

Cruza manual en tomate nativo (*Solanum lycopersicum* L.) de México como base para su mejora genética

Hand cross in a native tomato (*Solanum lycopersicum* L.) from Mexico as a basis for its genetic improvement

DOI: 10.34188/bjaerv6n3-024

Recebimento dos originais: 05/05/2023

Aceitação para publicação: 30/06/2023

Jaime Canul-Ku

Doctor en Genética por el Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, estado de México, México

Institución: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
Campo Experimental Zacatepec

Dirección: KM 0.5 Carretera Zacatepec – Galeana, Zacatepec de Hidalgo, estado de Morelos. CP 62780

Correo: canul.jaime@inifap.gob.mx

Denise Morán-Girón

Estudiante de la Carrera de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista

Institución: Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CEP-CSAEGRO)

Dirección: KM 14.5 Carretera Iguala – Cocula, Guerrero. CP 40585

Correo: barrios.edwin@inifap.gob.mx

Edwin Javier Barrios-Gómez

Doctor en Genética por el Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, estado de México, México

Institución: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
Campo Experimental Zacatepec

Dirección: KM 0.5 Carretera Zacatepec – Galeana, Zacatepec de Hidalgo, estado de Morelos. CP 62780

Correo: barrios.edwin@inifap.gob.mx

Eleodoro Hernández-Meneses

Doctor en Fisiología Vegetal por el Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, estado de México, México

Institución: Tecnológico Nacional de México Campus Región Sierra, Tabasco, México

Dirección: Carretera Teapa-Tacotalpa Km. 4.5, Francisco Javier Mina, Teapa, Tabasco. CP 86801

Correo: doromeneses@hotmail.com

Sandra Eloísa Rangel-Estrada

Doctor en Fisiología Vegetal por el Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, estado de México, México

Institución: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
Campo Experimental Zacatepec

Dirección: KM 0.5 Carretera Zacatepec – Galeana, Zacatepec de Hidalgo, estado de Morelos. CP 62780

Correo: rangel.sandra@inifap.gob.mx

RESUMEN

La cruce manual entre materiales nativos de tomate es una forma de aumentar la variación genética. Antes de realizar los cruzamientos se requiere conocer el momento oportuno en base a las condiciones del medio ambiente, para lograr el mayor porcentaje de amarre de fruto y, por consiguiente, éxito en el mejoramiento genético. El objetivo fue realizar cruzamientos manuales entre poblaciones de tomate nativo bajo las condiciones ambientales del Campo Experimental Zacatepec, Morelos, México como base esencial para emprender su mejora genética. Se seleccionaron flores en estado de botón, se eliminaron estambres, dejando solamente las estructuras femeninas. De tres a cinco días después, se revisó el desarrollo biológico de los estigmas, cuando se mostró receptivo se llevó a cabo la polinización, del 21 de septiembre al 10 de octubre del 2022, de 10:30 a.m. a 13:00 p.m. El material genético fueron aproximadamente 40 progenitores. Se registró la temperatura y la humedad relativa. El porcentaje de amarre de frutos fue la variable respuesta. Durante 20 días se realizó 67 cruces manuales. El porcentaje de amarre de frutos fue muy variable. El menor fue de 33% y el mayor de 100%. La temperatura promedio que se presentó fue de 29.68 °C y la humedad relativa de 64.19%. En las horas de la polinización fue aumentando la temperatura y la humedad relativa fue disminuyendo. Los dos factores principales que afectan el amarre de frutos son la temperatura y la humedad relativa. Estos resultados representan la base fundamental para emprender el mejoramiento genético de tomate nativo mexicano.

Palabras clave: emasculación, polinización, progenitor, híbridos

ABSTRACT

Hand crossing between native tomato materials is one way to increase genetic variation. Before carrying out the crosses, it is necessary to know the opportune moment based on the environmental conditions, to achieve the highest percentage of fruit set and, consequently, success in genetic improvement. The objective was to carry out manual crossings between native tomato populations under the environmental conditions of the Campo Experimental Zacatepec, Morelos, Mexico as an essential basis to undertake their genetic improvement. Flowers in bud state were selected; stamens were removed, leaving only the female structures. Three to five days later, the biological development of the stigmas was reviewed, when it was receptive, pollination was carried out, from September 21 to October 10, 2022, from 10:30 a.m. to 1:00 p.m. The genetic material was approximately 40 parents. The temperature and relative humidity were recorded. The percentage of fruit set was the response variable. During 20 days, 67 manual crosses were made. The percentage of fruit set was highly variable. The lowest was 33% and the highest was 100%. The average temperature that occurred was 29.68 °C and the relative humidity was 64.19%. In the hours of pollination, the temperature was increasing and the relative humidity was decreasing. The two main factors that affect fruit set are temperature and relative humidity. These results represent the fundamental basis to undertake the genetic improvement of native Mexican tomato.

Keywords: Emasculation, pollination, parent, hybrids

1 INTRODUCCION

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una planta dicotiledónea, herbácea y de ciclo anual. La estructura de interés antropocéntrico es el fruto. Presenta diferentes formas, tamaños, sabores y colores (Casals *et al.*, 2021). Son una fuente rica en minerales como calcio, vitamina A y C; además, contienen antioxidantes como el licopeno y glutatión (Alam *et al.*, 2020).

El tomate es una de las hortalizas con mayor demanda en el mundo. En 2021 la producción mundial fue de 189.13 millones de toneladas en una superficie de 5.16 millones de ha. Se cultiva en más de 100 países, entre los principales sobresalen: China, Estados Unidos, India; Turquía y Egipto (FAOSTAT, 2023).

En México, se reportó una superficie sembrada de 48,041 ha en 2021, de las cuales se cosecharon 47,940 ha, con una producción de 3,324,263 toneladas. El rendimiento promedio fue de 69.34 ton ha⁻¹. Las principales entidades federativas con mayor producción fueron: Sinaloa con 677,612 ton, San Luis Potosí 440,875 ton, Michoacán 283,259 ton, Jalisco 197,679 ton y Baja California Sur con 173, 540 ton (SIAP, 2021). La dinámica de la producción va hacia el incremento debido a la creciente demanda de esta hortaliza (FAOSTAT, 2023), con una tasa de incremento anual en el rendimiento de fruto de 2.4% (Ronga *et al.*, 2021).

México es centro de origen y de domesticación de muchas especies con alto valor alimenticio, cultural y social, donde sobresale el tomate (Blanca *et al.*, 2022). Es considerado la hortaliza de mayor consumo tanto en fresco como procesado. El tomate nativo en nuestro país se encuentra distribuido en ambientes contrastantes y restrictivos (Ramírez-Ojeda *et al.*, 2022), por lo que, se considera fuente de genes de interés agronómico para el mejoramiento genético de la especie. Presentan por lo general menor firmeza y vida de anaquel del fruto en comparación con los híbridos y variedades comerciales cultivados; sin embargo, su calidad nutricional es mucho mejor, ya que contienen mayor cantidad de: sólidos solubles, β -caroteno, licopeno y ácido ascórbico (Juárez-López *et al.*, 2009).

Los cultivos nativos, como el tomate, conforme transcurre el tiempo han ido perdiendo variabilidad genética como resultado del proceso de domesticación, selección *in situ* y uso culinario específico. A través de este proceso evolutivo también se han originado caracteres de importancia para la mejora genética de la especie. Es fundamental y necesario hacer uso de este germoplasma para explotar su potencial genético (Flores-Hernández *et al.*, 2018), producto de las condiciones extremas donde han estado expuesto durante largos periodos adaptados en su medio agroecológico. Se considera factible su uso para generar nuevas variedades capaces de afrontar los cambios climáticos futuros, ya que contienen genes de resistencia para el control de enfermedades, plagas y genes para la adaptación al medio ambiente.

En todo el territorio mexicano existen diferentes poblaciones de tomate nativo (Ramírez-Ojeda *et al.*, 2022), cada una con características específicas y únicas, como el color, sabor, forma y tamaño. Es muy popular entre los consumidores, ya que es el ingrediente principal para la elaboración de alimentos tradicionales y alimentos de tipo gourmet. Estas poblaciones se han

obtenido a partir del pre mejoramiento genético llevado a cabo por agricultores locales, que han seleccionado individuos con características de interés antropocéntrico.

La generación de híbridos de tomate es la manera más eficiente de incrementar el rendimiento (Marín-Montes *et al.*, 2022), mejorar la calidad y la adaptabilidad de los cultivos. Este proceso involucra el entrecruzamiento entre dos o más genotipos diferentes, pero esta práctica puede ser costosa y laboriosa, ya que la emasculación y polinización es una labor intensiva y requiere de un gran número de jornales. En México, los híbridos y las variedades comerciales de tomate que se cultivan han sido generados por empresas transnacionales (Gaspar-Peralta *et al.*, 2012; Hernández-Leal *et al.*, 2013). El lugar donde se generan respecto al lugar del cultivo difieren en condiciones ambientales, es probable que muestren falta de adaptación lo cual se refleja en la calidad del producto.

En México el mejoramiento genético de tomate no ha sido atendido por instituciones del gobierno y parcialmente por centros públicos de investigación. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha liberado 19 variedades de ajo, 10 de cebolla, 21 de chile, 29 de papa y 2 de tomate de cáscara en 35 años; pero ninguno de tomate (González-Pérez *et al.*, 2021). Esto representa una oportunidad para cubrir esta demanda de híbridos y variedades de tomate. Se dispone de germoplasma nativo caracterizado con descriptores morfológicos (Canul-Ku *et al.*, 2022 a, b) para generar híbridos y variedades mejoradas locales. Antes de realizar cruzamientos manuales se requiere conocer algunas condiciones ambientales del lugar, así como la compatibilidad entre los genotipos. En base a lo anterior, el objetivo del trabajo fue realizar cruzamientos manuales entre poblaciones de tomate nativo bajo las condiciones ambientales de Morelos, México como base esencial para emprender su mejora genética.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

La presente investigación se realizó en el Campo Experimental Zacatepec dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Zacatepec de Hidalgo, Morelos, México, en las coordenadas 18° 39' 16' N, y 99° 11' 54.7' O, a una altitud de 911 msnm. El clima predominante es cálido subhúmedo (Aw_0), con lluvias en verano, precipitación promedio pluvial anual de 800 mm y temperaturas promedio anual de 24 °C (García, 1981).

Material genético

El germoplasma utilizado en este estudio fue de origen nacional obtenido por medio de recolectas en los siguientes estados: Campeche, Morelos, Oaxaca, Puebla, Tabasco y Veracruz. Las características que se consideraron para la selección fueron principalmente la vida de anaquel, forma, consistencia y tamaño del fruto. En el Cuadro 1 se describen la forma de fruto de cada germoplasma utilizado y su lugar de procedencia.

Cuadro 1. Procedencia de germoplasma de tomate nativo utilizadas como progenitores en los cruzamientos realizados en 2022. Zacatepec, Morelos, México.

Población	Forma de fruto	Municipio	Estado
JCM 01	Riñón	Dzitbalché	Campeche
JCM 02	Riñón	Huachinango	Puebla
JCM 03	Riñón	Tlacolula	Oaxaca
JCM 04	Riñón	Poza Riza	Veracruz
JCM 05	Cherry grande	Xoxocotla	Morelos
JCM 06	Cherry	Tlacolula	Oaxaca
JCM 07	Riñón	Teapa	Tabasco
JCM 08	Medio riñón	Dzitbalché	Campeche
JCM 09	Medio Saladete	Tlacolula	Oaxaca
JCM 10	Riñón	Huachinango	Puebla
JCM 11	Riñón	Xitlala	Puebla
JCM 13	Cherry	Zozocolco de Hidalgo	Veracruz
JCM 19	Chino criollo	Tlacolitos, Zinacatepec	Puebla

También se utilizaron germoplasma exótico (con clave números romanos) y materiales seleccionados avanzados (con clave C) con fines de conocer la factibilidad para la producción de progenie híbrida fértil e incrementar la variabilidad genética de la especie.

Manejo del cultivo

El germoplasma utilizado se estableció en un invernadero modificado con techo plástico y paredes laterales cubiertas por malla, con temperatura promedio de 20 °C y humedad relativa de 79.1%, durante el periodo de agosto a diciembre de 2022. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones, cada unidad experimental constó de ocho plantas establecidas en macetas de plástico de 30.48 cm de diámetro y 24 cm de altura.

La siembra se realizó el 23 de julio de 2022. Se utilizaron charolas de poliestireno de 50 cavidades con sustrato comercial Sunshine Mix® No. 3. Por cavidad se depositaron dos semillas. Las charolas se colocaron bajo condiciones ambientales de 26 °C y 70% de humedad relativa por un periodo de cuatro días, hasta la emergencia. En etapa de cuarta hoja verdadera, 22 días después de la siembra, se trasplantó en macetas con sustrato a base de ocochal (hojarasca de ocote descompuesta), atocle (suelo de vega de río) y polvillo de coco en block ¾ Pelemix® en proporción 60:20:20 v/v/v.

La planta se condujo a un solo tallo y se tutoró con rafia para soporte en la etapa de crecimiento vegetativo y fructificación. De manera preventiva para el control de mosca blanca se realizó con la aplicación de 1.5 g L⁻¹ de Confidor® (Imidacloprid) y de 4 g L⁻¹ de sulfato de cobre contra tizón. El riego de las plantas fue mediante sistema por goteo y se aplicó solución nutritiva a base de nitrato de potasio (0.22 g L⁻¹), fosfato monopotásico (0.21 g L⁻¹), Kelatex® (0.032 g L⁻¹) y ácido nítrico (0.25 g L⁻¹).

Emasculación

El jitomate presenta flores hermafroditas agrupadas en una inflorescencia en forma de racimo. Para llevar a cabo la emasculación, se seleccionaron flores en estado de botón (Figura 1A), se eliminaron los estambres, con la ayuda de pinzas de disección dejando solamente las estructuras femeninas (Figura 2B). Es importante señalar que en este estado fenológico aún no se encuentran receptivos los estigmas para realizar la polinización. Por lo que, para evitar la entrada de polen extraño se cubrieron con bolsas de papel encerado, sujetando con la ayuda de un clip metálico, enseguida se anotó la fecha de emasculación y los datos del parental femenino (Figura 1C). La emasculación se realizó durante las primeras horas de la mañana, antes de que se liberara el polen. El periodo de emasculación comprendió del 17 de septiembre al 7 de octubre del 2022.

Figura 1. Proceso hibridación en tomate nativo de México. A) Botón floral. B) Flor emasculada. C) Protección de flor emasculada. D y E) Estigma receptivo. F) Recolección de flores masculinas. G) Polen recolectado. H e I) Impregnación de polen al estigma. J, K y L) Fruto producto de la polinización manual



Polinización

Transcurridos de tres a cinco días después de la emasculación se procedió a revisar el desarrollo biológico de los estigmas. Cuando se mostró receptivo (Figura 1D y E) se llevó a cabo la polinización. El proceso se inició con la selección de los progenitores masculinos (Figura 1F), en flores abiertas se recolectó polen que fueron depositados en una caja Petri de 5 cm de diámetro (Figura 1G). En el estigma receptivo se quitó la bolsa encerada y se impregnó el polen directamente (Figura 1H, I). De nueva cuenta se volvió a cubrir con la misma bolsa. Esta actividad fue desarrollada en un intervalo de 10:30 am a 13:00 pm. El periodo de polinización comprendió del 21 de septiembre al 10 de octubre del 2022.

Finalizada la polinización se colocó una etiqueta con la información de los progenitores, fecha de emasculación, fecha de polinización, número de flores fecundadas, y hora en que se realizó. Alrededor de 5 a 7 días después, se retiró la bolsa para que el fruto tuviera las condiciones adecuadas para su crecimiento y desarrollo (Figura 1J, K, L).

De manera general en cada inflorescencia se emasclaron y polinizaron de una a cuatro flores. En total se llevaron a cabo 67 cruzamientos manuales en el ciclo 2022. Durante el periodo de emasculación y polinización se registró la temperatura y la humedad relativa a nivel de dosel de la planta a través de un Data Loggers HOBO U12.

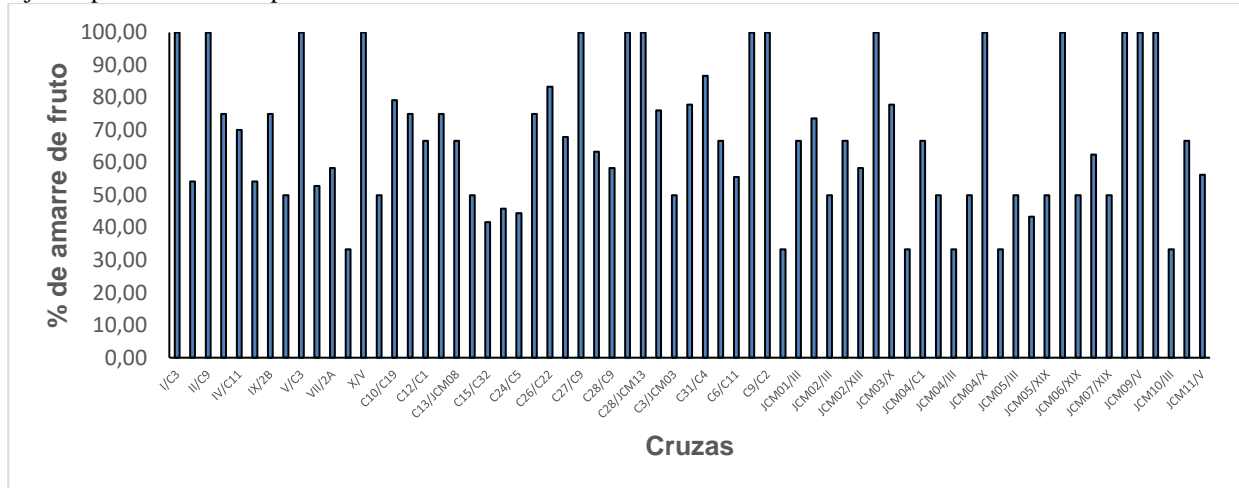
En este trabajo como producto de los cruzamientos manuales se consideró como variable respuesta el porcentaje de amarre de frutos, el cual se estimó como el número de frutos completamente maduros respecto a la cantidad de flores polinizadas multiplicado por 100. La cosecha se realizó en maduración completa, cuando los frutos estuvieron completamente rojos. Se realizó análisis de correlación de Pearson a través SAS (2000).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante un periodo de 20 días se realizó 67 cruza manuales. La cantidad de progenitores que se emplearon fue de aproximadamente 40. El porcentaje de amarre de frutos fue muy variable. El menor fue de 33% y el mayor de 100% como se observa en la Figura 2. En el estudio sobre la estandarización para la producción de semilla híbrida Patta *et al.* (2015) reportaron cuajado de fruto de 60.47% con una sola polinización y de 75.25% con polinizaciones repetidas. Sharma *et al.* (2017) en experimentos realizados con tres tiempos de polinización y tres cargas de frutos determinaron cuajado de fruto desde 18.3% hasta 65.1%. Chishti *et al.* (2021) lograron cuajado de fruto de 30.2% y 37.7% con dos y tres polinizaciones cada 24 horas ambos en temperaturas de 17 – 28.6 °C. En cruzamientos realizados entre dos genotipos cultivados y siete especies silvestres Zeist *et al.* (2022)

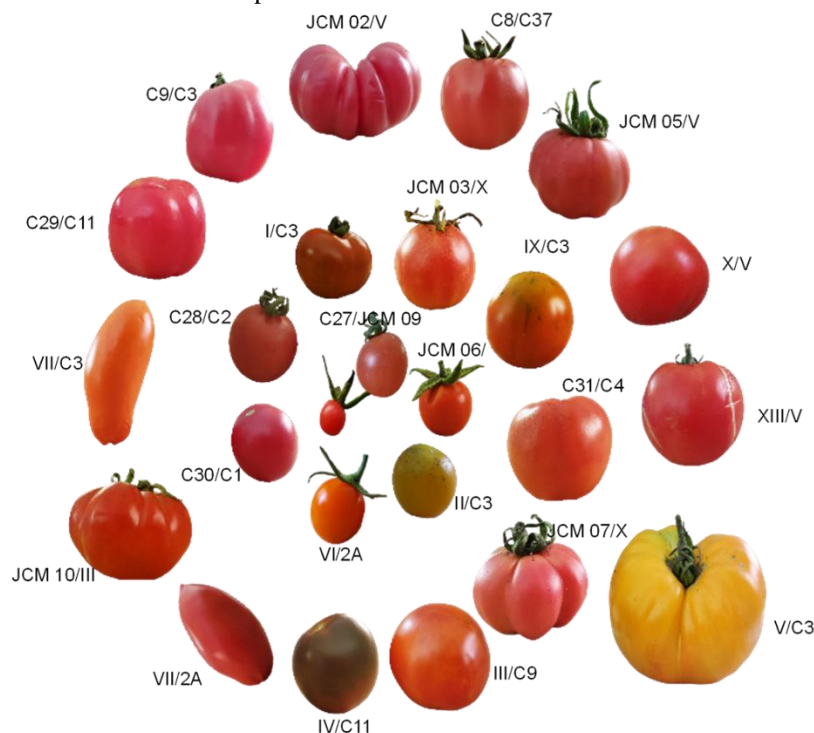
obtuvieron variación considerable en porcentaje de cuajado de frutos y señalan la importancia de conocer la compatibilidad genética como herramienta útil para el mejoramiento genético.

Figura 2. Porcentaje de amarre de frutos en cruzamientos manuales de tomate nativo de México. En esta grafica a lo mejor se pudiera meter el promedio mediante una línea.



Los progenitores que se emplearon en los cruzamientos fueron recolectados en diferentes regiones (Canul-Ku *et al.*, 2022a). En estos lugares la condición ambiental juega un papel fundamental, así como la selección que durante años han realizado los agricultores. Esto ha dado origen a una amplia diversidad morfológica y genética. En la Figura 3 se muestra el producto de la recombinación genética mediante cruce manual.

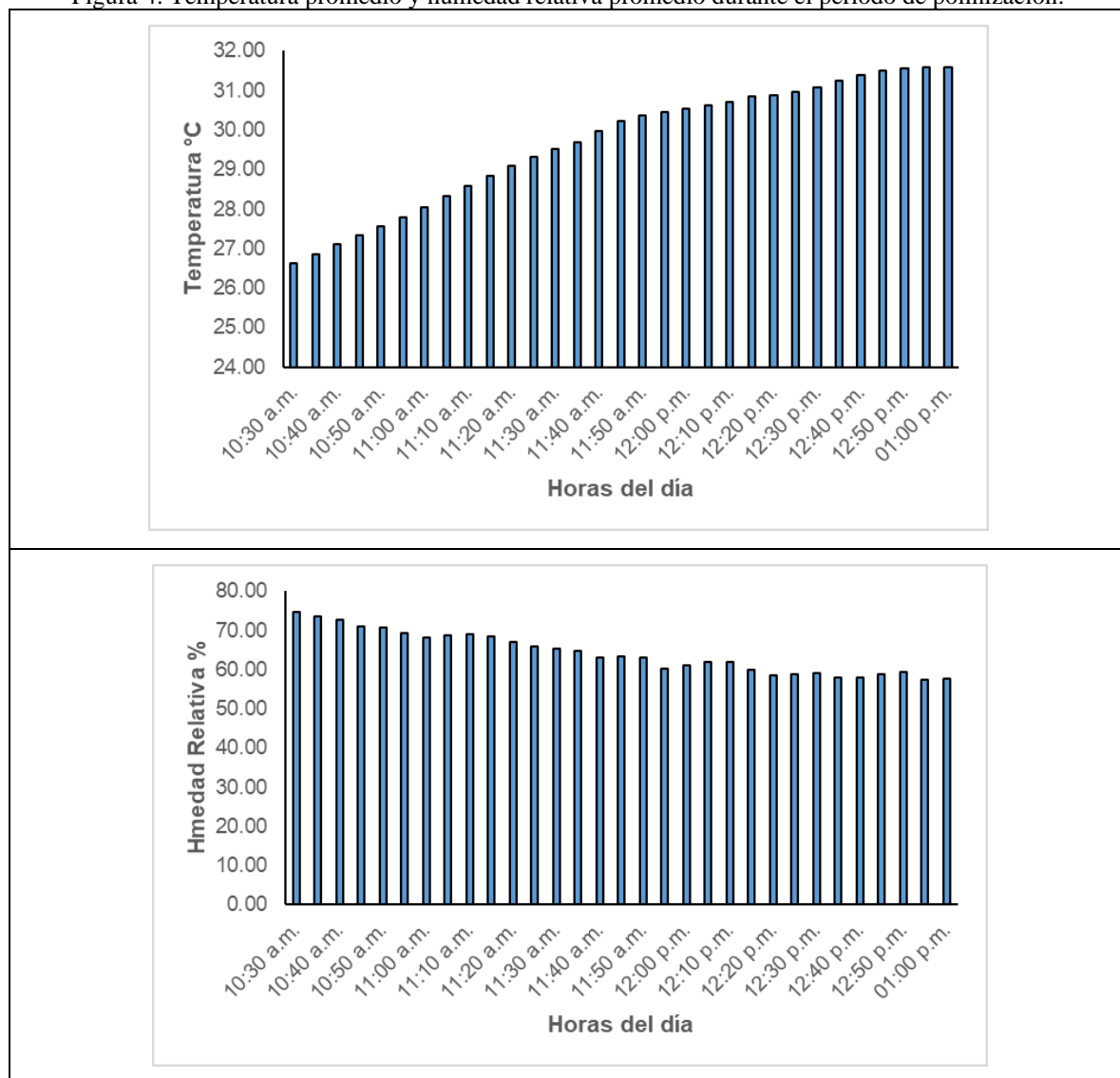
Figura 3. Diversidad de frutos producto de la cruce manual entre tomates nativos de México.



Los resultados muestran que la polinización manual es una técnica efectiva para la generación de nuevas variedades de tomate, en donde se recombinan las características sobresalientes de los parentales elegidos. También es indicativo de que los materiales genéticos empleados son compatibles, dado que se obtuvo semilla fértil. Probablemente en aquellas cruza donde el porcentaje de amarre de fruto fue menor se explique por la inadecuada emasculación, cambios bruscos de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero.

En el periodo cuando se llevó a cabo la polinización manual, del 21 de septiembre al 10 de octubre del 2022, el cual transcurrió de 10:30 a.m. a 13:00 p.m., la temperatura promedio que se presentó fue de 29.68 °C y la humedad relativa de 64.19%. La temperatura fue incrementando conforme avanzó las horas del día, de 26.62 a 31.59 °C; mientras que, la humedad relativa fue disminuyendo de 74.61 a 57.30% (Figura 4).

Figura 4. Temperatura promedio y humedad relativa promedio durante el periodo de polinización.



El día con mayor porcentaje de amarre de fruto fue el 10 de octubre del 2022, en donde la temperatura se encontró en un promedio de 29 °C. En cuanto al día con menos porcentaje de amarre de fruto fue el 27 de septiembre del 2022 con una temperatura de 27 °C (datos no presentados). En cuanto a la correlación entre el porcentaje de amarre de frutos con la temperatura y humedad relativa no se evidenció una fuerte asociación entre amarre de fruto, temperatura y humedad relativa.

Las condiciones más importantes para llevar a cabo la polinización en tomate son la temperatura y la humedad relativa óptima. Ozores-Hampton (2014) reporta que el intervalo de temperatura favorable para llevar a cabo esta actividad oscila de 21 a 29.4 °C con una humedad relativa de 70%. Por su parte, Harel *et al.* (2014) indican que en verano cálido de la región del Mediterráneo las temperaturas medias diarias de 25–26 °C fueron el límite superior para un mejor cuajado y rendimiento de frutos bajo condiciones protegidas. En este trabajo en la Figura 4 se muestra las condiciones de temperatura y humedad relativa que se presentaron durante el periodo de polinización en el Campo Experimental Zacatepec, Morelos, las cuales fueron adecuadas para lograr el amarre de frutos y por consiguiente una polinización exitosa. Asimismo, en las Figuras 2 y 3 se muestran las evidencias de este proceso.

Como se mencionó anteriormente, la polinización se llevó a cabo de 10:30 a.m. a 13:00 p.m. con los resultados que se muestran en la Figura 4. Kumar *et al.* (2010) reportan que el cuajado de fruto fue significativamente más alto cuando la polinización fue hecha entre 10 y 11 a.m. un día después de la emasculación. Sharma *et al.* (2017) en experimentos realizados con tres tiempos de polinización y tres cargas de frutos determinaron que el mejor momento es de 9 a 10 a.m.

Estos resultados representan la base para iniciar el mejoramiento genético de tomate nativo de México. En el país existe dependencia varietal del extranjero. Esta condición propicia la fuga de divisas, el pago de regalía e incrementa los costos de producción.

4 CONCLUSIONES

En 67 cruza manuales con 40 progenitores se obtuvo porcentaje de amarre de frutos muy variable. El menor fue de 33% y el mayor de 100%. Los frutos cosechados son indicativos de la compatibilidad genética de los genotipos. Esto representa la base fundamental para emprender el mejoramiento genético de tomate nativo mexicano. Los dos factores principales que afectan el amarre de frutos son la temperatura y la humedad relativa.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para llevar a cabo el siguiente trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- Alam S., Hossain S., Ali A., Hossain G. and Islam F. 2020. Assessment of genetic divergence in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) through clustering and principal component analysis. *Journal of Agricultural Science and Engineering Innovation* 1(1):10-14. Doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3965945>.
- Blanca, J., Sanchez-Matarredona, D., Ziarsolo, P., Montero-Pau, J., Van der Knaap, E., Díez, M. J., & Cañizares, J. 2022. Haplotype analyses reveal novel insights into tomato history and domestication driven by long-distance migrations and latitudinal adaptations. *Horticulture Research*, 9: uhac030. <https://doi.org/10.1093/hortre/uhac030>
- Canul-Ku, J., González-Pérez, E., Barrios-Gómez, E. J., Pons-Hernández, J. L., & Rangel-Estrada, S. E. 2022a. Caracterización morfológica y agronómica de germoplasma de tomate nativo del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1), 23-23.
- Canul-Ku, J., González-Pérez, E., Barrios-Gómez, E. J., Hernández-Meneses, E., & Rangel-Estrada, S. E. 2022b. Variación morfológica cualitativa de germoplasma nativo de jitomate del sur de México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(2), 1590-1602.
- Casals J., M. Martí, A. Rull and C. Pons. 2021. Sustainable transfer of tomato landraces to modern cropping systems: the effects of environmental conditions and management practices on long-shelflife tomatoes. *Agronomy* 11, 533. <https://doi.org/10.3390/agronomy110305>
- Chishti, S. A. S., Hassan, A., Ahmad, M., Nadeem, K., Shabbir, R. H., Iqbal, M., ... & Najeebullah, M. (2021). Effect of repeated pollination on tomato hybrid seed yield under field conditions. *J. Agric. Res.* 59(2), 127-132.
- FAOSTAT. 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#compare>. Acceso mayo 07, 2023.
- Flores-Hernández, L. A., Lobato-Ortiz, R., Sangerman-Jarquín, D. M., García-Zavala, J. J., Molina-Galán, J. D., Velasco-Alvarado, M. D. J., & Marín-Montes, I. M. 2018. Genetic diversity within wild species of *Solanum*. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 24(2), 85-96.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, Instituto de Geografía-UNAM, México.
- Gaspar-Peralta, P., Carrillo-Rodríguez, J. C., Chavez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., & Pérez-León, I. (2012). Variación de caracteres agronómicos y licopeno en líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Phyton* 81(1), 15-22.
- González-Pérez E., Ramírez-Meraz M., Canul-Ku J., Flores-López R., Macías-Valdez L. M. 2021. Aportaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias al mejoramiento genético de hortalizas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 25:1-13.
- Harel, D., Fadida, H., Slepoy, A., Gantz, S., & Shilo, K. (2014). The effect of mean daily temperature and relative humidity on pollen, fruit set and yield of tomato grown in commercial protected cultivation. *Agronomy*, 4(1), 167-177.
- Hernández-Leal, E., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Reyes-López, D., Méndez-López, A., Bonilla-Barrientos, O., & Hernández-Bautista, A. (2013). Comportamiento agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3), 209-215.

Juárez-López P, Castro-Brindis R, Colinas-León T, Ramírez Vallejo P, Sandoval-Villa M, Reed WD, Cisneros Zevallos L, King S. 2009. Evaluación de calidad en frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme). Revista Chapingo Serie Horticultura 15: 5-9.

Kumar S., Vyakaranahal, B. S., Palled, Y. B., Dharmatti, P. R., and Patil, M. S. 2010. Studies on crossing ratio and pollination time in tomato hybrid seed production (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Karnataka Journal of Agricultural Sciences 21(1):30-34.

Marin-Montes, I.M.; Rodríguez-Pérez, J.E.; Robledo-Paz, A.; de la Cruz-Torres, E.; Peña-Lomelí, A.; Sahagún-Castellanos, J. Haploid Induction in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) via Gynogenesis. Plants 2022, 11, 1595. <https://doi.org/10.3390/plants11121595>

Ozores-Hampton M. 2014. Hand Pollination of Tomato for Breeding and Seed Production1. IFAS Extension-University of Florida.

Patta S., K. V. Alice, Tomar B. S. and Singh B. 2015. Standardization of seed production technology in hybrid tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Applied Biological Research 17(3): 280-287. DOI: 10.5958/0974-4517.2015.00040.3

Peralta I. E. and D. M. Spooner. 2007. History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). In: Genetic Improvement of Solanaceous Crop. M. K. Razdan and A. K. Mattoo (eds.). Science Publishers. Enfield, New Hampshire, USA. pp:1-24.

Ramírez-Ojeda, G.; Rodríguez-Pérez, J.E.; Rodríguez-Guzmán, E.; Sahagún-Castellanos, J.; Chávez-Servia, J.L.; Peralta, I.E.; Barrera-Guzmán, L.Á. 2022. Distribution and Climatic Adaptation of Wild Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Populations in Mexico. Plants 2022, 11, 2007. <https://doi.org/10.3390/plants11152007>

Ronga, D.; Caradonia, F.; Vitti, A.; Francia, E. 2021. Agronomic comparisons of heirloom and modern processing tomato genotypes cultivated in organic and conventional farming systems. Agronomy 11, 349. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020349>

SAS. 2000. SAS® Procedure Guide, Version 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1643 p.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2021. Avance de siembras y cosechas. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/ (julio 2022). SIAP. 2021. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

Sharma, P., Kumari, M. and Kumar, P. 2017. Studies on stigma receptivity and fruit load for hybrid seed production in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under protected environment. *Himachal Journal of Agricultural Research* 43(1):44-47.

Zeist, A. R., Resende, J. T. V. D., da-Silva, P. R., Maluf, W. R., Silva Júnior, A. D., Lima Filho, R. B. D., & Faria, M. V. 2022. Self-pollination, intra-and interspecific crosses in tomatoes. *Scientia Agricola* 80, e20220016.