

Rendimiento, calidad y comportamiento poscosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ de huertos con diferente fertilización

René García-Martínez¹
José Isabel Cortés-Flores^{1§}
Alfredo López-Jiménez¹
Jorge D. Etchevers-Barra²
José Alfredo Carrillo-Salazar³
Crescenciano Saucedo-Veloz¹

¹Programa de Posgrado en Recursos Genéticos, Productividad y Fruticultura-Colegio de Postgraduados. (garcia.rene@colpos.mx; lopezja@colpos.mx; saueloz@colpos.mx). ²Edafología-Colegio de Postgraduados. (jetchev@colpos.mx). ³Programa de Posgrado en Recursos Genéticos, Productividad y Fisiología Vegetal-Colegio de Postgraduados. (asalazar@colpos.mx). Carretera México-Texcoco km 35.5, Montecillo, Texcoco, México. CP. 56230.

§Autor para correspondencia: jicortes@colpos.mx.

Resumen

En frutales, la productividad difiere entre huertos debido a la condición particular del estatus nutrimental de los árboles, fertilidad del suelo, portainjerto, sanidad del cultivo y manejo agronómico. El objetivo de esta investigación fue comparar el rendimiento, calidad y comportamiento poscosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ en dos huertos con diferente manejo de la fertilización. El primero se ubicó en Valle de Bravo y el segundo en Villa de Allende, Estado de México. La evaluación se realizó en 2017. En cada huerto se midió el rendimiento, calidad, comportamiento poscosecha y extracción de nutrimentos por los frutos. Además, se diagnosticó el estatus nutrimental del árbol y la fertilidad del suelo. Los frutos del huerto de Valle de Bravo superaron a los de Villa de Allende en rendimiento, peso, longitud, diámetro y concentración y densidad de aceite, sin embargo, presentaron menor firmeza y pérdida de peso. Los aguacates de Valle de Bravo tuvieron mayor concentración de K, S, Zn y B, los de Villa de Allende concentraron más Ca, Fe, Cu y Mn. En Valle de Bravo los árboles mostraron deficiencias de Ca, S, Cu, Mn, Zn y B, mientras que, en Villa de Allende, los elementos deficientes fueron K, S, Zn y B. En conclusión, el mayor rendimiento de fruto obtenido en el huerto de Valle de Bravo se relacionó con el mejor estatus nutrimental de los árboles y mayor fertilidad del suelo.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., calidad de fruto, estatus nutrimental, extracción de nutrimentos.

Recibido: diciembre de 2020

Aceptado: febrero de 2021

Introducción

En la producción de frutales, la calidad del fruto y su comportamiento poscosecha difiere entre huertos debido a la condición particular del estado nutricional de los árboles y la fertilidad del suelo, entre otros factores. Esta situación afecta las relaciones comerciales entre productor y comprador. Es importante comprender la naturaleza de tal problema para atenderlo y mejorar la entrega, al mercado, de frutos de calidad y madurez uniforme.

México es primer productor mundial de aguacate, seguido de Perú, Colombia y Chile (FAOSTAT, 2017). Con un rendimiento de 10.6 Mg ha⁻¹ (SIAP, 2019), el Estado de México ocupa el tercer lugar nacional en producción. En el territorio mexicano la producción se concentra en la región sur, en los municipios de Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal, Temascaltepec, Valle de Bravo, Donato Guerra y Villa de Allende. En esta zona, la producción de aguacate se realiza en pequeñas superficies y el manejo de la nutrición de los árboles se realiza de manera empírica.

La ausencia de recomendaciones de fertilización basadas en investigación ocasiona que los productores frutícolas apliquen cantidades excesivas de fertilizantes inorgánicos (Shunfeng *et al.*, 2018) que generan serios problemas ambientales. Además, bajo estas condiciones, los huertos no alcanzan el potencial productivo en cuanto a rendimiento y calidad de frutos se refiere.

El diagnóstico visual de los huertos indica que los árboles presentan deficiencias nutricionales y los rendimientos sugieren que, en general hay pérdida de la fertilidad del suelo por la extracción de nutrientes en la cosecha y el manejo inadecuado de la fertilización. En la zona no se han realizado estudios al respecto. En contraste, en Nayarit, Salazar-García y Lazcano-Ferrat (1999) identificaron deficiencias frecuentes de K, S y B en árboles de aguacate ‘Hass’ que se desarrollaban en condiciones de temporal.

En Michoacán, Maldonado-Torres *et al.* (2007) identificaron deficiencias de Zn, Mn y Cu en los árboles de aguacate ‘Hass’. En Morelos, otra zona productora de aguacate, Sotelo-Nava *et al.* (2017) compararon dos agro-hábitats de aguacate y encontraron que las concentraciones foliares de Ca, Mg, B, Cu y Mn estaban dentro del intervalo óptimo de suficiencia, mientras que el N, P y K presentaban diferencias entre suficiencia y deficiencia. En ningún caso los árboles mostraron un nivel óptimo en todos los nutrientes.

La condición nutricional de los árboles de aguacate se relaciona con la disponibilidad de los elementos en el suelo. Por ejemplo, Maldonado-Torres *et al.* (2007) reportaron que el suelo de una muestra de huertos presentó pH ácido, bajos niveles de materia orgánica (MO) y altos a muy altos niveles de Cu, Fe, K, Ca, B y Zn, a pesar de que, en las hojas, estos elementos estaban en concentraciones deficitarias. Salazar-García y Lazcano-Ferrat (1999) reportaron, en huertos de Nayarit, valores de pH en el suelo de 5.1 a 7.1 y MO entre 0.3 y 3.4%, así como bajas concentraciones de N, P, Ca, Mg, Zn y Cu, pero altos niveles de Fe y Zn.

En Morelos el pH del suelo se ubicó en el intervalo de 6.2 a 7.1 y MO entre 2.5 y 3.3%, muy bajas concentraciones de N y B; y altas de Ca, K, Mg, Fe, Cu y Mn (Sotelo-Nava *et al.*, 2017). Las diferencias en las características físicoquímicas del suelo dificultan la extrapolación de recomendaciones de fertilización entre una región y otra y hace necesaria la generación de información específica para cada área productora.

En función de las variaciones nutrimentales y fertilidad del suelo señaladas, se explica que los rendimientos y la calidad de la producción difiera entre huertos, tal como lo demostraron García-Martínez *et al.* (2015) en Mango ‘Kent’, quienes observaron diferencias en la calidad y comportamiento poscosecha del fruto por efecto de diferentes dosis de fertilización al suelo. Por ello, el objetivo de esta investigación fue comparar el rendimiento, calidad y comportamiento poscosecha de frutos de aguacate ‘Hass’, provenientes de dos huertos con diferente manejo en la nutrición de los árboles. La hipótesis de trabajo es que la calidad y maduración de los frutos difiere entre huertos debido al estado nutrimental de los árboles y la fertilidad del suelo.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en huertos de aguacate ‘Hass’ ubicados en dos municipios del Estado de México. El primero se localiza en Santa María Pipioltepec, Valle de Bravo, 19° 14’ 10” latitud norte y 100° 06’ 30” longitud oeste, a una altitud de 1 950 m, con precipitación de 1 000 mm anuales y temperatura media anual de 18.8 °C (SMN, 2010). La superficie del huerto es de 1 ha, presenta pendiente de 66% y los árboles tenían 8 años; la distancia de plantación es de 7 m entre árboles y 8 m entre líneas (178 árboles ha⁻¹).

El segundo huerto se encuentra en San Jerónimo Totoltepec, Villa de Allende, 19° 19’ 43” latitud norte y 100° 12’ 33” longitud oeste, a una altitud de 2 300 m, con precipitación de 1129 mm anuales y temperatura media anual de 16 °C (SMN, 2010). La superficie del huerto es de 1 ha, presenta una pendiente < 5% y los árboles tenían 8 años; la distancia de plantación es de 6 m entre árboles y 7 m entre líneas (192 árboles ha⁻¹). Ambos huertos se encuentran establecidos en Andisoles.

Manejo del huerto

El manejo de los huertos en los últimos 5 años fue el siguiente: en Valle de Bravo se realizó control manual de malezas, anualmente se aplicó entre 50 y 60 kg árbol de composta de estiércol de ganado ovino y bovino, el suministro de agua fue por riego por microaspersión en los meses de abril a mayo y el resto del año se abasteció de la lluvia, no se controlaron las plagas y los árboles no recibieron poda.

En Villa de Allende se realizó control mecánico de malezas (desbrozadora o tractor), no se aplicaron fertilizantes, el abastecimiento de agua fue de la precipitación anual, las plagas y enfermedades se controlaron químicamente, y los árboles no recibieron poda.

VARIABLES Y FRECUENCIA DE MEDICIÓN

Rendimiento de fruto

Los datos de rendimiento de cada huerto fueron proporcionados por el productor después de la cosecha (noviembre de 2017).

Peso, diámetro y longitud de fruto

Para el peso (g) se cosechó una muestra aleatoria de 120 frutos provenientes de 30 árboles (4 frutos por árbol) dentro de cada huerto, el fruto se pesó en una balanza digital Santul[®] y los datos se usaron para clasificarlos de acuerdo con los calibres que establece la NMX-FF-016-2002. Para determinar el diámetro y longitud (cm), se seleccionaron 30 árboles al azar en cada huerto, en cada árbol se eligieron 10 frutos y se les midieron ambas variables con un vernier Pretul[®].

Calidad y comportamiento poscosecha del fruto

El 05 de noviembre de 2017 se cosecharon en cada huerto 150 frutos en madurez fisiológica con un peso entre 200 y 300 g (5 frutos/árbol; 30 árboles), se colocaron en cajas de plástico y transportaron al laboratorio. Al llegar, se limpiaron con un paño seco para eliminar el polvo y se clasificaron por tamaño. Estos frutos se utilizaron para evaluar las variables poscosecha.

Materia seca (MS)

Se utilizaron 10 frutos, cada uno se dividió en sus tres componentes; exocarpio (cáscara), mesocarpio (pulpa) y semilla. Las muestras se colocaron en charolas de aluminio y se secaron (70 °C por 48 h) en una estufa de convección forzada (AOAC, 1990). Los resultados se expresaron en porcentaje con respecto al peso inicial.

Contenido y densidad de aceite

Para extraer el aceite se utilizó la materia seca del mesocarpio. La extracción se realizó en un equipo Soxhlet, utilizando éter de petróleo como solvente. El matraz se instaló a baño maría a 60 °C, el tiempo de retorno del solvente fue de 30 min y la extracción duró seis horas por muestra (AOAC, 1990). Los resultados se expresaron como porcentaje de aceite extraído con respecto a la pulpa fresca. La densidad del aceite se midió con un Picnómetro Brand[®] de 25 ml.

Pérdida acumulativa de peso (PAP)

Se registró el peso diario de 10 frutos durante 16 días. La pérdida acumulativa de peso se expresó como porcentaje con respecto al peso inicial (García-Martínez *et al.*, 2015).

Firmeza de la pulpa

En cada evaluación se utilizaron 5 frutos. Se determinó con un texturómetro digital marca Wagner[®] Modelo FDV-30, con capacidad máxima de 30 lb y graduación de 0.01 lb, provisto de un puntal cónico de 7 mm de diámetro en la base por 7 mm de altura. Se cuantificó la fuerza necesaria para penetrar el mesocarpio en la zona ecuatorial en dos lados opuestos del fruto, previa eliminación del exocarpio. Los datos se reportaron en Newtons (N).

Color del mesocarpio

Se utilizaron 5 frutos partidos por la mitad y la lectura se realizó, cada tercer día, en la parte media de la zona que ocupa el mesocarpio. Se utilizó un colorímetro de reflexión 3Nh[®] (China) que utiliza la escala CIELab, con base en los parámetros L^* , a^* y b^* , se calcularon el ángulo de tono [$^{\circ}\text{Hue} = \arctan(b^*/a^*)$], Chroma [$C = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$] y luminosidad (L) (Guire, 1992).

Concentración y remoción nutrimental del fruto

La colecta de los frutos para esta variable se realizó el 24 de septiembre de 2017. En cada huerto se eligieron 20 árboles al azar y se cosechó un fruto por árbol. En laboratorio, los frutos se lavaron con agua destilada y se cortaron en trozos de 1 cm³, se secaron (60 °C por 72 h) en una estufa de convección forzada, se molieron y tamizaron con tamiz de 1 mm. De cada fruto molido se tomaron 5 g y se conformó una muestra compuesta para cada localidad. Para el análisis químico se siguió el procedimiento utilizado para el análisis foliar. A partir de los datos de concentración nutrimental y rendimiento de cada huerto se calculó la cantidad de nutrimentos removidos por la cosecha.

Estatus nutrimental del árbol

Se determinó mediante análisis foliar. Los árboles se muestrearon el 24 de septiembre de 2017. Para ello se utilizó el procedimiento descrito por Salazar-García y Lazcano-Ferrat (1999). De acuerdo con la posición en la pendiente del terreno, el huerto de Valle de Bravo se dividió en tres secciones (alta, media y baja), en cada sección se muestrearon 12 árboles y se formó una muestra compuesta por sección. En el huerto de Villa de Allende se muestrearon 36 árboles al azar y se conformó una muestra compuesta.

Las hojas se colocaron dentro de bolsas de papel y se transportaron al laboratorio en una hielera. Al llegar, se lavaron con agua destilada, se metieron en bolsas de papel y se secaron en una estufa con movimiento forzado de aire, a una temperatura de 60 °C por 72 h. Las muestras secas se molieron en un molino de acero inoxidable provisto de un motor monofásico Siemens® serie 682662, hasta que el material resultante atravesó un tamiz de 1 mm.

En todos los análisis se utilizó una muestra patrón vegetal (muestra de referencia del laboratorio) para controlar la calidad de los resultados. La determinación de N se realizó por el procedimiento semimicro-Kjeldahl (Sáez-Plaza *et al.*, 2013). Para K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn, la muestra se digirió con una mezcla de HNO₃ y HClO₄ (Tan, 1996) y la cuantificación se realizó por absorción atómica. El P se cuantificó por el método del vanadomolidato (Burns y Hustby, 1986). El B se determinó por el método de Azometina-H (Shunfeng *et al.*, 2018) y el S por turbidimetría según la técnica descrita por Tan (1996).

El diagnóstico nutrimental de los árboles se realizó mediante el Índice de Balance de Kenworthy (Kenworthy, 1973). Se utilizaron valores estándar y coeficientes de variación de los nutrimentos generados por diversos autores. Para los elementos N, P, Ca, Mg y Fe se utilizó la información de Palacios (1986). En el caso de K, Cu, Mn y Zn se tomaron los datos de Maldonado-Torres *et al.* (2007). El valor para S se obtuvo de los datos publicados por Salazar-García y Lazcano-Ferrat (1999). Finalmente, para B se usaron los valores obtenidos por Razeto y Castro (2007).

Fertilidad del suelo

Se determinó a través del análisis químico del suelo. El muestreo se realizó el 06 octubre de 2017, a una profundidad de 0 a 30 cm en los cuatro puntos cardinales de la parte media de la superficie del suelo donde se proyecta la copa del árbol. El suelo se extrajo con una barrena de acero inoxidable de 2.5 cm de diámetro. En Valle de Bravo se tomaron 12 muestras en cada sección para conformar tres muestras compuestas, una por sección. En el huerto de Villa de Allende se tomaron 36 muestras para conformar una muestra compuesta.

El suelo se colocó en bolsas de plástico y se transportó al laboratorio en una hielera. Las muestras se secaron a la sombra a temperatura ambiente, posteriormente se molieron con un mortero de porcelana hasta atravesar un tamiz de 2 mm. Finalmente, se almacenaron en sobres de papel para su análisis posterior.

En el análisis químico se utilizó un suelo patrón (muestra interna de referencia) para controlar la calidad de los resultados. El pH se midió en una solución agua-suelo, relación 2:1 (Weil y Brady, 2017). La conductividad eléctrica se midió en el extracto de la pasta de saturación (Tan, 1996). La textura del suelo se analizó por el método de Bouyoucos (Scott, 2000). La MO se cuantificó por el método de Walkley-Black (Sleutel *et al.*, 2007).

La concentración de nutrimentos se midió por métodos químicos. El N se cuantificó por semimicro-Kjeldahl (Saéz-Plaza *et al.*, 2013) y P por el método de Olsen (1954). Los cationes intercambiables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^{1+}) se extrajeron con acetato de amonio (Havlin *et al.*, 2017) y la cuantificación se realizó por espectrofotometría de absorción atómica. Los microelementos (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+}) se extrajeron con una solución de DTPA (Tan, 1996), $CaCl_2$ y trietanolamina y la cuantificación se realizó por espectrofotometría de absorción atómica. El B se analizó por el procedimiento de Azometina-H (Razeto y Castro, 2007) y el S por turbidimetría (Tan, 1996). Los resultados obtenidos fueron clasificados mediante valores de referencia (Castellanos *et al.*, 2000).

Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se aplicaron para identificar diferencias entre las localidades. A las variables; peso, diámetro, longitud, materia seca, contenido y densidad de aceite, se les aplicó una prueba de t para muestras independientes (Sánchez-Turcios, 2015). Para firmeza, pérdida acumulativa de peso y color, se utilizó un análisis longitudinal de datos (Hedeker y Gibbons, 2006). Se utilizó un valor de $p \leq 0.05$ y los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS[®] 9.0. Los datos de concentración nutrimental en suelo, fruto y hoja no se analizaron estadísticamente porque solo se obtuvo un valor a partir de la muestra compuesta.

Resultados y discusión

Rendimiento, peso, diámetro y longitud de fruto

En Valle de Bravo el rendimiento fue de 8 Mg ha^{-1} y en Villa de Allende, 6 Mg ha^{-1} . Estos resultados contrastan con la información reportada por Salazar-García *et al.* (2009), quienes obtuvieron rendimientos máximos de 28.2 Mg ha^{-1} , en árboles de 10 a 12 años, para huertos de temporal con fertilización mineral. Esto indica que existe un potencial para incrementar el rendimiento en los huertos bajo estudio mediante el diseño óptimo de programas de fertilización.

El peso del fruto mostró diferencias ($p \leq 0.01$); en Valle de Bravo se registró un valor de 167.6 g y en Villa de Allende, 149.6 g. En Valle de Bravo, 73% de los frutos se concentró en la clase >170 g, Villa de Allende tuvo solo 64% en la misma categoría. En condiciones de temporal, Salazar-García *et al.* (2009) observaron que, con una nutrición óptima de los árboles, 61% de los frutos de aguacate ‘Hass’ se concentró en la categoría >170 g, mientras que, con fertilización deficiente solo 45% de los frutos se concentró en esa misma categoría. El tamaño del fruto fue diferente entre huertos ($p \leq 0.01$) en Valle de Bravo, la longitud y diámetro fueron 8.5 y 6.1 cm y en Villa de Allende, 8.1 y 5.8 cm, respectivamente.

Calidad y comportamiento poscosecha

Materia seca

En ambos huertos, la proporción de cada sección del fruto fresco con respecto al total fue: 72% de mesocarpio, 14% de semilla y 14% de exocarpio. En aguacate ‘Hass’, Krumreich *et al.* (2018) reportan una proporción de 71.8% de mesocarpio 21.2% de semilla y 6.8% de exocarpio. El contenido de MS mostró diferencias en exocarpio y mesocarpio ($p \leq 0.05$). En el exocarpio, Valle de Bravo obtuvo 28.3% y Villa de Allende, 25.9%.

En el mesocarpio, Villa de Allende obtuvo 26.8% y Valle de Bravo, 24.1%. La semilla no mostró diferencias (Valle de Bravo, 38.6% y Villa de Allende, 40.5%). En aguacate ‘Hass’ se reporta que la madurez fisiológica se alcanza cuando la materia seca del mesocarpio presenta un valor 21.1% (Herrera-González *et al.*, 2017). Este criterio se utiliza como índice de cosecha en este cultivar.

Concentración y densidad de aceite

La concentración ($p \leq 0.01$) y densidad de aceite ($p \leq 0.05$) presentaron diferencias. Los valores de concentración y densidad de aceite fueron 16.3% y 0.84 g cm^{-3} para los frutos de Valle de Bravo y 12.2% y 0.79 g cm^{-3} para Villa de Allende. Munhuweyi *et al.* (2020), mencionan que la pulpa de aguacate contiene de 11 a 19% de aceite.

Pérdida acumulativa de peso

La PAP presentó diferencia desde el inicio del proceso de maduración ($p \leq 0.01$). Los frutos de Villa de Allende alcanzaron un valor final de 16% y los de Valle de Bravo, 11% (Figura 1A). Factores como temperatura, humedad relativa (Maftoonazad y Ramaswamy, 2005), tamaño del fruto, concentración de nutrimentos y grosor de la epidermis afectan la cantidad de agua que pierde un fruto. La menor concentración de MS en el exocarpio de los frutos de Villa de Allende favoreció la transpiración y explica los valores altos de PAP.

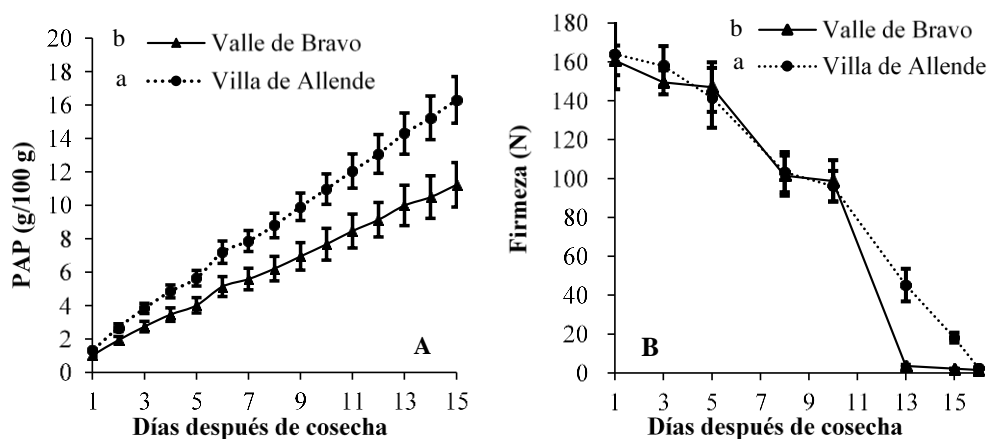


Figura 1. Comportamiento poscosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ de dos huertos evaluados en el Estado de México. A) pérdida acumulativa de peso (PAP); y B) firmeza. Diferentes letras en la localidad indica diferencia estadística ($p \leq 0.05$).

Firmeza de la pulpa

Durante el proceso de maduración, los frutos provenientes de Villa de Allende fueron más firmes con respecto a los de Valle de Bravo ($p \leq 0.05$). Aunque los valores fueron similares los primeros 10 días del periodo de maduración, a partir del día trece, en los frutos de Valle de Bravo la firmeza disminuyó y alcanzaron la madurez de consumo tres días antes, comparado con Villa de Allende (Figura 1B).

La preservación de la firmeza en los frutos de Villa de Allende se asoció con la mayor concentración de Ca ($0.13 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) en el fruto. Barrientos-Priego *et al.* (2016) reportan que frutos de aguacate ‘Hass’ con una concentración de calcio de 0.81 y $0.85 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ en el mesocarpio, presentaron mayor firmeza al sexto día del periodo de maduración en condiciones ambientales, comparados con el testigo, cuya concentración fue $0.78 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$.

En aguacate ‘Fuerte’, Saucedo-Hernández *et al.* (2005) observaron que los frutos, provenientes de árboles con aplicaciones foliares de nitrato de calcio, presentaron mayor firmeza durante el proceso de maduración, comparados con el testigo (sin aplicación).

Color del mesocarpio

El color del mesocarpio en los frutos de Villa de Allende fue superior en L (63.7 a 80.5) y °Hue (95.7 a 97.3) ($p \leq 0.01$); es decir, la pulpa desarrolló un tono verde claro, mientras que en Valle de Bravo el color fue de un tono amarillo opaco (L: 53.2 a 77 y °Hue: 94.4 a 93.9). El color amarillo en la pulpa de los frutos tiene mejor aceptación entre los consumidores. Ashton *et al.* (2006) observaron que el incremento en los valores de °Hue de 101 a 113 coincidió con el aumento en la concentración total de clorofilas y carotenoides.

Composición y extracción nutrimental del fruto

La concentración de Ca, Fe, Cu y Mn fue superior en los frutos de Villa de Allende (Cuadro 1). En estos frutos, la mayor concentración de Ca correspondió con valores altos de firmeza al final del periodo de maduración. Los árboles de este huerto recibieron aplicaciones foliares de Ca (Calcio-Boro, AgroScience®) durante el desarrollo del fruto. Solís-Fraire *et al.* (1998) encontraron una tendencia al incremento del contenido de Ca en el mesocarpio del fruto por efecto de la aplicación foliar de Ca (NO_3)₂.

La concentración de K, S, Zn y B fue superior en los frutos del huerto de Valle de Bravo. Los elementos K y B son clave en la calidad de los frutos y explica porque los frutos de Valle de Bravo fueron superiores en peso, diámetro y longitud. Una mayor concentración de K en las hojas de los árboles favorece la tasa de transporte de sacarosa en el floema y, concentraciones adecuadas de B mejoran la tasa de crecimiento y previene malformaciones en el fruto (Havlin *et al.*, 2017).

La extracción de N, P, Ca, Fe, Cu, Zn y Mn fue superior en los frutos del huerto de Villa de Allende (Cuadro 1). Solo la cantidad extraída de B fue superior en el huerto de Valle de Bravo. El orden de extracción nutrimental en Valle de Bravo fue: $\text{K} > \text{N} > \text{P} = \text{Mg} > \text{Ca} > \text{S} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mn}$, y en Villa de Allende fue: $\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu} = \text{Mn} > \text{B}$.

Cuadro 1. Concentración y extracción nutrimental en frutos de aguacate ‘Hass’ de dos huertos evaluados en el Estado de México.

Elemento	Concentración nutrimental		Extracción nutrimental	
	Valle de Bravo	Villa de Allende	Valle de Bravo	Villa de Allende
	(g 100 g ⁻¹ ms)		(kg Mg ⁻¹ de fruto fresco)	
N	0.9	0.9	2.2	2.4
P	0.2	0.2	0.4	0.5
K	1.8	1.6	4.4	4.4
Ca	0.06	0.13	0.2	0.3
Mg	0.2	0.2	0.4	0.4
S	0.05	0.04	0.1	0.1
	(mg kg ⁻¹ ms)		(g Mg ⁻¹ de fruto fresco)	
Fe	26	36	6.3	9.6
Cu	7	10	1.7	2.7
Zn	18	17	4.3	4.6
Mn	7	10	1.6	2.7
B	22	9	5.3	2.5

ms= materia seca.

Estos datos concuerdan con los resultados de Maldonado-Torres *et al.* (2007), quienes reportan el siguiente orden de extracción: K> N> P> Mg> Ca> Fe> B> Zn> Cu> Mn. La información obtenida pone de manifiesto la importancia de la fertilización con K, B y Zn para mejorar el rendimiento y la calidad en los huertos estudiados, ya que los productores no suelen aplicar estos elementos como parte del manejo de la nutrición de los árboles.

Estatus nutrimental del árbol

Los árboles en ambos huertos mostraron niveles normales de N y P (Cuadro 2). En la Sierra Purépecha, Michoacán, Maldonado-Torres *et al.* (2007), encontraron que 69% de huertos analizados, presentaron concentraciones óptimas de N en las hojas de los árboles de aguacate ‘Hass’, mientras que para P el número de casos fue mayor (85%).

En la sección baja del huerto de Valle de Bravo, la condición debajo de lo normal en K se relacionó con exceso de Mg y la nula aplicación de fertilizantes potásicos. El Mg y K poseen propiedades químicas similares y compiten por el sitio de adsorción, absorción, transporte y función en las raíces, y dentro de los tejidos de las plantas (Nguyen *et al.*, 2017).

En el huerto de Villa de Allende, la baja concentración foliar de K se asoció con la alta extracción por la cosecha y el escaso suministro de fertilizantes potásicos. La escasez de S en las hojas se debe a que este elemento es altamente móvil en el suelo y se pierde con facilidad (Havlin *et al.*, 2017), además, ningún huerto estudiado recibió aplicaciones de fertilizantes azufrados.

Cuadro 2. Concentración de nutrimentos en las hojas e índice de balance nutrimental basado en la metodología de Kenworthy (1973) para árboles de aguacate ‘Hass’ en los huertos de Valle de Bravo y Villa de Allende, Estado de México.

Nutriente	Valle de Bravo			Villa de Allende
	Sección alta	Sección media	Sección baja	
N (%)	2.19 (n)	2.31 (n)	2.23 (n)	2.04 (n)
P (%)	0.16 (n)	0.15 (n)	0.13 (n)	0.12 (n)
K (%)	1.02 (n)	0.87 (n)	0.78 (dn)	0.74 (dn)
Ca (%)	1.28 (dn)	1.72 (n)	1.88 (n)	1.81 (n)
Mg (%)	0.74 (an)	0.87 (an)	1.1 (ex)	0.63(n)
S (%)	0.15 (es)	0.17 (es)	0.09 (es)	0.13 (es)
Fe (ppm)	149 (an)	150 (an)	125 (an)	103 (n)
Cu (ppm)	5 (es)	7 (es)	6 (es)	20 (n)
Mn (ppm)	32 (es)	40 (es)	58 (es)	149 (n)
Zn (ppm)	19 (es)	18 (es)	15 (es)	15 (es)
B (pppm)	18.3 (es)	18.9 (es)	16.5 (es)	20.4 (es)

n= normal; dn= debajo de lo normal; an= arriba de lo normal; ex= excesivo; es= escasez.

La escasez de Cu, Mn, Zn y B observado en las hojas de los árboles del huerto de Valle de Bravo se debe, a que este huerto, no recibe aplicaciones de micronutrimentos al suelo o vial foliar. Adicionalmente, las deficiencias de Cu y Mn están asociadas con altos contenidos de MO en el suelo (Weil y Brady, 2017). La concentración foliar de Fe, arriba de lo óptimo, se asoció con la constante aplicación de compostas de estiércol ovino y bovino. Estas enmiendas contienen altas concentraciones de Fe (Havlin *et al.*, 2017) porque este elemento forma parte importante en la dieta de los animales.

Los niveles normales de Cu y Mn en el huerto de Villa de Allende están relacionados con la aplicación de fungicidas que contienen estos elementos. En Nayarit, Salazar-García y Lazcano-Ferrat (1999) encontraron niveles excesivos de Cu debido a la aplicación de fungicidas cúpricos. La escasez de Zn y B en las hojas de los árboles es resultado de la alta extracción por la cosecha y la nula aplicación de fertilizantes que contienen estos elementos.

Al respecto, Maldonado-Torres *et al.* (2007) encontraron deficiencias frecuentes de Zn en huertos de aguacate en Michoacán, mientras que, Salazar-García y Lazcano-Ferrat (1999) reportaron deficiencias de B en todos los huertos analizados.

Fertilidad del suelo

En el huerto de Valle de Bravo la textura del suelo fue diferente entre las secciones. La parte alta se clasificó como franco-arenoso; arena: 58%, limo: 31.8% y arcilla: 9.9%. Los suelos con mayor contenido de arena presentan menor restricción al movimiento del agua a través del perfil y almacenamiento de humedad (Wang *et al.*, 2020) y menor contenido de nutrimentos (Havlin *et al.*, 2017). La sección media se clasificó como franco-limoso, arena 9.9%, limo 79.4% y arcilla 6.9%.

La sección baja se clasificó como franco limoso, arena 6.9%, limo 78.7% y arcilla 14.5%. La diferencia en la disponibilidad de humedad en el suelo ocasiona que en la parte alta los árboles sean pequeños (altura < 3 m), mientras que en la parte baja los árboles presentan una altura mayor a 7 m. En el huerto de Villa de Allende, la textura del suelo se clasificó como franco-limoso; arena 10.3%, limo 70.4% y arcilla 19.3%. Weil y Brady (2017) mencionan que los suelos con mayor contenido de limo y arcilla presentan mayor fertilidad que los suelos arenosos, ya que retienen mayor humedad y presentan mayor contenido de N y bases intercambiables.

En el huerto de Valle de Bravo el pH del suelo varió de neutro a moderadamente ácido (Cuadro 3), mientras que en Villa de Allende el pH se clasificó como moderadamente ácido (Cuadro 3). Estos valores concuerdan con Bayuelo-Jiménez *et al.* (2019), quienes reportan valores de pH de 6 en andisoles con vocación agrícola en la Meseta Purépecha, Michoacán. El suelo de los huertos estudiados no presenta problemas de disponibilidad nutrimental. Los nutrientes en el suelo están disponibles en un intervalo de pH de 5.5-6.5 (Porta *et al.*, 2019).

Cuadro 3. Resultados del análisis de suelo de dos huertos evaluados en el Estado de México.

Variable	Valle de Bravo			Villa de Allende
	Sección alta	Sección media	Sección baja	
pH	6.7 (n)	6.3 (mac)	6.1 (mac)	5.8 (mac)
CE (mS cm ⁻¹)	1 (ls)	1.6 (mbs)	1.7 (mbs)	0.6 (ls)
MO (%)	13.8 (a)	17.7 (ma)	11.2 (mda)	4.3 (b)
N (%)	0.58 (ma)	0.71 (ma)	0.48 (a)	0.24 (m)
P Olsen (ppm)	131 (ma)	55 (ma)	123 (ma)	79 (ma)
K (ppm)	1515 (ma)	1080 (a)	1152 (a)	871 (a)
Ca (ppm)	7707 (ma)	7907 (ma)	5800 (ma)	1609 (m)
Mg (ppm)	1401 (ma)	1453 (ma)	1417 (ma)	400 (mda)
Fe (ppm)	66 (ma)	74 (ma)	78 (ma)	19 (mda)
Cu (ppm)	11.9 (ma)	1 (m)	3.3 (ma)	0.3 (b)
Zn (ppm)	138.6 (ma)	7.3 (a)	28.7 (ma)	0.1 (mb)
Mn (ppm)	18 (mda)	18 (mda)	41 (a)	6 (mdb)
B (ppm)	1.5 (mda)	1 (m)	1.3 (m)	0.3 (b)
S (ppm)	0.001	0.001	0.001	0.002
Na (ppm)	17 (mb)	53 (mb)	33 (mb)	29 (mb)

n= neutro; mac= moderadamente ácido; ls= libre de sales; mbs= muy bajo en sales; ma= muy alto; mda= moderadamente alto; a= alto; m= medio; mdb= moderadamente bajo; b= bajo; mb= muy bajo.

Los valores de CE no indicaron problemas de salinidad. Los árboles de aguacate reducen más de 80% de su rendimiento relativo cuando la CE del suelo alcanza 2 dS m⁻¹ (Crowley, 2008). El contenido de MO fue superior en el huerto de Valle de Bravo, esto se debe a la constante aplicación de compost para la fertilización y la incorporación de abonos verdes. Cooper *et al.* (2020), reportaron que la aplicación de compost incrementa el contenido de carbono en el suelo.

El suelo del huerto de Valle de Bravo mostró mayores niveles N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y B, La aplicación continua de estiércol animal, en este huerto, explica la mayor concentración de nutrimentos en el suelo de Valle de Bravo comparado con el huerto de Villa de Allende, donde la aplicación de fertilizantes es escasa. Méndez-García *et al.* (2008) observaron que el alto contenido de P en el suelo de huertos aguacateros está relacionado con la aplicación de fertilizantes orgánicos.

Adicionalmente, el incremento del pH por la aplicación de enmiendas orgánicas es uno de los factores que mejoran la disponibilidad de nutrimentos, particularmente P (Reyna-Ramírez *et al.*, 2018). La mayor concentración de B en suelo del huerto de Valle de Bravo se asoció con mayor contenido de MO. De acuerdo con Havlin *et al.* (2017), el B presente en el suelo proviene de la descomposición de residuos orgánicos de plantas y microorganismos. Finalmente, las concentraciones de Na encontrados en este estudio concuerdan con los bajos niveles reportados por Salazar-García y Lazcano-Ferrat (1999) y no afectan negativamente el desarrollo del cultivo.

Conclusión

La productividad, calidad y maduración de frutos de aguacate ‘Hass’ fue diferente entre huertos debido a la condición particular del estatus nutrimental de los árboles y la fertilidad del suelo. El mayor rendimiento se presentó en el huerto de Valle de Bravo y los aguacates fueron superiores en peso, longitud, diámetro y contenido y densidad del aceite del mesocarpio, además presentaron menor pérdida de peso. Esta información permitirá el diseño de programas de fertilización óptimos para incrementar los rendimientos y mejorar la calidad en ambos huertos.

Literatura citada

- Ashton, B. O.; Wong, M.; Ghie, K.; Vather, R.; Wang, Y.; Requejo, C.; Ramankutty, P. and Woolf, A. B. 2006. Pigments in avocado tissue and oil. *J. Agric. Food Chem.* 54(26):10151-10158.
- AOAC. 1990. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Helrich, K. 15th (Ed.). 2000 Wilson Blvd. Arlington, Virginia 22201. USA. 2:1298 p.
- Barrientos-Priego, A. F.; Martínez-Damián, M. T.; Vargas-Madríz, H. y Lázaro-Dzul, M. O. 2016. El calcio asperjado en precosecha en la maduración y daño por frío en aguacate ‘Hass’ (*Persea americana* Mill). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 22(3):145-159.
- Bayuelo-Jiménez, J. S.; Ochoa, I.; Cruz-Torres, E. y Muraoka, T. 2019. Efecto del uso del suelo en las formas y disponibilidad de fósforo de un Andisol de la Meseta P’urhépecha, Michoacán. *Terra Latinoam.* 37(1):35-44.
- Burns, G. and Hutsby, W. 1986. Critical comparison of the vanadomolybdate and the molybdenum blue methods for the analysis of phosphate in plant sap. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 17(8):839-852.
- Castellanos, J. Z.; Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises, A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y agua. 2^a (Ed). Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. México. 225 p.
- Cooper, J.; Greenberg, I.; Ludwig, B.; Hippich, L.; Fischer, D.; Glaser, B. and Kaiser, M. 2020. Effect of biochar and compost on soil properties and organic matter in aggregate size fractions under field conditions. *Agric. Ecosys. Environ.* 295(1):1-9. Doi: 10.1016/j.agee.2020.106882.

- Crowley, D. 2008. Salinity management in avocado orchards. California Avocado Society. Yearbook. 91:83-104.
- FAOSTAT. 2017. Crops. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- García-Martínez, R.; López-Jiménez, A.; Saucedo-Veloz, C.; Salazar-García, S. y Suárez-Espinosa, J. 2015. Maduración y calidad de frutos de mango 'Kent' con tres niveles de fertilización. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 6(4):665-678.
- Havlin, J. L.; Tisdale, S. L.; Nelson, W. L. and Beaton, J. D. 2017. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Eighth (Ed.). India. 520 p.
- Hedeker, D. and Gibbons, R. D. 2006. Longitudinal data analysis. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, USA. 360 p.
- Herrera-González, J. A.; Salazar-García, S.; Martínez-Flores, H. E. y Ruíz-García, J. E. 2017. Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento poscosecha del fruto de aguacate Méndez. Rev. Fitotec. Mex. 40(1):55-63.
- Kenworthy, A. L. 1973. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. In: soil testing and plant analysis. Walsh, L. M. and Beaton, J. D. (Ed.). Soil Science Society of America. Wisconsin, USA. 381-392 p.
- Krumreich, F.; Borges, C.; Mendonça, C. R.; Jansen-Alves, C. and Zambiasi, R. 2018. Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. Food Chem. 257(5):376-381.
- Maftoonazad, N. and Ramaswamy, H. S. 2005. Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. LWT-Food Science and Technology. 38(6):617-624.
- Maldonado-Torres, R.; Álvarez-Sánchez, M. E.; Almaguer-Vargas, G.; Barrientos-Priego, A. F. y García-Mateos, R. 2007. Estándares nutrimentales para aguacatero 'Hass'. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 13(1):103-108.
- Guire, R. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience. 27(12):1254-1255.
- Méndez-García, T.; Palacios-Mayorga, S. y Rodríguez-Domínguez, L. 2008. Análisis de suelo, foliar y de calidad del agua para el cultivo del aguacatero. Terra Latinoam. 26(1):75-88.
- Munhuweyi, K.; Mpai, S. and Sivakumar, D. 2020. Extension of avocado fruit postharvest quality using non-chemical treatments. Agronomy. Doi: 10.3390/agronomy10020212.
- Nguyen, H. H.; Maneepong, S. and Suraninpong, P. 2017. Effects of potassium, calcium, and magnesium ratios in soil on their uptake and fruit quality of pummelo. J. Agric. Sci. 9(12):110-121.
- NMX-FF-016. 2002. Productos alimenticios no industrializados para uso humano-Fruta fresca-aguacate (*Persea americana* Mill)-especificaciones. <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-016-2002>. Pdf.
- Olsen, R.; Cole, C.; Watanabe, F. and Dean, L. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939. Washington, USA. 18-19 pp.
- Palacios, J. M. 1986. Dinámica y balance nutrimental en árboles de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, con alto y bajo rendimiento en la región de Uruapan, Michoacán. Tesis, Colegio de Postgraduados, Chapingo. Estado de México. 93 p.
- Porta, J.; López-Acevedo, M. y Poch, R. M. 2019. Edafología. Uso y protección de suelos. 4^{ta}. (Ed). España. 619 p.
- Razeto, B. and Castro, M. J. 2007. Fruit analysis as a new approach to evaluate boron status in avocado. J. Plant Nutr. 30(6):881-885.

- Reyna-Ramírez, C. A.; Rodríguez-Sánchez, L. M.; Vela-Correa, G.; Etchevers, J. D. and Fuentes-Ponce, M. 2018. Redesign of the traditional mesoamerican agroecosystem based on participative ecological intensification: Evaluation of the soil and efficiency of the system. *Agricultural Systems*. 165:177-186.
- Sáez-Plaza, P.; Navas, M. J.; Wybraniec, S.; Michalowski, T. and García-Asuero, A. G. 2013. An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part II. Sample preparation, Working Scale, Instrumental Finish, and Quality Control. 43(4):224-272.
- Salazar-García, S. y Lazcano-Ferrat, I. 1999. Diagnóstico nutrimental del aguacate ‘Hass’ bajo condiciones de temporal. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 5:173-184.
- Salazar-García, S.; Cossio-Vargas, L. E. y González-Durán, I. J. L. 2009. La fertilización de sitio específico mejoró la productividad del aguacate ‘Hass’ en huertos sin riego. *Agríc. Téc. Méx.* 35(4):436-445.
- Sánchez-Turcios, R. A. 2015. T-Student. Usos y abusos. *Rev. Mex. Cardiología.* 26(1):56-61.
- Saucedo-Hernández, L.; Martínez-Damián, M. T.; Colinas-León, M. T.; Barrientos-Priego, A. F. y Aguilar-Melchor, J. J. 2005. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en la maduración y daños por frío en aguacate ‘Fuerte’. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 11(1):149-157.
- Scott, D. H. 2000. *Soil physics applications*. Iowa, USA. 421 p.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de siembras y cosechas. Resumen Nacional por estado. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do.
- SMN. 2010. Servicio Meteorológico Nacional. Normales climatológicas: Presa de Valle de Bravo, Estado de México. <http://smn1.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL15130.TXT>.
- Shunfeng, G.; Zhanling, Z.; Ling, P.; Qian, C. and Yuanmao, J. 2018. Soil nutrient status and leaf nutrient diagnosis in the main apple producing regions in China. *Hortic. Plant J.* 4(3):89-93.
- Sleutel, S.; De-Neve, S.; Singier, B. and Hofman, G. 2007. Quantification of organic carbon in soils: a comparison of methodologies and assessment of the carbon content of organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 38(19-20):2647-2657.
- Solís-Fraire, J. J.; Barrientos-Priego, A. F.; Pérez-Mercado, C. A.; Rubí-Arriaga, M.; Martínez-Damián, M. T. y Reyes-Alemán, J. C. 1998. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio, su efecto en el contenido nutrimental de hoja y mesocarpio en aguacatero (*Persea americana* Mill.) CV. Hass. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 4(2):113-117.
- Sotelo-Nava, H.; Hernández-Castro, E.; Villegas-Torres, O. G.; Damián-Nava, A.; Sabino-López, J. E.; Chino-Cantor, A.; Cruz-Lagunas, B. and Álvarez-Vargas, D. 2017. Nutritional diagnosis of ‘Hass’ Avocado (*Persea americana* Mill.) soil fertility and water quality, in Tepoztlán, Morelos. *Inter. J. Environ. Agric. Res.* 3(1):152-159.
- Tan, K. 1996. *Soil sampling, preparation, and analysis*. New York, USA. 407 p.
- Wang, X.; Zhao, Y.; Liu, H.; Xiao, W. and Chen, S. 2020. Evaluating the water holding capacity of multilayer soil profiles using hydrus-1D and multi-criteria decision analysis. *Water.* 12(3):773-780. <https://doi.org/10.3390/w12030773>.
- Weil, R. R. and Brady, N. C. 2017. *The nature and properties of soils*. Fifteenth (Ed). England. 1104 p.