



PERFILES BIOQUÍMICOS FOLIARES DE CULTIVARES DE MANGO AMARILLO DE RECIENTE INTRODUCCIÓN EN MÉXICO†

[FOLIAR BIOCHEMICAL PROFILES OF NEWLY INTRODUCED YELLOW MANGO CULTIVARS IN MEXICO]

Elías Hernández-Castro¹, Betsabe Piedragil-Ocampo², Agustín Damián-Nava¹, Antonio Mora-Aguilera³, Abraham Monteón-Ojeda^{4*}, Paul García-Escamilla² and Juan Elías Sabino-López¹

¹ *Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Iguala - Teloloapan S/N, Ignacio Manuel Altamirano, 40040, Iguala, Guerrero, México. agudana@yahoo.com.mx, ehernandez@yahoo.com.mx, paul_ge@hotmail.com, juanelias.sab@hotmail.com.*

² *Colegio de Postgraduados, Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad - Fruticultura, km 35.5, Carr. México-Texcoco, Montecillo, C. P. 56230, Estado de México, México. betsabe.piobe@gmail.com.*

³ *Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad – Fitopatología, km 35.5, Carr. México-Texcoco, Montecillo, C. P. 56230, Estado de México, México aguilera@colpos.mx.*

⁴ *Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Representación Estatal Fitozoosanitaria y de Inocuidad Agroalimentaria y Acuícola en Querétaro, Paseo Constituyentes #201 Pte., Col. Lomas de Querétaro, CP 76190 Querétaro, Qro., México. abraham.monteon@gmail.com.*

**Corresponding author*

SUMMARY

Background: mango is cultivated in most tropical and subtropical regions of the world, it is estimated that there are more than a thousand cultivars, so its regional characterization represents a priority in countries such as Mexico, which holds the first place for export. **Objective:** the objective of the present study was to identify biochemical characteristics (photosynthetic pigments, type and proportion of carbohydrates) of eight recently introduced cultivars and two new selections in Mexico. **Methodology:** by spectrophotometric analysis, the concentrations of total sugars, reducing sugars and starches were evaluated, as well as the content of chlorophylls a, b and carotenoids of the cultivars 'Nam Doc Mai', 'Rosygold', 'Mallika', 'Ivory', 'Alphonse', 'Neelum', 'Fairchild', 'Kesar', 'Ataúlfo Diamante' and 'Ataúlfo Zafiro'. **Results:** in the case of total and reducing sugars, the cultivars 'Kesar', 'Nam Doc Mai', 'Ivory', 'Mallika' and 'A. Zafiro' (0.42, 0.34, 0.34, 0.33, and 0.32 mg*g⁻¹ pf⁻¹) presented the highest values (respectively), the starch content was very heterogeneous and 'Rosygold' (0.36 mg*g⁻¹ pf⁻¹) was identified as cultivar with higher levels. The results showed 'Ivory' (0.64, 0.59, 0.27 mg*g⁻¹ pf⁻¹) as the cultivar with the highest concentration of chlorophyll a, b and carotenoid photosynthetic pigments respectively. Based on the correlation analysis (r), a certain dependence could be observed between total and reducing sugars (r= 0.70), total sugars and starches (r= 0.76), reducing sugars and starches (r = 0.79). In the case of photosynthetic pigments, a close relationship between chlorophylls a, b and carotenoids was identified (r= 0.99); In the photosynthetic carbohydrate / pigment interaction, a significant correlation was observed between total sugars and chlorophylls a (r= -0.80), b (r= -0.80) and carotenoids (r= 0.82). The close relationship found between reducing sugars and chlorophyll a (r= 0.60), chlorophyll b (r= 0.99) and carotenoids (r= 0.99) stood out. **Implications:** it is necessary to continue the study in floral and fruiting stages to have a complete profile of the cultivars. **Conclusion:** these results will contribute in future agronomic

† Submitted December 4, 2019 – Accepted April 21, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License. ISSN: 1870-0462.

studies of these varieties in the region in order to analyze their relationship with parameters such as yield and nutritional content of fruits.

Keywords: *Mangifera indica* L.; total sugars; reducing sugars; starches; photosynthetic pigments.

RESUMEN

Antecedentes: el mango es cultivado en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales del mundo, se estima que existen más de mil cultivares por lo que su caracterización regional representa una prioridad en países como México, quien ostenta el primer lugar en exportación. **Objetivo:** el objetivo del presente estudio fue identificar características bioquímicas (pigmentos fotosintéticos, tipo y proporción de carbohidratos) de ocho cultivares de reciente introducción y dos nuevas selecciones en México. **Metodología:** mediante análisis espectrofotométrico se evaluaron las concentraciones de azúcares totales, reductores y almidones, así como el contenido de clorofilas *a*, *b* y carotenoides de los cultivares ‘Nam Doc Mai’, ‘Rosygold’, ‘Mallika’, ‘Ivory’, ‘Alphonse’, ‘Neelum’, ‘Fairchild’, ‘Kesar’, ‘Ataúlfo Diamante’ y ‘Ataúlfo Zafiro’. **Resultados:** en el caso de azúcares totales y reductores, los cultivares ‘Kesar’, ‘Nam Doc Mai’, ‘Ivory’, ‘Mallika’ y ‘A. Zafiro’ (0.42, 0.34, 0.34, 0.33, y 0.32 mg*g⁻¹ p.f.⁻¹) presentaron los valores más altos (respectivamente), el contenido de almidones fue muy heterogéneo y se identificó a ‘Rosygold’ (0.36 mg*g⁻¹ p.f.⁻¹) como el cultivar con los niveles superiores. Los resultados evidenciaron a ‘Ivory’ (0.64, 0.59, 0.27 mg*g⁻¹ p.f.⁻¹) como el cultivar con mayor concentración de los pigmentos fotosintéticos clorofila *a*, *b* y carotenoides respectivamente. Con base en el análisis de correlación (*r*) pudo observarse cierta dependencia entre azúcares totales y reductores (*r*=0.70), azúcares totales y almidones (*r*=0.76) azúcares reductores y almidones (*r*=0.79). En el caso de pigmentos fotosintéticos se identificó estrecha relación entre clorofilas *a*, *b* y carotenoides (*r*=0.99); en la interacción carbohidratos / pigmentos fotosintéticos, se pudo observar correlación significativa entre azúcares totales y clorofilas *a* (*r*= -0.80), *b* (*r*= -0.80) y carotenoides (*r*= 0.82). Destacó la estrecha relación encontrada entre azúcares reductores y clorofila *a* (*r*= 0.60), clorofila *b* (*r*=0.99) y carotenoides (*r*=0.99). **Implicaciones:** es necesario continuar con el estudio en etapas florales y de fructificación para contar con un perfil completo de las variedades. **Conclusión:** estos resultados contribuirán en futuros estudios agronómicos de dichas variedades en la región con el objetivo de analizar su relación con parámetros como rendimiento y contenido nutricional de frutos.

Palabras clave: *Mangifera indica*; azúcares totales; azúcares reductores; almidones; pigmentos fotosintéticos.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es originario de la región indobirmana, y actualmente se cultiva en diversos agroecosistemas tropicales y subtropicales del mundo (Sauco, 2009). Mientras que en Asia se produce el 77 % de la producción, Latinoamérica contribuye con el 13 % (FAOSTAT, 2018).

Se estima que existen más de mil cultivares de mango en el mundo, la mayoría proviene de India, de los cuales solo alrededor de 20 se comercializan. Los cultivares más comercializados son los denominados mangos rojos (monoembriónicos), como cv. ‘Kent’, ‘Tommy Atkins’, ‘Haden’, ‘Sensation’ y ‘Keitt’, no obstante, en los últimos años los de tipo ‘amarillo’ (poliembriónicos) han ganado bastante terreno en el mercado mundial. Por esta razón, el Colegio de Posgraduados en 2012 introdujo ocho nuevos cultivares con potencial de exportación (‘Nam Doc Mai’, ‘Rosygold’, ‘Mallika’, ‘Ivory’, ‘Alphonse’, ‘Neelum’, ‘Fairchild’ y ‘Kesar’) procedentes del Fairchild Tropical Botanic Garden en Florida, USA, adicionalmente, el INIFAP seleccionó en 2009 y 2012 los materiales ‘Ataúlfo Diamante’ y ‘Ataúlfo

Zafiro’, lo que hizo necesario evaluar su adaptabilidad (tolerancia a plagas, crecimiento y desarrollo, fenología, necesidades hídricas y nutricionales) y adecuar tecnologías de manejo fitosanitario y frutícola de alta rentabilidad (Monteón *et al.*, 2012). Por otra parte, es importante conocer los aspectos bioquímicos de cada cultivar como son, proporción de azúcares totales, reductores, almidón y pigmentos fotosintéticos en follaje que permitan establecer parámetros de selección para una región agrícola determinada.

El mango es un fruto climatérico compuesto principalmente de agua y carbohidratos, con un pequeño contenido de fibra dietética, proteína, lípidos y vitaminas. Dependiendo del cultivar, el contenido de carbohidratos (en una base de peso seco) varía entre 90.1 y 93.6 % con un aporte calórico de entre 62 y 68 Kcal (Bello *et al.*, 2007). Durante la fotosíntesis, el carbono fijado es transformado en carbohidratos como la sacarosa, y es exportado desde las hojas hasta otros órganos de la planta como flores y frutos, o en almidón para almacenarse en el cloroplasto para su posterior exportación (Sowden, 1957). El entendimiento de

los factores internos y externos que participan en la inducción, iniciación y diferenciación floral del mango, es esencial en el diseño de prácticas de manejo para obtener altos rendimientos (Osuna *et al.*, 2001). El cultivar y la etapa de maduración juegan un papel importante en la cantidad de carbohidratos presentes en el fruto (Bello *et al.*, 2007). Existen pocos estudios en cultivos tropicales y subtropicales que pongan su atención en temas como los anteriormente tratados, en el caso especial de los cultivares de mango no se encontraron evidencias sobre estudios en follaje, solamente se encontró información sobre estudios que determinan el contenido de azúcares en frutos. En base a lo anterior, en el presente trabajo se planteó el objetivo de determinar los perfiles bioquímicos en follaje de cada cultivar, como parámetro importante en la selección y establecimiento de cultivares en una región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó durante enero de 2016 a septiembre de 2017, se utilizaron plantas de mango, de dos años de edad injertados con los cultivares ‘Nam Doc Mai’, ‘Rosygold’, ‘Mallika’, ‘Ivory’, ‘Alphonse’, ‘Neelum’, ‘Fairchild’, ‘Kesar’. El material propagativo de los cultivares fue proveniente del Fairchild Tropical Botanic Garden en Florida, USA, introducidos a México en 2012 y dos más seleccionados en México (‘Ataúlfo Diamante’ y ‘Ataúlfo Zafiro’). Las plantas injertadas fueron mantenidas por un periodo de adaptación de tres meses dentro de un vivero, cubierto con plástico (calibre 600) y malla con 50% de sombra, perteneciente a la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Guerrero, México. Las plantas fueron establecidas en bolsas de polietileno negras para maceta de 27 X 27 cm con capacidad de 5 L, dentro se fertilizaron semanalmente con la solución nutritiva Steiner (1.0 L por planta vertida en el suelo y 1.0 mL L⁻¹ asperjada en el follaje) y regadas hasta capacidad de campo cada tercer día. Durante el experimento la temperatura en el vivero osciló entre 27±4°C, la humedad relativa entre 70-85% y fotoperiodo de 12±1 h de luz. Estas variables se registraron cada dos horas con un data logger Hobo® modelo U12.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, empleando una planta como unidad

experimental y cuatro plantas (repeticiones) por cultivar. Se aleatorizaron las unidades experimentales para asegurar el cumplimiento del supuesto de independencia mediante el software estadístico “R”. De cada unidad experimental se realizó un muestreo foliar colectando cuatro hojas maduras previamente marcadas de 50 días de desarrollo, una por punto cardinal. El material colectado se llevó al Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo, México para la determinación de las variables bioquímicas: azúcares totales, azúcares reductores, almidones y los pigmentos fotosintéticos: clorofila *a*, clorofila *b* y carotenoides.

Azúcares totales

Para el análisis de azúcares se tomó 1.0 g de tejido foliar en trozos (0.25 × 0.25 cm) de cada muestra y se colocó en un matraz con alcohol etílico a 80 % (40 mL), se llevó a ebullición durante 5 min. Las muestras se filtraron, la solución alcohólica y el residuo vegetal se separó y se mantuvo en refrigeración hasta su utilización. A partir de la solución alcohólica se tomó 1.0 mL, se evaporó en baño maría (60 °C), y el residuo se disolvió en 20 mL de agua destilada para determinar la concentración de azúcares totales mediante el método propuesto por Witham *et al.* (1971).

Azúcares reductores

Los azúcares reductores se determinaron por colorimetría mediante el método Somogyi (Somogyi, 1952) y Nelson (Nelson, 1944); como lo indican Camacho *et al.* (1999), mediante la misma solución alcohólica al 80%, registrando la absorbencia a 540 nm en un espectrofotómetro Spectronic 21D Milton Roy.

Almidones

El almidón se extrajo de los residuos del material vegetal de la extracción alcohólica de azúcares, siguiendo la metodología de hidrólisis del almidón descrita por Ortega y Rodríguez (1979), registrando la absorbencia a 600 nm en un espectrofotómetro marca Spectronic 21D Milton Roy. La cuantificación de azúcares totales y reductores se hizo con una curva patrón de glucosa.

Determinación de pigmentos fotosintéticos (Clorofila *a* y *b*)

Se utilizó el método espectrofotométrico descrito por Witham (1971), se trituraron 25 g de muestra y se suspendió en 700 ml de acetona-agua al 80% (v/v) como disolvente extractor de los pigmentos, esto se realizó hasta la extracción de todos los pigmentos. Posteriormente se transfirieron a tubos de plástico y se centrifugaron a 15000 rpm por 20 min, se secaron y decantaron en tubos de vidrio y de fondo plano, se aforo a 10 mL y se dejó reposar 10 min para determinar la densidad óptica del sobrenadante por el método de la AOAC (1980), con base en la siguiente fórmula: Clorofila *a* = 12.7 (A663) - 2.59 (A645); Clorofila *b* = 22.9 (A645) - 4.68 (A663); donde A663 y A645 corresponden a las absorbancias a 663 y 645 μm de longitud de onda, medidas con un espectrofotómetro marca Spectronic 21D Milton Roy. Para la cuantificación se utilizó la ecuación propuesta por Parsons y Strickland (1963).

Carotenoides

La determinación de carotenoides se realizó mediante la metodología descrita por Campos - Hernández (1985), la cual consiste en agregar 20 mL de hexano y 50 mL de H₂O destilada, se agitó la solución y se repitió el proceso hasta la separación de capas, se adicionó 50 mL de H₂O destilada repitiendo el proceso tres veces, se agregó 5.0 mL de NaOH 10 N que forman dos capas, luego se agregó 50 mL de agua para retirar el NaOH; el procedimiento anterior de lavado se realizó tres veces hasta observar que no tuviera grasa, se filtró en papel y se midió el volumen. Al extracto final se le registró su absorbancia a 452 nm en un espectrofotómetro. La curva de calibración se realizó con β -caroteno.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de normalidad de distribución de errores empleando la prueba de Shapiro-Wilk, homogeneidad de varianzas (Bartlett) y comparación de medias utilizando la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) con la ayuda del software de estadístico SAS V.9.4 (SAS Institute Inc., 2003) para las variables: azúcares totales, azúcares reductores, almidones, clorofila *a*, clorofila *b* y carotenoides en todos los cultivares; además se realizaron análisis de correlación (Pearson) entre las variables azúcares totales, azúcares reductores, almidones y los pigmentos fotosintéticos: clorofila

a, clorofila *b* y carotenoides, con el fin de observar la influencia o dependencia de una sobre otra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de azúcares

Los resultados evidenciaron diferencias significativas en la concentración de azúcares totales entre cultivares, destacando a 'Kesar' como el cultivar con la concentración más alta de carbohidratos no estructurales, por otro lado, 'A. Diamante' presentó la menor concentración de este tipo de componente (Figura 1). El análisis de azúcares reductores destacó a cv. 'Mallika', 'A. Zafiro', 'Kesar', 'Nam Doc Mai' e 'Ivory', como aquellas con las concentraciones más altas, mientras que 'A. Diamante' y 'Rosygold' exhibieron los valores inferiores (Figura 2).

Similar a nuestro experimento, en un trabajo de investigación realizado en Brasil, estudiaron la concentración de azúcares reductores durante el proceso de maduración de frutos de mango cv. 'Tommy Atkins', reportaron un cambio en la concentración de azúcares reductores, no reductores y almidones dependiendo del estado del fruto; durante la maduración del mango, la hidrólisis de almidón aumenta significativamente durante la primera semana de cosecha, sin embargo, a medida que el fruto se vuelve demasiado maduro, solo se pueden detectar rastros de almidón (de Oliveira *et al.*, 2001). Este patrón puede ser debido a que en fruta inmadura se determinan mayormente grupos reductores de hidrólisis de cadenas de almidón, y para mango maduros se cuantifican oligosacáridos a partir de hidrólisis de almidón, maltosa, glucosa y fructosa (Bello *et al.*, 2007).

El análisis de concentraciones de almidón mostró un espectro de variaciones entre cultivares, pudo detectarse a 'Rosygold' como el cultivar con nivel más alto del carbohidrato, seguido de 'Fairchild', 'A. Zafiro' y 'Nam Doc Mai', dejando en los últimos sitios a 'Kesar', 'Neelum', 'Alphonse' y 'A. Diamante' (Figura 3). En general las concentraciones de almidón fueron significativamente menores que los azúcares solubles totales, estos resultados fueron similares a los reportados por Flores-Medina *et al.* (1999), quienes en cultivares de durazno pudieron detectar mayores concentraciones de azúcares solubles totales, reductores directos y azúcares no reductores que de almidón; reportaron que la competencia por carbohidratos disponibles

(carbohidratos no estructurales) en el desarrollo de las diferentes etapas fenológicas disminuyó las concentraciones de estos en las hojas y se confirmó que entre cultivares existen diferencias en la

duración de las etapas fenológicas, lo que repercute en la acumulación y utilización de los carbohidratos no estructurales de las hojas.

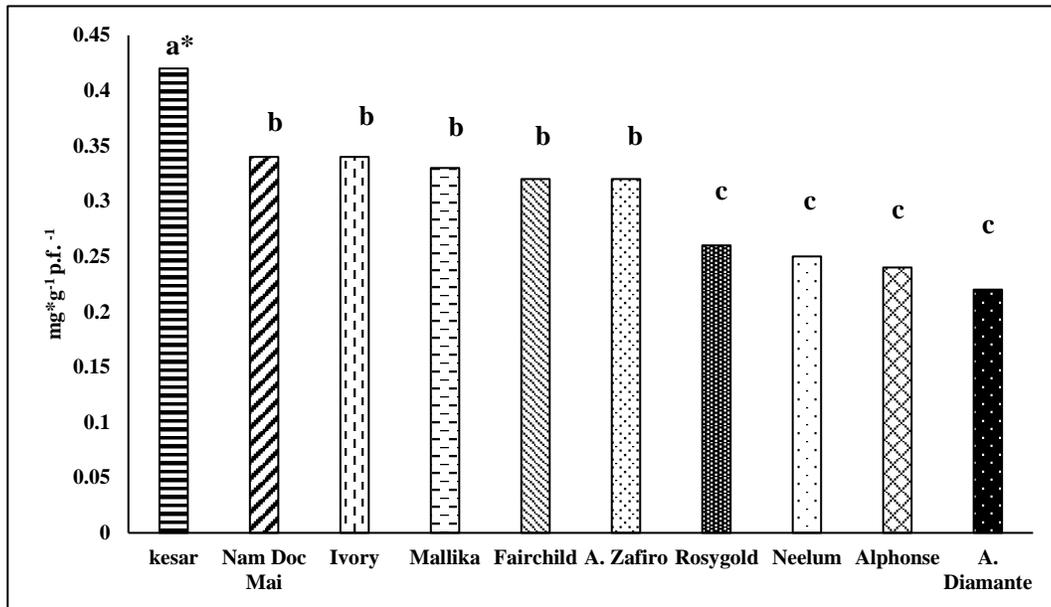


Figura 1. Concentración de azúcares totales en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

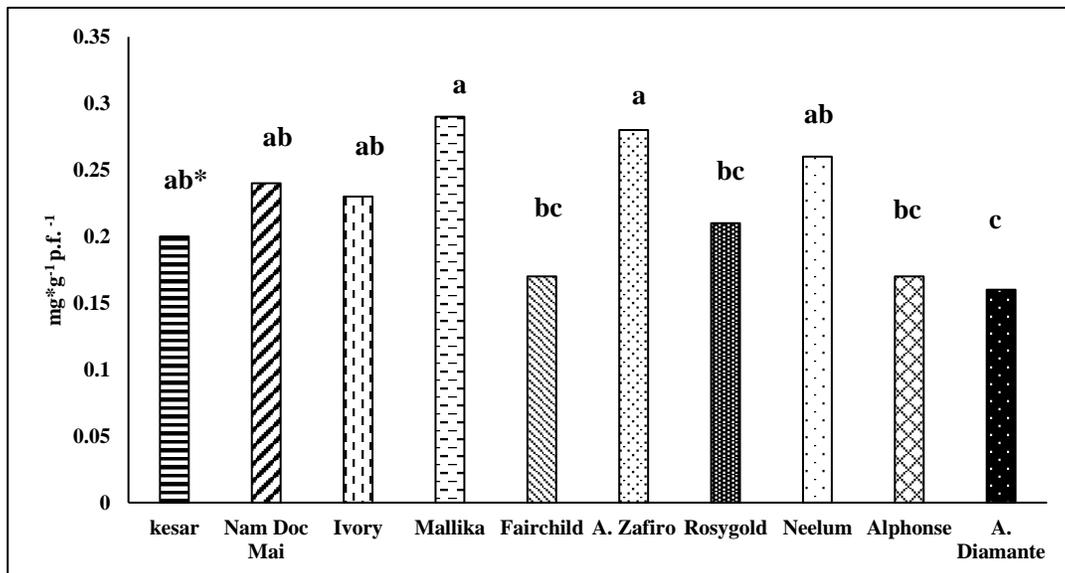


Figura 2. Concentración de azúcares reductores en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En Litchi (*Litchi chinensis*) (Yuan y Huang, 1988), así como en manzano (*Malus domestica*) (Polomski *et al.*, 1988), reportaron que el sombreado de las hojas reduce el contenido de azúcares totales y reductores en el fruto, debido a una disminución en la tasa fotosintética. La síntesis neta de azúcar y la capacidad de exportación aumentan durante el desarrollo de la hoja, mientras que la habilidad para importar asimilados se pierde progresivamente conforme estas maduran y entran en senescencia (Turgeon, 1989). De acuerdo con Goldschmidt y Koch (1996), en las zonas subtropicales las plantas de cítricos durante el invierno acumulan carbohidratos en raíces y hojas que se movilizan y utilizan durante la floración en primavera. Almeida (2003) observó una rápida disminución de carbohidratos no estructurales presentes en raíces y hojas durante la floración seguido por un aumento al inicio de abscisión de frutos y una disminución al final del periodo de crecimiento exponencial del fruto.

Los resultados encontrados en este estudio también fueron semejantes a los reportados por Satisha y Ramteke (2016), quienes caracterizaron fisiológica y bioquímicamente cuatro grupos de patrones (*Vitis berlandierii* × *Vitis rupestris*) de uva, obteniendo diferencias significativas en el contenido de fenoles totales, flavonoides, prolinas, proteínas totales y azúcares reductores; y parcialmente coincidentes

con los obtenidos por Pattanagul y Thitisaksakul (2008) quienes encontraron diferencias en las concentraciones de azúcares reductores y no reductores entre cultivares de arroz bajo tratamientos de stress por salinidad. Así también, Gršić *et al.* (2014) encontraron diferencias significativas en el contenido de azúcares reductores en hojas de tres diferentes cultivares de tabaco, además, la madurez de la hoja en la cosecha afectó el contenido de nitrógeno total, proteínas y azúcares reductores en interacción con el cultivar, lo que sugiere que el estado de madurez de la hoja es una variable crucial a considerar en la planeación de un experimento de caracterización foliar.

Por otra parte, Bertling y Bower (2005), documentaron que la formación de frutos de aguacate consistentemente aceptables en tamaño y calidad, depende de la producción y distribución de carbohidratos en hojas y raíces; dichos parámetros pueden ser utilizados para predecir la calidad de fruto. De acuerdo con Laskowski (2014), la variación en el contenido de carbohidratos solubles totales y reductores, en hojas y raíces de plantas de naranja ‘Valencia’ y mandarina ‘Dancy’, siguen un patrón que puede relacionarse con los procesos de floración, cuajado y crecimiento del fruto, lo anterior demuestra la estrecha relación entre la cantidad y calidad de azúcares en hojas y raíces con la producción.

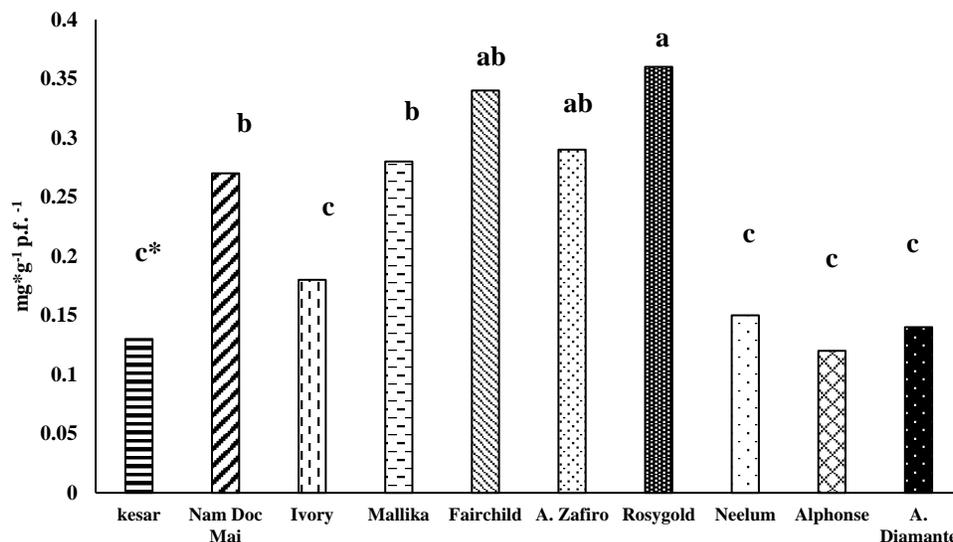


Figura 3. Concentración de almidón en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Florez-Medina *et al.* (1999) reportaron que entre cultivares de durazno existen diferencias en la duración de las etapas fenológicas, lo que repercute en la acumulación y utilización de los carbohidratos no estructurales de las hojas, la concentración de azúcares solubles totales foliares de cuatro cultivares de durazno fluctuó durante el período de evaluación y estuvo relacionada con la fenología de cada uno de los cultivares y selecciones. Al igual que lo encontrado en este estudio, Florez-Medina *et al.* (1999) informaron que los carbohidratos son los principales compuestos de almacenamiento en los tejidos vegetales, pero el tipo de carbohidrato y su concentración varía con la estación, especie vegetal, tipo de tejido y estado de desarrollo.

Pigmentos fotosintéticos

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidenciaron a cv. 'Ivory' como el cultivar con mayor concentración de pigmentos fotosintéticos, los cultivares 'Mallika', 'Alphonse' y 'Neelum' presentaron altas concentraciones de este tipo de compuestos, dejando a 'Rosygold', 'Nam Doc Mai' y 'Kesar' como los cultivares con los contenidos más bajos de clorofilas *a*, *b* y carotenoides (Figuras 4, 5 y 6). Cabe señalar que en

las tres variables analizadas pudo observarse un comportamiento similar entre cultivares. Estos resultados fueron parcialmente coincidentes con lo reportado por Ekmekçi *et al.* (2008) y Mobin y Khan (2007) quienes encontraron en cultivares de maíz (*Zea mays* L.) y mostaza (*Brassica juncea* L.) diferencias significativas en las concentraciones de clorofilas *a* y *b* en plantas bajo estrés por cadmio. Así también, Loggini *et al.* (1999) encontraron diferencias significativas en la concentración de clorofilas *a* y carotenoides en dos cultivares de trigo bajo tratamientos de estrés hídrico.

Análisis de correlación

Con base en el análisis de correlación (Pearson) pudo observarse cierta dependencia entre las variables. En el caso de azúcares totales y reductores, exceptuando a los cultivares 'Kesar' y 'A. zafiro', se determinó una correlación significativa $r=0.70$ (Tabla 1). La relación de azúcares totales y almidones y exceptuando a los cultivares 'Kesar' y 'Rosygold', pudo registrarse una correlación de $r=0.76$ y en el análisis entre la concentración de azúcares reductores y almidones, con excepción de 'Fairchild' y 'Rosygold' se obtuvo una correlación de $r=0.79$, lo que indica una relación cercana entre las variables (Tabla 1).

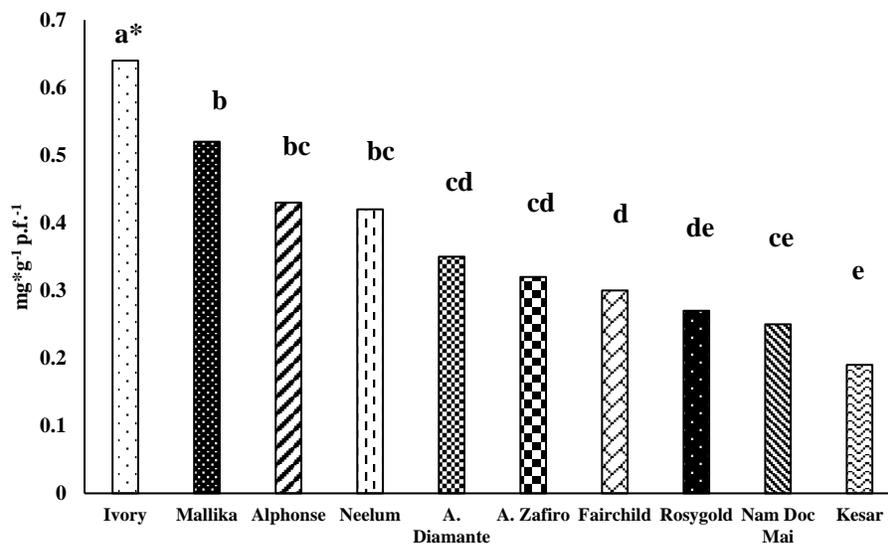


Figura 4. Concentración de clorofila Alpha en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

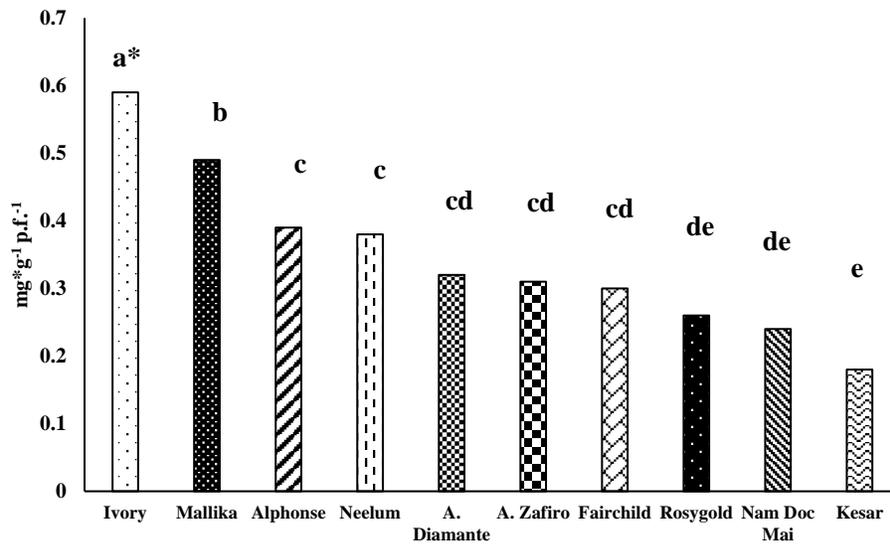


Figura 5. Concentración de clorofila *b* en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

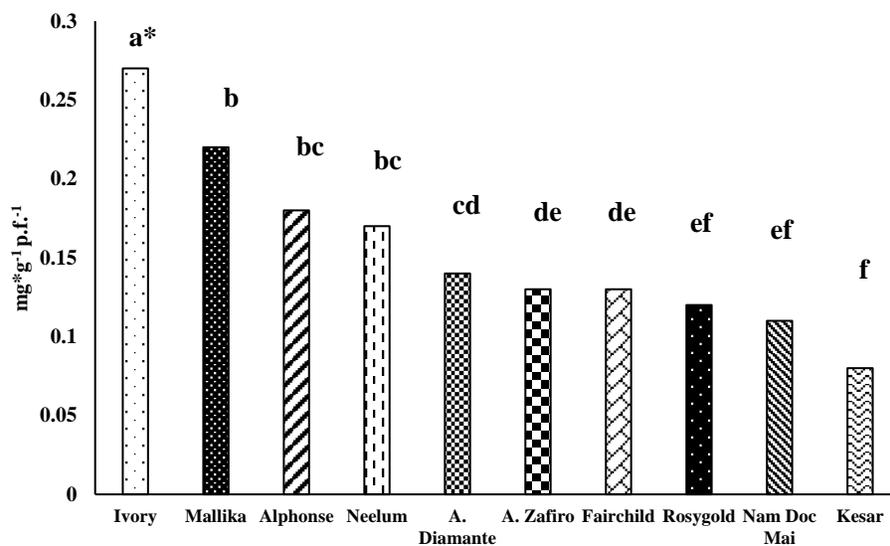


Figura 6. Concentración de carotenoides en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En la interacción carbohidratos-pigmentos fotosintéticos, con excepción de los cultivares 'Ivory' y 'Mallika', pudo observarse correlación significativa entre azúcares totales y clorofilas a ($r = -0.80$), b ($r = -0.80$) y carotenoides ($r = -0.82$) (Tabla 1), lo anterior implica una baja actividad fotosintética en órganos que en un momento determinado son demandantes de azúcares en la

planta. Es importante destacar la estrecha relación encontrada entre las variables azúcares reductores con clorofila a ($r = 0.60$), clorofila b ($r = 0.99$) y carotenoides ($r = 0.99$) por lo que esta variable puede servir como indicador de pigmentos fotosintéticos y viceversa en hojas maduras de mango. Para el caso de los pigmentos fotosintéticos, y con base en el análisis de

Tabla 1. Análisis de correlación de Pearson (r) entre las variables: azúcares totales, azúcares reductores, almidones, clorofilas a, b y carotenoides en 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) de reciente introducción en México.

	Azúcares totales	Azúcares reductores	Almidones	Clorofila a	Clorofila b	Carotenoides
Azúcares totales	-	0.70	0.76	-0.80	-0.80	-0.82
Azúcares reductores	0.70	-	0.79	0.60	0.99	0.99

correlación, pudo identificarse una estrecha dependencia entre las variables en la concentración ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ p.f.⁻¹) de clorofilas a, b y carotenoides ($r=0.99$) (Tabla 2). Otros estudios evidencian diferencias en las concentraciones de azúcares y pigmentos fotosintéticos entre cultivares, como es el caso de Zhang et al. (2012), quienes investigaron los mecanismos fisiológicos asociados con la tolerancia a la sal de diferentes genotipos de arroz con énfasis en el metabolismo de carbohidratos y la concentración de clorofila, encontraron que el estrés salino aumentó la concentración de clorofila en las hojas, pero disminuyó significativamente la proporción de clorofila a / b; aparentemente, el genotipo tolerante a la sal mantuvo azúcares solubles más altos y una mayor proporción de clorofila a / b bajo estrés salino.

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables: Clorofilas a, b y carotenoides en 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) de reciente introducción en México.

	Clorofila b	Carotenoides	Clorofila a
Clorofila a	0.99	0.99	-
Clorofila b	-	0.99	0.99

CONCLUSIONES

En los cultivares evaluados pudieron observarse diferencias significativas en la concentración de diferentes tipos de carbohidratos, donde cv. 'Nam Doc Mai', 'Ivory', 'Mallika' y 'A. Zafiro' presentaron de forma consistente los niveles más

altos. Los cultivares 'Ivory', 'Mallika', 'Alphonse' y 'Neelum' destacaron en concentraciones altas de clorofilas a, b y carotenoides. El análisis de correlación permitió explicar la relación entre las concentraciones de los diferentes tipos de carbohidrato, pigmentos fotosintéticos, interacción carbohidratos/pigmentos fotosintéticos, una relación significativa entre azúcares totales y clorofilas a y altamente significativa entre azúcares reductores y pigmentos fotosintéticos. Estos resultados contribuirán en futuros estudios agronómicos de dichas variedades en la región con el objetivo de analizar su relación con parámetros como rendimiento y contenido nutrimental de frutos.

Agradecimientos

Al posgrado de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México, por la facilitación de infraestructura para el desarrollo de la investigación. A la Unidad Académica de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Guerrero, México, por su participación directa en la logística de la investigación.

Financiamiento. No hubo ninguna fuente de financiamiento.

Conflicto de interés. Los autores declaran que no existen conflicto de intereses para la publicación de esta investigación.

Cumplimiento de normas éticas. Debido a la naturaleza del estudio, no aplican normas éticas o bioéticas nacionales o internacionales.

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles en <Dr. Abraham Monteón Ojeda, abraham.monteon@gmail.com>.

REFERENCIAS

- Almeida, A. F. 2003. Acumulación y movilización de carbohidratos durante el cuajado del fruto en el naranjo dulce Salustiana (*Citrus sinensis* L.) Osbeck). Tesis Doctoral. Departamento de Biología Vegetal. Universidad Politécnica de Valencia. España. 94 p.
- Bello, P. L. A., García, S. F. J. y Agama, A. E. 2007. Mango Carbohydrates. *Food*, 1: pp. 36-40.
- Bertling, I. y Bower, J P., 2005. Sugars as energy sources—is there a link to avocado fruit quality. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 28: pp. 24-27. https://www.researchgate.net/profile/JP_Bower/publication/228509662_Sugars_as_energy_sources_-_Is_there_a_link_to_avocado_fruit_quality/links/0046351acb7374a32b000000/Sugars-as-energy-sources-Is-there-a-link-to-avocado-fruit-quality.pdf
- Camacho, C. J., Weng, Z., Vajda, S. y De Lisi, C. 1999. Free energy landscapes of encounter complexes in protein-protein association. *Biophysical Journal*, pp. 76(3): 1166-1178. [https://doi.org/10.1016/s0006-3495\(99\)77281-4](https://doi.org/10.1016/s0006-3495(99)77281-4)
- Campos-Hernández, E. 1985. Evaluación de la calidad de los frutos de los árboles de tipo criollo de mamey (*Calocarpum mammosum* L.) para su mejoramiento selectivo (Tesis profesional. Químico Farmacéutico Biólogo. UNAM. DF, México) pp. 9.
- de Oliveira, L. C., Bosco, A. y Chitarra, M. I. 2001. Changes in amylase starch and sugars contents in mango fruit pulp Cv Tommy Atkins with spongy tissue. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 44: pp. 59-62. <https://doi.org/10.1590/s1516-89132001000100008>
- Ekmekçi, Y., Tanyolac, D. y Ayhan, B. 2008. Effects of cadmium on antioxidant enzyme and photosynthetic activities in leaves of two maize cultivars. *Journal of plant physiology*, pp. 165(6): 600-611. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.01.017>
- FAOSTAT. 2016. *FAO Statistics*, FAO of the United Nations. Rome. Consultado en <http://faostat.fao.org>, mayo 2017.
- Florez-Medina, A. J., Peña-Valdivia, C. y Rodríguez-Alcázar, J. 1999. Variación de azúcares solubles y almidón en hojas de durazno (*Prunus persica* L. Batsch) en plantaciones de alta densidad. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, pp. 5(2): 89-94. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.1999.05.038>
- García, E. 1988. Clasificación Climática Köppen, Modificada por Enriqueta, García. UNAM, México.
- Goldschmidt, E. E. y Koch, K. E. 1996. Citrus. Photoassimilate distribution in plants and crops. *New York: Marcel Dekker Inc*, pp. 797-823.
- Gršić, K., Butorac, J. y Čavlek, M. 2014. Effects of topping height, maturity and cultivar on the yield and chemical characteristics of flue-cured tobacco cultivars. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, pp. 79(3), 167-173. <https://doi.org/10.5513/jcea01/20.3.2097>
- Infante, F., Quilantán, J., Rocha, F., Esquinca, H., Castillo, A., Ibarra-Núñez, G. y Palacio, V. 2011. Mango Ataulfo: orgullo chiapaneco. *Biodiversitas*, 96: pp. 1-5. <http://200.12.166.51/janium/Documents/7705.pdf>
- Jones, W. W., Embleto, T. W. y Coggins, C. W. 1975. Starch content of roots of 'Kinnow' mandarin trees bearings fruit in alternate years. *HortScience*, 10: pp. 514-518.
- Laskowski, L. 2014. Contenido de carbohidratos en hojas y raíces de plantas de naranja 'Valencia' y mandarina 'Dancy' durante un ciclo anual de crecimiento. *Revista de la Facultad de Agronomía*, pp. 31(1): 22.
- Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E. y Navari-Izzo, F. 1999. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant physiology*, pp. 119(3): 1091-1100. <https://doi.org/10.1104/pp.119.3.1091>
- Mobin, M. y Khan, N. A. 2007. Photosynthetic activity, pigment composition and antioxidative response of two mustard

- (*Brassica juncea*) cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. *Journal of Plant Physiology*, pp. 164(5): 601-610. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.03.003>
- Monteón, O. A., Mora, A. J., Villegas, M. A., Nava, D. C., Hernández, C. E. y Hernández, M. J. 2012. Temporal analysis and fungicide management strategies to control mango anthracnose epidemics in Guerrero, Mexico. *Tropical Plant Pathology*, pp. 37(6): 375-385. <https://doi.org/10.1590/s1982-56762012000600001>.
- Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry*, pp. 153(2), 375-380. <https://pdfs.semanticscholar.org/131b/e395d4d24726d051472489140cd543aa839e.pdf>
- Ortega, D. M. L. y Rodríguez, C. C. 1979. Estudio de carbohidratos en cultivares mexicanas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L.). *Agrociencia*, 37: pp. 33-49.
- Osuna, E. T., Becerril, R. A. E., Mosqueda, V. R., Villarreal-Romero, M. y Castillo-Morales, A. 2001. Promotores de floración y concentración de almidón y aminoácidos en yemas de mango. *Chapingo serie Horticultura*, pp. 7(2): 209-223. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2000.08.059>
- Parsons, T. R. y Strickland, J. D. H. 1963. Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *Journal of Marine Research*, 21: pp. 155-163. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(65\)90662-5](https://doi.org/10.1016/0011-7471(65)90662-5)
- Pattanagul, W. y Thitisaksakul, M. 2008. Effect of salinity stress on growth and carbohydrate metabolism in three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity tolerance. *Indian Journal of Experimental Biology*, pp. 736-742. [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/4642/1/IJEB%2046\(10\)%20736-742.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/4642/1/IJEB%2046(10)%20736-742.pdf)
- Polomski, R. F., Barden, J. A., Byers, R. E. y Wolf, D. D. 1988. Apple fruit nonstructural carbohydrates and abscission as influenced by shade and terbacil. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 113: pp. 506-511. https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/91139/LD5655.V855_1986.P656.pdf?sequence=1
- Satisha, J., Ramteke, S. D. y Karibasappa, G. S. 2016. Physiological and biochemical characterization of grape rootstocks. *South African Journal of Enology and Viticulture*, pp. 28(2): 163-168. <https://doi.org/10.21548/28-2-1470>
- Saúco, V. G. 2009. El cultivo del mango. Mundi-Prensa Libros.
- Somogyi, M., 1952. Notes on sugar determination *Journal of Biological Chemistry*. 195: pp. 19-23.
- Sowden, J. C. 1957. Occurrence, properties and synthesis of the mono-saccharides. In: the Carbohydrates. Chemistry, Biochemistry, Physiology, W. Pigman (ed.) Academic Press Inc. New York. USA. pp. 77-137.
- Turgeon, R. 1989. The sink-source transition in leaves. *Annual Review of Plant Biology*, 40: pp. 119-138. <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pp.40.060189.001003>
- Witham, F. H., Blaydes, D. F. y Devlin, R. M. 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York. pp. 55-58.
- Yuan, R. y Huang, H. 1988. Litchi fruit abscission: its patterns, effect of shading and relation to endogenous abscisic acid. *Scientia Horticulturae*, 36: pp. 281-292. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(88\)90063-5](https://doi.org/10.1016/0304-4238(88)90063-5)
- Zhang Z., Liu Q., Song, H., Rong, X. y Abdelbagi, M. I. 2012. Responses of different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to salt stress and relation to carbohydrate metabolism and chlorophyll content. *African Journal of Agricultural Research*, pp. 7(1): 19-27. <https://doi.org/10.5897/ajar11.834>