

Análisis de temperatura y precipitación en dos zonas aguacateras del estado de Morelos: periodo 1956-2019

Karen Fernanda Arrieta Aguilar¹

Héctor Sotelo Nava^{1§}

Jesús del Carmen Peralta-Abarca¹

Oscar Gabriel Villegas Torres¹

Francisco Perdomo Roldán¹

Elizabet Millán Benítez¹

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos-Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc. Avenida Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos. CP. 62209. (karen.arrieta@uaem.edu.mx; carmen.peralta@uaem.mx; millanbenitez@hotmail.com; voscar66@yahoo.com.mx; f.perdomor@yahoo.com.mx).

[§]Autor para correspondencia: hector.sotelo@uaem.mx.

Resumen

El estado de Morelos por sus condiciones edafoclimáticas presenta un alto potencial para el desarrollo de la industria aguacatera; sin embargo, se enfrenta a la amenaza de la modificación de las condiciones de temperatura y precipitación óptimas para la producción de *Persea americana* Mill., cultivar Hass. El objetivo del presente trabajo fue identificar las modificaciones en la temperatura y precipitación en tres periodos en dos zonas productoras de aguacate en Morelos en 2019. Se seleccionaron dos estaciones climatológicas, una en Cuernavaca y otra en Tetela del Volcán, para el análisis temporal se establecieron tres periodos de cinco años cada uno a partir del año 1956 con una diferencia de 30 años entre periodo. Se realizó un análisis de varianza, se usó la prueba estadística LSD de Fisher para encontrar diferencias entre las medias de los valores de los parámetros (0.05). Se hallaron diferencias significativas en la temperatura máxima para el municipio de Cuernavaca, así como en la temperatura mínima en Tetela del Volcán, ambas con tendencia al aumento. El análisis de precipitación demostró un incremento significativo en las medias por periodo en ambas localidades. Se concluye que los resultados obtenidos apuntan hacia un incremento de la temperatura en los sitios de estudio de importancia en la producción de aguacate. La precipitación presenta un aumento en el volumen anual en años actuales; sin embargo, la principal amenaza para el cultivo de esta fruta es el desfase de la temporada y la cantidad en la que se presentan las lluvias.

Palabras clave: aguacate, condiciones climáticas, producción.

Recibido: enero de 2023

Aceptado: marzo de 2023

Introducción

La observación de alteraciones en las variables climatológicas a consecuencia de la actividad humana en el último siglo ha despertado una creciente preocupación por los impactos que podrían ocasionar en los diferentes sistemas naturales y humanos (IPCC, 2014; Molina *et al.*, 2017). La agricultura es un sector especialmente vulnerable a las modificaciones de los factores climatológicos, ya que influyen en el desarrollo de los cultivos de forma directa e indirecta (FAO, 2017). Lo anterior se debe a que el aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de hierbas, plagas y enfermedades (FAO, 2009; Ojeda *et al.*, 2011).

La temperatura es un factor de primer orden en la producción de cultivos, ya que incide en la tasa de desarrollo y el crecimiento (FAO, 2020). Cualquier modificación de sus valores en una determinada zona hará que el comportamiento de los cultivos sea diferente (Jarma-Orozco *et al.*, 2012). Por su parte la precipitación es fundamental para alcanzar el éxito de las cosechas. Sin embargo, las superficies cultivadas enfrentan problemas extremos de cambios paulatinos de este elemento del clima, que van desde fluctuaciones en la presencia de éstas (tempranas o tardías), inundaciones o sequías prolongadas que se traducen en decrementos en la producción (Granados *et al.*, 2008).

Respecto a los impactos derivados de este desbalance climático, México resulta ser especialmente vulnerable ya que la mayoría de los sistemas agropecuarios y forestales son críticamente dependientes del clima, así como por su ubicación geográfica, topografía y aspectos socioeconómicos (Villafán *et al.*, 2007; SEMARNAT-INECC, 2012). Dentro de la producción agrícola en México, el aguacate (*Persea americana* Mill.) es uno de los cultivos frutícolas de mayor importancia con una producción de 2 300 888.9 Mg.

México es líder en su cultivo y exportación con una aportación de 45.95% del valor de exportaciones mundiales (SIAP, 2019). La importancia socioeconómica del aguacate se deriva del beneficio a productores, comercializadores, industrializadores y consumidores (Téliz, 2015; SAGARPA, 2017).

El estado de Morelos, la industria aguacatera presenta un alto potencial de desarrollo debido a las características edafoclimáticas y fisiográficas. En 2019 la producción fue de 53 347.27 Mg con un valor de \$795.6 millones de pesos. Algunos municipios productores son Ocuituco, Tetela del Volcán, Yecapixtla, Totolapan y Tlanepantla. El rendimiento promedio es de 9.31 t ha⁻¹ (SIAP, 2019). El aguacate cultivado en Morelos cumple con los estándares de calidad a nivel nacional e internacional, por lo que se vuelve atractivo para empaques y comercializadoras externas al estado (Balzadúa, 2018). En el planeta existen diferentes razas y variedades de aguacate, en México la que se produce en mayor volumen es 'Hass', debido a sus características para el comercio.

Los requerimientos climáticos varían de acuerdo con la raza y el aguacate Hass, puede tolerar temperaturas de hasta -4 °C por periodos cortos de tiempo y hasta 35 °C. Por su parte las temperaturas extremas para el amarre del fruto son de 12 a 17 °C en el límite inferior y mientras que en el límite superior de 28 a 30 °C. Para la sucesión de las etapas de floración y fructificación se requieren temperaturas de 12 a 13 °C (Ruiz, *et al.*, 2013). Los requerimientos de precipitación

para el aguacate varían de acuerdo con la raza, en el caso de la mexicana el rango necesario es entre 650 a 2 200 mm. En general, el aguacate de manera natural no prospera en ambientes con precipitación menor a 650 mm, por lo que al introducirse a ambientes más secos se requiere irrigación (Coria, 2009; Rocha *et al.*, 2011; Téliz y Mora, 2015).

Es así como la modificación de la temperatura, como consecuencia de la variabilidad climática puede alterar el umbral térmico necesario para que el cultivo prospere en determinadas zonas productoras. Referente a la relación con el cambio climático, Howden *et al.* (2005); Putland *et al.* (2010) establecieron que este fenómeno puede afectar la producción de aguacate principalmente por su efecto sobre etapas fenológicas sensibles a la temperatura, como diferenciación floral, antesis, amarre y desarrollo de fruto.

La producción de aguacate en el estado de Morelos tiene un alto potencial de desarrollo debido a sus características de suelo, ubicación geográfica y altitud. Sin embargo, puede ser afectada por varios factores en su producción y uno de ellos por las variaciones del clima las cuales se han presentado actualmente con mayor intensidad. El objetivo del presente estudio fue identificar los cambios de las variables climáticas de temperatura y precipitación a nivel local en tres periodos de tiempo que pueden alterar diferentes procesos en la producción de esta fruta en dos zonas productoras de aguacate de este estado.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El estudio se realizó en dos municipios del estado de Morelos, Cuernavaca y Tetela del Volcán. Cuernavaca es uno de los 33 municipios que conforman el estado de Morelos, pertenece a la región norponiente, limita al norte con el municipio de Huitzilac, al nororiente con Tepoztlán, al oriente con Jiutepec, al suroriente con Emiliano Zapata, al sur con Temixco y al poniente con el Estado de México. Se ubica entre 18° 50' y 19° 2' de latitud norte y a los 99° 11' y 99° 20' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, con una altitud promedio de 1 831 msnm. La superficie, calculada es de 205 km², cifra que representó 4.9% de la superficie de todo el estado (Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del municipio de Cuernavaca, Morelos, 2018). El municipio de Cuernavaca tiene dos agro hábitats: el III-C-2 y II-B-2.

El primero se caracteriza por un clima templado subhúmedo [C(w2)], una topografía accidentada (de montaña), suelos acrisoles, una altitud que va de 2 000 a 2 800 msnm, su precipitación y temperatura media anual es de 1 300 mm y 16 °C respectivamente, cubre un área de 39 102 ha, que corresponde a 7.89% del estado. El segundo presenta un clima semicálido (fresco) [A(c)], topografía irregular (montañosa) suelos Andosoles, una altura de 1 400 a 2 000 msnm. Su precipitación y temperatura media anual es de 1 000 mm y 21 °C respectivamente, cociente P/T= 52.3% cubre un área de 90 713 ha, que corresponde a 18.3% del área estatal (Ornelas *et al.*, 1990).

Tetela del Volcán es uno de los 33 municipios que conforman el estado de Morelos, se ubica en el extremo noreste y en las faldas del volcán Popocatepetl, limita al oeste con el municipio de Ocuilco y al sur con el municipio de Zacualpan de Amilpas, al norte con Ecatzingo y Atlautla municipios del Estado de México, al este con Tochimilco y Atzitzihuacán del estado de Puebla. Su

ubicación esta entre 18° 49' y 19° 01' de latitud norte y 98° 47' de longitud oeste, la altitud varía de los 1 700 a los 5 000 msnm. La extensión territorial total es de 98.5 km². En Tetela del Volcán se localizan los agro hábitats: IV-C-5, III-C-1 y III-B-1.

El primero se caracteriza por un clima Semifrío [C(w2) (b)], topografía accidentada (sierras), suelos litosoles son muy delgados, susceptibles a la erosión, por lo cual no son aptos para actividades agrícolas generalmente están ocupados con vegetación natural y su uso más apropiado es el silvícola. Corresponde a la parte más elevada de la sierra del Ajusco limita con el Popocatepetl, a altitudes comprendidas entre 2 800 y 4 000 m, su precipitación y temperatura media anual es de 1 500 mm y 12 °C, respectivamente, cociente P/T= 125, cubre un área de 25 244 ha, que corresponde a 5.09% del área total estatal.

El segundo y tercer agro hábitat tienen un clima templado subhúmedo [C(w2)], suelos acrisoles los cuales son muy ácidos, por lo cual generalmente no se explotan agrícolamente, son de baja fertilidad, se encuentran en topografía accidentada (sierras y lomeríos) y son fácilmente erosionables, su uso más apropiado es el forestal. Una altitud que va de 2 000 a 2 800 msnm, su precipitación y temperatura media anual es de 1 300 mm y 16 °C respectivamente cociente P/T= 81.3%, cubre un área de 39 102 ha, que corresponde a 7.89% del estado. Una topografía de sierras y lomeríos respectivamente (Ornelas *et al.*, 1990).

Datos y análisis

Se seleccionó una estación meteorológica en cada municipio de las cuales, a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), se obtuvieron las bases de datos de las variables de interés. Para el caso de Cuernavaca la estación fue la 17004, ubicada en las coordenadas 18.9186 latitud y -99.2342 longitud a una altura sobre el nivel del mar de 1 510 m, fueron consideradas las temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación diaria del periodo 1956 a 1960, 1986 a 1990 y de 2016 a 2019. La estación de Tetela del Volcán corresponde a la 17046 ubicada en las coordenadas 18.8850 latitud y -98.6903 Longitud y a 2 285 msnm, se tomó la información diaria de las variables temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, del periodo 1986-1990 y 2016-2019.

Temperatura y precipitación

Se analizaron las variables: temperatura (mínima y máxima) y precipitación para determinar la presencia de variabilidad climática y evaluar la variación en el comportamiento de la temperatura, así como cambios significativos en la cantidad de lluvia en las zonas seleccionadas para el estudio en los diferentes periodos.

Para la realización de dicho análisis se empleó una adaptación de la metodología propuesta por Tapia *et al.* (2011), para lo que se establecieron periodos de cinco años de registros diarios de las variables. Los intervalos de tiempo se establecieron cada 25 años para que representen apropiadamente el comportamiento del clima en el contexto local.

De acuerdo con la disponibilidad de los datos históricos registrados en los sitios de estudio, corresponden a tres periodos: el primero de 1956 a 1960, el segundo a los años de 1986 a 1990 y el actual del 2016 al 2019. Posteriormente se compararon para conocer las diferencias entre estos tres periodos de tiempo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Periodos para el análisis de las modificaciones de las variables climáticas.

Periodo	Cuernavaca	Tetela del Volcán
A	1956-1960	No disponible
B	1986-1990	1986-1990
C	2016-2018	2016-2018

Análisis de datos

Los datos diarios de cada uno de los años de análisis fueron registrados en hojas de cálculo individuales y se aplicó un control de los datos de las estaciones climatológicas, para ello se revisaron las series completas, de tal manera que no tuviera datos anómalos como valores de temperatura inconsistente, por ejemplo, temperatura máxima menor que la temperatura mínima o valores de precipitación menores que cero. Para hacer el análisis espacio temporal de los datos obtenidos, se agruparon por localidad, periodo, año, mes, precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima. Posteriormente se realizó un análisis de varianza con el programa Stastical Analysis System (SAS 9.0), para determinar la existencia de interacción y diferencias significativas en las dos estaciones meteorológicas de Cuernavaca y Tetela del Volcán.

Se aplicó el método de la mínima diferencia significativa (LSD) de Fisher para determinar diferencias entre las medias de los valores de los parámetros ($p \leq 0.05$). Se analizaron por separado las dos localidades (Cuernavaca y Tetela), como tratamientos los años y los meses se tomaron como bloques. Posteriormente, las localidades se analizaron por separado, tomando los periodos como tratamientos y los meses como bloques. Por último, se realizó un análisis temporal combinado.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran los promedios anuales por periodo de la temperaturas máximas y mínimas de las dos zonas aguacateras de Cuernavaca y Tetela del Volcán, Morelos. Se observan incrementos en las temperaturas reportadas por las estaciones meteorológicas estudiadas.

Cuadro 2. Promedio anual de la temperatura máximas y mínimas de dos localidades de estudio.

Periodo	Año	Cuernavaca		Tetela del Volcán	
		Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)
A	1956	26.46 ef	13.67 b	-	-
	1957	27.8 cd	14.89 a	-	-
	1958	26.7 e	14.9 a	-	-
	1959	26.78 e	15.08 a	-	-
	1960	27.52 d	15.34 a	-	-
B	1986	25.76 g	15.01 a	22.77 cd	6.21 de
	1987	26.14 efg	15.01 a	23.07 c	5.94 de
	1988	26.23 efg	15.21 a	24.29 b	5.75 e
	1989	26.02 fg	14.88 a	26.07 a	6.39 d

Periodo	Año	Cuernavaca		Tetela del Volcán	
		Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)
C	1990	26.48 ef	15.07 a	22.8 cd	10.11 bc
	2016	28.38 bc	15.05 a	21.69 d	10.9 a
	2017	28.26 bc	14.73 a	24.49 b	10.43 ab
	2018	28.63 b	15.31 a	24.47 b	10.53 ab
	2019	29.36 a	15.07 a	22.95 cd	9.78 c

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (por localidad) de acuerdo con la prueba de LSD (0.05).

En Cuernavaca las temperaturas mensuales máximas promedio presentan un comportamiento similar en los tres periodos, es decir que las temperaturas más altas se registran en los meses de abril y mayo, mientras que los meses menos calurosos son diciembre y enero (Figura 1). No obstante, es posible observar que en Cuernavaca las temperaturas del periodo más reciente de registros se encuentran por encima de los otros dos, lo que puede indicar que en estos últimos años temperaturas máximas ligeramente más altas que en 1956-1960 y en 1986-1990. Para el caso de Tetela del Volcán el registro de las temperaturas más altas se presentó en el mes de abril para el periodo B, mientras que para el periodo C fue en el mes de marzo. Los meses menos calurosos septiembre, octubre y enero (Figura 2).

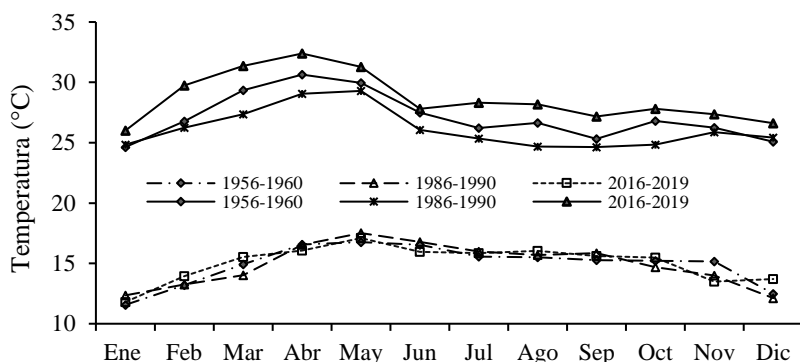


Figura 1. Comportamiento de la temperatura máxima y mínima mensual por periodo en la localidad de Cuernavaca, Morelos.

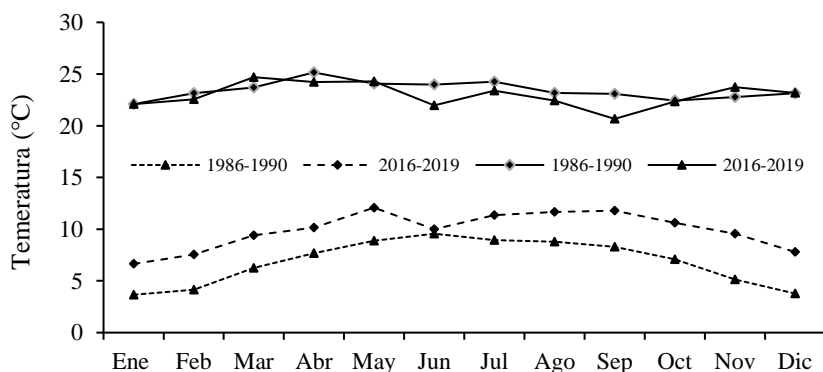


Figura 2. Comportamiento de la temperatura máxima y mínima mensual por periodo en la localidad de Tetela del Volcán, Morelos.

De acuerdo con análisis de LSD de Fisher, Cuernavaca presentó diferencias significativas en sus temperaturas máximas, entre los periodos 1956-1960, 1986-1990 y 2016-2019, con 27.08 °C, 26.13 °C y 28.68 °C respectivamente, siendo el periodo más reciente el más cálido con un aumento de 2.55 °C, lo cual muestra que en estos últimos años se han registrado temperaturas más altas que en los periodos anteriores. Sin embargo, se identificó que Tetela del Volcán no registró diferencias significativas entre los periodos de análisis (Figura 3).

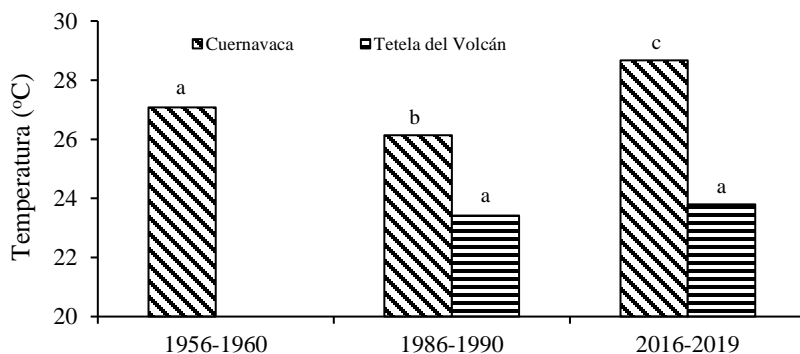


Figura 3. Temperatura máxima por periodo en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (por localidad) de acuerdo con la prueba de LSD (0.05).

Respecto a las temperaturas mínimas en Cuernavaca, en los tres periodos la más baja se registró en el mes de enero siendo de 11.56 °C, 12.35 °C y 11.79 °C para el periodo A, B y C respectivamente. En la localidad de Tetela del Volcán, las temperaturas mínimas promedio coincide que la más baja se presentó en el mes de enero con 3.6 °C y 6.6 °C para el periodo B y C respectivamente.

La temperatura mínima mensual de Cuernavaca analizada por periodo muestra una mínima variación, señala a los meses de diciembre, enero y febrero como los meses más fríos, con temperaturas inferiores a los 15 °C (Figura 1). Mientras que la temperatura mínima mensual por periodo en Tetela del Volcán se ha incrementado entre 1 a 4.5 °C, los meses más fríos fueron diciembre y enero. El comportamiento anual de la temperatura mínima para el municipio de Cuernavaca presentó diferencias significativas, el año más frío se registró en 1956 (Cuadro 1). Los incrementos en la temperatura mínima son más marcados en Tetela del Volcán, se destaca que las temperaturas mínimas de los años del periodo 2016-2019, se elevaron considerablemente respecto a las del periodo 1986-1990 (LSD, $\alpha=0.05$) (Cuadro 1).

Al realizar el análisis por periodo, no señala diferencias significativas de la temperatura mínima en Cuernavaca. Por su parte, en Tetela del Volcán, se identificó una diferencia significativa en las medias entre periodos, las cuales fueron de 6.88 °C y 10.41 °C para el periodo B y C respectivamente, lo que representa un aumento de 3.45 °C (Figura 4).

Se identificó que de acuerdo con los requerimientos límite del cultivo, las huertas que se ubican en Cuernavaca son más vulnerables a los cambios de temperatura, especialmente a un aumento de ella, que ha sido demostrado que es la tendencia con el Cambio Climático (IPCC, 2014), por lo tanto, se ve reflejada la importancia y necesidad de la realización de este tipo de estudios en el estado de Morelos. A partir de los registros históricos de temperatura y precipitación obtenidos de la CONAGUA, fue posible realizar un análisis de las variaciones que se han presentado a través de

los años. Se identificó que sí se han registrado modificaciones en la temperatura máxima en la localidad de Cuernavaca (estación 17004) al presentar diferencias significativas (LSD 0.05) en el aumento de este elemento climático del periodo C respecto al B.

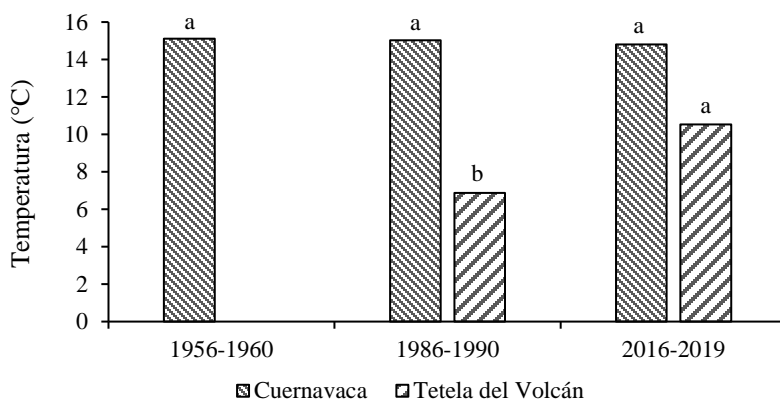


Figura 4. Temperatura mínima promedio por periodo en Cuernavaca y Tetela del Volcán. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de LSD (0.05).

Como se puede observar durante el periodo 2016-2019 de la zona productora de Cuernavaca, la tendencia general es de un aumento de 2.5 °C en la temperatura máxima promedio; mientras que en Tetela del Volcán la temperatura máxima se mantiene estable durante los dos periodos estudiados (Figura 3). Esto coincide con lo reportado por Bolongaro *et al.* (2013), quienes tras analizar los registros de temperatura de diversas estaciones meteorológicas del estado de Morelos en el periodo 1961 al 2008, encontraron que los datos muestran un comportamiento de incremento de la temperatura máxima y en el número de períodos cálidos en el estado, aunque el presente estudio fue más amplio.

La temperatura está estrechamente relacionada con la productividad del aguacate ya que gobierna la sucesión de las etapas fenológicas, interviene en numerosos procesos fisiológicos. Se ha documentado que cualquier modificación de sus valores en una determinada zona agroecológica afecta la producción (FAO, 2009; Rocha-Arroyo *et al.*, 2011; FAO, 2017). El aguacate posee características ecofisiológicas muy particulares, sus requerimientos climáticos y edáficos varían dependiendo de su fenología. En Morelos, ocurren dos temporadas de floración importantes la normal que ocurre en los meses de septiembre a noviembre (70%) y la floración loca que tiene lugar durante enero y febrero (30%) y que es la que alcanza los mejores precios.

Requiere de temperaturas de 12.7 a 17 °C, por lo que este proceso no se vería afectado por los cambios en temperatura observados en el último periodo de estudio, la etapa de amarre de frutos se verá comprometida, en la zona de Cuernavaca y Tetela del Volcán, ya que las temperaturas máximas están por encima de los 25 °C durante el resto del año (Figura 2 y 3) (Ruíz *et al.*, 2013; Téliz y Mora, 2015; Castro-Acosta *et al.*, 2022).

Investigaciones como las realizadas por Ortiz y Ortega (2015) calcularon los índices de vulnerabilidad frente al cambio climático en la zona aguacatera de Michoacán y sus resultados muestran que las proyecciones de incremento de la temperatura muestran valores por arriba de la media. Además, los índices de temperatura en las regiones en estudio proporcionan evidencia clara

de una tendencia creciente al aumento en la frecuencia de días calurosos. Por su parte Álvarez *et al.* (2017) mencionan que un incremento en la temperatura máxima podría representar un factor limitante para el cultivar Hass en Michoacán, ya que las temperaturas altas (33 °C) durante la floración acortan el periodo de apertura de flores y reducen la cantidad de flores que abren.

Esto puede representar una amenaza para el cultivo de aguacate en Morelos, ya que se demostró un aumento de las temperaturas con el transcurso del tiempo y en localidades como Cuernavaca y Tetela del Volcán ya están cerca del umbral crítico de temperatura, sobre todo para la floración loca que representa un 30% de la floración anual y es la cosecha que alcanza el mejor precio en el mercado. Referente a la temperatura mínima el municipio de Tetela del Volcán (estación 17046), mostró un aumento en todos los meses del periodo actual exceptuando el mes de junio, en comparación con el periodo de 1986-1990. Dicho aumento de las temperaturas mínimas fue significativo del periodo B al C.

En el análisis de la precipitación en ambas estaciones meteorológicas, se observó que Cuernavaca presenta un mayor volumen de lluvia que Tetela del Volcán y de forma general, se han presentado aumentos en la cantidad de precipitación en ambos sitios a medida que los periodos son más recientes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Precipitación acumulada por año en los municipios de Cuernavaca y Tetela del Volcán.

Periodo	Año	Cuernavaca		Tetela del Volcán	
		Acumulado	Media	Acumulado	Media
A	1956	994.2	21.17 bc		-
	1957	591.8	17.27 c		-
	1958	1 813.5	37.59 a		-
	1959	1 027.3	21.4 bc		-
	1960	1 037.9	21.62 bc		-
	1986	1 263.8	27.26 abc	1 006.4	20.3 a
B	1987	1 291.7	26.91 abc	812.8	16.93 a
	1988	1 084.3	22.42 bc	1 188.9	24.73 a
	1989	1 062.6	22.14 bc	895.9	18.66 a
	1990	1 496.1	31.17 abc	1 250.5	25.51 a
C	2015	1 330.2	34.74 a	1 133.8	25.13 a
	2016	1 751.7	29.15 abc	1 366.2	25.44 a
	2017	1 410.8	35.78 a	1 221.2	25.52 a
	2018	1 717.5	30.65 ab	1 221.2	22.82a
	2019	1 407.53	27.26 abc	1 096.14	20.3 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (por localidad) de acuerdo con la prueba de LSD (0.05).

Los promedios de la precipitación acumulada de los tres periodos estudiados permiten evidenciar este aumento en la precipitación en los distintos periodos, siendo así que para Cuernavaca en el periodo A el promedio fue de 1092.9 mm, en el B de 1 239.7 y por último en el periodo C que

corresponde a los últimos cinco años, el promedio fue de 1 532.4 mm, es decir una diferencia de 439 mm entre el periodo A y el C. Lo mismo sucede en Tetela del Volcán en donde en los años de 1986 a 1990 el promedio de las precipitaciones fue de 1 030.9 mm y para 2015 al 2019 de 1 207.7 mm, con un incremento de 177 mm.

En el Cuadro 3 se observó el comportamiento anual de la precipitación en cada una de las localidades, en las cuales a través del análisis estadístico se hallaron diferencias significativas entre los años de estudio en el municipio de Cuernavaca, siendo los años 1956, 2016 y 2018 los que obtuvieron los valores más altos. En el caso de Tetela del Volcán a pesar de reportar variaciones en la precipitación acumulada anual, estadísticamente no representa una diferencia significativa por año, como puede apreciarse en la Figura 5.

Respecto al análisis por periodos, en Cuernavaca para el B fue de 25.98 mm y por último en el periodo C que corresponde a los últimos cinco años, el promedio fue de 33.65 mm lo que indicó una diferencia significativa. A pesar de que las medias de la precipitación en el análisis anual no muestran diferencias significativas para Tetela del Volcán, en la comparación por periodo sí resultó significativo el aumento de la lluvia como se observa en la Figura 5.

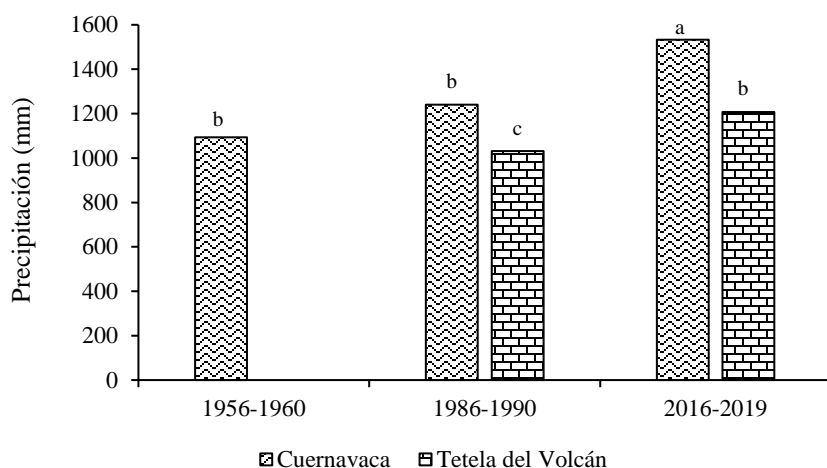


Figura 5. Comportamiento de la precipitación pluvial anual en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán por periodo. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de LSD (0.05).

Conclusiones

Los resultados obtenidos apuntan hacia una tendencia de incremento de las temperaturas en las zonas productoras de Cuernavaca y Tetela del Volcán, Morelos. La precipitación presenta un aumento en el volumen anual en años actuales, sin embargo, la principal amenaza para el cultivo de esta fruta es el posible desfase de la temporada y la cantidad en la que se presentan las lluvias. El cultivo del aguacate es vulnerable ante los efectos de las alteraciones climáticas, ya que sus etapas fenológicas son sensibles a la alteración de temperaturas y a la disponibilidad de agua, por lo tanto, es fundamental buscar alternativas para enfrentar estas condiciones cambiantes que podrían traer consecuencias, especialmente debido a la importancia socioeconómica que tiene este cultivo en el estado.

Bibliografía

- Álvarez, B. A. ; Salazar, G. S.; Ruíz, J. A. y Medina, G. G. 2017. Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 19:4035-4048.
- Balzádua, M. B. 2018. El papel de la confianza en la gobernanza de una cadena agroalimentaria: el caso de los productores de aguacate en la región nororiente del estado de Morelos. Cuautla, Morelos. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 25 p. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/609/BAMBXN07T.pdf?Sequence=1&isAllowed=y>.
- Bolongaro, C. R. A.; Torres, R. V.; Chavarría, H. J.; Pohle, M. O.; García, V. F. y Barahona, E. O. 2013. Escenarios de cambio climático en el estado de Morelos. Cambio climático: vulnerabilidad de sectores clave en el estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). 17-53 pp.
- Castro-Acosta, E. G.; Avilés-Reyes, A.; Mendoza-Bautista, C.; López-Fuentes, A. y Secundino, J. K. 2022. Cambio climático y producción de aguacate. 1-14 pp. <https://www.researchgate.net/publication/357662730>.
- Coria, V. M. 2009. Tecnología para la producción de aguacate en México. Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA)-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2^{da} Ed. Uruapan, Michoacán. 17 p.
- FAO. 2009. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Cambio Climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Washington, DC. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI.
- FAO. 2017. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Fiat Panis. Roma, Italy. Doi:978-92-5-309873-6.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2020. Food Security and Nutrition in the World. 2020. Rome, Italy. FAO. <http://www.fao.org/3/ca9692en/CA9692EN.pdf>
- Granados, R. R.; Reyna, T. T. y Aguilar, S. G. 2008. Variación de la precipitación, efectos en la agricultura y algunos problemas sociales en el estado Michoacán. Geografía, Encino y Pesquisa. Primera edición. UFPR. 2546-2561 pp.
- Jarma-Orozco, A.; Córdova-Ayala, C. E. y Armendáriz, T. H. 2012. Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Rev. UDCA. Act. & Div. Cient.* 15(1):63-76. Doi: 10.31910/rudca.v15.n1.2012.803.
- Howden, M.; Newett, S. and Deuter, P. 2005. Climate change-risks and opportunities for the avocado. New Zealand and Australia Avocado Grower's Conference. 05. 19 p. <http://www.avocadosource.com/Journals/AUSNZ/AUSNZ-2005/AUSNZ-2005-TOC.htm>.
- IPCC. 2014. Cambio climático 2014. Informe de síntesis. Ginebra, Suiza.
- Molina, P. M. J.; Sarukhán, K. J. y Carabias, L. J. 2017. Cambio climático. Causas efectos y soluciones. Fondo de Cultura Económica. Primera edición. Ciudad de México. 222 p.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E.; Íñiguez, C. M. y Montero, M. M. J. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia.* 45(1):1-11. Doi:1405-3195.
- Ornelas, R. F.; Ambriz, C. R. y Bustamante, O. J. D. 1990. Delimitación y definición de agro hábitats del estado de Morelos. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP)-Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del estado de Morelos-Campo Experimental Zacatepec, Zacatepec. Folleto técnico núm. 8. 18 p.

- Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Cuernavaca. 2018. Memoria técnica. <https://sustentable.morelos.gob.mx/p-territorial/poet-cuernavaca>.
- Putland, D.; Muller, J.; Deuter, P. and Newett, S. 2010. Potential implications of climate change and climate policies for the Australian avocado industry. Sydney, Australia. 130 p. <https://www.researchgate.net/publication/274064603>.
- Rocha, A. J. L.; Salazar, S. S.; Bárcenas, O. A. E; González, D. I. y Cossio, V. L. E. 2011. Fenología del aguacate “Hass” en Michoacán. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(3):303-316.
- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; González, A. I. J.; Flores, L. H. E.; Ramírez, O. G.; Ortiz, T. C.; Byerly, M. K. F. y Martínez, P. R. A. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. INIFAP-CIRPAC-CECAJ. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Libro técnico 3. 564 p.
- SAGARPA. 2017. Planeación agrícola nacional 2017-2030. Ciudad de México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Boletín mensual de producción aguacate. Ciudad de México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/486766/Bolet-n-mensual-producci-n-de-Aguacate-julio-2019.pdf>.
- Tapia, V. L. M.; Larios, G. A.; Vidales, F. I.; Pedraza, S. M. E. y Barradas, V. L. 2011. Cambio climático en la zona aguacatera de Michoacán: análisis de precipitación y temperatura a largo plazo. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(esp):325-335.
- Teliz, O. D. y Mora, A. A. 2015. El aguacate y su manejo integrado. Guadalajara, Jalisco. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 321 p.
- Villafán, V. K. B.; Ortiz, P. C. F. e Infante, J. Z. T. 2007. Mercado internacional de alimentos y reconversión productiva. El caso del aguacate orgánico Michoacano. *INCEPTUM.* 2 (2):129-153. <http://insectum.umich.mx/index.php/insectum/article/view/25/30>.