

## EL CLIMA EN LAS REGIONES PRODUCTORAS DE AGUACATE EN AMÉRICA

Álvarez-Bravo, Arturo<sup>1</sup>; Salazar-García, Samuel<sup>2</sup> †; Bojorquez-Serrano, José Irán<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit.  
Correo-e: arturoalvarezbravo@live.com

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit. C.P. 63300. México.

<sup>3</sup>Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Amado Nervo s/n Col. Los Fresnos, Ciudad de la Cultura Tepic, Nayarit, México C.P. 63155.

### Resumen

El ambiente modula procesos fenológicos como la floración o el desarrollo del fruto, por lo tanto, conocer las condiciones climáticas donde se cultiva aguacate en las principales regiones productoras en América es el objetivo de este estudio. Se consideró la climatología mensual de seis zonas productoras de 'Hass' (California en Estados Unidos, Michoacán en México, Chimaltenango en Guatemala, Antioquia en Colombia, La Libertad en Perú y Valparaíso en Chile). Las regiones productoras fueron identificadas según registros de producción de cada país. La climatología responde a la característica ambiental de cada región de estudio. Se utilizó el sistema de datos climáticos denominado WorldClim el cual emplea imágenes con una resolución espacial 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km<sup>2</sup>), correspondiente a la última climatología disponible. Mediante el programa Minitab versión 20, se analizaron y graficaron los principales parámetros estadísticos. Se identificó que las condiciones climáticas donde se cultiva 'Hass' varían en magnitud y temporalidad por ello las diferentes épocas en que la fenología se presenta en América. En términos medios mensuales, la temperatura máxima más alta (> 28 °C) se presenta en Michoacán, California y La Libertad. La temperatura mínima media mensual más baja (7-10 °C) se registró en Valparaíso y California. El régimen pluviométrico medio mensual es contrastante, Antioquia con el registro más alto (>2000 mm anuales), mientras que La Libertad con el registro más bajo (<140 mm anuales). Los resultados muestran la plasticidad del cultivo a diferentes condiciones ambientales y de manejo.

**Palabras clave:** Temperatura, Precipitación, Ambiente.

### CLIMATE IN AVOCADO PRODUCING REGIONS IN AMERICA

#### Abstract

The environment modulates phenological processes such as flowering or fruit development, therefore, knowing the climatic conditions where avocado is grown in the main producing regions in America is the objective of this study. The monthly climatology of six 'Hass' producing areas was considered (California in the United States, Michoacán in Mexico, Chimaltenango in Guatemala, Antioquia in Colombia, La Libertad in Peru and Valparaíso in Chile). The producing regions were identified according to the production records of each country. The climatology responds to the environmental characteristics of each study region. The climatic data system called WorldClim was used, which uses images with a spatial resolution of 30 arc seconds (approximately 1 km<sup>2</sup>), corresponding to the latest available climatology. Using the Minitab version 20 program, the main statistical parameters were analyzed and plotted. It was identified that the climatic conditions where 'Hass' is grown vary in magnitude and temporality, for this reason the different periods in which phenology occurs in America. In monthly average terms, the highest maximum temperature (> 28 °C) occurs in Michoacán, California and La Libertad. The lowest average monthly minimum temperature (7-10 °C) was recorded in Valparaíso and California. The average monthly rainfall regime is contrasting, Antioquia with the highest record (> 2000 mm per year), while La Libertad with the lowest record (<140 mm per year). The results show the plasticity of the crop under different environmental and management conditions.

**Key words:** Temperature, Precipitation, Environment.

## Introducción

El ambiente modula procesos fenológicos como la floración o el desarrollo del fruto. Más aún, las condiciones ambientales definen la expresión fenotípica, como la rugosidad o el grosor de la piel de frutos de aguacate (Barrientos-Priego et al., 1996; Álvarez-Bravo y Salazar-García, 2017). El clima también tiene un efecto sobre las características externas de los frutos de aguacate 'Hass' (tamaño, forma y rugosidad de la piel), contenido de fitoquímicos y de aceite (Salazar-García et al., 2011; Salazar-García et al., 2016a; Salazar-García et al., 2016b). Se ha documentado la plasticidad del aguacate a diversos climas, reconociéndose claramente tres razas (Galindo-Tovar y Arzate-Fernández, 2010). Por su parte, Salazar-García et al. (2018) concluyeron que los valores críticos asociados al desarrollo floral son diferentes entre climas y cultivares, por lo tanto, la respuesta fenológica del cultivo es particular para cada región, ejemplo claro de la plasticidad genética del aguacate.

Hulme (1996), definió las cuatro maneras en que el clima tendría un efecto físico en los cultivos: 1) Distribución de las zonas agroecológicas; 2) Mayor tasa fotosintética; 3) Menor disponibilidad de agua; y 4) Pérdidas agrícolas o disminución del rendimiento. En un estudio del clima futuro en regiones productoras de aguacate en Michoacán México, se encontró que si el clima cambia en intensidad o temporalidad modificará la distribución de las zonas productoras Álvarez-Bravo et al. (2017). A pesar de la fructífera adaptación del aguacate a diversos climas (Galindo-Tovar y Arzate-Fernández, 2010), éste no está exento de los efectos del cambio climático. Para Howden et al. (2005) y Putland et al. (2011) el cambio climático puede afectar su producción, principalmente por su efecto sobre etapas fenológicas sensibles a la temperatura, como diferenciación floral, antesis, amarre y desarrollo de fruto; Se han identificado los umbrales térmicos para aguacate 'Hass' y asociadas sus repercusiones, como las temperaturas extremas altas (33 °C) durante la floración que acortan el periodo de apertura de flores y reducen la cantidad de las que abren (Sedgley y Annells, 1981) o las bajas temperaturas (<10 °C) las cuales afectan en la fase de floración (Whiley y Winston, 1987; Zamet, 1990). Por lo tanto, conocer las condiciones climáticas donde se cultiva aguacate en las principales regiones productoras en América sentará las bases para estudios futuros sobre el impacto de un clima cambiante. El objetivo de esta investigación fue comparar la climatología mensual de seis zonas productoras de 'Hass' en América.

## Materiales y Métodos

La selección de las regiones productoras fue en base a la superficie establecida en diferentes condiciones ambientales (FAOSTAT, 2020; Cuadro 1).

Cuadro 1. Superficie cosechada por país y participación relativa a nivel mundial de los principales países productores de aguacate en el continente americano, conforme a FAOSTAT (2020).

País	Superficie	
	Cosechada (ha)	Nivel mundial (%)
México	206,389	31.8
Colombia	41,519	6.4
Perú	40,134	6.2
Chile	29,166	4.5
Estados Unidos	21,707	3.3
Guatemala	12,060	1.9
Total:	350,975	54.0

Para cada país productor se realizó una revisión de literatura para identificar estudios relacionados con la fenología de aguacate. Del resultado de la revisión, fue seleccionado un estado o departamento, con dos criterios: mayor superficie establecida y que tuviera una clasificación climática diversa. En el Cuadro 2, se presentan los estados (departamentos) y las referencias empleadas por país. Por cada región productora seleccionada, se clasificó el tipo de clima según Köppen (Beck et al., 2018; Cuadro 3).

Cuadro 2. Literatura seleccionada para describir la fenología de 'Hass'.

País	Estado / departamento	Referencia
Chile	Valparaíso	Mena-Volker et al. (2005).
Colombia	Antioquia	Bernal et al. (2017).
Estados Unidos	California	Lovatt et al. (2013).
Guatemala	Chimaltenango	Escobar, A. (Comunicación personal, 2021).
México	Michoacán	Rocha et al. (2011).
Perú	La Libertad	Fernández et al. (2017).

Finalmente, para caracterizar mensualmente la climatología (temperatura y precipitación) de cada región productora, se empleó el sistema de datos climáticos denominado WorldClim, las imágenes de este sistema tienen una resolución espacial 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km<sup>2</sup>) y corresponden a la última climatología disponible. Mediante el programa Minitab versión 20, se analizaron y graficaron los principales parámetros estadísticos.

Cuadro 3. Tipo de clima por región productora de aguacate en América.

País	Estado / departamento	Intervalo altitudinal (msnm)	Tipo climático
Chile	Valparaíso	0-200	Oceánico mediterráneo: (Csb).
Colombia	Antioquia	2200-2500	Oceánico templado: (Cfb).
Estados Unidos	California	0-300	Semiárido cálido: (BSh).
Guatemala	Chimaltenango	1600-1900	Templado: (Cwb) seco.
México	Michoacán	1800-2100	Templado: (Cwb) húmedo.
Perú	La Libertad	0-200	Árido cálido: (BWh).

### Resultados y Discusión

La altitud, latitud y la orografía constituyen los principales factores que caracterizan los contrastes climáticos. Los climas varían desde Árido tipo (B) hasta un Templado del tipo (C), incluyendo los Oceánicos en dos diferentes altitudes. La temperatura mínima media mensual fluctúa en el año desde los 6.5 hasta los 18.5 °C, en contraste la temperatura máxima oscila entre 15.2 y 29.8 °C. La temperatura máxima más alta (> 28 °C) se presenta en Michoacán, California y La Libertad. La temperatura mínima media mensual más baja (7-10 °C) se registró en Valparaíso y California. La mayor amplitud térmica se observó en Michoacán, México durante marzo y abril (16-17 °C en la primavera del hemisferio norte) en contraste con Antioquia, Colombia donde la amplitud térmica apenas superó los 6 °C durante octubre-noviembre (Figura 1a). En Valparaíso, Chile se identificaron hasta 7 °C de diferencia entre el mes más cálido y el más frío, siendo este el valor más alto entre las seis regiones productoras, por su parte en California, EE. UU. con apenas 2.1 °C de variación térmica media mensual (la menor entre las regiones en estudio). En lo que respecta a la precipitación, se logró identificar diferencias en la precipitación acumulada anual, desde los 135 en La Libertad Perú, hasta los 2400 en Antioquia, Colombia. Se observó que la precipitación influyó el tipo climático de cada región (Figura 1b).

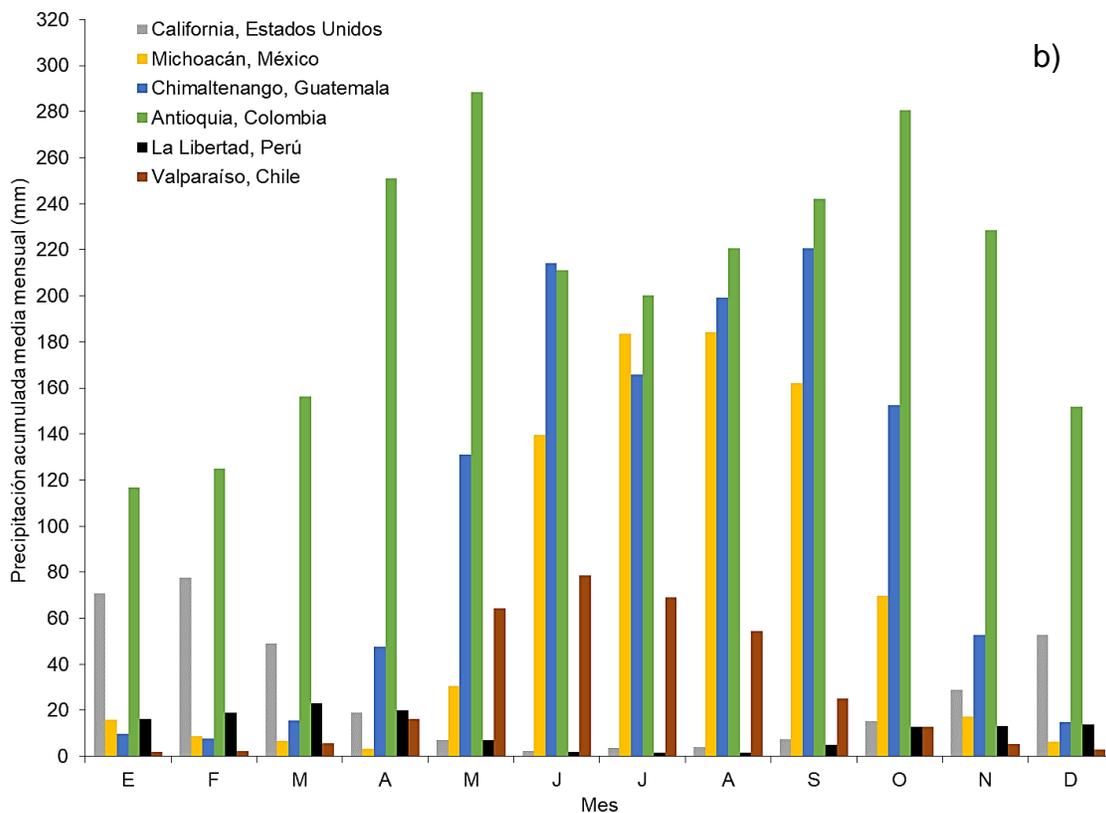
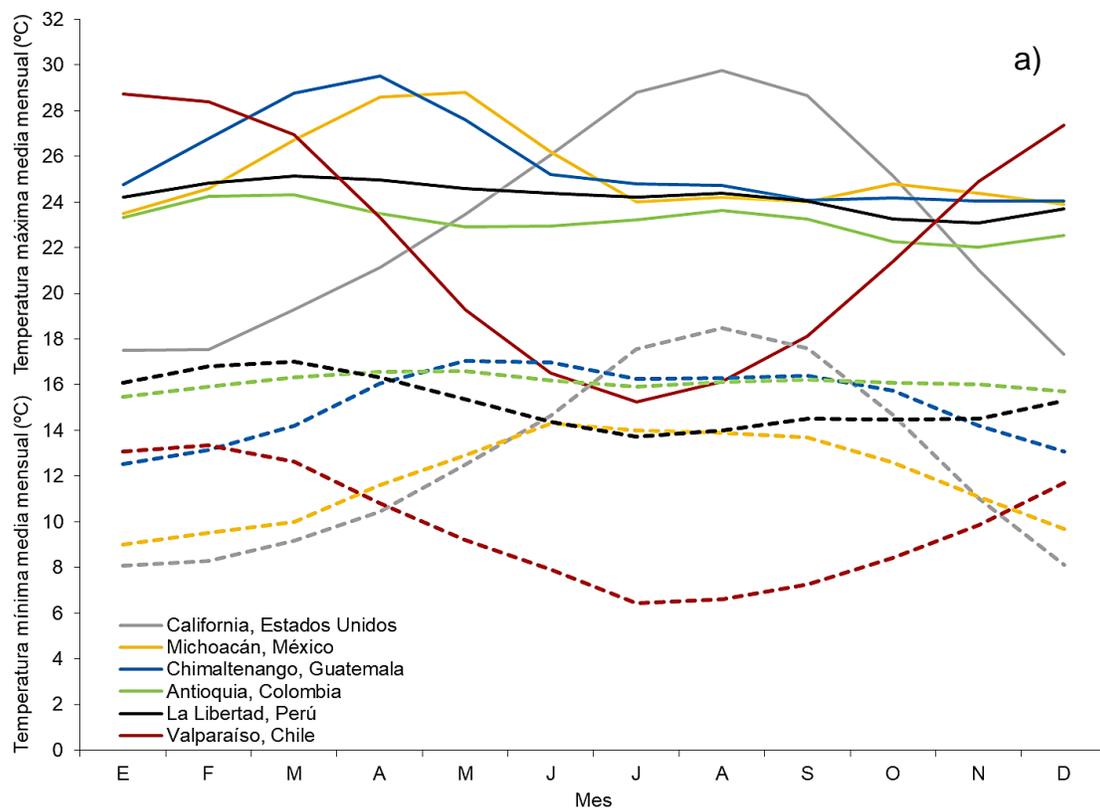


Figura 1. Caracterización climática (a) temperatura máxima y mínima media mensual y (b) precipitación acumulada media mensual, de las seis regiones productoras de 'Hass' en América.

## Conclusiones

El clima caracterizado a nivel mensual varió entre las seis regiones productoras; particularmente la temperatura y la precipitación mostraron diferencias en magnitud, temporalidad y oscilación. Lo anterior confirma la plasticidad del cultivo a condiciones ambientales contrastantes y de manejo.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de Mission Produce South and Central America, INIFAP y la UAN, así como al comité organizador del congreso por las facilidades brindadas.

## Reconocimiento póstumo

Al Dr. Samuel Salazar García, por el valioso aporte a la industria aguacatera mundial.

## Literatura Citada

- Álvarez-Bravo, A., y S. Salazar-García. 2017. Las condiciones ambientales determinan la rugosidad de la piel del fruto de aguacate 'Hass'. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* (19):4063-4073.
- Álvarez-Bravo, A., S. Salazar-García, J. A. Ruíz-Corral, y G. Medina-García. 2017. Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate 'Hass' en Michoacán. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* (19):4035-4048.
- Barrientos-Priego, A. F., E. García-Villanueva, y E. Avitia-García. 1996. Anatomía del fruto de aguacate, ¿drupa o baya? *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 2(2):189-198.
- Beck, H. E., N. E. Zimmermann, T. R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg, & E. F. Wood. 2018. Present and future Köppen–Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Sci Data* 5:180214.
- FAOSTAT. 2021. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. División de Estadística. Consultado en <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Fernández-Montoya, C., Y. Villavicencio-Guillermo, y S. Salazar-García. 2017. Seguimiento y manejo nutricional de la palta 'Hass' en el desierto del Perú. pp. 255-265. In: Salazar-García, S., y A. F. Barrientos-Priego (Eds.). *Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate. 4 - 7 de septiembre 2017. Ciudad Guzmán, Jalisco, México.*
- Galindo-Tovar, M. E., y A. M. Fernández-Arzate. 2010. Consideraciones sobre el origen y primera dispersión del aguacate (*Persea americana*, Lauraceae). *Cuadernos de Biodiversidad* 33:11-15.
- Howden, M., S. Newett, and P. Deuter. 2005. Climate change-risks and opportunities for the avocado industry. pp. 1-28. In: Holland, P. (Ed.). *Proceedings of the New Zealand and Australian Avocado Grower's Conference. Tauranga, New Zealand.*
- Hulme, M. 1996. *Climate change and Southern Africa: an exploration of some potential impacts and implications for the SADC region.* Norwich, UK: Climatic Research Unit, University of East Anglia. pp. 1-104

- Lovatt, C. J. 2013. Hass avocado nutrition research in California. *Avocado Soc. Yearb.* 96:74-105.
- Mena-Volker, F. 2004. Fenología del palto, su uso como base del manejo productivo. 2º Seminario Internacional de Paltos. 29 septiembre-1 octubre. Sociedad Gardiazábal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile.
- Putland, D., J. Muller, P. Deuter, and S. Newett. 2011. Potential Implications of Climate Change and Climate Policies for the Australian Avocado Industry. *Horticulture Australia Ltd.* Sidney, Australia. 116 p.
- Rocha-Arroyo, J. L., S. Salazar-García, A. E. Bárcenas-Ortega, I. J. L. González-Durán, y L.E. Cossio-Vargas. 2011. Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(3):303-316.
- Salazar-García, S., R. E. Medina-Carrillo, y A. Álvarez-Bravo. 2016a. Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate 'Hass'. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* (13):2565-2575.
- Salazar-García, S., I. J. L. González-Durán, y L. M. Tapia-Vargas. 2011. Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutrimental de frutos de aguacate 'Hass' en Michoacán, México. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 17(2):183-194.
- Salazar-García, S., M. E. Ibarra-Estrada, A. Álvarez-Bravo, y J. González-Valdivia. 2018. Modelos de predicción del desarrollo floral del aguacate 'Méndez'. *Rev. Mexicana Cienc. Agríc.* 9(1):151-161.
- Salazar-García, S., R. E. Medina-Carrillo, y A. Álvarez-Bravo. 2016b. Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(2):277-289.
- Sedgley, M., and C. M. Annells. 1981. Flowering and fruit-set response to temperature in the avocado cultivar 'Hass'. *Sci. Hortic.* 14:27-33.
- Whiley, A. W., and E. C. Winston. 1987. Effect of temperature at flowering on varietal productivity in some avocado-growing areas in Australia. *S. A. Avocado Growers' Assoc. Yearb.* 10:45-47.
- Zamet, D. N. 1990. The effect of minimum temperature on avocado yield. *Calif. Avocado Soc. Yearb.* 74:247-256.