

## Estudio exploratorio del cambio ocurrido en cinco variables ecofisiológicas del maíz (etapas V8-R1) en Serdán, Puebla

---

Juan Contreras-Ramos<sup>1,§</sup>  
Ramón Díaz-Ruíz<sup>1</sup>  
Efraín Pérez-Ramírez<sup>1</sup>

1 Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla # 205; Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla. CP. 72760. Tel. 222 2851442. ([dramon@colpos.mx](mailto:dramon@colpos.mx); [eperez@colpos.mx](mailto:eperez@colpos.mx)).

Autor para correspondencia: [jcontrerasr@colpos.mx](mailto:jcontrerasr@colpos.mx).

---

### Resumen

Para México, la precipitación y las temperaturas máximas y mínimas son variables climáticas de interés, pues la mayor parte de su superficie agrícola es en condiciones de sequía, situación que hace al país vulnerable a los cambios climáticos. El estudio del cambio climático se realiza a diferentes escalas, destacando actualmente los realizados en las estaciones climáticas regionales. El presente estudio se realizó en el Valle de Serdán, del estado de Puebla, donde la gran agrobiodiversidad de cultivos (28) que había en los 40's, se ha reducido en la actualidad a solo seis, por razones climáticas y económicas, teniendo escasa diversidad de variedades, el productor depende principalmente del maíz, el más adaptado a los actuales cambios climáticos que se presentan en el valle. El objetivo general fue: evaluar los cambios locales en de la temperatura y precipitación en dos periodos de investigación diferentes y su influencia actual en cinco variables ecofisiológicas del cultivo del maíz en los 60 días de mayor dinámica de crecimiento. La revisión bibliográfica y el análisis estadístico de los cambios climáticos ocurridos en las estaciones climáticas locales y su influencia en las variables ecofisiológicas seleccionadas para el estudio, permitió concluir que la investigación realizada en los dos periodos de investigación (1975-1981, 2010-2018), se llevó bajo condiciones climáticas de lluvias y temperaturas diferentes, pero que la actual adaptación del maíz criollo y de las prácticas de cultivo han resultado en mejores rendimientos.

### Palabras clave:

adaptación, clima, maíz.

---



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

La gran diversidad de climas de México, se deben a su gran superficie terrestre y latitud que recibe una alta radiación solar todo el año y a su gran diversidad orográfica y relieves (Conde *et al.* 2016). Estos factores hacen, que el estudio y cambio del clima en el país, se realicen a diferentes escalas, como las sinópticas o ciclónicas, en mesoescalas, grandes regiones con base a la estadística de la precipitación con fines sociales y económicas, regiones bioclimáticas, hasta microrregiones o locales (Chávez *et al.*, 2014; Murray 2021). La superficie agrícola del país es de 22.2 millones de hectáreas, principalmente de secano o 'temporal' con 73.4% la superficie depende de las lluvias, por lo que la precipitación y las temperaturas máximas y mínimas, son variables climáticas de interés.

En el país, el incremento de las temperaturas medias anuales promedia los 0.3 grados Celsius (°C) por década desde 1950, pero con una notable alza de 0.72 °C en la última década (Chávez *et al.*, 2014). A partir de finales de la década de los 1980's, la precipitación promedio anual comenzó a reducirse. En la presente década (20's), la disminución de lluvias es mayor en el centro y costas del Golfo de México, los problemas de déficit hídrico ocurren principalmente en el norte y centro del país, generando una presión de los recursos hídricos por menores lluvias, e incrementos de las temperaturas y la evaporación, que han afectado a la biodiversidad, la vida biológica, a los sectores productivos, afectando en lo económico a la población (Méndez *et al.*, 2008; Martínez y Patiño, 2012).

Recientemente en el estado de Puebla, se identificó que desde 2013 se han registrado los ocho años continuos más cálidos con un incremento en la temperatura media de 1.2 °C. La precipitación anual del estado promedió 1 270 mm, presentando en el periodo 1985-2020 con disminuciones de 1.7 mm año<sup>-1</sup>, misma que se aceleró a partir de 2004, ocurrió en 2019 el de mayor decremento de las lluvias con una reducción de 366.9 mm (Gobierno del Estado de Puebla, 2022).

El valle de estudio (2022), comprendió los municipios de Tlachichuca, San Juan Atenco y de Chalchicumula de Sesma (Serdán), con una altura que varía de 2 440 a 2 560 msnm, son suelos Regosoles de textura arenosa (70 a 92% de arena), profundos (> 2 m) sin horizontes definidos, con 5 a 6 capas compactas de 0.1 a 0.25 m de espesor c/u que dificultan la penetración de las raíces de los cultivos y de la lluvia. Los sistemas agrícolas locales son de secano (94%). Con respecto a 1974 las lluvias se han desplazado al mes de abril, la precipitación se redujo en la presente década en los meses de junio a septiembre en 40% aproximadamente.

El presente escrito tiene el objetivo de: Evaluar los cambios locales en de la temperatura y precipitación en dos periodos de investigación diferentes y su influencia actual en cinco variables ecofisiológicas del cultivo del maíz en los 60 días de mayor dinámica de crecimiento. Se empleó como fuente de referencia climática la estación climatológica de Cd. Serdán, las estaciones de clima de Tlachichuca, Coyotepec (municipio de San Juan Atenco), por inconsistencias o periodos de años de datos faltantes, se emplearon como apoyo complementario.

Se definieron dos ciclos o períodos de investigación, el ciclo A) fue de los años de 1975-1981 con 24 experimentos, el periodo B) cubrió los años de 2010 a 2018 con 16 experimentos. Se incluyeron los meses de julio (jul.) y agosto (agt.) por coincidir con las etapas vegetativas del maíz V8 a R1 (elongación del tallo a la emergencia de la espiga), período que coincide con lluvias, sequías y temperaturas altas, y ocasionalmente bajas temperaturas.

Las variables climáticas consideradas fueron precipitación (mm), temperaturas máximas y mínimas en grados Celsius (°C). Las unidades de calor diarias (UCD) del periodo de 60 días seleccionado se estimaron en cada período de investigación. La temperatura media diaria y el valor mínimo base en que puede crecer el maíz en la zona (6 °C) se determinó con base a los experimentos del primer ciclo (A) de investigación.

Un análisis exploratorio previo, de las estaciones climáticas de Serdán, Coyotepec y Tlachichuca, mostro periodos consistencia de sequía de los meses de julio y agosto, Por lo que, se procedió a realizar el análisis estadístico de las variables climáticas y ecofisiológicas (UCD y OMD), mediante pruebas de medias de 't' con el programa InfoStat V2, como estadísticas de

apoyo se obtuvieron la media, desviación estándar, coeficiente de variación, correlación, los valores de asimetría y la Kurtosis de las variables estudiadas.

Las precipitaciones del mes de julio (B) tiene una media de 98.2 mm que representa una reducción de la precipitación del 20.4% que equivalen -25.2 mm de lluvia con respecto a la media de julio del periodo A. Para agosto la precipitación media mensual fue de 94.5 mm en el periodo B, con una reducción de 15.6% de la lluvia con respecto al ciclo A (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Análisis estadístico de las pruebas de “t” para la precipitación en los períodos estudiados (A: 1975-1981, B 2010-2018), en Serdán, Puebla.**

Período	Precipitación mensual media				Julio		Agosto	
	Julio (mm)	Valor de t	Agosto (mm)	Valor de t	CV	Kurtosis	CV	Kurtosis
A	123.43	8.64	110.14	8.33	176.1	5.37	146.6	15.74
B	98.2	8.12	94.5	6	194.8	13.32	177.7	45.36
	$p < 0.0001$		$p < 0.0001$					
Unidades en que se incrementan o disminuyen las variables								
	-25.43		-15.74					
Datos generados con información de la Comisión Nacional del Agua, Puebla.								

Los datos históricos del periodo 2010-2018, indican que en 55% de los años estudiados estuvieron por debajo de la media de la precipitación mensual calculada, además en el 25% de los años del periodo la suma de la precipitación de julio y agosto presentó reducciones de la lluvia del 40% en promedio. Los días con lluvias también se han modificado, en el periodo A el promedio de días con lluvias en ambos meses era de 12, estos se han reducido en el ciclo B en 10 para julio y en 9 días de lluvia para agosto. De acuerdo con Martínez y Patiño (2012), el aumento de la intensidad de la precipitación aún con la reducción de las lluvias del periodo B estudiado, es una tendencia creciente y frecuente en diferentes partes del mundo.

En el Cuadro 2, el periodo 2010-2018, resultado estadísticamente significativo por el aumento de las temperaturas máximas como mínimas, acompañadas además con una reducción de la precipitación, con respecto al periodo A (Cuadro 1). Lo que indica, que el déficit de humedad será mayor por el posible incremento en la evapotranspiración del cultivo, por lo que se deberá investigar este aspecto en estudios posteriores, pues sigue la tendencia nacional, identificada por Murray (2021).

**Cuadro 2. Análisis estadístico de las pruebas de ‘t’ para las temperaturas máximas y mínimas en los períodos estudiados (A: 1975-1981; B: 2010-2018) en Serdán, Puebla.**

Período	Temperaturas máximas (°C)				Temperaturas mínimas (°C)			
	Julio	Valor T	Agosto	Valor t	Julio	Valor T	Agosto	Valor T
A	21.03	100.6	22.02	116.43	6.96	55.78	7.18	68.7
B	22.89	151.9	22.9	156.2	8.49	78	8.49	88.87
	$p < 0.0001$		$p < 0.0001$		$p < 0.0001$		$p < 0.0001$	
Unidades en que se incrementan o disminuyen las variables								
	+1.86		+0.88		+1.53		+1.31	
Datos generados con información de la Comisión Nacional del Agua, Puebla.								

Las temperaturas mínimas del periodo B, presentaron incrementos en sus temperaturas medias, significativamente diferentes con respecto al periodo A, fue el mes de julio (B) el de mayor incremento en su temperatura media con  $+1.53\text{ }^{\circ}\text{C}$  de aumentó, con respecto al ciclo A (Cuadro 2). La correlación de la precipitación y temperaturas máximas en el mes de agosto para ambos periodos fue negativa,  $-0.642$  (periodo A) y  $-0.643$  (periodo B), indicando claramente una relación inversa entre ambas variables.

La exploración de los datos de la estación climática de Serdán indicó que la presencia de heladas pasó de 7.14 eventos (ciclo A), a solo 0.55 en julio en el periodo B, en agosto los eventos promedios de heladas pasaron de 3.6 a solo 0.22 en agosto en el periodo B.

Un efecto favorable del incremento de la temperatura mínima del periodo B, es que están acompañas con una reducción en el número de heladas en las etapas V10 a R2 del maíz, periodo que por razones productivas interesan al productor y al estado de Puebla. Al respecto, Velasco *et al.* (2015) señalan que, a partir de década de los ochenta del siglo XX, las heladas en la región presentaban una tendencia creciente que amenaza a los cultivos y productores de la zona; por lo anterior, se debe de confirmar estos resultados en estudios posteriores para todos los meses del ciclo activo del cultivo en Serdán (marzo a octubre).

La tendencia del incremento de las temperaturas medias locales de los dos meses en el periodo B, son consistentes con estudios internacionales y nacionales. Murray (2021), analizó la información climatológica de República Mexicana de 1951-2017, identificando que las temperaturas medias se incrementaron en  $+0.96\text{ }^{\circ}\text{C}$  en promedio, aún con un notable decremento de la temperatura media en el período 1951-1980, indicando que en los últimos 40 años se tienen los mayores incrementos de las temperaturas en México, principalmente del 2012 a la fecha. Para Serdán, las temperaturas medias se han incrementado en el periodo B para julio de  $+1.69\text{ }^{\circ}\text{C}$  y de  $+1.09\text{ }^{\circ}\text{C}$  en agosto, por encima del valor medio estimado (para los meses de julio a noviembre) de  $+0.53\text{ }^{\circ}\text{C}$  que identificó Murray (2021), en su estudio.

Las oscilaciones térmicas (OMD) para los meses y periodos estudiados están dentro del rango de oscilación media (rangos de  $10$  a  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). El análisis de estadístico de las pruebas de las oscilaciones térmicas de los meses de julio y agosto muestra diferencias significativas entre los meses y periodos estudiados (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Análisis estadístico de las pruebas de 't' para las oscilaciones de temperaturas que se presentaron en el valle en los periodos estudiados (A: 1975-1981; B: 2010-2018), en Serdán, Puebla.**

Periodo	Meses y valores estadísticos obtenidos OMD						
	Mes	Media	DS	LI	LS	T	Valor p
A	Julio	14.5	2.62	14.85	14.85	81.52	0.0001
B	Julio	14.41	3.51	14.82	14.82	68.6	
	Diferencia	0.09					
A	Agosto	14.84	2.67	14.49	15.2	82.2	0.0001
B	Agosto	14.43	3.17	14.05	14.8	76.06	
	Diferencia	-0.41					

Datos generados con información de la Comisión Nacional del Agua, Puebla.



De acuerdo con el Cuadro 3, los mayores valores de oscilación térmica ocurrieron en el ciclo A, para julio fueron de 22 °C, para agosto los valores de la oscilación térmica fueron de 18 °C (con rangos de temperatura de 4 a 22 °C). La oscilación térmica en los dos meses del periodo B disminuyó, con valores promedios de 0.09 °C para julio y 0.41 °C para agosto.

Los datos de las tres estaciones estudiadas, principalmente de Serdán, indicaron que las temperaturas mínimas, por debajo de los 6 °C, tuvieron cambios favorables en el periodo B. En síntesis, en el ciclo A, el total de días acumulados por abajo del mínimo requerido para el cultivo fue de 77 días (34% del total de días del periodo), mientras que el ciclo B, acumuló solo 10 días sin temperaturas apropiadas para el maíz (10/279). Las temperaturas máximas de la estación de Serdán no rebasaron los 30 °C, en los periodos estudiados.

En el Cuadro 4, se muestran las diferencias estadísticamente significativas de las medias de las unidades calor diarias (UCD) de los meses de julio y agosto ( $p > 0.001$ ) favorables para periodo B, para ambos meses del periodo de estudio. Para el periodo B, La media diaria de las UCD de los meses de estudio fue de +8.4 unidades. Con un total en el periodo B de +80.9 UCD ganadas, por lo que se estima que el ciclo de cultivo en el periodo 2010-2018 tiende a reducirse en 9.6 días al considerar los dos meses. Falta aún, por discernir los cambios climáticos y fisiológicos que pueden ocurrir en el maíz en los meses de marzo a junio (nacimiento y crecimiento vegetativo), y septiembre a octubre (etapas R2 a senectud).

**Cuadro 4. Análisis estadístico de las pruebas de 't' para las unidades calor para los periodos estudiados (A: 1975-1981; B: 2010-2018), en Serdán, Puebla.**

Periodo		Meses y valores estadísticos obtenidos UCD					
Mes	Media	DS	LI	LS	T	Valor p	
A	Julio	8.21	2.2	7.91	8.5	55.15	0.0001
B	Julio	9.69	1.31	9.54	9.84	123.8	
	Diferencia	1.48					
A	Agosto	8.6	1.81	8.36	8.84	70.27	0.0001
B	Agosto	9.73	1.32	9.57	9.88	122.89	
	Diferencia	-0.41					

Datos generados con información de la Comisión Nacional del Agua, Puebla.

Para el periodo B, La media diaria de las UCD de los meses de estudio fue de +8.4 unidades. Con un total en el periodo B de +80.9 UCD ganadas, por lo que se estima que el ciclo de cultivo en el periodo 2010-2018 tiende a reducirse en 9.6 días. Lo anterior, altera en diferentes direcciones los mecanismos de adaptación y la duración de las etapas fenológicas del maíz, por lo que se debe de ampliar el estudio a todo su ciclo.

## Posibles impactos en el maíz por los cambios climáticos locales

De acuerdo con lo registrado por Zarazúa *et al.* (2011) en su estudio agroclimático del maíz para la Ciénega de Chapala. El incremento en las unidades Calor diarias (UCD) para la zona de Serdán, puede tener un efecto positivo por el acortamiento del ciclo del cultivo de las variedades criollas empleadas, al requerir menos días para completar las UCD necesarias para concluir el ciclo del cultivo.



La reducción consistente de la lluvia en el periodo B en los meses de julio y octubre en la zona durante de las etapas V10 a R1-R2, viene acompañada del incremento de las temperaturas máximas (Cuadros 1 y 2), además de una alta radiación solar que se recibe en verano en la zona (6.6 a 6.4 a  $\text{kW h m}^{-2}$ , para julio y agosto), por lo que se espera un aumento de los días con estrés hídrico.

El estrés hídrico afecta negativamente procesos fisiológicos como el crecimiento celular, la síntesis de proteínas, el cierre estomático, la asimilación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), la respiración, entre otros elementos (Ahumada *et al.*, 2014). Para Ibarra *et al.* (2020), sequías prolongadas afectan el crecimiento, desarrollo y la producción se reducen en la planta de maíz, como consecuencia del impacto de la sequía en los procesos fisiológicos y bioquímicos.

Bänziger *et al.* (2012), señalan que la expansión celular se alenta en condiciones de estrés hídrico leve o moderado, a medida que aumenta el periodo de estrés y su intensidad hay un menor crecimiento del área foliar y de los estigmas, se afecta también el alargamiento del tallo (menor altura) y el crecimiento radicular (menor área de exploración). Con periodos prolongados de sequía, tal vez la planta sobreviva, pero la división celular se inhibe pues los órganos afectados carecen de suficientes células para expandirse,

Contreras y Díaz (2022), estimaron los rendimientos medios por hectárea bajo las condiciones ambientales del periodo 1975-1981, obteniendo una media de 3 200 a 3 800 kg, con un máximo de 4 500 kg. La adaptación realizada en las condiciones del periodo B, demostró que la respuesta del maíz a nitrógeno, fósforo y potasio son similares al periodo A, pues la respuesta a estos nutrientes será condiciona por la humedad disponible del ciclo. Los ajustes del periodo B, de cambiar fecha de siembra, fraccionar el fertilizante acorde a la humedad disponible e incorporar rotaciones apropiadas a la zona, permitieron rendimientos medios de grano de maíz de 4 400  $\text{kg ha}^{-1}$ , con potenciales de 6 250  $\text{kg ha}^{-1}$ , los rendimientos medios fueron mayores (4 800  $\text{kg ha}^{-1}$ ) cuando se incluyó un ciclo de rotaciones gramíneas-leguminosas.

## Conclusiones

Los cambios climáticos ocurridos en los meses de julio y agosto entre los periodos 1975-1981 (A) y 2010-2018 (B), demuestran que las condiciones de clima en los meses de julio y agosto entre ambos periodos fueron diferentes. La mayor precipitación el periodo A, permitió una mejor respuesta del maíz al fertilizante en esa época.

Los ajustes técnicos y prácticas de manejo que se han propuesto, para enfrentar una menor disponibilidad de lluvia y aumento de temperatura, han permitido en el ciclo B rendimientos medios y potenciales de grano de maíz superiores al período anterior.

Existen evidencias que deben ser estudiadas para dar mejor precisión de la adaptación local del maíz a condiciones de estrés hídrico e incremento de temperaturas, como es la reducción del ciclo de cultivo y la disminución de la altura y del área foliar. Puesto que son factores que también inciden en la respuesta de la planta al medio ambiente y a la demanda de nutrientes.

## Bibliografía

- 1 Ahumada, C. R.; Velázquez, A. G.; Flores, T. E. y Romero, G. J. 2014. Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz investigación y ciencia. 22(61):48-53. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México.
- 2 Bänziger, M. G.O.; Edmeades, D. B. y Bellon, M. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz. De la teoría a la práctica. México, DF. Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT). 5-11 pp.
- 3 Chávez-Durán, Á. A.; Flores-López, H. E.; Mora-Orozco, C. R. Corral, J. A.; Ramírez-Ojeda, G. y Rubio-Camacho, E. 2014. Sensibilidad de zonas bioclimáticas de México frente

- al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(10):2021-2033. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S200709342014001402021&lng=es&tlng=es>.
- 4 Conde, A. C.; Enríquez, H. G. y Esquivel, E. N. 2016. Variabilidad climática y escenarios de cambio climático. Herramientas para los estudios de impactos potenciales y vulnerabilidad actual y futura. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 25-72 pp.
  - 5 Contreras, R. J. y Díaz, R. R. 2022. Prácticas de monocultivo y rotación en maíz: sus efectos en la producción de cultivos. Sí el suelo respira, tú respiras. 45 congreso nacional de la ciencia del suelo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
  - 6 Gobierno del Estado de Puebla. 2022. Publicación de la estrategia estatal de cambio climático, que emite la secretaría de medio ambiente, desarrollo sustentable y ordenamiento territorial del gobierno del estado del Estado de Puebla.
  - 7 Ibarra-Sánchez, E.; Castillo, G. A.; Núñez, V. M. E.; Suárez, R. R. Andrade, R. M. y Perdomo, R. F. 2020. Caracterización de la respuesta a la sequía de líneas segregantes de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* . 11(7):1511-1524. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2196>.
  - 8 Murray-Tortarolo, G. 2021. Seven decades of climate change across Mexico. *Atmósfera*. 34(2):217-226. <https://doi.org/10.20937/ATM.52803>.
  - 9 Velasco, H. M. A.; Morales, A. T.; Estrella, Ch. N. G.; Díaz, R. R.; Juárez, S. P.; Hernández, V. M. y Bernal, M. R. 2015. Tendencias y variabilidad de índices de cambio climático: enfoque agrícola en dos regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* . 6(7):1587-1599.
  - 10 Zarazúa-Villaseñor, P.; Ruiz-Corral, J. A.; González-Eguiarte, D. R.; Flores-López, H. E. y Ron-Parra, J. 2011. Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en ciénega de Chapala, jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* . 2(2):351-363.



## Estudio exploratorio del cambio ocurrido en cinco variables ecofisiológicas del maíz (etapas V8-R1) en Serdán, Puebla

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 May 2023
Date accepted: 01 August 2023
Publication date: 25 September 2023
Publication date: August 2023
Volume: 14
Issue: 29 Suppl Especial
Electronic Location Identifier: e3537
DOI: 10.29312/remexca.v14i29.3537

### Categories

Subject: Nota de investigación

### Palabras clave:

**Palabras clave:**

adaptación

clima

maíz

### Counts

Figures: 0

Tables: 4

Equations: 0

References: 10

Pages: 0