

Temperatura alta durante la polinización y su efecto en el rendimiento de maíz grano

High temperature during pollination and its effect on grain corn yield

Arturo Reyes-González¹ , David Guadalupe Reta-Sánchez² , Juan Isidro Sánchez-Duarte¹ , Miguel Servín-Palestina³ , José Antonio Cueto-Wong^{1*} 

¹INIFAP. Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez No. 1200 pte Col. Centro. CP. 27440 Matamoros, Coahuila, México.

²INIFAP. Campo Experimental Delicias. Labor Ejido Rosales Kilómetro 2. CP. 33000. Delicias, Chihuahua, México.

³INIFAP. Campo Experimental Zacatecas. Km. 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo. CP. 98500. Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México.

Autor de correspondencia: cueto.jose@inifap.gob.mx

Nota científica

Recibida: 15 de julio 2024

Aceptada: 01 de julio 2025

RESUMEN. El objetivo fue evaluar el efecto de la temperatura alta durante la etapa de polinización en el rendimiento de maíz grano en la Comarca Lagunera. El estudio se realizó en el ciclo de primavera 2023. Se evaluaron tres híbridos de maíz (P3274W, H-383 y PATRIOTA), bajo un sistema de riego por goteo subsuperficial. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones. Durante el desarrollo del cultivo, las temperaturas extremas (40 °C) se presentaron en la polinización por 11 días, empezando a los 74 y terminando a los 84 días después de la siembra (DDS). Debido a lo anterior los rendimientos de grano fueron bajos ya que oscilaron entre 0.76 y 2.5 t ha⁻¹, los cuales representaron una reducción del 83 al 95% en el rendimiento de grano esperado en el maíz.

Palabras clave: Fertirriego, maíz grano, temperatura extrema.

ABSTRACT. The aim was to evaluate the effect of high temperature during the pollination stage on the grain corn yield in the Comarca Lagunera. The study was carried out in the spring 2023 growing season. Three corn hybrids (P3274W, H-383 and PATRIOTA) were evaluated under a subsurface drip irrigation system. The experiment was arranged as a randomized complete blocks design with three replicates. During crop development, extreme temperatures (40 °C) occurred during pollination for 11 days, starting at 74 and ending at 84 days after sowing (DAS). Due to the above, grain yields were low since they ranged between 0.76 and 2.5 t ha⁻¹, which represented a reduction of 83 to 95% in the expected grain yield in corn.

Key words: Fertigation, grain corn, extreme temperature.

Como citar: Reyes-González A, Reta-Sánchez DG, Sánchez-Duarte JI, Servín-Palestina M, Cueto-Wong JA (2025) Temperatura alta durante la polinización y su efecto en el rendimiento de maíz grano. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): e4253. DOI: 10.19136/era.a12n2.4253.

INTRODUCCIÓN

En México, la producción de maíz grano varía de acuerdo a la zona de producción y tipo de riego. Por ejemplo, en el norte del país es factible obtener rendimientos igual o mayor a 8 t ha⁻¹ con riego, mientras que en el centro del país son comunes rendimientos de 1 t ha⁻¹ en condiciones de temporal (Montesillo 2016, SIAP 2022). Sin embargo, estos rendimientos pueden ser aun menores debido al cambio climático (temperatura alta), sobre todo si la temperatura alta se presenta durante el período crítico de floración, ya que esta afectara de manera directa la producción de maíz grano (Mesihovic *et al.* 2016).

La temperatura ideal para la producción de maíz oscila entre los 23 y 28 °C (Ahmad *et al.* 2024). Temperaturas mayores pueden afectar de manera negativa la polinización (Hatfield y Prueger 2015). La polinización es una de las etapas fenológicas más sensibles a altas temperaturas en la mayoría de las especies, incluyendo al maíz y durante esta etapa de desarrollo las temperaturas extremas afectan en gran medida la producción (Hatfield y Prueger 2015, Rieu *et al.* 2017), ya que durante la polinización dañan la liberación y dispersión del polen (Commuri y Jones 2001). Lo que lleva a una reducción en el número de granos de polen (Mesihovic *et al.* 2016). Aunado a esto Nielsen (2020) comenta que temperaturas altas pueden secar el polen antes de que fertilice exitosamente el óvulo. Esta interferencia con la polinización se refleja en mazorcas mal llenadas y en consecuencia, en una reducción del rendimiento de grano. Asimismo, Guan *et al.* 2024, encontraron que temperaturas mayores a 35 °C provocan desecación de los estigmas y reduce la viabilidad del polen en maíz, lo que provocó una reducción en la producción del cultivo. También reportan una reducción del 74% en el rendimiento de maíz cuando las plantas se sometieron a temperaturas por arriba de 35 °C por más de ocho días durante la etapa reproductiva. En este mismo contexto, el porcentaje de amarre de grano de la mazorca disminuye hasta un 80% al incrementarse la temperatura de 26 a 38 °C, como lo mencionan Dong *et al.* 2024.

Varias investigaciones han informado que el polen es sensible a temperaturas elevadas en diversos cultivos como: frijol (Anaya-López *et al.* 2022), tabaco (Jie *et al.* 2021), tomate (Paupiere *et al.*, 2017), cebada (Podlesny y Podlesna, 2012), sorgo (Djanaguiraman *et al.* 2018), pasto (Harsant *et al.* 2013), algodón (Burke y Chen 2015) e incluso maíz (Bheemanahalli *et al.* 2022, Dong *et al.* 2024, Guan *et al.* 2024), sin embargo, información sobre el efecto de altas temperaturas en la producción de maíz grano en un climas árido y semiárido como la Laguna no se ha generado. Este tipo de información se considera relevante debido a que proyecciones realizadas para las siguientes décadas indican que la temperatura de las zonas áridas y semiáridas será más intensa y con mayor frecuencia. Debido a lo anterior el objetivo fue evaluar el efecto de la temperatura alta durante la etapa de polinización sobre el rendimiento de maíz grano en la Comarca Lagunera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó durante el ciclo de primavera 2023, en el Campo Experimental La Laguna, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); ubicado a 25° 32'

41'' de latitud norte, 103° 14' 42'' de longitud oeste; y 1150 msnm, en Matamoros, Coahuila, México. El clima es muy seco semicálido (Bwh) con humedad atmosférica escasa, temperatura media anual de 22.6 °C, precipitación promedio de 215.5 mm y evaporación media anual de 2000 mm (García 2004). La temperatura y precipitación del presente trabajo se tomaron diariamente de la estación meteorológica del INFAP Campo Experimental La Laguna.

Siembra y fertilización

La siembra fue en seco de manera manual el 28 de marzo de 2023, en un suelo de textura franco arcillosa, con una distancia entre semillas de 0.13 m y entre surcos 0.76 m para lograr una densidad de población de 100 mil plantas por hectárea. Se utilizaron tres híbridos de maíz (P3274W, H-383 y PATRIOTA) de ciclo intermedio, aptos para siembras de primavera. La dosis de fertilización que se uso fue: 292-108-00 (N, P, K). Como fuente de nitrógeno se utilizó UAN-32 y de fósforo ácido fosfórico. Las 292 y 108 unidades provienen de la extracción unitaria estimada de nitrógeno de 19.5 kg de N/t y de fosforo 7.2 kg de P/t de grano (Castellanos *et al.* 2019), ajustados a las 15 t que fue la meta de rendimiento con riego por goteo (Borroel *et al.* 2018). Los maíces utilizados en este experimento fueron similares en ciclo de cultivo (intermedios) y densidad de siembra (100 mil plantas por hectárea). La fertilización se fracciono y aplicó cada semana de acuerdo al desarrollo fenológico del cultivo mediante el sistema de riego por goteo y un inyector Venturi. La cinta de riego que se utilizó fue RO-DRIP 8 000 (Rivulis Irrigation Inc., San Diego, CA, EUA) con espesor de pared de 0.2 mm, diámetro interior de 16 mm, con emisores a 0.2 m de separación y un gasto de 0.5 L h⁻¹ por emisor. La cintilla se enterró a una profundidad de 0.15 m con una distancia entre ellas de 0.76 m. La presión de operación del sistema de riego fue de 8 PSI con frecuencia de riego de tres días. La lámina total de riego fue 80 cm.

Cosecha

La cosecha se realizó a los 150 DDS, cuando el grano se encontraba en madurez fisiológica (R6). El rendimiento de grano se midió en los cuatro surcos centrales de cada parcela experimental, desechando un metro de las orillas (18.24 m²). Las variables de respuesta evaluadas fueron rendimiento de grano (kg ha⁻¹), número de grano por mazorca y peso de grano por mazorca (g), se tomaron de acuerdo con la metodología propuesta por (Tadeo *et al.* 2014 y Martínez-Gutiérrez *et al.* 2018). Para la comparación de medias del rendimiento de grano entre híbridos de maíz, se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), con el paquete estadístico SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC. EUA).

Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas experimentales consistieron de seis surcos de 8 m de largo y 0.76 m de separación entre surcos (36.48 m²). La programación de los riegos fue en base a la evapotranspiración de referencia (ET_r), la cual se tomó de un atmómetro (ETgage, modelo A comercializado por ETgage Company Loveland, Colorado, EUA), ubicado a 50 m del experimento. La ET_r se multiplicó por el coeficiente de cultivo (K_c) para obtener la ET del cultivo (ET_c). El K_c que se utilizó fue generado en forma local por Reyes *et al.* (2019) para maíz forrajero. La ET_r se tomó del atmómetro todos los días por las

mañanas (8:30 am). La precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo fue de 28.8 mm, los cuales van implícitos en la lámina total de riego utilizada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clima

Las condiciones climáticas durante el desarrollo del cultivo fueron las siguientes: temperatura máxima desde 19 °C (50 DDS) hasta 41 °C (82 DDS) y precipitación total de 28.8 mm (Figura 1). Es importante mencionar que las temperaturas extremas (40 °C) se presentaron durante la polinización, tres días después del inicio de floración, recuadro rojo en la Figura 1, mientras que la línea punteada roja, indica la temperatura umbral máxima (35 °C), a la cual el maíz deja de crecer y desarrollarse (Lobell *et al.* 2013). De acuerdo con Ahmad *et al.* 2024, la temperatura ideal para maíz es entre 23 y 28 °C. En el presente trabajo y durante la etapa vegetativa, las temperaturas estuvieron por debajo de los 35 °C (Figura 1). Sin embargo, durante la polinización y parte de la etapa reproductiva las temperaturas estuvieron por encima de esa temperatura. Esto afecto de manera negativa la fertilización del ovulo, el llano del grano y el número de granos por mazorca, lo que provocó una reducción en el rendimiento del cultivo.

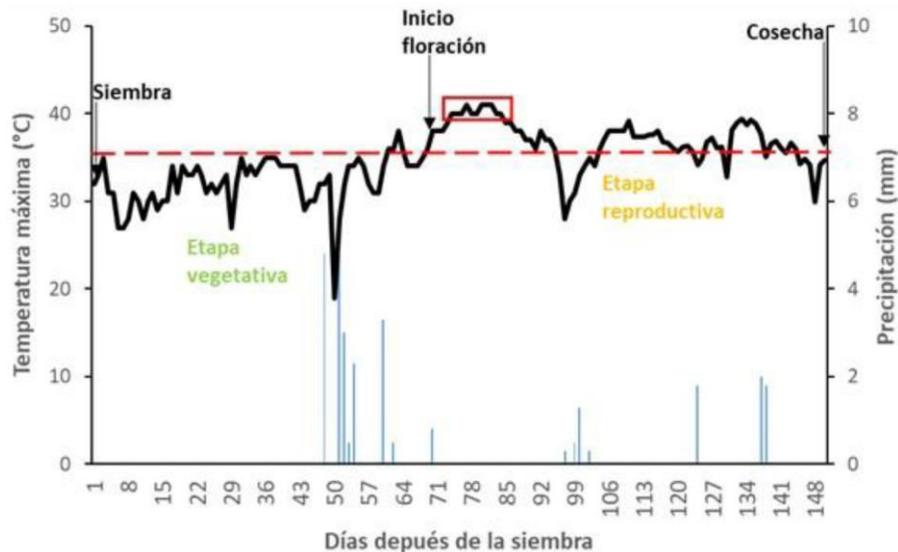


Figura 1. Temperatura máxima y precipitación durante el desarrollo del cultivo, ciclo de primavera 2023, Matamoros, Coahuila, México.

Rendimiento de grano

Durante la etapa de polinización del cultivo se presentaron 11 días con temperaturas extremas (40 °C) (Figura 1), lo cual ocasionó que el rendimiento de grano en el maíz se redujera de manera significativa. La Figura 2 muestra el rendimiento promedio obtenidos de tres híbridos de maíz, los cuales oscilaron entre 0.76 t ha⁻¹ con el híbrido H-383, hasta 2.5 t ha⁻¹ con el híbrido P3274W, siendo diferentes estadísticamente. Lo anterior muestra que hay genotipos más apropiados para estas condiciones de clima (Borroel *et al.* 2018). En relación al rendimiento de grano esperado (15 t ha⁻¹),

los rendimientos se redujeron en 83, 87 y 95% con los híbridos P3274W, PATRIOTA y H-383, respectivamente. Estos rendimientos son relativamente bajos cuando se compararon con otros rendimientos (15 t ha⁻¹) obtenidos con riego por goteo (Borroel *et al.* 2018) y riego convencional por melgas (14 t ha⁻¹) (Reta *et al.* 2003). Estos bajos rendimientos se debieron a que hubo varios días con temperaturas altas, durante la polinización (Hatfield y Prueger 2015), ya que el riego y la nutrición fueron aplicados de manera adecuada acorde al desarrollo fenológico del cultivo. Según Commuri y Jones (2001) la temperatura alta durante la polinización en un periodo de 4 a 6 días redujo el rendimiento del grano de 40 a 60% en un estudio bajo condiciones de invernadero y de 79 a 95% en campo abierto. Al igual que en esta investigación Lonquist y Jugenheimer (1943) reportaron una disminución en el porcentaje de rendimiento (92%) por efecto de temperaturas extremas (42 °C), al reducirse el número de amarre de grano de la mazorca (Figura 3). En otra investigación, Cheick y Jones (1994) encontraron una reducción del 74% en el rendimiento de maíz cuando las plantas se sometieron a temperaturas por encima de 35 °C por más de ocho días durante la polinización (Figura 4). Resultados similares en rendimiento de grano fueron reportados por Hatfield y Prueger (2015), quienes reportaron rendimientos que van desde 0.6 hasta 2.2 t ha⁻¹ con temperaturas extremas (40 °C). En este mismo sentido Adey *et al.* (2016) encontraron rendimientos que oscilaron entre 0.6 a 1.0 t ha⁻¹ de maíz grano. Estas bajas producciones se debieron a que las altas temperaturas coincidieron con la fase reproductiva del cultivo de maíz (Rieu *et al.* 2017). Las altas temperaturas no solo afectan la polinización del cultivo sino también las relaciones hídricas, fenología de la planta, proceso fotosintético y conductancia estomática (Grossiord *et al.* 2020). Sin embargo, la etapa de floración o polinización es la más sensible a altas temperaturas (Jagadish 2020; Wang *et al.* 2020).

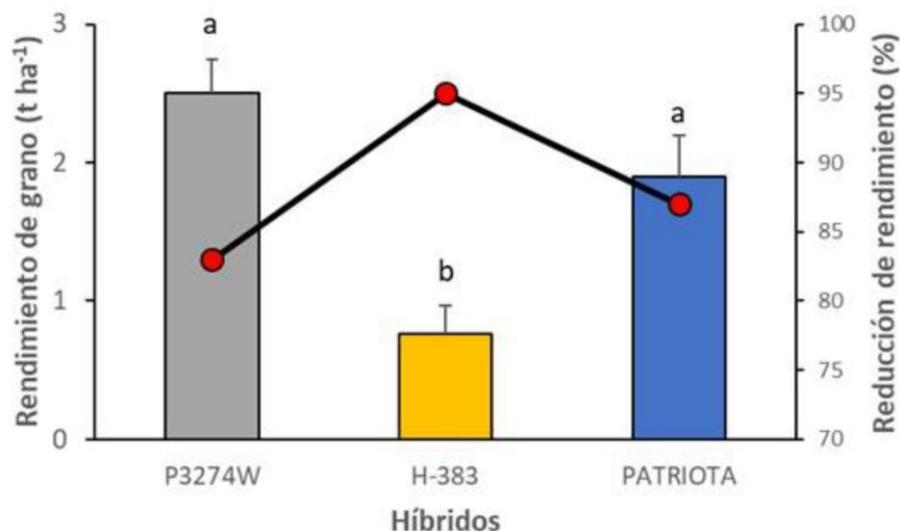


Figura 2. Rendimiento de grano en toneladas y reducción de rendimiento en porcentaje de tres híbridos de maíz durante el ciclo de primavera 2023, Matamoros, Coahuila, México. Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$). Las barras verticales indican la desviación estándar.

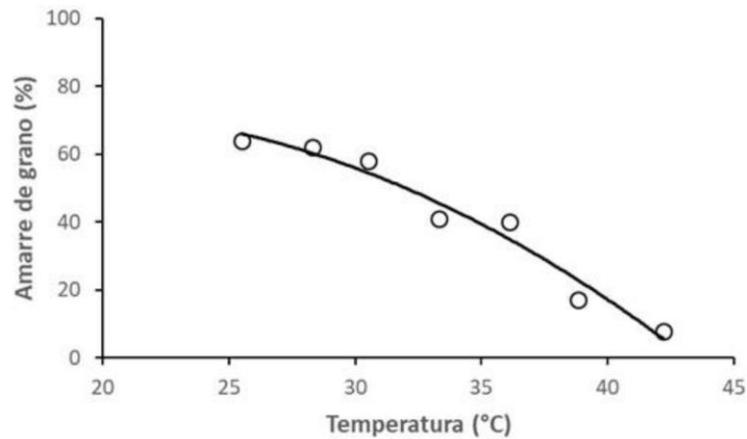


Figura 3. Efecto de la temperatura extrema en el porcentaje de amarre de grano (adaptado de Lonquist y Jugenheimer 1943).

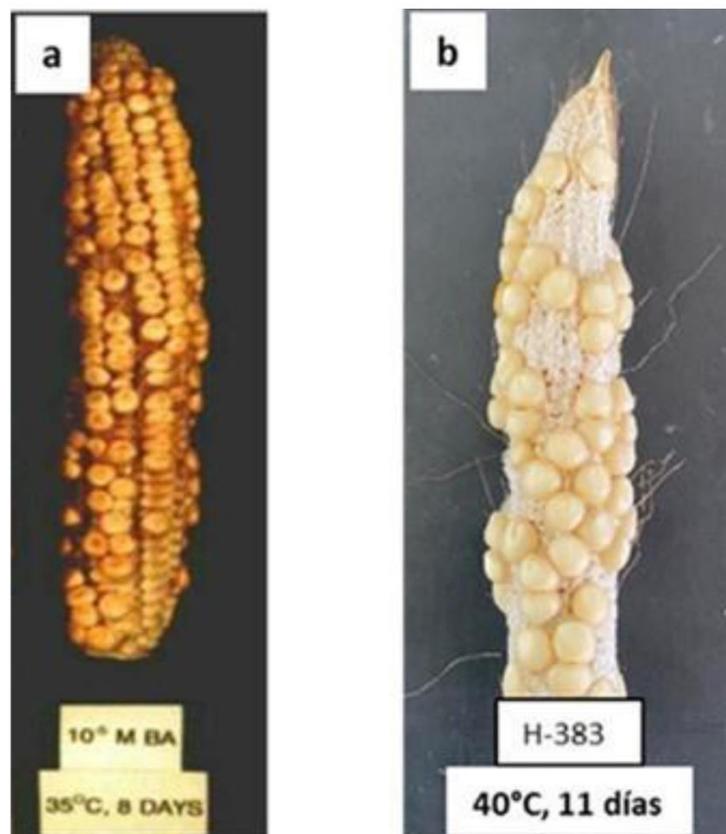


Figura 4. Número de granos por mazorca a diferente temperatura y diferente número de días. Figura 4a (adaptado de Cheick y Jones 1994) y Figura 4b mazorca obtenida en el presente estudio.

Número de granos por mazorca

El peso de grano por mazorca promedio fue 10, 19 y 25 g para los híbridos H-383, PATRIOTA y P3274W, respectivamente. En lo que respecta al número de granos por mazorca los valores fueron 66 para el híbrido H-383, 126 para PATRIOTA y 166 para P3274W. Sin embargo, para efectos de la

nota científica y ver el efecto de la temperatura extrema en el amarre en número de granos por mazorca, se tomó la variable cualitativa (Figura 4) en lugar de la variable cuantitativa. La Figura 4 muestra mazorcas en donde se aprecia el efecto en la formación de granos de maíz sometido a diferentes temperaturas y número de días durante la etapa de floración del cultivo. La Figura 4a muestra aún un buen número de granos por mazorca al someterse por ocho días a una temperatura de 35°C (Cheick y Jones 1994), mientras que la Figura 4b muestra en el presente estudio, un reducido número de granos (40% menos que el híbrido P3274W) al someterse por 11 días a una de temperatura de 40 °C en el caso del híbrido H-383. Esto indica que la producción de grano del maíz es afectada negativamente no solo por altas temperaturas durante la floración, sino también por la duración y cantidad de días con esas condiciones. La combinación de estas dos variables ocasionó en este trabajo, una disminución del rendimiento esperado del cultivo hasta en un 95% (Figura 4b).

Debido a las temperaturas extremas (40 °C) y a la cantidad de días que se tuvieron con esta condición, la polinización fue afectada de manera negativa, lo que resultó en una reducción del 83 al 95% en el rendimiento de grano esperado en el maíz.

LITERATURA CITADA

- Ahmad U, Hussain MA, Ahmad W, Javed J, Arshad Z, Akram Z (2024) Impact of global climate change on maize (*zea mays*): physiological responses and modern breeding techniques. *Trends in Biotechnology and Plant Science* 2(1): 62-77. <https://doi.org/10.62460/TBPS/2024.020>
- Anaya-López JL, Rojas-Tovar LM, Cisneros-López HC, Acosta-Gallegos JA (2022) Rendimiento e índice de cosecha de germoplasma de frijol pinto y flor de mayo bajo estrés por temperatura alta. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45(1): 33-41. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.33>
- Adee E, Roozeboom K, Balboa GR, Schegel A, Ciampitti IA (2016) Drought-Tolerant corn hybrids yield more in drought-stressed environments with no penalty in non-stressed environments. *Frontiers in Plant Science* 7: 1534. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01534>
- Bheemanahalli R, Ramamoorthy P, Poudel S, Samiappan S, Wijewardane N, Reddy KR (2022) Effects of drought and heat stresses during reproductive stage on pollen germination, yield, and leaf reflectance properties in maize (*Zea mays* L.). *Plant Direct* 6(8): e434. <https://doi.org/10.1002/pld3.434>
- Borroel GVJ, Salas PL, Ramírez AMG, López MJD, Luna AJ (2018) Rendimiento y componentes de producción de híbridos de maíz en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana* 36: 423-429. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.281>
- Burke JJ, Chen J (2015) Enhancement of reproductive heat tolerance in plants. *PLoS One* 10: e0122933 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122933>
- Castellanos JZ, Etchevers BJD, Peña DM, García HS, Ortiz MI, Arango GA, Macías CJ, Venegas VC (2019) ¿Cómo crece y se desarrolla una planta de maíz?. Primera edición. Impreso en México. Querétaro, Qro, México. 124P
- Commuri PD, Jones RD (2001) High temperatures during endosperm cell division in maize: a genotypic comparison under in vitro and field conditions. *Crop Science* 41: 1122-1130. <http://doi.org/10.2135/cropsci2001.4141122x>
- Cheikh N, Jones RJ (1994) Disruption of maize kernel growth and development by heat stress. Role of cytokine/abscisic acid balance. *Plant Physiology* 106: 45-51 <https://doi.org/10.1104/pp.106.1.45>

- Djanaguiraman M, Perumal R, Jagadish SVK, Ciampitti IA, Welti R, Prasad PVV (2018) Sensitivity of sorghum pollen and pistil to high-temperature stress. *Plant, Cell & Environment* 41(5): 1065-1082. <https://doi.org/10.1111/pce.13089>
- Dong X, Li B, Yan Z, Guan L, Huang S, Li S, Yang H (2024) Impacts of high temperature, relative air humidity, and vapor pressure deficit on the seed set of contrasting maize genotypes during flowering. *Journal of Integrative Agriculture* 23(9): 2955-2969. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.09.007>
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Series Libros No.6. Instituto de Geografía, UNAM. Mexico. 90p.
- Grossiord C, Buckley TN, Cernusak LA, Novick KA, Poulter B, Siegwolf RT, McDowell NG (2020) Plant responses to rising vapor pressure deficit. *New Phytologist* 226: 1550-1566. <https://doi.org/10.1111/nph.16485>
- Guan L, Chen Y, Dong X (2024) Impacts of high temperature and vapor pressure deficit on the maize opened spikelet ratio and pollen viability. *Agronomy* 14(11): 2510. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112510>
- Hatfield JL, Prueger JH (2015) Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes* 10: 4-10 <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Harsant J, Pavlovic L, Chiu G, Sultmanis S, Sage TL (2013) High temperature stress and its effect on pollen development and morphological components of harvest index in the C3 model grass *Brachypodium distachyon*. *Journal of Experimental Botany* 64: 2971-2983. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert142> PMID: 23771979
- Jagadish SVK (2020) Heat stress during flowering in cereals - Effects and adaptation strategies. *New Phytologist* 226: 1567-1572. <https://doi.org/10.1111/nph.16429>
- Jie X, Lei P, Yunsong C, Shengbin D, Jianghai X, Wenguang M (2021) Studies on inclusions and pollen vitality of tobacco pollen at different developmental stages. *Bioscience* 11(1): 1-8. <https://doi.org/10.5376/be.2021.11.000>
- Lobell DB, Hammer GL, Mclean G, Messina C, Roberts MJ, Schlenker W (2013) The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1832>
- Lonnquist JH, Jugenheimer RW (1943) Factors affecting the success of pollination in corn. *Agronomy Journal* 35: 923-933
- Martínez-Gutiérrez A, Zamudio-González B, Tadeo-Robledo M, Espinosa-Calderón A, Cardoso-Galvão JC, Vázquez-Carrillo G, Turrent-Fernández A (2018) Rendimiento de híbridos de maíz grano blanco en cinco localidades de Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(7): 1447-1458. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1357>
- Mesihovic A, Lannacone R, Firon N, Fragkostefanakis S (2016) Heat stress regimes for the investigation of pollen thermotolerance in crops plants. *Plant Reproduction* 29: 93-105. <https://doi.org/10.1007/s00497-016-0281-y>
- Montesillo CJL (2016) Rendimiento por hectárea del maíz grano en México: Distrito de riego y temporal. *Economía Informa* 398: 60-74
- Nielsen RL (2020) Tassel emergence and pollen shed. *Corn News Network*. Purdue University Extension. <https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/timeless/Tassels.html>. Fecha de consulta: 13 de abril de 2024.
- Paupière MJ, van Haperen P, Rieu I, Visser RG, Tikunov YM, Bovy AG (2017) Screening for pollen tolerance to high temperatures in tomato. *Euphytica* 213: 1-8. <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1927-z>
- Podlešný J, Podlešná A (2012) The effect of high temperature during flowering on growth, development and yielding of blue lupine-barley mixture. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10(2): 500-504.

- Reta SDG, Gaytán MA, Carrillo AJS (2003) Rendimiento y componentes del rendimiento de maíz en respuesta a arreglos topológicos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(2): 75-80. <https://doi.org/10.35196/rfm.2003.2.75>
- Reyes GA, Reta SDG, Sánchez DJI, Ochoa ME, Rodríguez HK, Preciado RP (2019) Estimación de la evapotranspiración de maíz forrajero apoyada con sensores remotos y mediciones in situ. *Terra Latinoamericana* 37(3): 279-290. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.485>
- Rieu I, Twell D, Firon N (2017) Pollen development at high temperature: from acclimation to collapse. *Plant Physiology* 173: 1967-1976. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01644>
- SIAP (2022) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Acciones y Programas. Cierre de la producción agrícola. Información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 20 de marzo de 2024.
- Tadeo RM, Espinosa CA, Turrent FA, Zamudio GB, Valdivia BR, Andrés MP (2014) Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androesteril y fértil. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 45-52.
- Wang Y, Sheng D, Zhang P, Dong X, Yan Y, Hou X, Wang P, Huang S (2020) High temperature sensitivity of kernel formation in different short periods around silking in maize. *Environmental and Experimental Botany* 183: 104343. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104343>