	131
Diámetro polar (mm)	54 ^a	41 ^b	13	32
Diámetro ecuatorial (mm)	64 ^a	47 ^b	17	36
Número de lóculos	5.9 ^a	5.8 ^a	0.1	2
Sólidos solubles totales (%)	4.9 ^a	4.0 ^b	0.9	23
Grosor de pericarpio (cm)	6.9 ^a	3.6 ^b	3.3	92

Medias con distintas letras dentro de columnas son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05)

En los promedios de las variables agronómicas y de calidad de fruto en condiciones protegidas y campo abierto se encontró diferencia estadística (Tukey, 0.05) en la mayoría de las variables evaluadas (Tabla 5). En invernadero se destacan ocho variables, de las que sobresalieron el peso del fruto con una diferencia del 200 % respecto al observado en campo abierto, el rendimiento con 131 % y grosor de pericarpio con 92 %; en campo abierto, únicamente dos variables fueron superiores a la obtenidas bajo invernadero; número de hojas (434 %) y número de frutos (21 %).

Discusión

Las poblaciones nativas de tomate resultaron afectadas significativamente ($p \leq 0.05$) por el ambiente de producción donde estas fueron cultivadas (Tabla 1 y 2), siendo comprobado con la observación de diferencia significativa en los factores sistema, genotipo y la interacción sistema-genotipo para la mayoría de las variables. Dichos resultados indicaron que algunas poblaciones mejoraron o disminuyeron sus atributos en rendimiento y calidad de fruto bajo ciertas condiciones del sistema de producción. En este sentido, Zanne *et al.* (2014) sugieren que los cambios en la morfología y fisiología de ciertas poblaciones pudieran ser consecuencia de las adaptaciones evolutivas de las plantas al ambiente donde están crecen.

El factor sistema de producción explicó en mayor proporción la variación de los efectos en las variables altura de planta, número de hojas, peso por fruto, rendimiento de fruto, diámetro ecuatorial, grosor de pericarpio y TSS, mientras que la interacción población-sistema de producción afectó en mayor proporción al número de frutos. Según Bhandari *et al.* (2021) esto se debe a que las condiciones climáticas son un factor que afectan la calidad y rendimiento en la producción del tomate. Sin embargo, dicha situación pudiera ser manejada de mejor forma en el invernadero, favoreciendo las condiciones para el crecimiento de las plantas a través del control parcial de las variables climáticas (Holcman *et al.*, 2017).

En el análisis de comparación de medias se identificaron genotipos superiores al testigo en diversas variables medidas en invernadero y campo. Las alturas de las plantas en los genotipos H1i, G3i, H2i, P2i y P1i resultaron ser las de mayor porte con valores de 2.2 a 1.9 m a los 150 días, indicando que algunos materiales nativos presentaron un vigor de crecimiento similar al testigo, característica importante en un sistema de producción bajo cubierta. Resultados similares fueron reportados por Núñez *et al.* (2012), quienes evaluando tomate tipo bola variedad Beatrice, reportaron que las plantas alcanzaron una altura promedio de 2.3 m a los 150 días. Mientras que Carrillo & Chávez (2010), quienes evaluaron poblaciones nativas de tomate en invernadero y reportaron una altura de planta de 1.3 a 1.8 m. Adicionalmente, en nuestro estudio observamos que la mayoría de los materiales evaluados en campo abierto mostraron valores de altura baja. Según Juárez-López *et al.* (2012b) estas diferencias entre el comportamiento de los materiales en invernadero y campo abierto pudieran ofrecer una oportunidad para los productores que prefieren genotipos de porte medio lo que permite reducir la mano de obra en las labores culturales del cultivo.

La mayor cantidad de hojas a los 150 días desarrollo se registró en la mayoría de los genotipos crecidos en campo abierto, siendo V1c el que presentó el valor más alto con 329 hojas.

Según Keller *et al.* (2021), las hojas maduras son importantes para un sistema de producción de campo abierto, ya que producen hasta un 80 % de carbono fotosintético. Por otro lado, en invernadero el número de hojas fue menor a 38 a los 150 días, fue el genotipo P2i el que presentó el mayor número de hojas. Estos valores fueron menores con lo reportado por Núñez *et al.* (2012) quienes contaron 53 hojas maduras bajo un sistema de cubierta.

El peso del fruto está estrechamente relacionado con diversos parámetros, como el número de carpelos del ovario, posición del fruto en el racimo y condiciones ambientales dominantes durante la fase de crecimiento del fruto (Delgado-Vargas *et al.*, 2018); además del suministro de fotoasimilados y agua, los cuales determinan su crecimiento y desarrollo (Quinet *et al.*, 2019). Los frutos de mayor peso se obtuvieron en condiciones protegidas, siendo los genotipos G3i y G1i, los que mostraron los valores más altos, 179 y 176 g, respectivamente. Dichos genotipos se encuentran dentro de los rangos con calibre de calidad alta, como lo indican PHG (2012) en su clasificación de frutos de tomate que considera que éstos son de tamaño grande cuando pesan entre 121 y 180 g.

De acuerdo con Diouf *et al.* (2018), la capacidad de un material de tener un alto rendimiento está dada por la capacidad de acumular biomasa en los órganos que se destinan a la cosecha. En nuestro estudio, el mejor rendimiento se alcanzó en el genotipo nativo G3i con un rendimiento de 4.4 kg/planta, seguido por los genotipos P5i y P3i. Sin embargo, en condiciones de campo el rendimiento de G3i fue de 2.8 kg/planta. Dicho resultado sugiere que este genotipo mostró una mejor capacidad de acumulación de biomasa bajo invernadero que en campo abierto. Por otro lado, en trabajos previos realizados con los mismos genotipos por Maldonado-Peralta *et al.* (2016) la población G3 reportaron un rendimiento menor (0.39 kg/planta) encontrado en esta investigación. En general, las diferencias en el comportamiento agronómico de las poblaciones estudiadas en los dos sistemas de producción se debe a que las poblaciones en campo abierto crecen bajo condiciones no controladas, cuando son cultivados en ambientes favorables permiten que se expresa mejor sus atributos (Kissoudis *et al.*, 2015).

Las poblaciones de tomate nativas de México presentan una amplia diversificación morfológica, calidad de fruto y un alto grado de adaptación (Tabla 4), que permite encontrar en los cultivares locales y regionales características morfológicas bien definidas. En nuestro estudio, los frutos de las poblaciones nativas resultaron más anchos que largos (globosa), comparado con los testigos (H1 y H2) que presentaron frutos alargados. Las poblaciones de Oaxaca (O4i) exhibieron una forma de riñón y las de Guerrero (G3i), de bola con costillas. Según Van der Knaap *et al.* (2002) el género *Lycopersicum* muestra variación en intensidad de color, forma y tamaño de fruto, así como hábitos de crecimiento y morfología de la hoja. En los sistemas de producción, los genotipos nativos tuvieron frutos con el mayor número de lóculos, la población O3i presentó 11.5 y forma de riñón. Vázquez-Ortiz *et al.* (2010), encontraron que frutos con esta forma presentan en promedio de 11 lóculos, variación que induce a la forma particular que toman éstos. No obstante, la transformación de la forma acarrea efectos pleiotrópicos en la arquitectura del fruto, como los relacionados con el incremento de la cantidad de carpelos y lóculos (Lippman & Tanksley, 2001).

Diez (2001), menciona que para industria los frutos de tomate deben tener un promedio de Sólidos Solubles Totales (TSS) entre 4.5 y 5.5 %. Por su parte, Foolad, (2007) menciona que el tomate destinado al consumo en fresco requiere un valor de 4.6 %. Los TSS de los cinco mejores genotipos presentaron valores mayores a 5.3 % de (TSS) en condiciones protegidas (Tabla 4), valores aceptables para la industria y consumo en fresco. Según Ruiz *et al.* (2005), los TSS están constituidos por 65 % de azúcares reductores, como fructosa, glucosa y trazas de sacarosa, mientras que el resto está representado por ácido cítrico y málico, minerales, vitamina C y otros compuestos en bajas concentraciones. Existe una relación directa entre el nivel de TSS y el sabor (Quinet *et al.*, 2019); a mayor TSS mejor es la intensidad del sabor (Cheng *et al.*, 2020). Por ello, dado los valores de TSS en el presente estudio, los materiales evaluados son una fuente potencial de germoplasma para incrementar el sabor dentro de los programas de mejoramiento genético.

Quinet *et al.* (2019) mencionan que un grosor de pulpa mayor (mesocarpio) aumenta el peso y la parte comestible, mejorando la calidad de la fruta, lo cual coincidió con la población P3i, G3 y P5 donde los materiales que presentaron un alto grosor de pulpa mostraron un peso de fruto alto. Esta situación pudiera traer beneficios dado que un mayor grosor del pericarpio permite que los frutos aumenten la vida postcosecha, factor indispensable en la comercialización (Gan *et al.*, 2022).

En general, los caracteres medidos fueron más altas en las condiciones protegidas, evidenciando que dichas condiciones protegidas en comparación con las obtenidas en campo mejoraron la calidad del fruto en cuestión de tamaño de fruto, grosor de pulpa y cantidad de sólidos solubles totales. Este comportamiento agronómico de las poblaciones nativas dentro del sistema bajo cubierta pudiera deberse a que los materiales han sido seleccionados por los agricultores durante años en un sistema de producción de campo abierto el cual ejerce una alta presión de selección natural. Por ello, la selección subjetiva empleada por los agricultores durante generaciones se ha encargado de seleccionar indirectamente características asociadas con frutos de mejor tamaño y mejor calidad de fruto (Ríos-Orsorio *et al.*, 2014); a la vez que estas características hacen que los consumidores identifiquen las poblaciones nativas como atractivas y acepten pagar un mayor precio por ellas (Casals *et al.*, 2012). Esto se observó claramente, en la variable rendimiento donde las poblaciones de tomate incrementaron su rendimiento en 130 % más comparado con las condiciones de campo abierto y esto coincide con Kanwar (2011), quién reporta un incremento en rendimiento del 136,12 % más en comparación con el cultivo a campo abierto. Tal resultado se debió a que las condiciones protegidas crean un entorno más favorable para la producción (Tao *et al.*, 2016).

Conclusiones

Las poblaciones mexicanas de tomate nativo respondieron de forma diferente a los dos sistemas de producción y hubo genotipos que presentaron una mejor calidad y rendimiento de fruto bajo un sistema específico. En condiciones ambientales protegidas, las poblaciones Guerrero 3, Puebla 5 y 3 que presentaron un rendimiento de fruta mayor con respecto al testigo. En invernadero se incrementó su peso y rendimiento de fruto promedio en 200 y 130 %, respectivamente. Para las variables grosor de pericarpio y TSS del fruto, el ambiente protegido también promovió mayores

valores de calidad que las de campo abierto. Estos resultados demuestran que algunos materiales nativos pudieran ser explotados de mejor forma bajo invernadero y otros en campo abierto.

Contribución de los autores

El autor MPMA y autor SVD: desarrollo de la metodología y validación experimental; autor RGAR y autor VRJ: análisis de resultados y Manejo de datos; autor MPR y autor HBA: escritura y preparación del manuscrito, redacción, revisión y edición.

“Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.”

Financiamiento

Esta investigación fue apoyada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Agradecimientos

Principalmente al [†]Dr. Porfirio Ramírez Vallejo por todo el trabajo que realizó en la colecta de los materiales que se usaron en este trabajo.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Abera, G., Ibrahim A. M., Forsido, S. F., & Kuyu, C. G. (2020). Assessment of post-harvest losses of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in selected districts of East Shewa Zone of Ethiopia using a commodity system analysis methodology. *Heliyon*, 6(4), e03749. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03749>
- Álvarez-Hernández J. C., Cortez-Madrigal, H., & García-Ruiz, I. (2009). Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (Solanaceae) en tres regiones de Michoacán, México. *Polibotánica*, 28, 139-159.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC), (2012). Official Methods of Analysis. 19th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA. 2200p.
- 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(5), 1085-1094. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm150>
- Bhandari, R., Neupane, N., & Adhikari, D. P. (2021). Climatic change and its impact on tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) production in plain area of Nepal. *Environmental Challenges*, 4, 100129.
- 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. <https://doi.org/10.17584/rcch.2009v3i2.1212>
- Bonilla-Barrientos, O., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J., Cruz-Izquierdo, S., Reyes-López, D., Hernández-Leal, E., & Hernández-Bautista, A. (2014). Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimiento de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2), 129-139.
- Calero, H. A., Quintero, R. E., Pérez, D. Y., Olivera, V. D., Peña, C. K., Castro, L. I., & Jiménez, H. J. (2019). Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(1),67-78. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.193601.99>
- Carrillo-Rodríguez, J. C., & Chávez-Servia, J. L. (2010). Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33 (4),1-6.
- Casals, J., Pascual, L., Cañizares, J., Cebolla-Cornejo, J., Casañas, F., & Nuez, F. (2012). Genetic basis of long shelf life and variability into Penjar tomato. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59, 219-229. <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9677-6>
- Cheng, G., Chang, P., Shen, Y., Wu, L., El-Sappah, A. H., Zhang, F., & Liang, Y. (2020). Comparing the Flavor Characteristics of 71 Tomato (*Solanum lycopersicum*) Accessions in Central Shaanxi. *Frontiers in plant science*. 11, 1-19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.586834>
- Delgado-Vargas, V. A., Magdaleno-Villar, J. J., Ayala-Garay, Ó. J., & Garfías-Sánchez, D. (2018). Seed quality of three native tomato varieties and a commercial one produced under high temperatures. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24(3), 215-227. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.04.009>
- Diez, J. (2001). Tipos varietales. In: Nuez, F. ed. El cultivo del tomate. Madrid, Mundi-Prensa. pp. 93-129.
- Diouf, I. A., Derivot, L., Bitton, F., Pascual, L., & Causse, M. (2018). Water deficit and salinity stress reveal many specific QTLs for plant growth and fruit quality traits in tomato. *Frontiers in Plant Science*. 9, 279. <http://doi.org/10.3389/fpls.2018.00279>
- Estrada-Castellanos, J. B., Carrillo-Rodríguez, J. C., Jerez-Salas, M., Chavez-Servia, J. L., & Perales-Segovia, C. (2011). Small farmer practices for production improvement of the kidney-type tomato landrace: A case study in Oaxaca. *African Journal of Agricultural Research*, 6(13), 3176-3182. <https://doi.org/10.5897/AJAR.9000632>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT). statistical program of work (2021), Cultivos y productos de ganadería – tomate. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Flores, J., Ojeda-Bustamante, W., López, I., Rojano, A., & Salazar, I. (2007). Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana* 25(2),127-134.
- Foolad, R. M. (2007). Genome Mapping and Molecular Breeding of tomato. International. *Journal of plant Genomics*. 52 p. <http://doi.org/10.1155 / 2007/64358>
- Fridman, E., Pleban, T., & Zamir, T. (2000). A recombination hotspot delimits a wild-species quantitative trait locus for tomato sugar content to 484 bp within an invertase gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS), 97 (9), 4718-4723. <http://doi.org/10.1073 / pnas.97.9.4718>
- Gan, L., Song, M., Wang, X., Yang, N., Li, H., Liu, X., & Li, Y. (2022). Cytokinins are involved in regulation of tomato pericarp thickness and fruit size. *Horticulture Research*, 9, uhab041, <https://doi.org/10.1093/hr/uhab041>
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. 4 (ed). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- Gatahi, D. M. (2020). Challenges and Opportunities in Tomato Production Chain and Sustainable

- Standards Introduction. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 7 (3), 235-262. <http://doi.org/10.22059/ijhst.2020.300818.361>
- Hernández, R. M., Santacruz, F., Ruiz, M. A., Norrie, J., & Hernández, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, 26, 619-628. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0078-4>
- Holcman, E., Sentelhas, P. C., & Mello, S. da C. (2017). Cherry tomato yield in greenhouses with different plastic covers. *Ciência Rural*, 47(10), 1-9 <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160991>
- Juárez-López, P., Bugarin-Montoya, R., Sánchez-Monteón, A. L., Balois-Morales, R., Juárez-Rosete, C. R., & Cruz-Crespo, E. (2012a) Horticultura protegida en Nayarit, México: situación actual y perspectivas. *Revista Bio Ciencias*, (4),16-24. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.04.03>
- Juárez-López, P., Castro-Brindis, R., Colinas-Leon, T., Sandoval-Villa, M., Ramírez-Vallejo, P., Reed, DWm., Cisneros-Zevallos, L., & King, S. (2012b). 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. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.02.013>
- Kanwar, M. S. (2011). Performance of tomato under greenhouse and open field conditions in the trans-Himalayan region of India. *Advances in Horticultural Science*, 25 (1), 65-68. <https://www.jstor.org/stable/42882810>
- Keller, I., Rodrigues, C. M., Neuhaus, H. E., & Pommerrenig, B. (2021). Improved resource allocation and stabilization of yield under abiotic stress. *Journal of Plant Physiology*, 257,153336. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153336>
- Kissoudis, C., Chowdhury, R., van Heusden, S., van de Wiel, C., Finkers, R., Visser, R. G.F., Bai, Y., & van de Linder, G. (2015). Combined biotic and abiotic stress resistance in tomato. *Euphytica*, 202, 317-332. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1363-x>
- Lippman, Z., & Tanksley, S. D. (2001). Dissecting the genetic pathway to extreme fruit size in tomato using a cross between the small-fruited wild species *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* var. *Giant Heirloom*. *Genetics*, 158(1), 413-422. <https://doi.org/10.1093/genetics/158.1.413>
- Lecomte, L., Gautier, A., Luciani, A., Duffé, P., Hospital, F., Buret, M., & Causse, M. (2004). Recent advances in molecular breeding: the example of tomato breeding for flavor traits. *Acta Horticulturae*. 637,231-242. XXVI International Horticultural Congress: Advances in Vegetable Breeding. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.637.28>
- León, G. H., & Arozamena, D. M. (1980). El cultivo de tomate para consumo en fresco en el Valle de Culiacán. Sin. SARH-INIA-CAEVACU. 125 p.
- Magdaleno-Hernández, E., Mejía-Contreras, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez-Velazquez, A., Sanchez-Escudero, J., & García-Cué, J.L. (2016). Selección tradicional de semilla de maíz criollo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13 (3), 437-447 <https://www.redalyc.org/pdf/3605/360547924006.pdf>
- Maldonado-Peralta, R., Ramírez-Vallejo, P., González Hernández, V. A., Castillo-González, F., Sandoval-Villa, M., Livera-Muñoz M., & Cruz-Huerta, N. (2016). Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates nativos. *Agroproductividad*, 9(12), 68-75.
- Núñez, R. T., Grijalva, C.R.L., Macías, D. R., Robles, C. F., & Ceceña D. C. (2012). Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 14 (3), 25-31. <https://doi.org/10.18633/bt.v14i3.169>
- PHG, (2012). Premier Horticultura Group, S. de R.L de C.V es una empresa de Villa Guerrero, Estado de México, Premier horticultura. <https://premierhorticultura.com/> (Enero/2022)

- Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F. J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J. P., & Lutts, S. (2019). Tomato Fruit Development and Metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1554. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>
- 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(1), 35-51. <http://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v11n1/v11n1a3.pdf>
- Ruiz, J. J., Arancha, A., García-Martínez, S., Valero, M., Blasco, P., Ruiz-Bevia, F. (2005). Quantitative analysis of flavour volatiles detects differences among closely related traditional cultivars of tomato. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 54-60. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1879>
- SADER. (2022). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México, referente mundial en el cultivo y exportación de jitomate: Agricultura. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-referente-mundial-en-el-cultivo-y-exportacion-de-jitomate-agricultura> (Junio/2022)
- Salgado-Meraz, L., Lobato-Ortiz, R. Pérez-Flores J. L., Cruz-Izquierdo, S., Peña-Valdivia, C. & García-Zavala, J. J. (2018). Diversidad agronómica de poblaciones de jitomate tipo "cherry" *S. lycopersicum* L. Y *S. pimpinellifolium* L. con potencial en el mejoramiento genético. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41 (4-A), 449-507.
- San Juan-Lara, F., Ramírez-Vallejo, P., Sánchez-García, P., Livera-Muñoz, M., Sandoval-Villa, M., Carrillo-Rodríguez, J. C., & Perales-Segovia, C. (2014) Variación en caracteres de interés agronómico dentro de una población nativa de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2), 159-164. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v37n2/v37n2a7.pdf>
- SAS, (2009). Institute. SAS/STAT® 9.0. User's guide release. Cary: SAS Institute..
- SIAP, (2020). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/ (Enero 2023).
- Steiner, A. A. (1984). The Universal Nutrient Solution. In: Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. *Wageningen*, The Netherlands, pp: 633-650.
- Tao, L., Yu-Qi, Z., Yi, Z., Rui-Feng, C., & Qi-Chang, Y. (2016). Light distribution in Chinese solar greenhouse and its effect on plant growth. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 3(2), 99-111. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2017.61273>
- 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.
- Van der Knaap, E., Lippman, Z. B., & Tanksley, S. D. (2002). Extremely elongated tomato fruit controlled by four quantitative trait loci with epistatic interactions. *Theoretical and Applied Genetics*, 104, 241-247. <https://doi.org/10.1007/s00122-001-0776-1>
- Zanne, A. E., Tank, D. C., Cornwell, W. K., Eastman, J. M., Smith, S. A., FitzJohn, R. G., McGlinn, D. J., O'Meara, B. C., Moles, A. T., Reich, P. B., Royer, D. L., Soltis DE, Stevens, P. F., Westoby, M., Wright, I. J., Aarssen, L., Bertin, R. I., Calaminus, A., Govaerts, R... & Beaulieu, J. M. (2014). Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. *Nature*, 506, 89-92. <https://doi.org/10.1038/nature12872>