

Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG). Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 16, Número 28, 2024, Sección I: Artículos. pp. 1-15

VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y LA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA: ANÁLISIS DE UNA CUENCA EN EL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO

Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo – Jocksan Edrey Reyes Andrade
Universidad Autónoma del Estado de México
jggc1321@yahoo.com.mx

RESUMEN

Dado el fenómeno del cambio climático, es importante analizar los efectos que traen consigo las variaciones climáticas y sus impactos a escala regional, derivado de esto el objetivo del presente trabajo ha sido evaluar la correlación entre la variabilidad climática y la producción agroalimentaria, en la Cuenca del Río Calderón, en el Altiplano Central de México, en el contexto del cambio climático. Se analizaron los patrones temporales y espaciales de temperatura en la cuenca de 1970 a 2009, así como los cambios en la producción agrícola durante el período 1980-2009; finalmente se analizó la correlación existente entre los patrones de variabilidad térmica y la producción alimentaria. Las variaciones de temperatura en la cuenca han sido de hasta 0.06°C, cultivos como la papa y el frijol se ven favorecidos por las temperaturas bajas y con las temperaturas altas se ven favorecidos en el rendimiento de cultivos como el haba, tomate verde y tomate rojo.

Palabras clave: Cambio climático; Climatología; Hidrología; Producción agroalimentaria; Variabilidad climática.

ABSTRACT

Given the phenomenon of climate change, it is important to analyze the effects that come with the climatic variations and their impacts at regional scale, derived from this the objective of this work has been to evaluate the correlation between climatic variability and agri-food production, in the Calderón River Basin, in the Central Highlands of Mexico, in the context of climate change. Temporal and spatial temperature patterns from 1970 to 2009 in the basin were analyzed, as well as changes in agricultural production during the period 1980-2009; finally, the correlation between thermal variability patterns and food production was analyzed. The temperature variations in the basin have been up to 0.06 ° C, crops such as potatoes and beans are favored by low temperatures and with high temperatures are favored in yield crops such as beans, green tomatoes and red tomatoes.

Keywords: Climate change; Climatology; Hydrology; Agri-food production; Climate variability

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática interanual afecta actividades humanas sensibles, como la agricultura. El número creciente de eventos climatológicos extremos que han ocurrido en los pasados 15 a 20 años, sugiere que tales eventos están siendo más constantes y severos, con el aumento creciente de pérdidas económicas (Haggar, 2008). Por esta razón, existe una preocupación generalizada por buscar soluciones que permitan que la población que es afectada por la inseguridad de la producción agrícola y económica, pueda adaptarse a las variaciones climáticas que afectan el proceso productivo (Altieri y Nicholls, 2009).

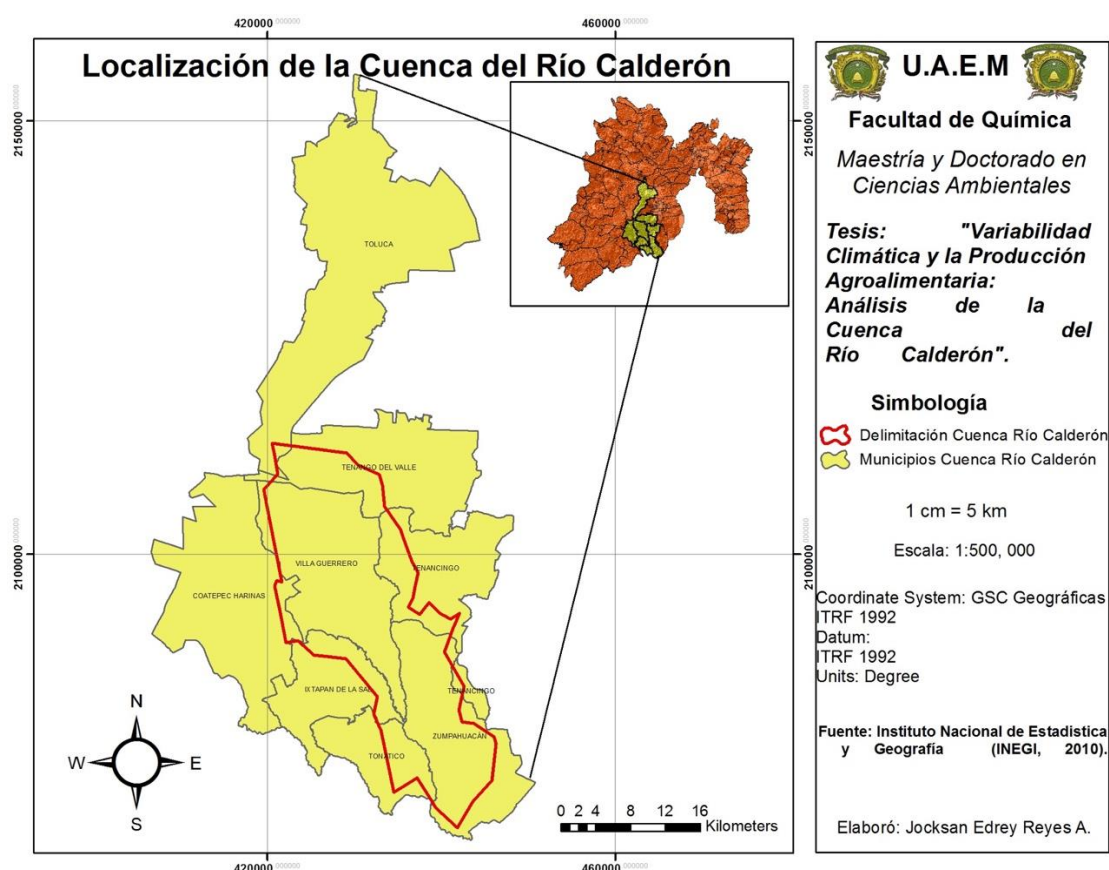
Diversos efectos y condiciones se han asociado con estas variaciones en precipitación y temperatura relacionadas con el cambio climático. Este cambio de clima afectará seriamente la agricultura a nivel mundial. Otra de las consecuencias esperadas son la disminución de la calidad de los cultivos, una mayor lixiviación de nitrógeno y erosión del suelo, y la menor disponibilidad de tierras y recursos hídricos para la actividad agrícola (Ortiz, 2008).

La adaptación de la agricultura al cambio climático debe contemplar los aumentos en las temperaturas, las épocas cortas de cultivo y la escasez de agua y el triple impacto que estos factores tienen: a nivel global y a nivel nacional. Si bien el cambio climático tendrá impactos negativos sobre la agricultura -como ya se ha mencionado-, habrá una oportunidad de forjar agroecosistemas productivos, competitivos y compatibles con el medio ambiente (Ortiz, 2008).

Es recomendable realizar nuevos estudios de zonificación agrícola, en vista de que las zonas que bajo las condiciones actuales se juzga son las más adecuadas para un cultivo dado o una combinación de cultivos, pueda verse reducida, ampliada o desplazada. Por lo tanto, la estructura socioeconómica de la comunidad laboral en las regiones analizadas se modifica, dependiendo de la intensidad en que los efectos de la variabilidad climática se manifieste. Los distintos efectos que los cambios climáticos pueden tener sobre los cultivos y sobre los rendimientos, pueden también influir en el suministro alimenticio regional, en los ingresos de las explotaciones agrícolas, en las tasas de actividad económica de las zonas afectadas, y en el empleo rural (Verner, 2011).

El territorio del Estado de México presenta una zona de transición ecológica denominada Provincia de las Serranías Meridionales que divide al territorio en otras dos provincias: 1) al norte la Provincia de la Altiplanicie Central con climas templados, y 2) al sur la Provincia de la Depresión del río Balsas, perteneciente a la Región Caribeña del Reino Neotropical, caracterizada por la presencia de climas cálidos y semicálidos.

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia, basada en INEGI (2018).

En este contexto geográfico se ubica la cuenca del río Calderón, la cual comprende porciones de los municipios de Villa Guerrero que colinda al norte con el municipio de Toluca, al este se encuentra Tenango del Valle, al sur se encuentran los municipios Tonatico y Zumpahuacán, esta ubicación representa un elemento geográfico de trascendencia para las familias de la región (Figura 1). En este lugar coexisten diversos ecosistemas con elementos geográficos, paisajísticos, geomorfológicos, hidrológicos y amplia biodiversidad que pueden ser utilizados para el turismo alternativo (Gobierno del Estado de México, 1995).

Fisiográficamente en la cuenca los niveles altitudinales quedan comprendidos entre las cotas 1,160 y 4,680 msnm. Y cuenta con una morfología accidentada, donde la topografía y las condiciones del relieve han originado variadas estructuras como los sistemas de barrancos, lomeríos y mesetas. El suelo predominante es el Vertisol Pélico, que es arcilloso de coloración negra y grisácea, con clase textural fina en los primeros 30 centímetros de la superficie.

En la parte alta de la cuenca predomina un clima templado subhúmedo con lluvias en verano que corresponde al grupo C(w2); en las zonas más bajas prevalece el clima A© wg, que corresponde a un clima tropical lluvioso, semicálido, (de transición entre el clima cálido y templado) con elevadas temperaturas durante la primavera y el verano. En cuanto a la hidrología, esta tiene su origen en las elevaciones orientales de la región y que aumentan el caudal en el sistema de barrancos formado por los ríos Temozolapa,

Tenancingo, Calderón, Nenetzingo, San Martín, San Jerónimo, Copal, Arroyo Grande y Tintocho o Juirogo (Pérez *et al.*, 2010).

Por esto la cuenca cuenta con una amplia diversidad de vegetación que está compuesta por bosques de pino, aile, ocote, oyamel, encino, tepozán, ayacahuite, oyamel, cedrón, madroño y sauce llorón, bosque mixto de hojas caducas y selva baja caduciforme; también crecen variadas frutas tropicales (Gobierno del Estado de México, 1995). La cuenca por estar ubicada en una zona de transición ecológica, posee amplia diversidad biológica y agro biodiversidad que favorecen y complementan la dieta alimentaria.

METODOLOGÍA

Las actividades de investigación y desarrollo se realizaron en el espacio geográfico que comprende la cuenca del río Calderón, ubicada en una porción del Subtrópico del Territorio Mexicano. La metodología general de trabajo se basó en la información existente a nivel local sobre la producción agrícola y variables hidroclimatológicas. Se emplearon técnicas de análisis relacionadas con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con la hidroclimatología y previsión meteorológica.

Para realizar la caracterización geográfica de la cuenca se delimitó cartográficamente el espacio geográfico que comprende la cuenca del río Calderón. Se emplearon las técnicas de análisis como los SIG, para representar cartográficamente la cuenca de estudio. Además, para realizar la caracterización sistémica de la cuenca del río Calderón en el contexto de la zona de transición ecológica del Estado de México; se identificaron y representaron cartográficamente los elementos geográficos, ambientales, ecológicos y agrícolas más significativos.

Para el análisis de los patrones temporales de temperatura en la cuenca se elaboró una base de datos, que permitió analizar las variaciones de la temperatura media promedio anual, temperatura máxima promedio anual, temperatura mínima promedio anual en un período de 40 años (de 1970 a 2009). Y se realizó el georeferenciamiento de los puntos de observación, para comparar los patrones climáticos y espaciales de la cuenca.

Para el análisis de los cambios detectados sobre la producción alimentaria, se elaboró una base de datos que permitió analizar las variaciones de la producción agroalimentaria, en un período de 30 años (de 1980 a 2009). Determinando así, las variaciones en la superficie cultivada y los rendimientos de los principales cultivos de la zona. Se realizó un inventario de los principales sistemas agrícolas y tipos de cultivos, establecidos en las áreas agrícolas de la cuenca. Se estableció un sistema de relaciones para estudiar las variables climáticas de temperatura, en relación con la producción agroalimentaria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las variaciones climáticas en la cuenca

En la Tabla 1 se presentan los resultados de temperatura obtenidos de las estaciones analizadas en el presente trabajo, en la cual podemos observar en cuanto a la temperatura mínima mensual, el registro mínimo corresponde a la estación Toluca – Calixtlahuaca en las cuatro décadas estudiadas con un promedio de 4.5° C, la cual se encuentra a una altitud de 2,630 msnm; le sigue la estación Tenango del Valle con un promedio de 5.3° C, la estación se encuentra ubicada a 2,858 msnm; Villa Guerrero presenta un promedio de 9° C, y se encuentra a 2,291msnm; Zumpahuacán presenta un promedio de 10.7° C la estación está ubicada a 1,934 msnm; y la temperatura mínima más alta se registra en la estación Tonatico con un promedio de 12.4° C y se encuentra a una altitud de 1,584 msnm. Por décadas. El registro menor corresponde a Toluca para la década de 1970 a 1979 con un promedio de 4.4° C, el registro mayor lo presenta Tonatico en la década de 1980 a 1989 con un promedio de 12.7° C.

Tabla 1. Temperatura mínima mensual de las estaciones, por décadas (1970- 2009).

Período	Nombre, Clave y Altitud de Estación.				
	Toluca- Calixtlahuaca Altitud 2,630 msnm	Tenango del Valle Altitud 2,858 msnm	Villa Guerrero Altitud 2,291msnm	Zumpahuacán Altitud 1,934 msnm	Tonatico Altitud 1,584 msnm
	15203	15122	15299	15366	15248
1970-1979	4.4	5.4	9.0	11.5	12.4
1980-1989	4.5	5.2	8.9	10.3	12.7
1990-1999	4.6	5.1	9.1	10.5	12.3
2000-2009	4.7	5.5	9.0	10.5	12.3

Fuente: Elaboración propia a partir del Servicio Meteorológico Nacional, 2018.

En la Tabla 2, se presentan los resultados de temperatura obtenidos de las estaciones analizadas en el presente trabajo, en la cual podemos observar el registro de temperatura media mensual, la estación Toluca – Calixtlahuaca en las cuatro décadas estudiadas presenta un promedio de 13.3° C; le sigue la estación Tenango del Valle con un promedio de 13.1° C, esta estación se encuentra en la mayor altitud; Villa Guerrero presenta un promedio de 15.8° C; Zumpahuacán presenta un promedio de 17.9° C y la temperatura media más alta se registra en la estación Tonatico con un promedio de 19.9° C, la cual se encuentra en la menor altitud. Por décadas el registro de temperatura media mensual más baja corresponde a Tenango del Valle para la década de 1990 a 1999 con un promedio de 12.7° C, la más alta la presenta Tonatico en las décadas de 1970, 1990 y 2000 con un promedio de 20° C.

Tabla 2. Temperatura media mensual de las estaciones, por décadas (1970- 2009).

Período	Nombre, Clave y Altitud de Estación.				
	Toluca- Calixtlahuaca Altitud 2,630 msnm	Tenango del Valle Altitud 2,858 msnm	Villa Guerrero Altitud 2,291msnm	Zumpahuacán Altitud 1,934 msnm	Tonatico Altitud 1,584 msnm
	15203	15122	15299	15366	15248
1970-1979	13.4	13.3	16.0	18.3	20.0
1980-1989	13.1	13.1	15.6	17.6	19.8
1990-1999	13.2	12.7	15.8	17.9	20.0
2000-2009	13.5	13.6	16.0	18.1	20.0

Fuente: Elaboración propia a partir del Servicio Meteorológico Nacional, 2018.

En la Tabla 3, se presentan los resultados de temperatura obtenidos de las estaciones analizadas en el presente trabajo, en la cual podemos observar en cuanto a la temperatura máxima mensual, la estación Tonicato en las cuatro décadas estudiadas presenta la temperatura máxima con un promedio de 27.4° C, estación que se encuentra en la menor altitud; le sigue la estación Zumpahuacán con un promedio de 24.8° C; Villa Guerrero presenta un promedio de 22.5° C; Toluca presenta un promedio de 21.8° C; y la temperatura máxima mensual más baja se registra en la estación Tenango del Valle con un promedio de 20.9° C, la cual se encuentra en la mayor altitud. Por décadas el registro menor corresponde a Tenango del Valle para la década de 1990 a 1999 con un promedio de 20. 3° C; y el mayor lo presenta Tonicato en la década de 1990 y 2000, con un promedio de 27.7° C.

Tabla 3. Temperatura máxima mensual de las estaciones, por décadas (1970- 2009).

Período	Nombre, Clave y Altitud de Estación.				
	Toluca- Calixtlahuaca Altitud 2,630 msnm	Tenango del Valle Altitud 2,858 msnm	Villa Guerrero Altitud 2,291msnm	Zumpahuacán Altitud 1,934 msnm	Tonatico Altitud 1,584 msnm
	15203	15122	15299	15366	15248
1970-1979	22.1	21.2	22.9	25.1	27.6
1980-1989	21.7	20.7	21.7	24.8	26.9
1990-1999	21.5	20.3	22.5	24.5	27.7
2000-2009	22.2	21.7	22.9	24.8	27.7

Fuente: Elaboración propia a partir del Servicio Meteorológico Nacional, 2018.

Análisis de la dinámica agrícola en la cuenca por cultivo (1980- 2009)

Cultivo de maíz de grano (Zea Mays)

Como se muestra la Tabla 4, el municipio que presentó mayor rendimiento fue Tenango del Valle en la década de 1980 a 1989 y el municipio que presentó menor rendimiento fue Zumpahuacán; para la década de 1990 a 1999 Tonalico presentó el mayor rendimiento, siendo su rendimiento casi el doble del que presentó Villa Guerrero con 2.5 (ton/ha); para nuestra última década de estudio Zumpahuacán fue el que presentó el menor rendimiento y el municipio de Toluca presentó el mayor rendimiento con 3.37 (ton/ha), para esta década de estudio.

En el caso del cultivo de maíz, en cada zona la productividad varía notablemente, por lo que la importancia agrícola no debe estimarse sólo por el número de hectáreas cultivadas, sino que deben tomarse en cuenta los rendimientos y competitividad del cereal de mayor consumo de la población.

Tabla 4. Rendimiento de los principales cultivos (ton/ha).

Municipio	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz Grano (<i>Zea mays</i>)			
Toluca	4.77	4.40	3.37
Tenango del Valle	5.80	4.07	2.40
Villa Guerrero	2.49	2.50	2.16
Zumpahuacán	2.15	2.77	2.09
Tonalico	3.26	4.96	2.52
Chícharo (<i>Pisum sativum</i>)			
Toluca	2.8	2.5	2.8
Tenango del Valle	4.0	5.0	4.6
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)			
Toluca	22.0	25.0	22.2
Tenango del Valle	30.0	24.0	27.5
Trigo Grano (<i>Triticum</i>)			
Toluca	2.0	1.4	3.2
Haba Verde (<i>Vicia faba</i>)			
Tenango del Valle	8.0	6.0	5.8
Villa Guerrero	5.0	5.1	4.7

Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)			
Villa Guerrero	1.0	1.0	0.9
Zumpahuacán	1.0	1.0	0.9
Tonatico	1.8	1.2	1.0
Tomate Verde (<i>Physalis ixocarpa</i>)			
Villa Guerrero	9.31	8.00	15.50
Zumpahuacán	8.81	8.79	8.00
Tonatico	4.48	10.31	10.94
Sorgo Grano (<i>Sorghum spp.</i>)			
Zumpahuacán	6.0	6.0	5.0
Tomate Rojo o Jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)			
Tonatico	22.28	22.58	20.28

Nota: Sólo se enlistan los municipios de la cuenca con producción de cada cultivo.

Fuente: Elaboración propia a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2018).

Cultivo de chícharo (*Pisum sativum*)

La Tabla 4, muestra el rendimiento promedio que presentó el cultivo, siendo en Tenango del Valle donde se presenta el mayor rendimiento en todas las décadas de estudio; en la década de 1990 a 1999 obtuvo el doble del rendimiento del que presentó el municipio de Toluca con 2.5 (ton/ha).

En el país, el Estado de México es uno de los principales productores, en el año de 2003 se sembraron 8,000 hectáreas distribuidas en las regiones de Tenango del Valle, Coatepec Harinas, Valle de Bravo, Toluca, Tejupilco, Texcoco y Atlacomulco. En la región de Coatepec Harinas la mayor superficie se siembra en el ciclo primavera-verano bajo condiciones de humedad residual (3,000 ha) y una menor proporción de riego (400 ha); en el ciclo otoño-invierno se siembran 900 hectáreas en humedad residual y 800 hectáreas en condiciones de riego.

Cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

La Tabla 4, muestra el rendimiento del cultivo de papa que sólo se presenta en los municipios de Toluca y Tenango del Valle, siendo este último el que presenta mayor rendimiento con respecto al municipio de Toluca en las décadas de 1980 a 1990 y del 2000 a 2009.

Los datos de producción de papa, en el Estado de México, indican que tiene gran importancia socioeconómica, ya que, en 2008, contribuyó con 126 mil toneladas, con un valor aproximado de 41 millones de dólares, lo cual lo ubica en cuarto lugar nacional de

producción, después de Sinaloa, Sonora y Chihuahua, esta producción la obtuvo en 4554,0 ha, distribuidas en 26 municipios (SEDAGRO 2008).

Cultivo de trigo de grano (Triticum)

Como se muestra en la Tabla 4, solo en el municipio de Toluca se cultiva el trigo de grano siendo la última década de estudio la que presentó un rendimiento de más del doble en comparación de la década de 1990 a 1999.

Después del maíz y el frijol, el trigo es una de las tres fuentes más importantes de nutrientes, es por esto que el trigo como producto básico y su cultivo, son de gran relevancia para el desarrollo socioeconómico de México. El rendimiento promedio del ciclo Otoño-Invierno es de 5.3 toneladas por hectárea; el de Primavera-Verano, de aproximadamente 2.0 toneladas por hectárea (Villaseñor y Espitia, 2000a).

Cultivo de haba verde (Vicia faba)

La Tabla 4, muestra los rendimientos que presentó este cultivo en los municipios de Tenango del Valle y Villa Guerrero. Para la década de 1980 en Tenango se presentó un rendimiento alto de 8 ton/ha, que ha ido disminuyendo ya que para nuestra última década de estudio fue de 5.8 ton/ha; en el municipio de Villa Guerrero el rendimiento que ha mostrado a lo largo de este periodo de estudio ha sido más estable y no ha tenido gran variación en el rendimiento.

A nivel nacional, el Estado de México es el principal productor, que comercializa principalmente en la Ciudad de México y Toluca, en menor proporción se distribuye en los mercados locales.

Cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris)

La Tabla 4, muestra un rendimiento muy estable para Villa Guerrero y Zumpahuacán, el municipio de Tonalico presentó mayor rendimiento en la década de 1980 a 1999.

El cultivo del frijol ocupa un lugar importante en la economía agrícola del país, tanto por la superficie que se le destina, como por la derrama económica que genera. En conjunto con el maíz constituyen los productos de mayor importancia socioeconómica tanto por la superficie de siembra como por la cantidad consumida per cápita.

Cultivo de tomate verde (Physalis ixocarpa)

El cultivo de tomate verde se produce en los municipios de Villa Guerrero, Zumpahuacán y Tonalico, presentándose en Villa Guerrero el mayor rendimiento en la última década de estudio, para Tonalico el rendimiento ha ido en aumento en las últimas dos décadas analizadas, Zumpahuacán ha presentado un rendimiento más estable.

Cultivo de sorgo de grano (Sorghum spp.)

El cultivo de sorgo solo se produce en Zumpahuacán, como lo muestra la Tabla 4, presenta menor rendimiento en la última década de estudio. El cultivo de sorgo es el quinto cereal más importante del mundo (FAO-ICRISAT, 1997); y según la Comisión Latinoamericana de Investigadores de sorgo (CLAIS), ocupa el segundo lugar en América

Latina; los países más importantes debido por su producción y superficie son Estados Unidos de América y México, en donde existe un patrón muy definido para la producción del grano, que se destina a la comercialización para consumo animal en forma de alimento balanceado.

Cultivo de tomate rojo (jitomate) (Solanum lycopersicum)

El tomate rojo se cultiva en el municipio de Tonicato, donde ha tenido un rendimiento promedio de 22 ton/ha, el cultivo de jitomate cada vez es más difícil de realizar debido a las condiciones ambientales adversas, como temperaturas, nubosidad y precipitación, así como plagas y enfermedades. México ocupa el segundo lugar en exportaciones mundiales de tomate.

Análisis de la relación entre los patrones de variabilidad climática y producción agroalimentaria

El análisis de correlación se realizó entre las temperaturas mínimas y máximas anuales de las estaciones por décadas, con los rendimientos promedios de los principales cultivos por décadas (ton/ha), para cada estación meteorológica y para cada cultivo.

Análisis de correlación entre las temperaturas mínimas anuales de las estaciones por décadas con los rendimientos promedios de los principales cultivos por décadas (ton/ha), para cada estación meteorológica y para cada cultivo

Para las temperaturas mínimas anuales, se observaron correlaciones medias y positivas para la papa en Toluca, el haba verde en Tenango y el frijol en Zumpahuacán; lo que significa que, al aumentar la temperatura mínima, aumenta el rendimiento en estos cultivos. También muy cercana a la correlación media se observa la papa en Tenango y el frijol en Villa Guerrero. Otros cultivos, presentan correlaciones baja y muy baja con las estaciones meteorológicas y con los municipios donde estas se ubican.

Tabla 5. Coeficientes de correlación entre temperaturas mínimas mensuales y los rendimientos por cultivo (1980 - 2009).

	Toluca	Tenango del Valle	Villa Guerrero	Zumpahuacán	Tonicato
Maíz Grano	*0.0592	**0.3532	*0.1350	*0.1264	*-0.1716
Chícharo	**0.2758	*0.1150			
Papa	***0.4257	**0.3943			
Trigo Grano	**0.3135				
Haba Verde		***0.5258	**-.02784		
Frijol			**0.3743	***0.4747	**_0.2058
Tomate Verde			**-.03581	**-.03937	*0.0196

Sorgo de Grano				**-.02909	
Tomate Rojo (Jitomate)					*-.0276

Nota: Correlación: muy alta*****, alta****, media***, baja**, muy baja*.

Fuente: Elaboración propia a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2014) y del Servicio Meteorológico Nacional, 2013.

Análisis de correlación entre las temperaturas máximas anuales de las estaciones por décadas con los rendimientos promedios de los principales cultivos por décadas (ton/ha); para cada estación meteorológica y para cada cultivo

Para las temperaturas máximas anuales, se observan correlaciones altas y positivas para la papa y haba en Tenango y el tomate verde en Tonatico; lo que significa que, al aumentar la temperatura máxima, aumenta el rendimiento en estos cultivos. Correlaciones medias y positivas se observaron para el haba verde y el tomate verde en Villa Guerrero, y muy cercana a la correlación alta con el tomate rojo en Tonatico. Otros cultivos, presentan correlaciones baja y muy baja con las estaciones meteorológicas y con los municipios donde estas se ubican.

Tabla 6. Coeficientes de correlación de temperaturas máximas mensuales y los rendimientos por cultivo (1980 - 2009).

	Toluca	Tenango del Valle	Villa Guerrero	Zumpahuacán	Tonatico
Maíz Grano	**-.03015	**0.3808	*-.02390	***-.04019	*0.1363
Chícharo	**-.02180	*0.1771			
Papa	*-.00698	****0.7164			
Trigo Grano	**-.03543				
Haba Verde		****0.6404	***0.4034		
Frijol			*-.0813	*-.01924	*0.0856
Tomate Verde			***0.4983	**0.2387	****0.6380
Sorgo de Grano				*0.1148	
Tomate Rojo (Jitomate)					***0.5482

Nota: Correlación: muy alta*****, alta****, media***, baja**, muy baja*.

Fuente: Elaboración propia a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2014) y del Servicio Meteorológico Nacional, 2013.

DISCUSIÓN

La agricultura es una actividad esencial para la subsistencia de la humanidad y su desarrollo está íntimamente ligado a las condiciones climáticas. Los estudios científicos de Caira Mamani *et al.*, (2021) , Pérez-Ortiz *et al.*, (2022) y Bernal Morales *et al.*, (2021), proporcionan valiosa información sobre la influencia de los factores climáticos en la agricultura, centrándose en aspectos como la temperatura, precipitación y variabilidad climática.

La temperatura es un determinante crucial en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Caira Mamani *et al.*, (2021) afirman que las temperaturas extremas están en aumento, lo que puede tener consecuencias negativas en la producción agrícola. Este incremento gradual en las temperaturas máximas y medias afecta los procesos biológicos de las plantas, incluyendo la fotosíntesis y la germinación de semillas. Además, la variabilidad en las temperaturas puede afectar la sincronización entre las etapas de crecimiento y los eventos climáticos, lo que a su vez impacta en los rendimientos.

La precipitación, por su parte, desempeña un papel vital en la disponibilidad de agua para los cultivos. Pérez-Ortiz *et al.*, (2022) señalan que la variabilidad en las precipitaciones puede llevar a periodos de sequía o inundaciones, afectando negativamente la producción agrícola. La disminución de las lluvias en ciertas regiones puede causar estrés hídrico en las plantas, reduciendo la calidad y cantidad de los cultivos. Por otro lado, la abundancia de precipitación en cortos periodos puede provocar la erosión del suelo y pérdida de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal.

La variabilidad climática, como lo expone Bernal Morales *et al.*, (2021), presenta desafíos adicionales para la agricultura de temporal. Los cambios en la duración de las estaciones de crecimiento afectan la planificación y selección de cultivos. El aumento de la población mundial demanda una mayor producción de alimentos, lo que ejerce presión sobre los recursos naturales, incluida el agua. La variabilidad en la distribución de la precipitación puede impactar la disponibilidad de agua para riego, lo que resalta la importancia de una gestión eficiente del recurso hídrico para garantizar la seguridad alimentaria.

Para comprender y abordar los efectos de estos factores climáticos en la agricultura, es fundamental el análisis científico riguroso y la recopilación de datos confiables a lo largo del tiempo. Las correlaciones entre las variables climáticas y los rendimientos de cultivos, como se realiza en estos estudios, permiten identificar patrones y tendencias, y brindan información valiosa para la toma de decisiones en la planificación agrícola.

La investigación científica enfocada en la influencia de los factores climáticos en la agricultura es esencial para comprender y mitigar los impactos del cambio climático en la producción de alimentos. Los estudios de Caira Mamani *et al.*, (2021) , Pérez-Ortiz *et al.*, (2022) y Bernal Morales *et al.*, (2021) resaltan la necesidad de considerar la temperatura, precipitación y variabilidad climática en la toma de decisiones agrícolas, a fin de asegurar la seguridad alimentaria en un contexto de cambios climáticos constantes.

Autores como Lobell *et al.*, 2011 refieren que el cambio climático, supone el problema medioambiental más grave al que se enfrenta la humanidad, y tiene repercusiones de gran alcance en el maíz. A nivel mundial, se estima que el aumento de las temperaturas y las tendencias de las precipitaciones desde 1980 han disminuido el rendimiento del trigo un

5,5% y del maíz un 3,8%, por debajo de lo que habrían estado si el clima se hubiera mantenido estable.

Dicha información concuerda con nuestro caso particular de estudio, en el que se ve reflejado en las décadas analizadas la disminución del rendimiento en el cultivo de maíz y trigo, en tres municipios que conforman la Cuenca, y se puede observar que con el aumento de la temperatura disminuye el rendimiento.

A pesar de que el rendimiento ha disminuido, en la zona de estudio, cultivos como la papa, haba verde, tomate verde y el tomate rojo se ven favorecidos con el incremento de la temperatura máxima. La disminución del rendimiento en los otros cultivos se puede atribuir a otros factores como la rotación de los cultivos, la tendencia en la distribución de lluvias en el año que ha provocado sequías y con ello estrés en las plantas. Así mismo se prevé que el cambio climático reduzca el rendimiento al aumentar la incidencia, gravedad y distribución de enfermedades fúngicas, que también suponen una amenaza contra la inocuidad de los alimentos (Paterson y Lima, 2010).

Pero no sólo son las altas temperaturas las que influyen en el rendimiento de los cultivos, dentro de la Cuenca las temperaturas mínimas favorecen el rendimiento de cultivos como la papa, el haba verde y el frijol, ya que son cultivos más resistentes a rangos de temperaturas más extremas. Las temperaturas mínimas a las que un cultivo puede resistir son un factor importante que se debe tener en cuenta, ya que al disminuir la temperatura el desarrollo vegetativo se vuelve más lento.

La adaptación a los impactos de las variaciones climáticas y su mitigación exigirán a los productores la implementación de técnicas que hagan eficiente la utilización de insumos agrícolas, en particular el agua, los nutrientes, la energía y la mano de obra, y fortalecer así la resiliencia frente a tensiones abióticas, bióticas y económicas, así como frente al cambio climático (FAO, 2013 y FAO, 2015).

CONCLUSION

El promedio de las variaciones por década de temperatura en la cuenca muestra, una variación en la temperatura mínima mensual de 7.8° C y para la temperatura máxima mensual la variación es de 6.5° C.

En cuanto al rendimiento de la producción agroalimentaria, el maíz es el único cultivo que se produce en todos los municipios que conforman la cuenca. Las temperaturas mínimas mensuales favorecen el rendimiento de cultivos como la papa en Toluca, el haba verde en Tenango y el frijol en Zumpahuacán. Los cultivos que presentaron mayores rendimientos con las temperaturas máximas son la papa y haba en Tenango y el tomate verde en Tonicaco.

Los cultivos que presentaron una correlación media son el haba verde y tomate verde en Villa Guerrero y muy cercana a la correlación alta el tomate rojo en Tonicaco, en cambio en Zumpahuacán se ve reflejada una correlación media negativa, lo que indica que al aumentar la temperatura el rendimiento del maíz disminuye.

BIBLIOGRAFÍA

Altieri, M.; Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología*. 3: 7–28.

Bernal Morales, R.; Velasco Hernández, M. de los Ñ.; Morales Acoltzi, T.; Hernández Vázquez, M.; Orozco Flores, S.; Jiménez López, J. (2021). Impacto de la variabilidad climática en la agricultura de temporal en el estado de Tlaxcala, México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*.17(4), 713–733. <https://doi.org/10.22231/asyd.v17i4.1401>

Caira Mamani, C. M.; Lopez Loayza, C.; Carhuarupay Molleda, Y. F. (2021). Efecto de la temperatura y precipitación sobre la agricultura en la cuenca Coata-Puno, Perú. *Revista Alfa*. 5(14), 285–296. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.118>

FAO (2013). *Climate-smart agriculture sourcebook*. Rome.

FAO (2015). FAOSTAT. Base de datos estadísticos en línea: Producción. Disponible en: <http://faostat.fao.org>

FAO-ICRISAT. (1997). La Economía del sorgo y del mijo en el mundo; hechos, tendencias y perspectivas. *ICRISAT*. 123.

Haggar, J. (2008). *Impact of ClimateChange on Coffee Farming Households in Central America and Steps for Adaptation in the Future*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Lobell, D.B.; Schlenker, W.S.; Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 333:616–620.

Ortiz, R. (2008). Crop genetic engineering under global climate change. *Annals of Arid Zone*. 47: 343–54.

Ortiz, R. (2011). Agrobiodiversity management for climate change. En J. Lenné y D. Wood (editors). *Agrobiodiversity Management for Food Security: Critical Review*, 189–211. Wallingford, Reino Unido: CAB International.

Ortiz, R., K. D.; Sayre, B.; Govaerts, R.; Gupta, G. V.; Subbarao, T.; Ban, D.; Hodson (2008). Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 126: 45–58.

Paterson, R. R. M.; Lima, N. (2010). How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*, 43(7): 1902–1914.

Pérez, J. I. J; Antonio, N. X; Monroy G. J. F; Gutiérrez, C.J. G; Balderas, P. M. Á; Loik, M. E.; Hernández, G. M. M; Camacho, S. J. M. (2010). Variaciones climáticas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, Estado de México: 1960-2007. *CIENCIA ergo sum*, Vol. 17-2. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. pp. 143 - 153.

Pérez-Ortiz, M. A.; Montenegro-Murillo, D. D.; Vargas-Franco, V. (2022). Análisis de la influencia de la variabilidad climática en la precipitación de la cuenca del río Cali, Colombia. *DYNA* (Colombia), 89(221), 168–177. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.101607>

SEDAGRO (2008, 4 de abril). Reglas de operación del programa reforestación y restauración integral de microcuencas. Gaceta del Gobierno, (64). (GEM).

Verner, D. (2011). Social implications of climate change in Latin America and the Caribbean. *Economic Premise* 61. Washington D.C.: Banco Mundial.

Villaseñor M., H. E. (2000^a). Importancia del trigo. En: Villaseñor M., H. E., y Espitia R., E. (eds.). *El Trigo de Temporal en México*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación del Centro (CIRCE), Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México, México. p. 7–24

© Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo y Jocksan Edrey Reyes Andrade.

Gutiérrez Cedillo, J.C.; Reyes Andrade, J.E (2023). Variabilidad climática y la producción agroalimentaria: análisis de una cuenca en el Altiplano Central de México. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)*. 16(28) Sección I:1-15

On-line: www.revistageosig.wixsite.com/geosig

Recibido: 22 de noviembre de 2023

Aceptado: 11 de marzo de 2024