



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO
FACULTAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES



MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA, NUTRIMENTAL Y BIOQUÍMICA
DE VARIEDADES AMARILLAS DE MANGO (*Mangifera indica* L.)
DE RECIENTE INTRODUCCIÓN A MÉXICO

BETSABE PIEDRAGIL OCAMPO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

DIRECTOR:

DR. ELÍAS HERNÁNDEZ CASTRO

CO-DIRECTOR:

DR. JOSÉ ANTONIO MORA AGUILERA

Iguala de la Independencia, Guerrero, México, Enero, 2018.

La presente tesis titulada **CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA, NUTRIMENTAL Y BIOQUÍMICA DE VARIEDADES AMARILLAS DE MANGO (*Mangifera indica* L.) DE RECIENTE INTRODUCCIÓN A MÉXICO**, realizada por la alumna **BETSABE PIEDRAGIL OCAMPO**, forma parte del proyecto sectorial 48595 “*Evaluación de nuevas cultivares con alto potencial productivo y diagnóstico y control de plagas de importancia económica del mango en Guerrero, Veracruz, Chiapas y Oaxaca*”. La dirección de la investigación estuvo integrada por el comité tutorial indicado y ha sido aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

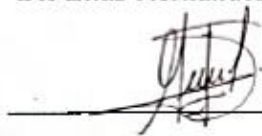
MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL
COMITÉ TUTORAL

Director de tesis



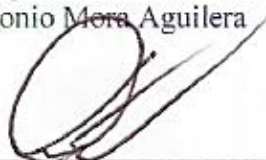
Dr. Eneas Hernández Castro

Co-director



Dr. J. Antonio Mora Aguilera

Asesor



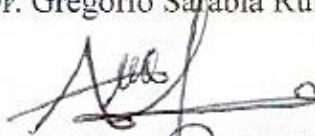
Dr. Agustín Damián Nava

Asesor



Dr. Gregorio Sarabia Ruiz

Asesor



Dr. Francisco Palermón Alberto

Iguala de la Independencia, Guerrero, México, Enero, 2018.

RESUMEN GENERAL

En el mundo México representa al primer exportador de mango, sin embargo, en los últimos años las exportaciones de mango han disminuido 29 puntos debido a un cambio en la preferencia del mercado americano por lo que es indispensable diversificar la oferta de mango de exportación. La medición de la respuesta fotosintética, concentraciones internas de CO₂, contenido de carbohidratos y pigmentos fotosintéticos pueden proporcionar datos sobre parámetros importantes de la fisiología de un cultivar, estos han sido ampliamente utilizados en estudios ecofisiológicos y permiten la evaluación temprana de germoplasmas. El objetivo del estudio fue la evaluación fisiológica y bioquímica de ocho cultivares de mango (Nam Doc Mai, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild y Kesar) de reciente introducción en México y dos de registro reciente por el INIFAP (Ataúlfo Diamante y Ataúlfo Zafiro), todas con potencial de exportación. El trabajo se realizó en plantas de mango 18 meses de edad en donde se realizaron mediciones consecutivas de intercambio de gases, clorofila y nutrimentos (NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺ y Na⁺), además se estimaron las concentraciones de azúcares totales, reductores y almidones. El estudio reveló que los cultivares con los más altos niveles de las variables fisiológicas, fotosíntesis, concentración de clorofila y nutrimentos en las hojas fueron Rosigold, Neelum, Nam Doc Mai y Fairchild (22.99, 22.78, 22.95, 19.45 μm CO₂·m²·s⁻¹), Fairchild y Mallika (53.50, 52.65 unidades SPAD), Kesar y Mallika (490.00, 430.00 mg L⁻¹ NO₃⁻) respectivamente. Las cinéticas de Transpiración (*E*), Conductancia estomática (*g_s*), Fotosíntesis neta (*A*) y Concentración interna de CO₂ (*C_i*), pudieron describir que todos los cultivares presentaron un comportamiento similar; en el caso de azúcares totales y reductores, los cultivares Kesar, Nam Doc Mai, Ivory y Mallika presentaron los valores más altos (0.42, 0.34, 0.34, 0.33; 0.20, 0.24, 0.23, 0.29) en mg·g⁻¹ p.f. ⁻¹ respectivamente, el contenido de almidones fue muy heterogéneo y se identificó a Rosigold como el cultivar con los niveles superiores (0.36) en mg·g⁻¹ p.f. ⁻¹. Los resultados evidenciaron a Ivory como el cultivar con mayor concentración (0.64) en mg·g⁻¹ p.f. ⁻¹ de pigmentos fotosintéticos.

Palabras clave: *Mangifera indica* L., intercambio gaseoso, bioquímica del mango.

GENERAL ABSTRACT

In the world, Mexico represents the leading exporter of mango, however, in recent years mango exports have decreased by 29 points due to a change in the preference of the American market, which is why it is essential to diversify the export mango offer. The measurement of the photosynthetic response, internal CO₂ concentrations, carbohydrate content and photosynthetic pigments can provide data on important parameters of the physiology of a cultivar, these have been widely used in ecophysiological studies and allow the early evaluation of germplasm. The objective of the study was the physiological and biochemical evaluation of eight mango cultivars (Nam Doc Mai, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild and Kesar) recently introduced in Mexico and two recently registered by INIFAP (Ataúlfo Diamante and Ataúlfo Zafiro), all with export potential. The work was carried out in mango plants 18 months of age where consecutive measurements of gas exchange, chlorophyll and nutrients (NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺ and Na⁺) were made, and the concentrations of total sugars, reducing agents and starches were also estimated. The study revealed that the cultivars with the highest levels of physiological variables, photosynthesis, concentration of chlorophyll and nutrients in the leaves were Rosigold, Neelum, Nam Doc Mai and Fairchild (22.99, 22.78, 22.95, 19.45 μm CO₂·m²·s⁻¹), Fairchild and Mallika (53.50, 52.65 SPAD units), Kesar and Mallika (490.00, 430.00 mg L⁻¹ NO₃⁻) respectively. The kinetics of transpiration (E), stomatal conductance (gs), net photosynthesis (A) and internal concentration of CO₂ (Ci), could describe that all the cultivars showed a similar behavior; in the case of total and reducing sugars, the cultivars Kesar, Nam Doc Mai, Ivory and Mallika presented the highest values (0.42, 0.34, 0.34, 0.33, 0.20, 0.24, 0.23, 0.29) in mg·g⁻¹ p.f.⁻¹, respectively, the content of starches was very heterogeneous and Rosigold was identified as the cultivar with the highest levels (0.36) in mg·g⁻¹ p.f.⁻¹. The results showed Ivory as the cultivar with the highest concentration (0.64) in mg·g⁻¹ p.f.⁻¹ of photosynthetic pigments

Keywords: *Mangifera indica* L., gaseous exchange, mango biochemistry.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero a través de mi beca sin la cual no hubiese podido haber realizado mis estudios de maestría; a la Unidad Académica de Ciencias Ambientales y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Guerrero, que hicieron posible la obtención del presente grado.

Al Dr. Abraham Monteón Ojeda por todo lo que aprendí de ti como profesionalista y ser humano, por haber confiado en mí para la realización de este trabajo, por el seguimiento y la supervisión continúa del mismo, por tus sabios consejos y apoyo incondicional, pero sobre todo por la motivación recibida día a día a lo largo de estos años, por todo ello gracias.

Al Dr. Elías Hernández Castro, por su amistad, apoyo y constante participación en la realización del presente trabajo.

Al Dr. Agustín Damián Nava por su amistad, sugerencias, comentarios en todo el proceso de elaboración y sus atinadas correcciones, por todo lo que aprendí de usted gracias.

A mis demás asesores, Dr. José Antonio Mora Aguilera, Dr. Francisco Palemón Alberto y Dr. Gregorio Sarabia Ruíz quienes con su experiencia y profesionalismo me han guiado durante mi estancia en la MCAyGL.

Al M. C. Alfonso de Jesús Correa López por los años de aprendizaje tanto en el ámbito profesional y personal. Gracias por ser mi maestro y amigo, por sus sabios consejos y su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

Al Ing. Cecilio, por su ayuda, colaboración, apoyo en una parte importante del desarrollo de la investigación.

A todos los maestros que en algún punto de mi trayectoria académica me han brindado parte de sus conocimientos.

Siempre resultará difícil agradecer a todas aquellas personas o dar todos los créditos y méritos a quienes se lo merecen, que de una u otra manera me han acompañado y contribuido en esta experiencia de mi vida.

DEDICATORIA

A **Dios** por haberme acompañado y guiado a lo largo de estos años, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres, hermanas y sobrina, quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi vida. Que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga, aun cuando todo se complicaba.

Los amo.

A mi novio que ha sido mi mano derecha durante todo este tiempo, te agradezco infinitamente por tu ayuda, por echarme una mano siempre que la he necesitado, por aportar considerablemente tu experiencia y conocimiento. Te agradezco no solo por la ayuda brindada, sino por los buenos momentos que hemos vivido juntos.

Eres una gran persona y me encanta tenerte a mi lado, TE AMO.

¡MUCHAS GRACIAS!

A mi hígado y estomago por colaborar durante la redacción de esta tesis, por aguantar los pequeños índices de estrés que se presentaron.

“La mente es como un paracaídas... Solo funciona si la tenemos abierta”

Albert Einstein

ÍNDICE

RESUMEN GENERAL	iii
GENERAL ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVOS	3
General	3
Particulares	3
HIPÓTESIS	3
General	3
Particulares	3
JUSTIFICACIÓN	4
LITERATURA CITADA	5
II. CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA Y NUTRIMENTAL DE CULTIVARES DE MANGO	6
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCION	8
MATERIALES Y MÉTODOS	10
Sitio experimental	10
Determinación de perfiles fisiológicos en laboratorio y vivero	10
1) Laboratorio	10
2) Vivero	11
Determinación de Variables Fisiológicas	11
Categorización de cultivares	11
Unidades SPAD	12
Determinación de clorofilas totales	12
Análisis nutrimental	13

Análisis estadístico	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Caracterización fisiológica en Laboratorio	14
Fotosíntesis neta (<i>A</i>)	14
Conductancia estomática (<i>g_s</i>)	14
Concentración interna de CO ₂ (<i>C_i</i>)	14
Transpiración (<i>E</i>)	14
Caracterización fisiológica en Vivero	15
Fotosíntesis neta (<i>A</i>)	15
Conductancia estomática (<i>g_s</i>)	15
Concentración interna de CO ₂	16
Transpiración (<i>E</i>)	16
Cinéticas fotosintéticas	17
Fotosíntesis neta (<i>A</i>)	17
Conductancia estomática (<i>g_s</i>)	18
Concentración interna de CO ₂	18
Transpiración (<i>E</i>)	18
Contenido de clorofila	22
Contenido Nutrimental	24
Correlación entre valores de clorofila de SPAD y espectrofotometría	26
CONCLUSIONES	29
LITERATURA CITADA	30
CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE VARIEDADES DE MANGO	33
RESUMEN	33
ABTRACT	34
INTRODUCCIÓN	35
MATERIALES Y MÉTODOS	37
Sitio experimental	37
Azúcares totales	37
Azúcares reductores	38
Almidones	38
Determinación de pigmentos fotosintéticos (Clorofila alpha y beta)	38
Carotenoides	38

Análisis estadístico	39
RESULTADOS Y DISCUSION	40
Concentración de azúcares.....	40
Pigmentos fotosintéticos	43
Análisis de correlación	45
CONCLUSIONES.....	49
LITERATURA CITADA	50
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES	53
APÉNDICE	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fotosíntesis neta ($\mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), concentración interna de CO_2 ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) y transpiración ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango durante nueve fechas de evaluación en condiciones de laboratorio.	15
Cuadro 2. Fotosíntesis neta ($\mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), concentración interna de CO_2 ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) y transpiración ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango durante nueve fechas de evaluación en condiciones de vivero.	16
Cuadro 3. Unidades SPAD y área bajo la curva del progreso fotosintético (AUPPC) en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de laboratorio.	23
Cuadro 4. Unidades SPAD y área bajo la curva del progreso fotosintético (AUPPC) en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de vivero.	24
Cuadro 5. Nutrimientos en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de laboratorio.	26
Cuadro 6. Nutrimientos en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de vivero.	26
Cuadro 7. Concentración de clorofilas totales en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango mediante el método propuesto por Hansmann (1973).	27
Cuadro 8. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables: Clorofilas alpha, beta y carotenoides en 10 cultivares de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) de reciente introducción en México.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cinéticas de fotosíntesis neta (a), conductancia estomática (b), concentración interna de CO ₂ (c) y transpiración (d) de tres cultivares de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) durante nueve fechas de muestreo en condiciones de laboratorio.	20
Figura 2. Cinéticas de fotosíntesis neta (a), conductancia estomática (b), concentración interna de CO ₂ (c) y transpiración (d) de tres cultivares de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) durante nueve fechas de muestreo en condiciones de vivero.	21
Figura 3. Correlación entre contenido de clorofila (mg*g ⁻¹ pf ⁻¹ de clorofila) y las unidades SPAD en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de laboratorio.	28
Figura 4. Correlación entre contenido de clorofila (mg*g ⁻¹ pf ⁻¹ de clorofila) y las unidades SPAD en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de vivero.	28
Figura 5. Análisis de regresión lineal de las unidades SPAD registradas en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango evaluadas en vivero y laboratorio..	29
Figura 6. Concentración de azúcares totales en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey (p≤0.05).....	40
Figura 7. Concentración de azúcares reductores en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey (p≤0.05).....	41
Figura 8. Concentración de almidón en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey (p≤0.05).	42
Figura 9. Concentración de clorofila Alpha en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey (p≤0.05).....	43

Figura 10. Concentración de clorofila beta en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).....	44
Figura 11. Concentración de carotenoides en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).....	44
Figura 12. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares totales y reductores, en hojas maduras (50 ddd) de mango (<i>Mangifera indica</i> L.).....	45
Figura 13. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares totales y almidones en hojas maduras (50 ddd) de mango (<i>Mangifera indica</i> L.).....	46
Figura 14. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares reductores y almidones en hojas maduras (50 ddd) de mango (<i>Mangifera indica</i> L.).....	46
Figura 15. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares reductores y clorofilas alpha en hojas maduras (50 ddd) de mango (<i>Mangifera indica</i> L.).....	47
Figura 16. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares reductores y clorofilas beta en hojas maduras (50 ddd) de mango (<i>Mangifera indica</i> L.).....	47
Figura 17. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares reductores y carotenoides en hojas maduras (50 ddd) de mango (<i>Mangifera indica</i> L.).....	48

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El mango (*Mangifera indica* L.) es originario de India y es la especie de mayor importancia económica de la familia de las Anacardiáceas (Galán, 2009). Se cultiva en la mayoría de las zonas tropicales y subtropicales del globo, con el desarrollo de técnicas de forzado de floración es posible comercializarlo mundialmente prácticamente todo el año (Galán, 2009). Entre 1990 y 2010, la producción mundial se incrementó en más de 50 %, actualmente se producen más de 35 millones de toneladas anuales, India es el primer productor y México el primer exportador con 45 % y 24 %, respectivamente (FAOSTAT, 2016).

En 2015 se cultivaron 2, 269,140 ha, con una producción de 12, 65,668 t. Guerrero, Chiapas, Nayarit, Sinaloa, Oaxaca, Michoacán y Veracruz producen más de 90 % del volumen nacional; Guerrero es el primer productor con 356,291.16 t y las principales regiones de cultivo en la entidad son: Costa Chica, Tierra Caliente (trópico seco) y Costa Grande (trópico subhúmedo); en esta última, Técpan de Galeana constituye el principal municipio productor con 108,078.85 t (SIAP, 2016).

Las exportaciones mexicanas de mango han disminuido 24 % entre 1997 y 2004 (Gehrke-Vélez *et al.*, 2011), debido a un cambio en la preferencia del mercado americano (Galán, 2009; Mora *et al.*, 2002); y que cuenta únicamente con "Ataúlfo", como variedad amarilla de exportación, la cual enfrenta severos problemas de productividad por partenogénesis (mango estenospermocárpico o "mango niño") (Gehrke-Vélez *et al.*, 2011), estacionalidad de producción y mezclas genéticas que limitan su comercialización. Por esta razón, es indispensable diversificar la oferta de mangos poliembriónicos amarillos. El Colegio de Posgraduados en 2012 introdujo ocho nuevas cultivares con potencial de exportación (Nam Doc Mai, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild y Kesar) procedentes del Fairchild Tropical Botanic Garden en Florida, USA, adicionalmente, el INIFAP registró en 2009 y 2012 Ataúlfo Diamante y Ataúlfo Zafiro, sin embargo es necesario evaluar su adaptabilidad (tolerancia a plagas, crecimiento y desarrollo, fenología, necesidades hídricas y nutrimentales) y adecuar tecnologías de manejo fitosanitario y frutícola de alta rentabilidad (Monteón *et al.*, 2012). Debido a lo anterior el objetivo del presente estudio fue la caracterización fisiológica, nutrimental y bioquímica de

dichos cultivares, evaluando el contenido de clorofila, fotosíntesis neta (A), conductancia estomática (g_s), concentración interna de CO_2 (C_i), transpiración (E), el contenido de K^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , azúcares totales, reductores, no reductores, almidones y pigmentos fotosintéticos en follaje que ayudaran a identificar diferencias entre materiales y seleccionar aquellos con las mejores características.

OBJETIVOS

General

Caracterizar fisiológica, nutrimental y bioquímicamente ocho cultivares de mango de reciente introducción y dos de nuevo registro por INIFAP con potencial de exportación para México.

Particulares

- a) Evaluar el contenido de clorofila, fotosíntesis neta (A), conductancia estomática (g_s), concentración interna de CO_2 (C_i), transpiración (E) y el contenido de K^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ en hojas maduras de 10 cultivares de mango.
- b) Determinar el contenido de azúcares totales, reductores, almidones y pigmentos fotosintéticos en follaje.

HIPÓTESIS

General

Las variables a evaluar serán capaces de encontrar diferencias significativas en el comportamiento de los cultivares.

Particulares

- a) Se encontrarán diferencias significativas entre cultivares con respecto al contenido de fotosíntesis neta (A), conductancia estomática (g_s), concentración interna de CO_2 (C_i) y el contenido de K^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ en hojas maduras de las 10 cultivares de mango.
- b) Se encontrarán diferencias significativas entre cultivares con respecto al contenido de azúcares totales, reductores, almidones y pigmentos fotosintéticos en follaje.

JUSTIFICACIÓN

En 2012 el Colegio de Postgraduados introdujo ocho cultivares (Nam Doc Mai, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild y Kesar procedentes del Tropical Botanic Garden, Florida, USA y dos de nuevo registro por INIFAP, Ataúlfo Diamante y Ataúlfo Zafiro) de mango a México, como alternativas de exportación, por lo que es importante su evaluación en las distintas condiciones locales de producción. La caracterización fisiológica y bioquímica de cultivares que han pasado por un periodo de adaptación en una zona productora típica de México (Iguala, Guerrero) contribuye a conocer particularidades inherentes de cada material como es capacidad fotosintética, contenido de azúcares, contenido de pigmentos fotosintéticos y concentración de nutrimentos. Características que podrían ayudar a establecer procedimientos de predicción de comportamiento en campo y en la toma de decisiones como la selección de cultivares en el establecimiento de nuevos huertos, necesidades nutricionales, fisiológicas y manejo.

LITERATURA CITADA

- FAOSTAT, "Food and Agriculture Organization FAOSTAT database collections, agricultural data, and food and agriculture organization of the United Nations," 2016, <http://faostat.fao.org/>. Consulta, mayo 2016.
- Galán, S V. 2009. El cultivo del mango. Ed. 2^{da}. México. Mundi-Prensa, S.A. de C.V. 340 p.
- Gehrke-Vélez, M R, Castillo-Vera, A, Ruiz-Bello, C, Moreno-Martínez, J L. 2011. Viabilidad y germinación del polen en mango (*Mangifera indica* L.) cv Ataúlfo. *Interciencia* 36(5): 378-385.
- Monteón, O A, Mora, A J, Villegas, M A, Nava, D C, Hernández, C E, Hernández, M J. 2012. Temporal analysis and fungicide management strategies to control mango anthracnose epidemics in Guerrero, Mexico. *Tropical Plant Pathology*, 37(6): 375-385.
- Mora, A A, Reboças, S J, Téliz, O D. 2002. Mango: Manejo y Comercialización. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. 239 p.
- SIAP, 2016. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Disponible en: www.siap.gob.mx/index. Consulta, mayo 2016.

II. CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA Y NUTRIMENTAL DE CULTIVARES DE MANGO

RESUMEN

La repuesta de fotosíntesis neta y concentración interna de CO₂ proporcionan parámetros importantes de la fisiología de una variedad. El objetivo del estudio fue la evaluación fisiológica de ocho cultivares de mango (Nam Doc Mai, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild y Kesar) de reciente introducción en México y dos de registro reciente por el INIFAP (Ataúlfo Diamante y Ataúlfo Zafiro), todas con potencial de exportación para el mercado de EEUA y Canadá. Se realizaron mediciones consecutivas en condiciones de laboratorio y vivero, de fotosíntesis neta ($\mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), concentración interna de CO₂ ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiración ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), unidades SPAD, nutrimentos NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺ y Na⁺ (mg L⁻¹) en hojas de mango. En ambas condiciones se encontró que las cultivares con los índices fotosintéticos, concentración de clorofila y nutrimentos en la lámina foliar más altos en laboratorio fueron Rosigold ($22.99 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Neelum ($248.30 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Rosigold ($807.34 \mu\text{mol mol}^{-1}$) y Kesar ($2.21 \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), Fairchild (53.50 unidades SPAD), Kesar NO₃⁻ (490.00mg L^{-1}), Mallika K⁺ (280.50mg L^{-1}), Rosigold Ca²⁺ (25.91mg L^{-1}) y Kesar Na⁺ (54.75mg L^{-1}). En condiciones de vivero las cultivares que presentaron la más alta concentración fueron Fairchild ($17.03 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Mallika ($49.71 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Ivory ($1109.60 \mu\text{mol mol}^{-1}$), Kesar ($0.64 \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), Mallika (62.94 unidades SPAD), Kesar NO₃⁻ (192.25mg L^{-1}), A. Zafiro K⁺ (391.00mg L^{-1}), Ivory en Ca²⁺ (34.75mg L^{-1}) y Na⁺ (21.62mg L^{-1}). Las cinéticas de transpiración, conductancia estomática, fotosíntesis neta y concentración interna de CO₂, fue similar, aunque evidenciaron diferencias en la intensidad de las mismas, además se encontró una relación directa entre el número de unidades SPAD y la cantidad de pigmentos fotosintéticos ($r= 0.85- 0.82$).

Palabras clave: *Mangifera indica* L., clorofila, fotosíntesis neta, cultivares, nutrimentos, SPAD.

ABSTRACT

The response of net photosynthesis and internal CO₂ concentration provide important parameters of the physiology of a variety. The objective of the study was the physiological evaluation of eight mango cultivars (Nam Doc Mai, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild and Kesar) recently introduced in Mexico and two recently registered by INIFAP (Ataúlfo Diamante y Ataúlfo Sapphire), all with export potential for the US market and Canada. Consecutive measurements were made in laboratory and nursery conditions, net photosynthesis ($\mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), stomatal conductance ($\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), internal concentration of CO₂ ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), perspiration ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), SPAD units, nutrients NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺ and Na⁺ (mg L⁻¹) in mango leaves. In both conditions it was found that the cultivars with the photosynthetic indexes, chlorophyll concentration and nutrients in the leaf blade highest in the laboratory were Rosigold ($22.99 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Neelum ($248.30 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Rosigold ($807.34 \mu\text{mol mol}^{-1}$) and Kesar ($2.21 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Fairchild (53.50 SPAD units), Kesar NO₃⁻ (490.00 mg L^{-1}), Mallika K⁺ (280.50 mg L^{-1}), Rosigold Ca²⁺ (25.91 mg L^{-1}) and Kesar Na⁺ (54.75 mg L^{-1}). In nursery conditions, the cultivars with the highest concentration were Fairchild ($17.03 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Mallika ($49.71 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Ivory ($1109.60 \mu\text{mol mol}^{-1}$), Kesar ($0.64 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Mallika (62.94 SPAD units), Kesar NO₃⁻ (192.25 mg L^{-1}), A. Sapphire K⁺ (391.00 mg L^{-1}), Ivory in Ca²⁺ (34.75 mg L^{-1}) and Na⁺ (21.62 mg L^{-1}). The kinetics of transpiration, stomatal conductance, net photosynthesis and internal concentration of CO₂, was similar, although they showed differences in the intensity of the same, in addition a direct relationship was found between the number of SPAD units and the amount of photosynthetic pigments ($r = 0.85-0.82$).

Key words: *Mangifera indica* L., chlorophyll, photosynthesis, varieties, nutrients.

INTRODUCCION

Existen aproximadamente 150 cultivares comerciales de mango en el mundo (Galán, 2009). México es el principal exportador, no obstante, del volumen total que produce (1.4 millones de t), solamente un 10 % se destina a la exportación. Los principales cultivares para el mercado internacional son: Tommy Atkins, Kent, Haden, Keitt, y solamente Ataúlfo como cultivar poliembriónico (Ayala-Garay, 2009; Ledin, 1957). México posee características físicas y climáticas que permiten el óptimo desarrollo del cultivo (SENASICA, 2009).

Para establecer una adecuada estrategia de manejo de diferentes cultivares de mango es necesario conocer aspectos fundamentales de su fisiología como la fotosíntesis. Durante este proceso el CO₂ se mueve desde la atmósfera hasta las cavidades internas sub-estomáticas a través de los estomas, y desde allí hasta el sitio de carboxilación en el interior del estroma, este último componente de difusión de CO₂ se llama conductancia del mesófilo (*gm*) (Taiz y Zeiger, 2002; Long y Bernacchi, 2003; Flexas *et al.*, 2008).

González *et al.* (2011), reportaron una comparación varietal contrastante del efecto ambiental en algunos huertos comerciales de Guerrero y Chiapas. En Guerrero el mango manila fue la variedad que fotosintetizó más rápido, mientras que en Chiapas la mayor tasa se observó en Tommy Atkins y Haden, seguidas de Ataúlfo. Las tasas fotosintéticas del mango en Chiapas, en árboles bien mantenidos, alcanzan los valores más altos de fijación de carbono, sobre todo en cultivares rojas seguidas del cultivar Ataúlfo (González *et al.*, 2011).

El mango se caracteriza por tener requerimientos relativamente altos de nutrimentos (Mora *et al.*, 2017), el contenido en N es el factor más importante en la determinación de la tasa fotosintética por unidad de superficie foliar (Agustí y Fonfría, 2010). En el cv Kent los contenidos de N y K disminuyen en la floración, lo que se explica por su mayor en la etapa productiva. El P se comporta homogéneamente durante el ciclo de cultivo. En el caso del Ca, los niveles se incrementan a partir del ciclo productivo, esto se explica ya que conforme aumenta la edad de la hoja los contenidos de calcio y magnesio también se incrementan (Mora *et al.*, 2017). El N forma parte estructural de la molécula de clorofila, que es el principal pigmento que le otorga la coloración

verde a las plantas y el responsable de absorber la energía luminosa necesaria para iniciar el proceso de fotosíntesis. La utilización de medidores portátiles de clorofila ha sido validado en países como Estados Unidos desde 1994; en nuestro país, desde el año 1998 (Díaz *et al.*, 2002). Actualmente se requiere rapidez en la obtención de información de los análisis químicos, por lo que la medición de iones en el extracto celular del follaje con ionómetros portátiles específicos es ampliamente usada en sistemas intensivos de producción.

Por lo anterior, en el presente trabajo se plantearon los objetivos de evaluar el contenido de clorofila, fotosíntesis neta (A), conductancia estomática (g_s), concentración interna de CO_2 (C_i), transpiración (E) y el contenido nutrimental de K^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ en hojas maduras de 10 cultivares de mango, ocho de reciente introducción y dos de registro por el INIFAP.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó durante los meses de marzo a diciembre del 2016, en la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local de la Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Tuxpan (18° 20' 39" N, 99° 29' 53" O), en Iguala de la Independencia, Guerrero, México, a 760 msnm, temperatura media anual de 25.8 °C y precipitación media anual es de 977.15 mm (García, 1988).

Se utilizaron plantas injertadas con los cultivares Nam Doc Mai, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild y Kesar, introducidas recientemente del Fairchild Tropical Botanic Garden, así como las selecciones nacionales Ataúlfo Diamante y Ataúlfo Zafiro de 18 meses, plantadas en bolsa de polietileno negras para macetas con capacidad de 5 L, mismas que 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.

Determinación de perfiles fisiológicos en laboratorio y vivero

Se marcaron brotes vegetativos y cuando las hojas tuvieron 50 días de desarrollo (ddd) se iniciaron las evaluaciones de fotosíntesis neta y unidades SPAD al finalizar esta fase se cortaron las hojas para hacer las determinaciones de NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺, Na⁺ y clorofilas. Se utilizaron las mismas hojas para cada determinación.

1) Laboratorio

En el Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), las plantas permanecieron con un periodo de adaptación de siete días. A una temperatura de 26±3 ° C y humedad relativa 70±10 %, mismas que se controlaron con la ayuda de un humidificador marca LG®; mientras que para el fotoperiodo (12:12 h y 450±50 lm) se utilizaron lámparas de PAR. Después del periodo de adaptación se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro hojas adheridas de cada planta como unidad experimental y un total de cuatro plantas (repeticiones) por tratamiento (cultivares). La temperatura, humedad relativa y

fotoperiodo en el laboratorio se registraron cada dos horas con un data logger Hobo®, modelo U12.

2) Vivero

Las plantas permanecieron por un periodo de adaptación de 20 días en el Vivero de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la UAGro, con malla de polipropileno (50 % de sombra), las plantas se establecieron en bolsa de polietileno negras de 27 cm por 27 cm de 5 L de capacidad y pasado el periodo de adaptación se estableció el experimento utilizando un diseño de bloques completos al azar, con cuatro hojas adheridas de cada planta como unidad experimental y un total de cuatro plantas (repeticiones) por tratamiento (cultivares). La temperatura (29 ± 3 ° C), humedad relativa (60 ± 10 %) y fotoperiodo (12 ± 1 h y 800-1009 lm) se registraron cada dos horas con un data logger Hobo®, modelo U12.

En ambas condiciones, cada 48 h a las 10:00 am por 18 y 24 días se determinó la fotosíntesis neta, unidades SPAD, nutrimentos (NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Na^+) y se recolectó hojas para la determinación de clorofilas.

Determinación de Variables Fisiológicas

Se cuantificó con base en la fotosíntesis neta (A) ($\mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), conductancia estomática (g_s) ($\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), concentración interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) y transpiración (E) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) con un equipo TPS-2 (portable photosynthesis system) y software de PP system®. Las mediciones se realizaron sobre la parte anterior, media y posterior de las hojas maduras de 50 ddd (cuatro por planta). Se calculó el área bajo la curva del progreso fotosintético (AUPPC) estimada con el método de integración trapezoidal (Campbell y Madden, 1990).

Categorización de cultivares

con base en las variables antes mencionadas se clasificaron los cultivares en tres categorías, en el caso de laboratorio se consideró como baja aquellos cultivares que en promedio en fotosíntesis neta obtuvieron menos de $19 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$, como mediana los que registraron de entre 19 a $21 \text{ CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ y como alta los cultivares que obtuvieron valores superiores a $21 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$; en la conductancia

estomática se consideró como alto aquellas con más de $226.69 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$, como mediana quienes registraron de entre 226.69 a $208.07 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ y como baja menos de 208.07 ; respecto a concentración interna de CO_2 se consideró como alta aquellas con más de $706.6 \mu\text{mol mol}^{-1}$, como mediana los que registraron de entre 706.5 a 713.64 y como baja menos de $713.64 \mu\text{mol mol}^{-1}$; en la transpiración se consideró como alta a más de $2.09 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, como mediana los que registraron de entre 2.09 a 1.97 y como baja menos de $1.97 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Para el caso de vivero se consideró alta, mediana y baja para las variables fotosíntesis neta se consideró alta aquellas con más de $15.5 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$, como mediana los que registraron de entre 13.5 a $15.5 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ y como baja menos de $13.5 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$; la conductancia estomática consideró como alta de $46.79 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ en adelante, como mediana los que registraron de entre 46.79 y $43.85 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ y como baja menos de $43.85 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$; la concentración interna de CO_2 consideró como alta aquellas con más $1003.65 \mu\text{mol mol}^{-1}$, como mediana los que registraron de entre 1003.65 a $897.62 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ y como baja menos de $897.62 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$; la transpiración consideró como alta de $0.561 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en adelante, como mediana los que registraron de 0.561 a $0.479 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y como baja menos de $0.479 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Unidades SPAD

Registradas con un equipo Minolta SPAD® 502 (Soil Plant Analysis Development, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japón), las mediciones se realizaron sobre la parte anterior, media y posterior de cuatro hojas maduras por planta de 50 ddd. Se registraron las Unidades SPAD (contenido de clorofila) por variedad, con base en las mediciones realizadas se calculó el área bajo la curva del progreso (AUPPC) estimada con el método de integración trapezoidal (Campbell y Madden, 1990).

Determinación de clorofilas totales

Se utilizó el método espectrofotométrico propuesto por Hansmann (1973). Se utilizaron 25 g de muestra foliar, se trituraron y suspendieron en 700 mL de acetona-agua al 80 % (v/v) como disolvente extractor de los pigmentos, esto se realizó varias veces hasta extraer la pigmentación. Posteriormente se transfirieron a tubos de

plástico y se centrifugaron a 15000 rpm por 20 min, se sacaron y decantaron en tubos de vidrio y de fondo plano, se aforó a 10 mL y se dejó reposar 10 min y para determinar la densidad óptica del sobrenadante por el método de la AOAC (1980), con base en la siguiente fórmula: Clorofila total = 8.2 (A663)+20.2 (A645); donde A663 y A645 corresponden a las absorbancia a 663 y 645 μm de longitud de onda, medidas con un espectrofotómetro. Para la cuantificación se utilizó la ecuación propuesta por Parsons y Strickland (1963).

Análisis nutrimental

Para la medición de NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Na^+ se emplearon ionómetros portátiles Horiba Scientific® tipo LAQUAtwin. Los equipos fueron calibrados a dos puntos con soluciones a 200 y 2000 ppm según el manual de operaciones. Para la medición se cortaron hojas de mango maduras de 50 ddd (cuatro por planta) y se extrajo 1 mL de savia, finalmente la muestra se colocó en el equipo y después de tres minutos y medio se obtuvo la lectura del contenido de nutrimentos por variedad.

Análisis estadístico

Se efectuó el análisis de normalidad utilizando el software estadístico Minitab[®]. Además de análisis de varianza y separación de medias DMS ($p \leq 0.05$) con el software de análisis estadístico SAS, v.9.1.3 (SAS Institute Inc, 2003) para las variables: *A*, *gs*, *Ci*, *E*, Clorofila y contenido de NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Na^+ .

Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (*r*) de las unidades SPAD con las clorofilas totales y cinéticas fotosintéticas por variedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisiológica en Laboratorio

Fotosíntesis neta (A)

En relación con las nueve evaluaciones en laboratorio, el análisis estadístico mostró que las cultivares Rosigold ($22.99 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Neelum ($22.78 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) y Nam Doc Mai ($22.95 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) presentaron los niveles más altos y fueron estadísticamente superiores a los cultivares Ivory ($20.06 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) y Alphonse ($22.66 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), las cuales a su vez superaron A. Zafiro ($18.28 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Mallika ($18.65 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) y Kesar ($18.85 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) (cuadro 1).

Conductancia estomática (gs)

En relación con la conductancia estomática Neelum ($248.30 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) presento mayor valor, sin embargo, los cultivares fueron estadísticamente iguales (cuadro 1).

Concentración interna de CO₂ (Ci)

La variedad Rosigold ($807.34 \mu\text{mol mol}^{-1}$) presento mayor concentración interna de CO₂, fue estadísticamente superior a la variedad Fairchild ($788.23 \mu\text{mol mol}^{-1}$), el cual a su vez supero a Kesar ($666.79 \mu\text{mol mol}^{-1}$) y Neelum ($668.10 \mu\text{mol mol}^{-1}$) (cuadro 1).

Transpiración (E)

Kesar ($2.21 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y Neelum ($2.20 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) presentaron mayor intercambio de agua y fue estadísticamente superior a la variedad Mallika ($2.17 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la cual a su vez supero a Nam Doc Mai ($1.86 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (cuadro 1).

Cuadro 1. Fotosíntesis neta ($\mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), concentración interna de CO_2 ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) y transpiración ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango durante nueve fechas de evaluación en condiciones de laboratorio.

Cultivar	A	gs	Ci	E
Kesar	18.85 c	203.65 a	666.79 c	2.21 a
Mallika	18.65 c	223.33 a	693.60 bc	2.17 ab
AD	19.01 c	222.35 a	734.45 abc	1.95 abc
Ivory	20.06 abc	183.46 a	778.34 abc	1.98 abc
Fairchild	19.45 bc	185.48 a	788.23 ab	1.99 abc
Alphonse	22.66 ab	190.24 a	776.00 abc	2.06 abc
Rosigold	22.99 a	206.40 a	807.34 a	1.90 bc
Neelum	22.78 a	248.30 a	668.10 c	2.20 a
Nam Doc Mai	22.95 a	216.36 a	730.55 abc	1.86 c
AZ	18.28 c	192.49 a	719.65 abc	1.95 abc

*Medias con letras iguales en las columnas no son significativamente diferentes, prueba de DMS ($p\leq 0.05$). Fotosíntesis neta (A), conductancia estomática (gs), concentración interna de CO_2 (Ci) y transpiración (E). Ataúlfo Diamante (AD), Ataúlfo Zafiro (AZ).

Caracterización fisiológica en Vivero

Fotosíntesis neta (A)

La variedad Fairchild ($17.03 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) presento mayor valor en fotosíntesis neta y fue estadísticamente superior a los cultivares Nam Doc Mai ($15.04 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Rosigold ($14.80 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), Neelum ($14.32 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) y Alphonse ($14.24 \mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$); estas a su vez, fueron estadísticamente mayor al resto de los cultivares (cuadro 2).

Conductancia estomática (gs)

La variedad Mallika ($49.71 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) presentó mayor concentración estomática y fue estadísticamente superior a la variedad Rosigold ($47.35 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$); a su vez, la variedad Rosigold superó a Ivory ($33.13 \mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) (cuadro 2).

Concentración interna de CO₂

La variedad Ivory (1109.60 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) presentó mayor concentración interna de CO₂ y fue estadísticamente superior a la variedad Nam Doc Mai (1055.62 $\mu\text{mol mol}^{-1}$); esta a su vez, fue estadísticamente mayor que A. Diamante (685.49 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) (cuadro 2).

Transpiración (E)

El cultivar Kesar presentó 0.64 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y fue estadísticamente superior a la variedad Mallika (0.62 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), que a su vez, Mallika supero a Ivory (0.39 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (cuadro 2).

Cuadro 2. Fotosíntesis neta ($\mu\text{m CO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), concentración interna de CO₂ ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) y transpiración ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango durante nueve fechas de evaluación en condiciones de vivero.

Cultivar	A	gs	Ci	E
Kesar	12.30 b	40.91 abc	926.14 abc	0.64 a
Mallika	13.23 b	49.71 a	791.66 bc	0.62 ab
AD	13.92 b	43.02 abc	685.49 c	0.54 bc
Ivory	13.44 b	33.13 c	1109.60 a	0.39 d
Fairchild	17.03 a	36.14 bc	1079.80 a	0.49 cd
Alphonse	14.24 ab	38.84 abc	1008.65 ab	0.49 cd
Rosigold	14.80 ab	47.35 ab	846.81 abc	0.57 abc
Neelum	14.32 ab	40.58 abc	790.54 bc	0.59 abc
Nam Doc Mai	15.04 ab	38.07 abc	1055.62 ab	0.53 bc
AZ	14.05 b	44.56 abc	865.27 abc	0.55 abc

*Medias con letras iguales en las columnas no son significativamente diferentes, prueba de DMS ($p \leq 0.05$). Fotosíntesis neta (A), conductancia estomática (gs), concentración interna de CO₂ (Ci) y transpiración (E). Ataúlfo Diamante (AD), Ataúlfo Zafiro (AZ).

González *et al.* (2011) reportaron que los cultivares Rosigold, Nam Doc Mai, Ivory y Mallika fotosintetizaron a velocidades similares que Ataúlfo (Diamante), Ataúlfo

(selección 4), Ataúlfo (selección 8), Manila (Cotaxtla) y Haden, selecciones nacionales. Los resultados en las condiciones de laboratorio y vivero demuestran que los ocho cultivares introducidos fotosintetizan a velocidades similares que los dos cultivares nacionales. Por esto mismo se puede postular que los cultivares introducidos se adaptarán satisfactoriamente a las nuevas condiciones ambientales del país y se podría propagar controladamente en territorio mexicano (González *et al.*, 2011). Un estudio realizado en huertos comerciales de Guerrero y Chiapas demostró que, en Tecpán de Galeana, Guerrero, el mango Manila fue la variedad que fotosintetizó más rápido que todos los demás cultivares, mientras que, en Tapachula, Chiapas la mayor tasa de fotosíntesis neta ocurrió en cultivares 'petacones' como Tommy Atkins, Haden, seguidas por el mango Ataúlfo (González *et al.*, 2011). Adicionalmente, se ha reportado que en frutales como durazno (*Prunus persica*), ciruelo (*Prunus domestica*), cerezo (*Prunus cerasus*) y almendro (*Prunus dulcis*), alta capacidad fotosintética del árbol para asegurar una cosecha abundante, por lo que la fotosíntesis es un factor limitante en casos como competencia entre órganos y/o cuando se presentan fenómenos de estrés o defoliaciones (Agustí y Fonfría, 2010).

Cinéticas fotosintéticas

Fotosíntesis neta (A)

Aunque en cada evaluación se presentaron diferencias significativas entre cultivares en todas las variables, el comportamiento de las cinéticas fue similar para ambas condiciones (laboratorio y vivero). En el caso de fotosíntesis neta en laboratorio puede observarse que en los tres cultivares (Rosygold, Ivory y A. zafiro) contrastantes presentados en la figura 1 (a) se inició el registro de la actividad fotosintética en la fecha 1 (23.91, 16.23 y 12.43 $\mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) respectivamente, esta fue aumentado hasta la fecha 3 (22.47, 20.29, 23.54 $\mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), en la fecha 4 descendió significativamente (20.98, 20.04 y 13.02 $\mu\text{m CO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), la tasa fotosintética se mantuvo baja hasta la fecha 7 donde nuevamente inició un pico abrupto de aumento de la actividad fotosintética en las hojas evaluadas (24.16,

25.13 y 22.02 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) disminuyendo ligeramente en las fechas posteriores, lo anterior denota un comportamiento multimodal similar entre cultivares.

Conductancia estomática (gs)

En la conductancia estomática de los cultivares Neelum, Nam Doc Mai e Ivory en laboratorio (figura 1 b) decrece en la fecha 2 y 3 (157.82, 106.32 y 100.52 $\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (111.65, 93.34 y 99.87 $\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), incrementándose en la fecha 4 (314.79, 208.94 y 137.64 $\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y disminuyendo ligeramente en la fecha 5 (220.59, 193.27 y 210.63 $\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), en las fecha 6 y 8 se observa que mientras Ivory disminuye (142.40, 445.74 y 191.44 $\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Neelum y Nam Doc Mai se incrementaron (364.97 y 257.51 $\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (337.07 y 349.14 $\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), finalmente en la fecha 9 Neelum e Ivory se incrementan ligeramente (324.55 y 230.26 $\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y Nam Doc Mai disminuye (215.43 $\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), lo anterior describe un comportamiento multimodal para las condiciones de laboratorio y bimodal para las condiciones de vivero (figura 2 b).

Concentración interna de CO₂

La concentración interna de CO₂ en laboratorio (figura 1 c) inicia con valores altos para los cultivares Rosigold y A. Diamante (1080.67 y 997.28 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), mientras que la variedad Kesar presento el valor más bajo (583.35 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), en el resto de las fechas los cultivares Rosigold y A. Diamante mostraron el mismo comportamiento, la variedad Kesar presento los valores más bajos, con incrementos en las fechas 2, 3 y 4 (653.98, 757.08 y 765.50 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) disminuyendo en la fecha 5 y 6 (645.87 y 564.99 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), presentando su valor más alto en la fecha 7 (770.02 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) y disminuyendo en la fecha 8 y 9 (659.11 y 601.23 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), el comportamiento antes descrito fue bimodal, y para las condiciones de vivero fue multimodal (figura 2 c).

Transpiración (E)

La transpiración de los cultivares en laboratorio (figura 1 d), muestra el mismo comportamiento para los cultivares Kesar, Fairchild y Nam Doc Mai, presentándose los valores más altos en la fecha 4 para los cultivares Kesar y Fairchild (3.00 y 2.99 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), mientras que para la variedad Nam Doc Mai el valor más alto se presentó en la fecha 5 (2.49 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), los valores más bajos de transpiración se

presentaron en la fecha 9 para las tres cultivares (1.62, 1.56 y 1.44 mol m⁻² s⁻¹), lo cual describe un comportamiento bimodal y multimodal para las condiciones de vivero (figura 2 d).

Lu *et al.*, (2012) reporta cinco cultivares de mango, Kensington Pride, Strawberry, Haden, Irwin y Tommy Atkins, mostraron una variación estacional significativa en la A y g_s en los cinco cultivares con los valores máximos durante la estación húmeda y el mínimo durante la estación seca. Los valores de E no fueron significativamente diferentes entre los cultivares durante la estación húmeda, sin embargo, fueron significativamente diferentes durante la estación seca. Entre los cultivares la diferencia de A son relevantes para indicar la capacidad de los cultivares para entornos particulares.

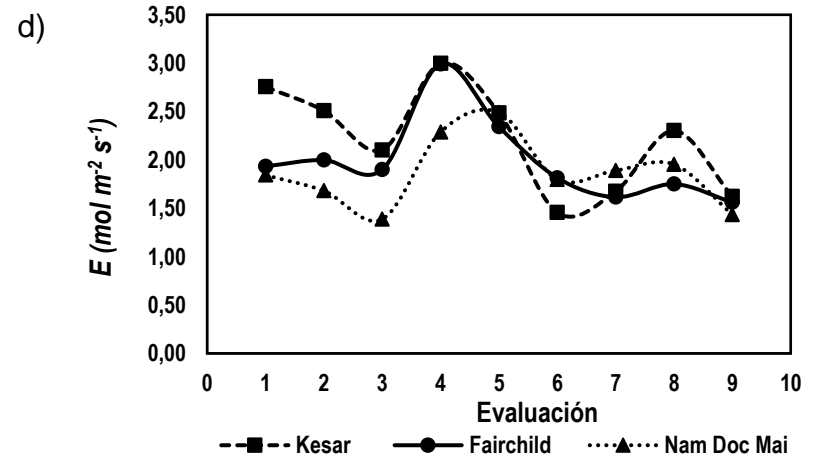
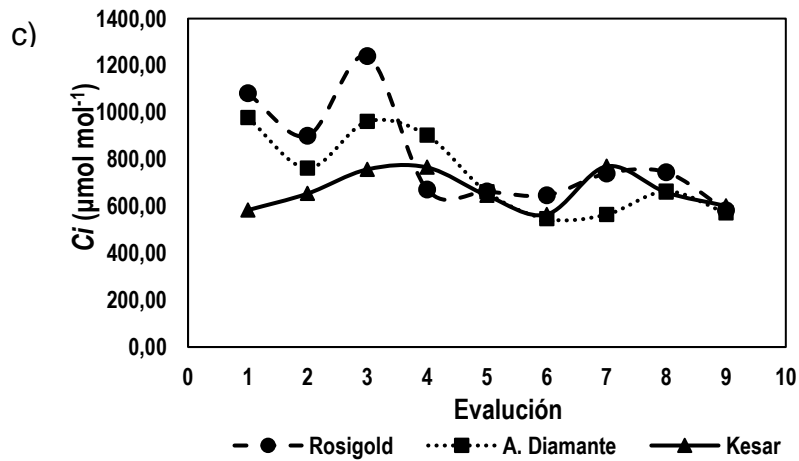
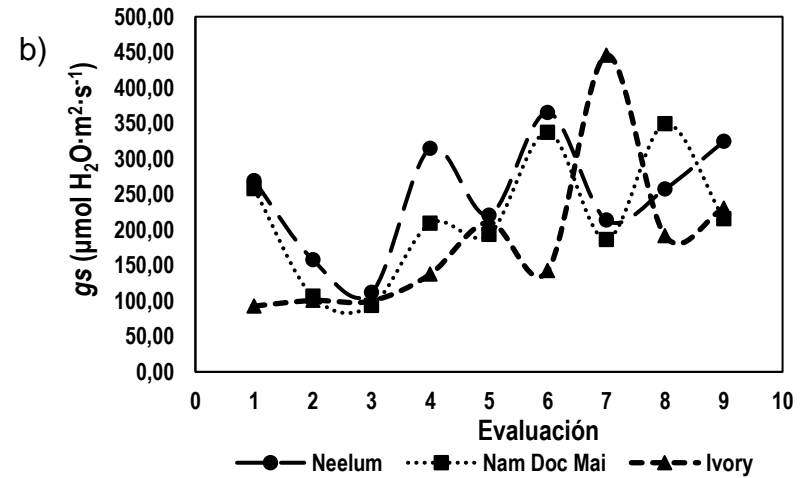
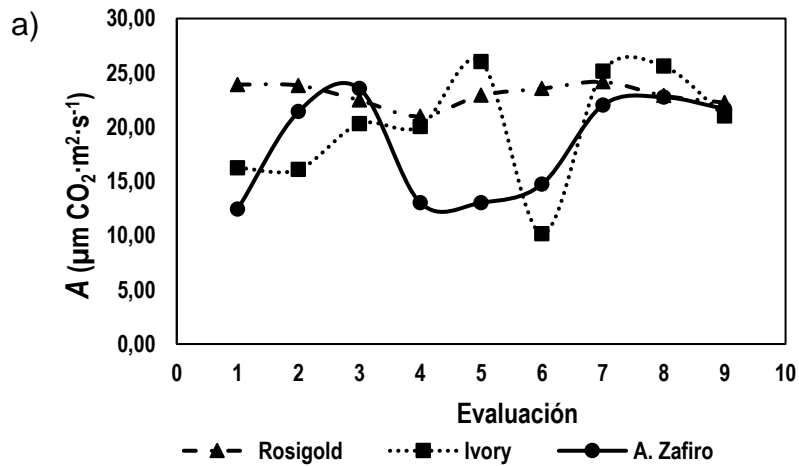


Figura 1. Cinéticas de fotosíntesis neta (a), conductancia estomática (b), concentración interna de CO_2 (c) y transpiración (d) de tres cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) durante nueve fechas de muestreo en condiciones de laboratorio.

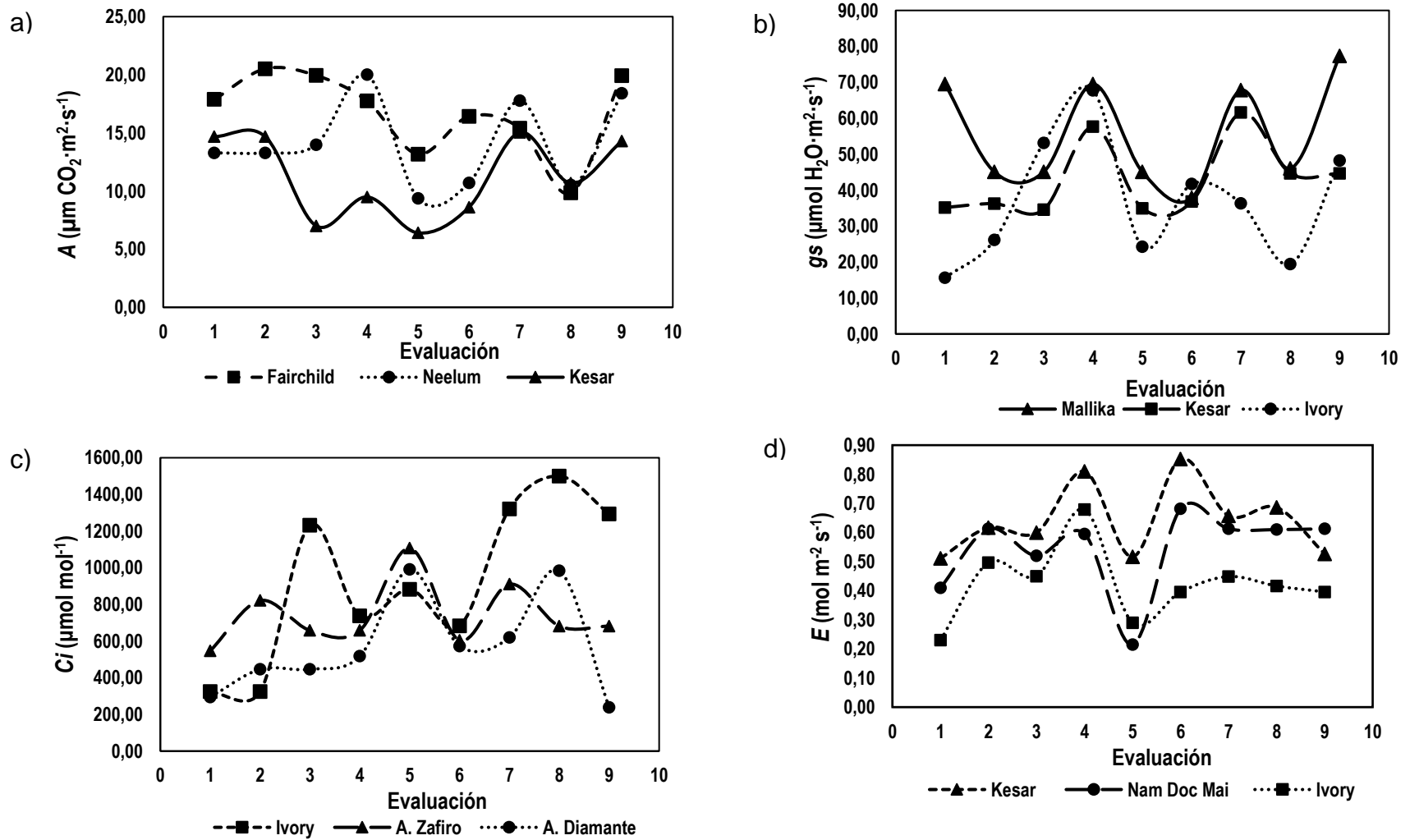


Figura 2. Cinéticas de fotosíntesis neta (a), conductancia estomática (b), concentración interna de CO_2 (c) y transpiración (d) de tres cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) durante nueve fechas de muestreo en condiciones de vivero.

Contenido de clorofila

Se mostraron diferencias significativas en el promedio del contenido de clorofila y el área bajo la curva del progreso fotosintético registrado durante nueve fechas, en donde los cultivares con el valor más alto en laboratorio lo registro Fairchild (53.50 unidades SPAD), Mallika (52.65 unidades SPAD), Ivory (52.50 unidades SPAD) y Nam Doc Mai (52.29 unidades SPAD), seguida por la variedad A. Zafiro (50.07 unidades SPAD), estadísticamente mayor que los cultivares Kesar (44.24 unidades SPAD) y Neelum (44.73 unidades SPAD) para la primera variable, para el caso de AUPPC el valor más alto se presentó en los cultivares Fairchild (2157.97 AUPPC), Mallika (2136.73 AUPPC), Nam Doc Mai (2104.41 AUPPC) e Ivory (2098.96 AUPPC), fueron estadísticamente superior a los cultivares A. Zafiro (1976.87 AUPPC), A. Diamante (1974.56 AUPPC), Alphonse (1958.61 AUPPC) y Rosigold (1918.06); estas a su vez fueron estadísticamente mayor que los cultivares Neelum (1789.70 AUPPC) Y Kesar (1761.14 AUPPC) (cuadro 3).

En el cuadro 4 se observan los resultados obtenidos en vivero, Mallika (62.94 unidades SPAD) fue estadísticamente superior a los cultivares Fairchild (57.12 unidades SPAD) e Ivory (54.32 unidades SPAD), que a su vez, Fairchild e Ivory superaron a Kesar (46.06 unidades SPAD) y Neelum (42.69 unidades SPAD). En el AUPPC los valores más altos los presento Mallika (676.61 AUPPC) y fue estadísticamente superior a los cultivares Fairchild (631.86 AUPPC) e Ivory (599.81 AUPPC); a su vez Fairchild e Ivory superaron a Kesar (473.72 AUPPC) y Neelum (470.00 AUPPC.)

Juárez *et al.* (2011), confirmaron la confiabilidad del SPAD 502 del contenido foliar de clorofila del mango Ataúlfo en hojas no infectadas e infectadas por una capa negra producida por fumagina hasta en 80 %, reporta que no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$), hoja no infectado 53.40 ± 2.144 e infectada 58.73 ± 2.140 . Resultados similares a lo reportado en laboratorio.

Cuadro 3. Unidades SPAD y área bajo la curva del progreso fotosintético (AUPPC) en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de laboratorio.

Cultivar	SPAD 502	AUPPC
Kesar	44.24 d	1761.14 c
Mallika	52.65 ab	2136.73 a
AD	48.93 c	1974.56 b
Ivory	52.50 ab	2098.96 a
Fairchild	53.50 a	2157.97 a
Alphonse	49.42 c	1958.61 b
Rosigold	47.60 c	1918.06 b
Neelum	44.73 d	1789.70 c
Nam Doc Mai	52.29 ab	2104.41 a
AZ	50.07 bc	1976.87 b

*Medias con letras iguales en las columnas no son significativamente diferentes, prueba de DMS ($p \leq 0.05$). Ataúlfo Diamante (AD), Ataúlfo Zafiro (AZ).

Cuadro 4. Unidades SPAD y área bajo la curva del progreso fotosintético (AUPPC) en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de vivero.

Cultivar	SPAD 502		AUPPC	
Kesar	46.06	ef	473.72	g
Mallika	62.94	a	676.61	a
AD	48.56	de	537.53	ef
Ivory	54.32	bc	599.81	bc
Fairchild	57.12	b	631.86	b
Alphonse	49.52	cde	551.12	def
Rosigold	51.82	bcd	570.51	cde
Neelum	42.69	f	470.00	g
Nam Doc Mai	53.40	bcd	589.46	cd
AZ	48.33	de	523.40	f

*Medias con letras iguales en las columnas no son significativamente diferentes, prueba de DMS ($p \leq 0.05$). Ataúlfo Diamante (AD), Ataúlfo Zafiro (AZ).

Contenido Nutricional

Pudieron encontrarse diferencias significativas en todos los nutrientes evaluados en laboratorio (cuadro 5), con respecto al contenido de nitrato en follaje de mango, la variedad Kesar (490.00 mg L^{-1}) registró el valor más alto y fue estadísticamente superior al resto de los cultivares.

Con relación al potasio, Mallika presentó mayor concentración y fue estadísticamente superior a los cultivares Kesar (236.17 mg L^{-1}) y A. Diamante (234.16 mg L^{-1}), a su vez superaron a Rosigold (146.00 mg L^{-1}) y Alphonse (134.11 mg L^{-1}).

Respecto al contenido de calcio en follaje de mango, se encontró que la variedad Rosigold (25.91 mg L^{-1}) registró los niveles más altos y estadísticamente superior a los cultivares Ivory (24.66 mg L^{-1}) y Nam Doc Mai (22.91 mg L^{-1}).

En el contenido de sodio, la variedad Kesar (54.75 mg L^{-1}) registró el valor más alto, seguido por Mallika (31.95 mg L^{-1}), que a su vez superó a Rosigold (14.12 mg L^{-1}).

En condiciones de vivero (cuadro 6), con respecto al contenido de nitrato en follaje de mango, los cultivares Kesar (192.25 mg L^{-1}) y Mallika (190 mg L^{-1})

registraron el valor más alto y fueron estadísticamente superior a la variedad A. Diamante (167.25 mg L^{-1}), este a su vez, fue estadísticamente mayor que la variedad Rosigold (74.00 mg L^{-1}).

Los cultivares que presentaron mayor contenido de potasio fueron A. Zafiro (391.00 mg L^{-1}) y Rosigold (387.50 mg L^{-1}), fueron estadísticamente superior a la variedad Nam Doc Mai (374.91 mg L^{-1}), a su vez Nam Doc Mai, supero al resto de los cultivares.

Con relación al calcio la variedad Ivory (34.75 mg L^{-1}) fue estadísticamente superior que la variedad A. Zafiro (25.50 mg L^{-1}), a su vez supero a la variedad A. Diamante (11.75 mg L^{-1}).

En sodio Ivory presento el valor más alto (21.62 mg L^{-1}), sin embargo, los cultivares fueron estadísticamente iguales.

Para los nutrientes móviles, como el potasio que aparece principalmente en la vacuola celular, se ha argumentado que su concentración debe ser medida en agua de tejido vegetal antes que en masa seca (Barraclough y Leigh 1993; Danyte e Igras 2008). La concentración de este tipo de nutrientes se puede medir directamente en campo utilizando ionómetros de mano (Fotyima y Fotyima, 2011). Un ejemplo de esto fue el trabajo desarrollado por Danyte e Igras (2008) con trigo de invierno, en donde La concentración de potasio por estos métodos es una mejor medida de referencia que el contenido de este elemento en materia seca vegetal, además de que este tipo de pruebas depende menos del tiempo de muestreo y de que la planta suministre nitrógeno en comparación con la prueba basada en materia seca (Fotyima y Fotyima, 2011) similar a lo encontrado en el presente estudio. El suministro adecuado de este nutrimento se asocia con niveles adecuados de clorofila, crecimiento vegetativo vigoroso, alta actividad fotosintética y síntesis de carbohidratos, de lo cual depende el rendimiento (Castro *et al.*, 2004).

Cuadro 5. Nutrimientos en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de laboratorio.

Cultivar	NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺
Kesar	490.00 a	236.17 b	19.00 bc	54.75 a
Mallika	430.00 b	280.50 a	5.75 e	31.95 b
AD	250.00 d	234.16 b	12.00 de	17.66 def
Ivory	208.83 e	172.66 cd	24.66 ab	19.83 de
Fairchild	267.50 c	213.83 bc	15.16 cd	23.00 cd
Alphonse	116.16 h	134.11 d	15.50 cd	25.91 c
Rosigold	90.25 i	146.00 d	25.91 a	14.12 efg
Neelum	142.50 f	168.94 d	7.75 e	28.79 bc
Nam Doc Mai	128.75 g	152.50 d	22.91 ab	14.00 fg
AZ	86.00 i	172.47 cd	8.33 e	8.83 g

*Medias con letras iguales en las columnas no son significativamente diferentes, prueba de DMS ($p \leq 0.05$). Ataúlfo Diamante (AD), Ataúlfo Zafiro (AZ).

Cuadro 6. Nutrimientos en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de vivero.

Cultivar	NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺
Kesar	192.25 a	303.83 e	14.00 de	20.37 a
Mallika	190.00 a	301.33 e	22.50 bc	20.12 a
AD	167.25 b	343.67 c	11.75 e	18.12 a
Ivory	134.50 e	334.67 d	34.75 a	21.62 a
Fairchild	149.12 d	304.33 e	17.87 cd	14.75 a
Alphonse	106.00 f	294.00 f	20.75 c	15.25 a
Rosigold	74.00 g	387.50 a	21.25 bc	19.00 a
Neelum	162.50 bc	304.33 e	12.12 e	20.50 a
Nam Doc Mai	155.00 cd	374.91 b	12.50 e	16.62 a
AZ	127.50 e	391.00 a	25.50 b	17.75 a

*Medias con letras iguales en las columnas no son significativamente diferentes, prueba de DMS ($p \leq 0.05$). Ataúlfo Diamante (AD), Ataúlfo Zafiro (AZ).

Correlación entre valores de clorofila de SPAD y espectrofotometría

El análisis de medias (DMS) mostró que Fairchild fue significativamente mayor al resto de los cultivares, resultados similares a los arrojados por el método del SPAD (Cuadro 7). Se encontró una relación positiva entre los análisis por espectrofotometría ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{pf}^{-1}$ de clorofila) con las unidades SPAD obtenidas en

laboratorio ($r=0.78$) (Figura 3). Borres *et al.* (2017) reporta una correlación de un sensor de color conocido como análisis de imagen digital y SPAD 502 en mango Carabao, muestra que los dos métodos pueden detectar el valor de la lectura del espécimen con una precisión casi uniforme. Los resultados indican que el dispositivo SPAD 502 puede ser un sustituto práctico del análisis de imagen digital y análisis por espectrofotometría ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{pf}^{-1}$ de clorofila) y ser utilizado para un uso rápido, preciso, no destructivo y estimando el contenido de clorofila en hojas de mango. También se determinó una estrecha relación entre las unidades SPAD registrados en vivero y laboratorio (Figuras 4). Márquez *et al.* (2017) reporta una regresión lineal entre unidades SPAD y contenido de clorofilas totales de plantas juveniles de aguacate ‘Hass’ bajo tres tratamientos de radiación solar, no se encuentran diferencias estadísticas entre los contenidos de clorofila estimados a partir de unidades SPAD en los tres tratamientos; resultados diferentes a lo parcialmente encontrado en las condiciones de laboratorio y vivero (Cuadro 3 y 4), se observaron diferencias significativas, con mayor contenido de clorofilas totales en condiciones de laboratorio.

Cuadro 7. Concentración de clorofilas totales en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango mediante el método propuesto por Hansmann (1973).

Cultivar	$\text{Mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{pf}^{-1}$ de clorofila
Kesar	1.32 CD
Mallika	1.61 ABC
A. Diamante	1.32 CD
Ivory	1.56 ABC
Fairchild	1.91 A
Alphonse	1.25 CD
Rosigold	1.48 BC
Neelum	1.06 D
Nam Doc Mai	1.86 AB
A. Zafiro	1.62 ABC

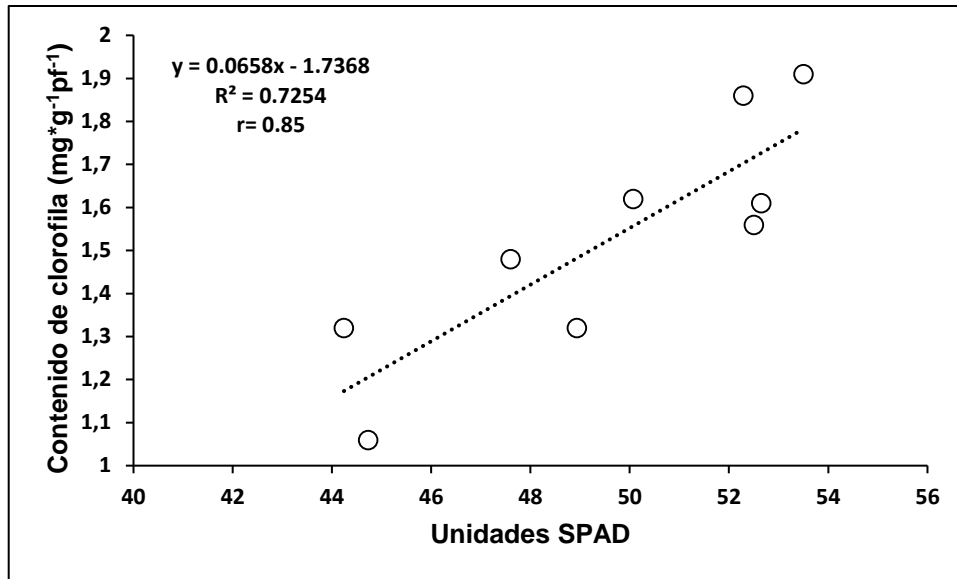


Figura 3. Correlación entre contenido de clorofila ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{pf}^{-1}$ de clorofila) y las unidades SPAD en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de laboratorio.

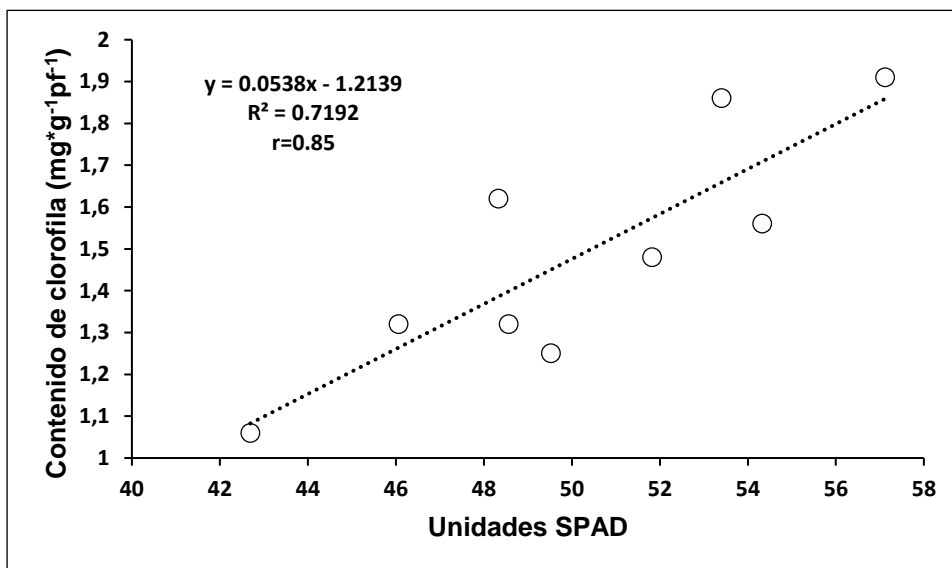


Figura 4. Correlación entre contenido de clorofila ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{pf}^{-1}$ de clorofila) y las unidades SPAD en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango en condiciones de vivero.

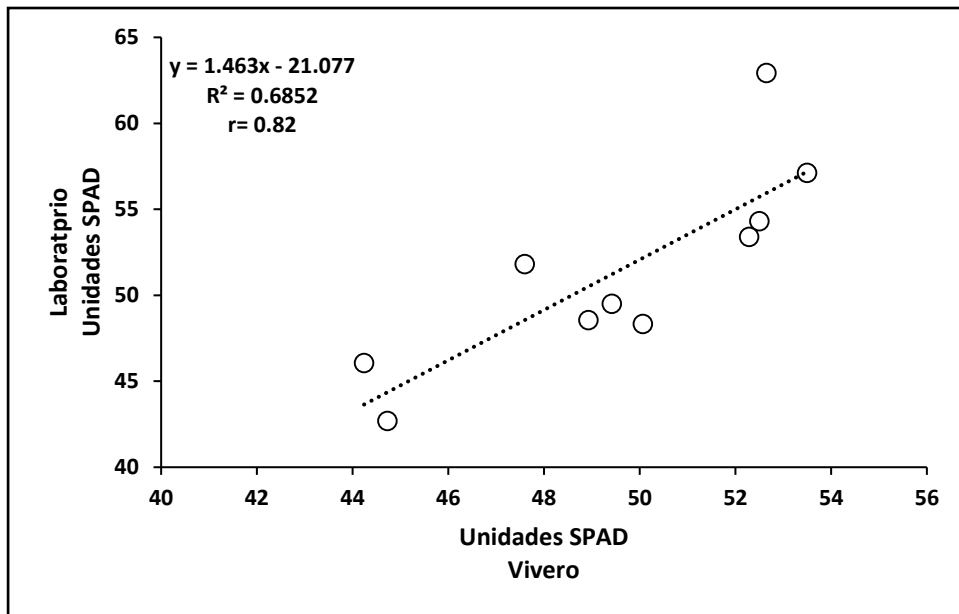


Figura 5. Análisis de regresión lineal de las unidades SPAD registradas en hojas maduras (50 ddd) de 10 cultivares de mango evaluadas en vivero y laboratorio.

CONCLUSIONES

Las variables fisiológicas utilizadas fueron capaces de clasificar los cultivares evaluados y sirven como una herramienta cuando por cuestiones de estado fisiológico de una planta (plantas juveniles o flujos vegetativos entre floraciones), no pueden ser utilizados otros (rendimiento, tamaño de frutos, grados brix, etc.). Los valores de *A*, *gs*, *C_i* y *E* presentaron cinéticas similares, que demuestran que los cultivares introducidos fotosintetizan a velocidades similares que los cultivares nacionales.

Se demostró una relación uniforme en el contenido de clorofila ($\text{Mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{pf}^{-1}$ de clorofila) por el método propuesto por Hansmann (1973) y las unidades SPAD, por lo que el uso de SPAD's es un equipo alternativo rápido, no destructivo y eficiente para estimar la confiabilidad del contenido de clorofila en mango.

Los cultivares presentaron diferencias significativas en las concentraciones de nutrimentos (NO_3^- , k^+ , Ca^{2+} y Na^+), este estudio demuestra que los ionómetros portátiles son una herramienta ecotecnológica con potencial para conocer el estado nutrimental de una planta que al compararlo con alguna referencia de la especie y el estado fisiológico y de desarrollo puede permitir al productor tomar medidas rápidas como la presencia de una deficiencia nutrimental.

LITERATURA CITADA

- Agustí, M, Fonfría, M A. 2010. *Fruticultura*. Ed. 2^{da}. Ediciones Mundi-Prensa. 493 p.
- Ayala-Garay, A V, Almaguer-Vargas, G, la Trinidad-Pérez, D, Caamal-Cauich, I, Rendón, R. 2009. Competitividad de la producción de mango (*Mangifera indica* L.) en Michoacán. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2): 133-140.
- Barraclough, P B., Leigh, R A. 1993. Critical plant K concentrations for growth and problems in the diagnosis of nutrient deficiencies by plant analysis. *Plant and soil*, 155(1): 219-222.
- Borres, B A L, Cahila, I S M, Mapanao, C E O, Tanumtanum Jr, E A, Sison, C C, Juarizo, C G. 2017. An RGB Sensor-Based chlorophyll estimation in carabao mango leaves by multiple regression analysis of hue saturation value color components. Presented at the DLSU Research Congress 2017 De La Salle University, Manila, Philippines June 20 to 22, 2017.
- Callejas, R, Kania, E, Contreras, A, Peppi, C, Morales, L. 2013. Evaluación de un método no destructivo para estimar las concentraciones de clorofila en hojas de variedades de uva de mesa. *Idesia (Arica)*, 31(4): 19-26.
- Campbell, C W, Madden, L, V. 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 532 p.
- Castro, B R, Galvis, S A, Sánchez, G P, Peña, L A, Sandoval, V M, Alcantar, G G. 2004. Demanda de nitratos en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10: 147- 152.
- Damián. N A., Ramírez, R I., Peña, V C. B., Díaz, V G., González, H V. A. (2009). Características del intercambio de gases en hojas de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2), 119-126.
- Danyte, V, Igras, J. 2008. Potassium status of winter wheat and maize depending on nitrogen fertilization. *Nawozy i Nawożenie*, 31.
- Díaz, K, Ortega, R, Luppichini, P. 2002. Medidores de clorofila. Usos y potenciales. Capítulo 4. *Mejores prácticas de manejo. Cultivos tradicionales de la Zona Centro Sur de Chile. Boletín INIA*, (75): 97-111.

- Flexas, J, Ribas-Carbó, M, Díaz-Espejo, A, Galmés, J, Medrano, H. 2008. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. *Plant, Cell and Environment*. 31: 602–621.
- Fotyma, M, Fotyma, E. 2011. New developments in soil testing and plant analysis. Rada Konsultacyjna–Advisory Board. *Fertilizers and fertilization* (42) 5-19.
- Galán, S V. 2009. *El Cultivo del Mango*. Ed. 2^{da}. México. Mundi-Prensa, S.A. de C.V. 340 p.
- García, E. 1988. *Clasificación Climática Köppen, Modificada por Enriqueta, García*. UNAM, México.
- González, H V A, Ramírez, R I, Palacio, M V, Hernández, J P. 2011. Efecto de la Fumagina (*Capnodium* spp., *Meliola* spp.) sobre la fisiología de hojas de mango. Informe de la Etapa 3 (año 3), proyecto 48595. 8 p.
- Hansmann, E. 1973. Pigment analysis. *Handbook of phycological methods, culture methods and growth measurements*. Cambridge University Press, London, 359-368.
- Ledin, R B. 1957. Tropical and subtropical fruits in Florida (other than Citrus). *Economic Botany*, 11(4): 349-376.
- Long, S P, Bernacchi, C J. 2003. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. *Journal of experimental botany*, 54(392): 2393-2401.
- Lu, P, Chacko, E K, Bithell, S L, Schaper, H, Wiebel, J, Cole, S, Müller, W J. 2012. Photosynthesis and stomatal conductance of five mango cultivars in the seasonally wet–dry tropics of northern Australia. *Scientia horticulturae*, 138: 108-119.
- Márquez, N F G, Melgarejo, L M, Alvarez, F. 2017. Caracterización ecofisiológica de plantas juveniles de aguacate ‘HASS’ (*Persea americana* VAR. ‘HASS’) *bajo distintas condiciones de luz solar* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá).
- Mora, A G, Noriega, C D H, Pérez, B M H. 2017. *El mango su cultivo, fitosanidad y comercialización*. Primera edición. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco Estado de México. 276 p.

- Parsons, T R, Strickland, J D H. 1963. Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Mar. Res.* 21: 155-163.
- Ramírez, R I, González, H V A, Juárez H P, Mora, A J A. 2011. Diferencias varietales en capacidad fotosintética del mango. *Memorias de resúmenes del XIV Congreso Nacional de la SOMECH, A.C. Culiacán, Sin., México.* Abril, 2011. pp. 1.
- SENASICA. 2009. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Campaña de Manejo Fitosanitario del Mango en el Estado de Guerrero. http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=campa%C3%B1a+escama+blanca+senasica+guerrero&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.senasica.gob.mx%2Fincludes%2Fasp%2Fdownload.asp%3Fiddocumento%3D11745%26idurl%3D16658&ei=aP6mUay5LpK68wTo_YGgDg&usg=AFQjCNEfFrkcUfbCNLejk07NbGS4HmhXpw
Consultada: 20 junio 2017.
- Sharkey, T D, Bernacchi, C J, Farquhar, G D, Singaas, E L. 2007. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C₃ leaves. *Plant, Cell and Environment.* 30: 1035–1040.
- Taiz, L, Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology*. Ed. 3^{ra}. Sinauer Associates. 1265 p.
- Tapia, L M, Aguilera, J L, Rocha, J L, Cruz, S, Castellanos, J Z. 2003. Índices de referencia nutrimental N, P y K en aguacate (*Persea americana*, Mill) var. "HASS" bajo fertirriego en Michoacán, México. In *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate)* (pp. 401-407).

CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE VARIEDADES DE MANGO

RESUMEN

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. El objetivo del presente estudio fue conocer características bioquímicas (pigmentos fotosintéticos, tipo y proporción de carbohidratos) de ocho cultivares de reciente introducción y dos de reciente registro en México. Se evaluaron mediante análisis espectrofotométrico las concentraciones de azúcares totales, reductores y almidones, así como el contenido de clorofilas *a*, *b* y carotenoides de los cultivares Nam Doc Mai, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild, Kesar, Ataúlfo Diamante y Ataúlfo Zafiro. 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, 0.32; 0.20, 0.24, 0.23, 0.29, 0.28 mg*g⁻¹ p.f. ⁻¹) presentaron los valores más altos (respectivamente), el contenido de almidones fue muy heterogéneo y se identificó a Rosigold (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 pigmentos fotosintéticos. Con base en el análisis de regresión (R²) y correlación (r) pudo observarse cierta dependencia entre las variables; en el caso de azúcares totales y reductores (r=0.70), en la relación azúcares totales y almidones (r=0.76) y en la concentración de azúcares reductores y almidones (r=0.79); para el caso de los pigmentos fotosintéticos pudo identificarse una estrecha dependencia entre las variables clorofilas alfa, beta y carotenoides (r=0.99); sin embargo, en la interacción carbohidratos - pigmentos fotosintéticos, y a excepción de Ivory y Mallika, solo pudo observarse correlación significativa en sentido negativo entre azúcares totales y clorofilas alfa (r= -0.80), beta (r= -0.80) y carotenoides (r= -0.82).

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

ABSTRACT

The mango is cultivated in most of the 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 like Mexico, which holds the first place in export. The objective of the present study was to know biochemical characteristics (photosynthetic pigments, type and proportion of carbohydrates) of eight recently introduced cultivars and two of recent registration in Mexico. The concentrations of total sugars, reducers sugars and starches, as well as the content of chlorophylls alpha, beta and carotenoids of the cultivars Nam Doc Mai, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild, Kesar, Ataulfo Diamante and Ataulfo, were evaluated by spectrophotometric analysis. Sapphire. In the case of total and reducing sugars, the cultivars Kesar, Nam Doc Mai, Ivory, Mallika and A. Sapphire (0.42, 0.34, 0.34, 0.33, 0.32, 0.20, 0.24, 0.23, 0.29, 0.28 mg*g⁻¹ p.f. ⁻¹) presented the highest values (respectively), the starch content was very heterogeneous and Rosigold (0.36 mg*g⁻¹ p.f. ⁻¹) was identified as the cultivar with the higher levels. The results showed Ivory (0.64, 0.59, 0.27 mg*g⁻¹ p.f. ⁻¹) as the cultivar with the highest concentration of photosynthetic pigments. Based on the regression analysis (R²) and correlation (r), a certain dependence between the variables could be observed; in the case of total and reducing sugars (r= 0.70), in the ratio of total sugars and starches (r= 0.76) and in the concentration of reducing sugars and starches (r= 0.79); In the case of photosynthetic pigments, a close dependence could be identified between the alpha, beta and carotenoid chlorophyll variables (r= 0.99); however, in the interaction carbohydrates - photosynthetic pigments, with the exception of Ivory and Mallika, only significant correlation could be observed in a negative sense between total sugars and chlorophylls alpha (r= -0.80), beta (r= -0.80) and carotenoids (r= -0.82).

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

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es originario de la región indobirmana, y actualmente se cultiva en diversos agroecosistemas tropicales y subtropicales del mundo. Alrededor de 95 países cuentan con plantaciones comerciales, produciendo 30 millones de toneladas, de las cuales la vasta mayoría es consumida internamente y únicamente se exporta alrededor de 3 % (Infante *et al.*, 2011). Mientras que en Asia se produce el 77 % de la producción, Latinoamérica contribuye con el 13 % (FAOSTAT, 2016).

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 Kent, Tommy Atkins, Haden, Sensation y Keitt, no obstante, recientemente, 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, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild y Kesar) procedentes del Fairchild Tropical Botanic Garden en Florida, USA, adicionalmente, el INIFAP registró en 2009 y 2012 Ataúlfo Diamante y Ataúlfo Zafiro, lo que hizo necesario evaluar su adaptabilidad (tolerancia a plagas, crecimiento y desarrollo, fenología, necesidades hídricas y nutrimentales) 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 variedad como son, proporción de azúcares totales, reductores, almidón y pigmentos fotosintéticos en follaje. El mango es una fruta climatérica compuesta principalmente de agua y carbohidratos, con un pequeño contenido de fibra dietética, proteína, lípidos y vitaminas. Dependiendo de la variedad de mango 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). El carbono fijado durante la fotosíntesis 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). Se reconoce una estrecha relación entre el

contenido de carbohidratos no estructurales y la alternancia de la producción, ya que cuando se tiene un año de baja producción, los niveles de carbohidratos en las hojas son bajos (Jones *et al.*, 1975). 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 altas cosechas (Osuna *et al.*, 2001). La variedad de mango y la etapa de maduración juegan un papel importante en la cantidad de carbohidratos presentes en la fruta (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, sin embargo, se encontró poca información sobre estudios que demuestren el contenido de azúcares en fruto. 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 reducción 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 senescen (Turgeon, 1989). De acuerdo con Goldschmidt y Koch (1996), en las zonas subtropicales las plantas de cítricos durante el invierno acumulan carbohidratos en las raíces y las hojas que se movilizan y utilizan durante la floración en primavera. Almeida (2003) observó una rápida disminución de los carbohidratos no estructurales presentes en raíces y hojas durante la floración seguido por un aumento al inicio de la abscisión de los frutos y franca disminución al final del periodo de crecimiento exponencial del fruto.

Es por ello que en el presente trabajo se planteó el objetivo de determinar los perfiles bioquímicos en follaje de cada variedad seleccionada, como parámetro importante en la selección y establecimiento de cultivares en una región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó durante los meses de marzo a diciembre de 2016, en la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local de la Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Tuxpan (18° 20' 39" N, 99° 29' 53" O) Iguala de la Independencia, Guerrero, México, a 760 msnm, temperatura media anual de 25.8 °C y precipitación media anual es de 977.15 mm (García, 1988).

Se utilizaron plantas de mango, de 18 meses de edad injertados con los cultivares Nam Doc Mai, Rosigold, Mallika, Ivory, Alphonse, Neelum, Fairchild, Kesar, que fueron introducidos hace cinco años en México. Los cultivares son provenientes de Fairchild Tropical Botanic Garden en Florida, USA y dos de ellos fueron seleccionados en México como son Ataúlfo Diamante y Ataúlfo Zafiro. Estos materiales fueron plantadas en bolsa de polietileno negras para macetas de 27 X 27 cm con capacidad de 5 L, mismas que 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. Se recolectaron cuatro hojas maduras con muestreo foliar, planta como en cada unidad experimental y un total de cuatro plantas (repeticiones) por variedad, se llevaron al Laboratorio de Fisiología vegetal del Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo para la determinación de azúcares solubles totales, azúcares reductores, almidones, pigmentos fotosintéticos y carotenoides.

Azúcares totales

Para el análisis de azúcares se tomó 1 g de tejido foliar en trozos (0.25 x 0.25 cm) de cada muestra y se colocó en un matraz con alcohol etílico a 80 % (40 mL) y 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 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 Nelson-Somogyi 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 absorbancia 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 alpha y beta)

Siguiendo el método espectrofotométrico descrito por Witham (1971) para la determinación de pigmentos fotosintéticos. Se utilizó 25 g de muestra, se trituró y 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" = $12.7 (A_{663}) - 2.59 (A_{645})$; Clorofila "b" = $22.9 (A_{645}) - 4.68 (A_{663})$; donde A663 y A645 corresponden a las absorbancias a 663 y 645 μm de longitud de onda, medidas con un espectrofotómetro. 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 las capas más 50 mL de H₂O destilada repitiendo el proceso tres veces, agregar 5 mL de NaOH 10 N que forman dos capas y se agrega 50 mL de agua para retirar el HaOH, el proceso anterior de lavado se realiza tres veces

hasta observar que no tenga grasa, filtrar en papel filtro y medir el volumen filtrado. Al extracto final se le registro su absorbancia a 452 nm en un espectrofotómetro. La curva de calibración se realizó con β -caroteno.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de normalidad con Minitab Statistical Software, análisis de varianza y comparación de medias (Tukey $\alpha= 0.05$ %) con el software de estadístico SAS, V.9.1.3 (SAS Institute Inc, 2003) para las variables: Azúcares totales, azúcares reductores, almidones, clorofila alpha, clorofila beta y carotenoides entre cultivares.

RESULTADOS Y DISCUSION

Concentración de azúcares

Se observaron diferencias significativas en azúcares totales, el cultivar Kesar superó estadísticamente el resto de los cultivares de mango. El cultivar Ataúlfo Diamante presentó menor cantidad de azúcares (Figura 5). Al estudiar el contenido de azúcares reductores en los cultivares de mango, se observó mayor contenido de azúcares en Mallika, A. Zafiro, Kesar, Nam Doc Mai e Ivory, mientras que A. Diamante y Rosygold exhibieron valores inferiores (Figura 6). En un trabajo de investigación estudiaron azúcares reductores en fruto inmaduro del cv. "Tommy Atkins" y reportaron 1.5 % (Oliveira *et al.*, 2001), menor que el determinado en frutos maduros de la variedad de Mango "Coite" 3.8 % (Cabral *et al.*, 2003) y var. "Kensington" 4.3 % (Malik *et al.*, 2006). Este patrón es debido al hecho de que en la fruta inmadura solo los grupos reductores de las cadenas de almidón se determinaron, y para los oligosacáridos de mango maduros a partir de la hidrólisis del almidón, la maltosa, la glucosa y fructosa se cuantificaron (Bello *et al.*, 2007).

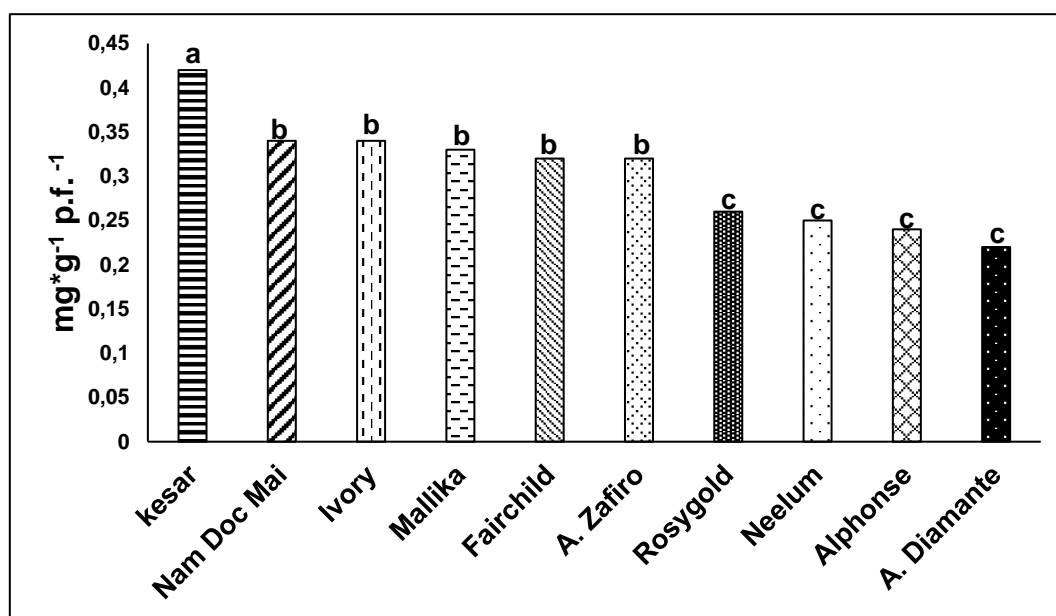


Figura 6. Concentración de azúcares totales en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

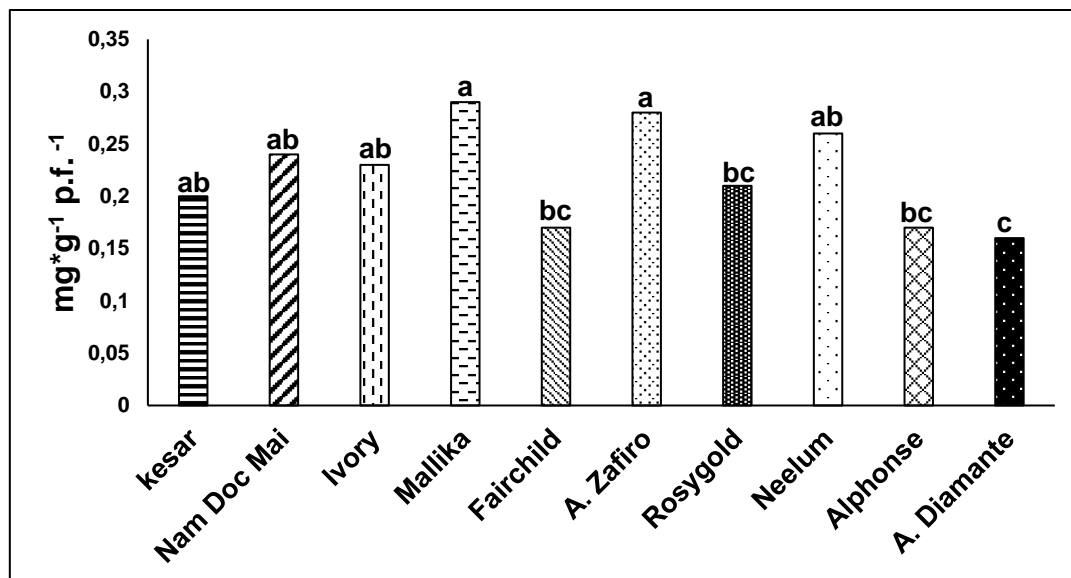


Figura 7. Concentración de azúcares reductores en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

El contenido de almidones fue muy heterogéneo entre los cultivares, en esta variable pudo detectarse a Rosygold como la variedad con nivel alto de carbohidrato, seguido de Fairchild, A. Zafiro y Nam Doc Mai, dejando en los últimos lugares a Kesar, Neelum, Alphonse y A. Diamante (Figura 7). En general las concentraciones fueron menores que la de azúcares solubles totales, resultados similares a los reportados por Flores-Medina *et al.* (1999) en cultivares de durazno. Osuna *et al.* (2001), informaron que la concentración de almidón en las yemas de mango cv. Manila no varió significativamente entre tratamientos. Los resultados encontrados en este estudio fueron semejantes a los reportados por Satisha y Ramteke (2016), quienes caracterizaron fisiológicamente 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.

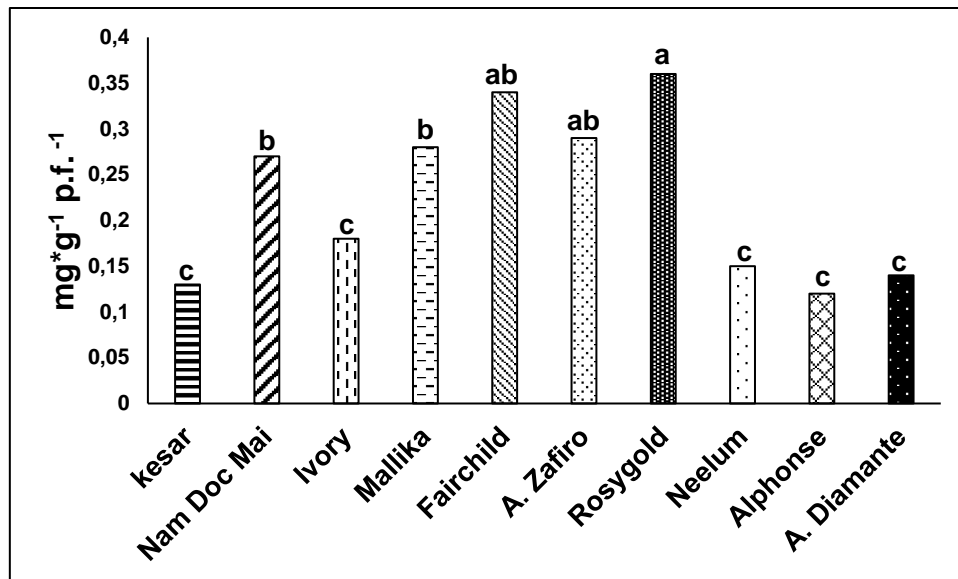


Figura 8. Concentración de almidón en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Bertling y Bower (2005), documentaron en aguacate, especie de la misma familia, que un árbol para producir fruta consistentemente aceptable en tamaño y calidad depende de la producción y distribución de carbohidratos y que dichos parámetros pueden ser utilizados para predecir la calidad de fruto. De acuerdo con Laskowski (2014), reportó variación en el contenido de carbohidratos solubles totales y reductores, en hojas y raíces de plantas de naranja 'Valencia' y mandarina 'Dancy', que siguieron 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 y la producción.

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 compuestos principales de almacenamiento en los tejidos vegetales, pero el tipo de carbohidrato y su concentración varía con la estación, la especie vegetal, el tejido y el estado de desarrollo.

Pigmentos fotosintéticos

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidenciaron a 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 alfa, beta y carotenoides (Figuras 8, 9 y 10). 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. Loggini *et al.* (1999) encontraron diferencias significativas en clorofilas *a* y carotenoides en dos variedades de trigo bajo tratamientos de estrés hídrico.

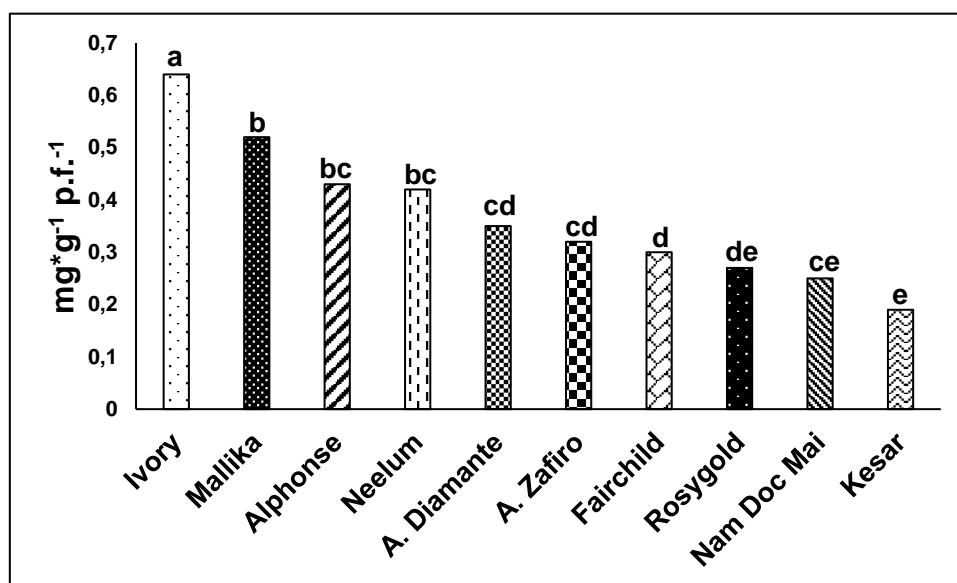


Figura 9. Concentración de clorofila Alpha en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

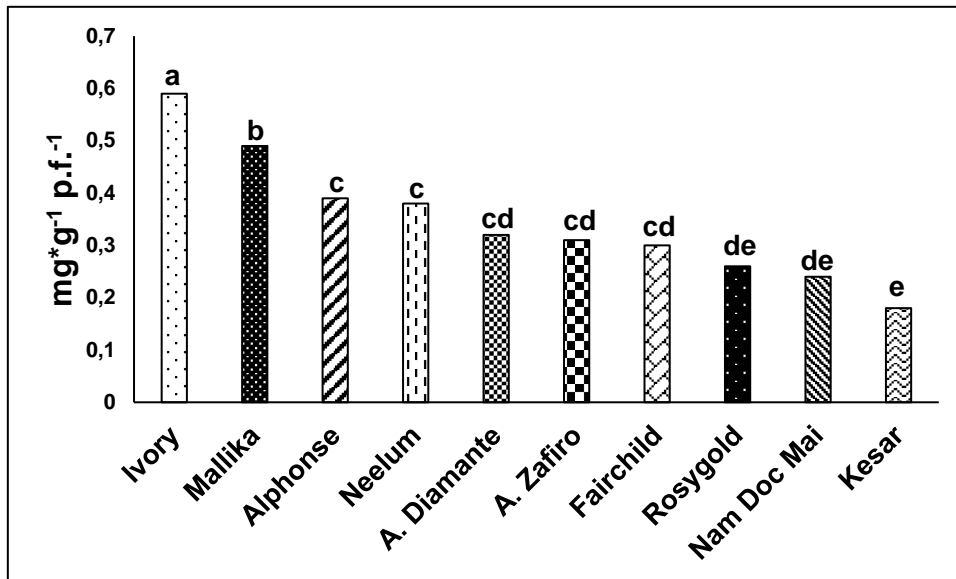


Figura 10. Concentración de clorofila beta en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

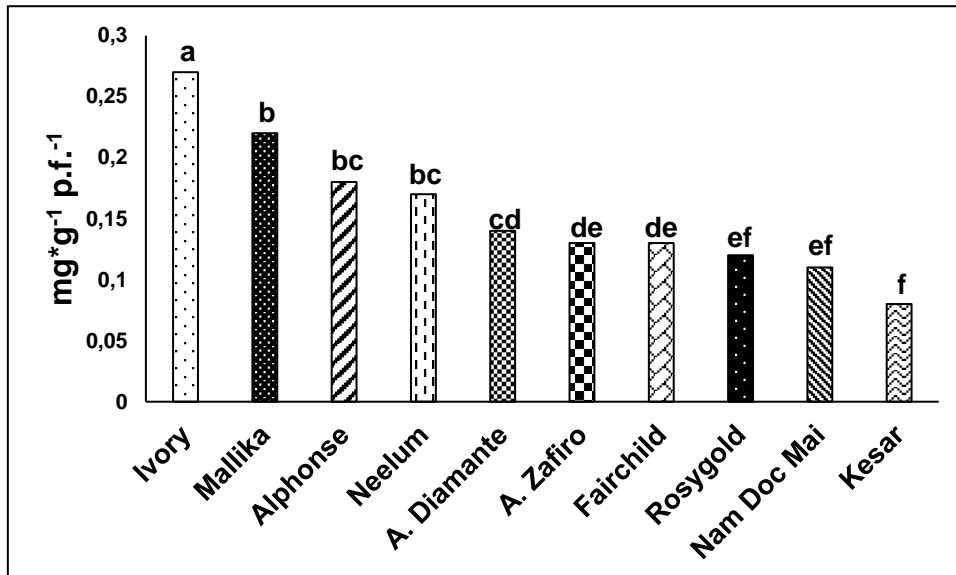


Figura 11. Concentración de carotenoides en hojas maduras de 50 ddd de 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en condiciones de vivero. * Letras iguales en las barras no son significativamente diferentes, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Análisis de correlación

Con base en el análisis de regresión (R^2) y correlación (r) 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 correlación positiva y significativa $r=0.70$, respectivamente (Figura 11). La relación de azúcares totales y almidones y exceptuando a los cultivares Kesar y Rosigold, pudo registrarse una correlación de $r=0.76$ (Figura 12) y en el análisis entre la concentración de azúcares reductores y almidones, con excepción de Fairchild y Rosigold se obtuvo una correlación de $r=0.79$, lo que indica una relación cercana entre las variables (Figura 13). Para el caso de los pigmentos fotosintéticos, y con base en el análisis de regresión y correlación, pudo identificarse una estrecha dependencia entre las variables en la concentración ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ p.f. $^{-1}$) de clorofilas alfa, beta y carotenoides ($r=0.99$) (Cuadro 8); sin embargo, en la interacción carbohidratos-pigmentos fotosintéticos, y con excepción de los cultivares Ivory y Mallika, solamente pudo observarse correlación significativa en sentido negativo entre azúcares totales y clorofilas alfa ($r= -0.80$), beta ($r= -0.80$) y carotenoides ($r= -0.82$) (Figuras 14, 15, 16 y 17), lo anterior implica una baja actividad fotosintética en órganos que en un momento determinado son demandantes de azúcares en la planta.

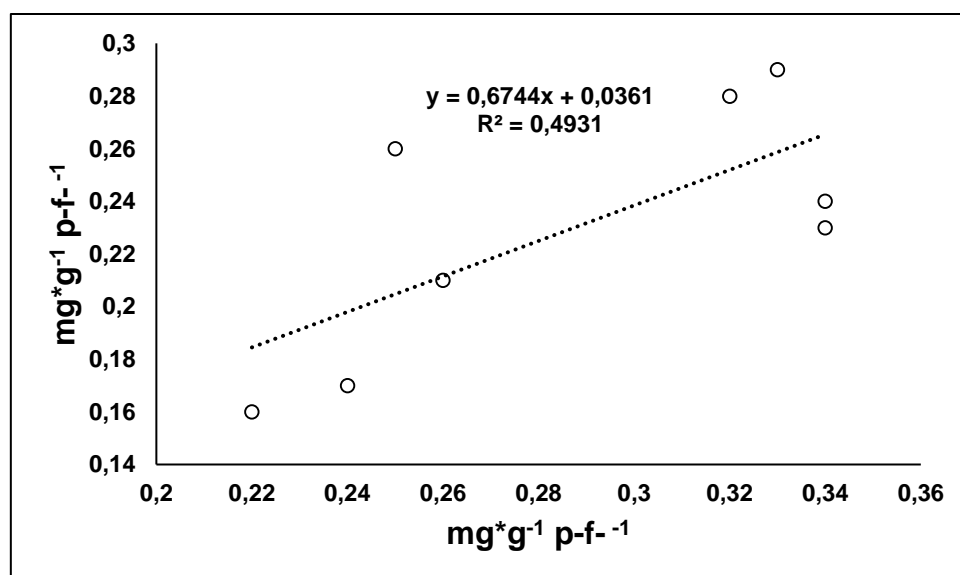


Figura 12. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares totales y reductores, en hojas maduras (50 ddd) de mango (*Mangifera indica* L.).

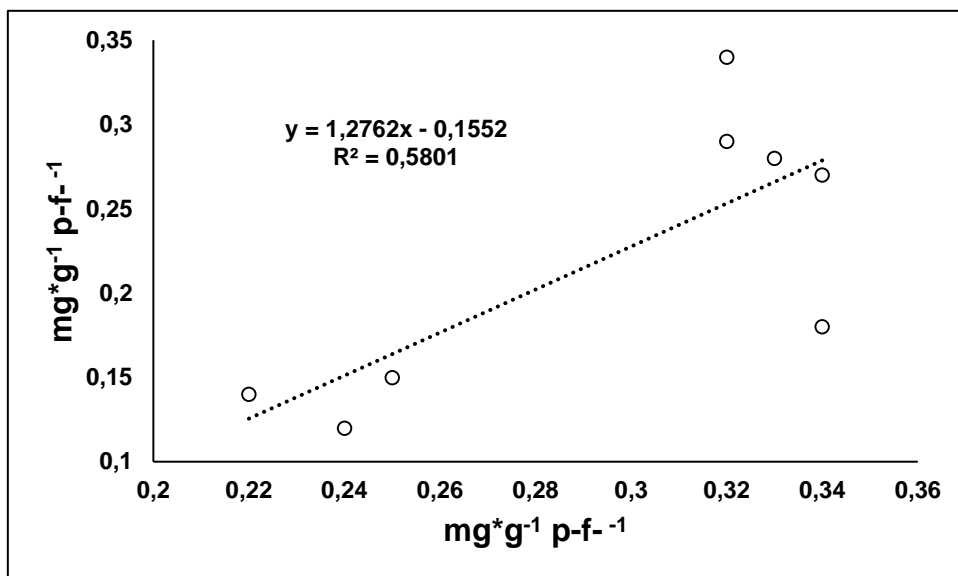


Figura 13. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares totales y almidones en hojas maduras (50 ddd) de mango (*Mangifera indica* L.).

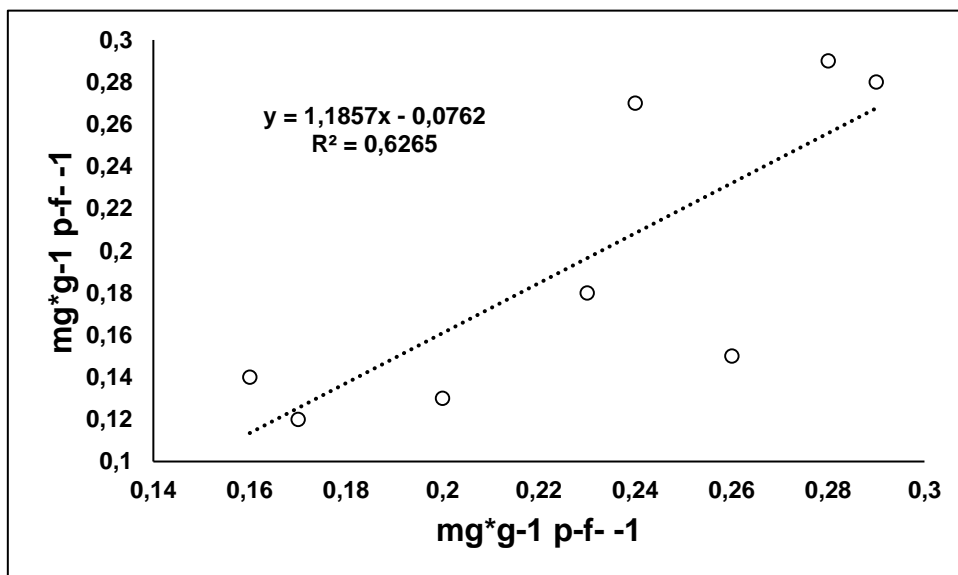


Figura 14. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares reductores y almidones en hojas maduras (50 ddd) de mango (*Mangifera indica* L.).

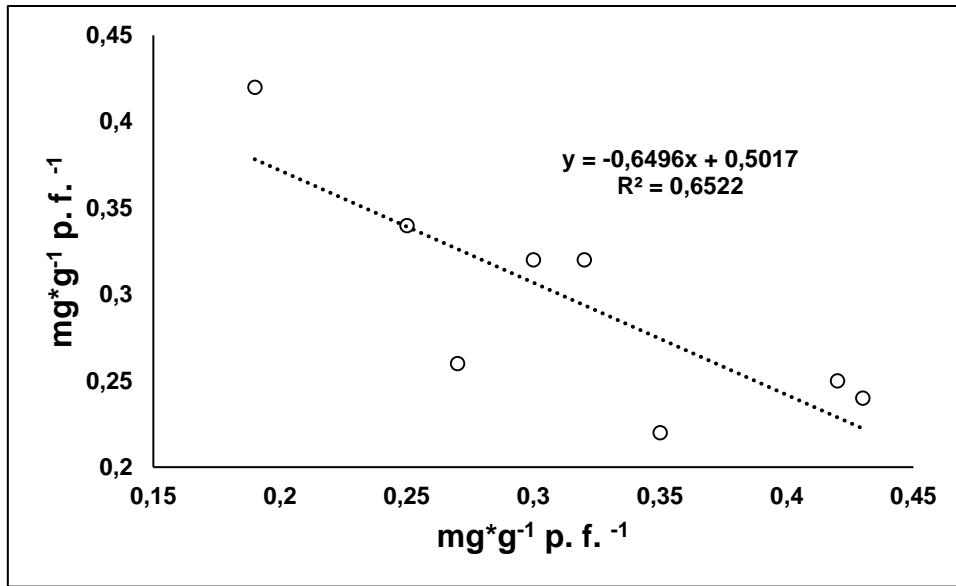


Figura 15. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares reductores y clorofilas alpha en hojas maduras (50 ddd) de mango (*Mangifera indica* L.).

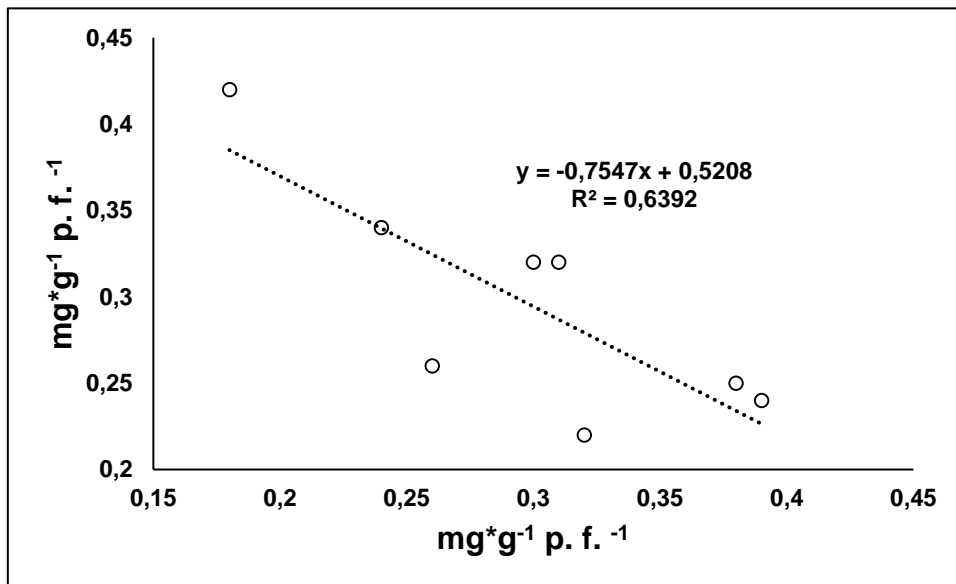


Figura 16. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares reductores y clorofilas beta en hojas maduras (50 ddd) de mango (*Mangifera indica* L.).

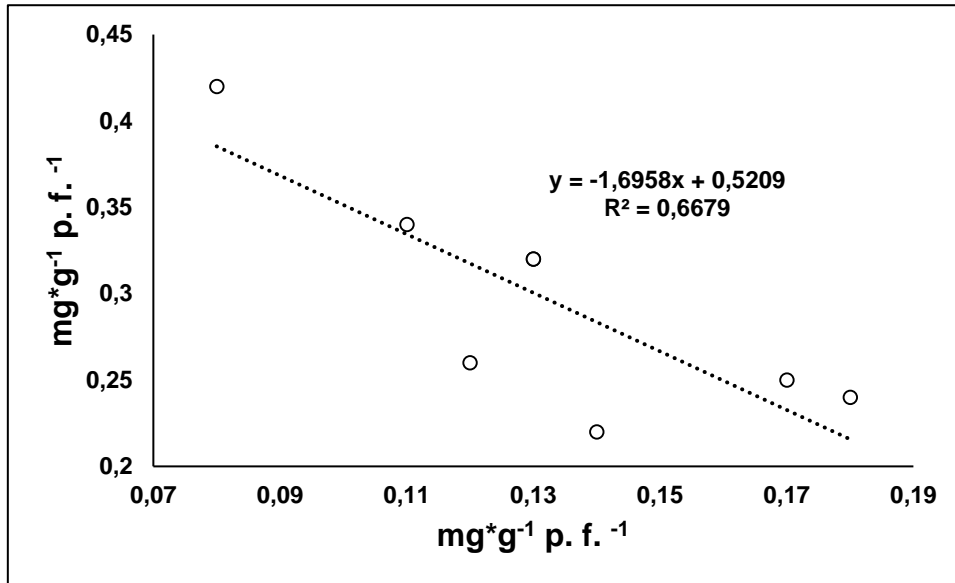


Figura 17. Análisis de regresión lineal (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: concentración de azúcares reductores y carotenoides en hojas maduras (50 ddd) de mango (*Mangifera indica* L.).

Cuadro 8. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables: Clorofilas alpha, beta y carotenoides en 10 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) de reciente introducción en México.

	Clorofila beta	Carotenoides	Clorofila alpha
Clorofila alpha	0.99	0.99	-
Clorofila beta	-	0.99	0.99

CONCLUSIONES

Pudieron observarse diferencias significativas en la concentración de diferentes tipos de carbohidratos en los cultivares evaluados, donde 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 alfa, beta y carotenoides. El análisis de regresión y correlación permitieron explicar la relación entre las concentraciones de los diferentes tipos de carbohidrato, pigmentos fotosintéticos, interacción carbohidratos/pigmentos fotosintéticos. Relación negativa significativa entre azúcares totales y clorofilas alfa.

LITERATURA CITADA

- 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, Agama, A E. 2007. Mango Carbohydrates. *Food*, 1, 36-40.
- Bertling, I, Bower, J P. 2005. Sugars as energy sources—is there a link to avocado fruit quality. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 28: 24-27.
- Cabral, B M C, Arraes, M G, Pontes, L D, de Sá Parente, E J, Cabral, C C, Renata, T N R, Feitosa, T, Machado de Sousa, P H. 2003. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratção osmótico-solar. *Revista Brasileira de Fruticultura* 25: 38-41.
- Camacho, C J, Weng, Z, Vajda, S, De Lisi, C. 1999. Free energy landscapes of encounter complexes in protein-protein association. *Biophysical Journal*, 76(3): 1166-1178.
- 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, 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: 59-62.
- Ekmekçi, Y, Tanyolac, D, Ayhan, B. 2008. Effects of cadmium on antioxidant enzyme and photosynthetic activities in leaves of two maize cultivars. *Journal of plant physiology*, 165(6): 600-611.
- 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, 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*, 5(2): 89-94.

- García, E. 1988. Clasificación Climática Köppen, Modificada por Enriqueta, García. UNAM, México.
- Goldschmidt, E E, Koch, K E. 1996. Citrus. *Photoassimilate distribution in plants and crops*. New York: Marcel Dekker Inc, pp. 797-823.
- Infante, F, Quilantán, J, Rocha, F, Esquinca, H, Castillo, A, Ibarra-Núñez, G, Palacio, V. 2011. Mango Ataulfo: orgullo chiapaneco. *Biodiversitas*, 96: 1-5.
- Jones, W W, Embleto, T W, Coggins, CW. 1975. Starch content of roots of 'Kinnow' mandarin trees bearing fruit in alternate years. *HortScience* 10: 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*, 31(1): 22.
- Loggini, B, Scartazza, A, Brugnoli, E, Navari-Izzo, F. 1999. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant physiology*, 119(3): 1091-1100.
- Malik, A U, Zingh, Z. 2006. Improved fruit retention, yield and fruit quality in mango with exogenous application of polyamines. *Scientia Horticulturae* 110,167-174.
- Mobin, M, 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*, 164(5): 601-610.
- Monteón, O A, Mora, A J, Villegas, M A, Nava, D C, Hernández, C E, Hernández, M J. 2012. Temporal analysis and fungicide management strategies to control mango anthracnose epidemics in Guerrero, Mexico. *Tropical Plant Pathology*, 37(6): 375-385.
- Ortega, D M L, Rodríguez, C C. 1979. Estudio de carbohidratos en variedades mexicanas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L.). *Agrociencia* 37: 33-49.
- Osuna, E T, Becerril, R A E, Mosqueda, V R, Villarreal-Romero, M, Castillo-Morales, A. 2001. Promotores de floración y concentración de almidón y aminoácidos en yemas de mango. *Chapingo serie Horticultura*, 7(2): 209-223.

- Parsons, T R, Strickland, J D H. 1963. Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Mar. Res.* Vol. 21: 155-163.
- Pattanagul, W, 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.
- Polomski, R F, Barden, J A, Byers, R E, 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: 506-511.
- Satisha, J, Ramteke, S D, Karibasappa, G S. 2016. Physiological and biochemical characterization of grape rootstocks. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 28(2): 163-168.
- Somogyi, M. 1952. Notes on sugar determination *Journal of Biological Chemistry*. 195: 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. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 40: 119-138.
- Whitham, F H, Blaydes, D F, Devlin, R M. 1971. *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold Company. New York. pp 55-58.
- Yuan, R, Huang, H. 1988. Litchi fruit abscission: its patterns, effect of shading and relation to endogenous abscisic acid. *Scientia Horticulturae* 36: 281-292.

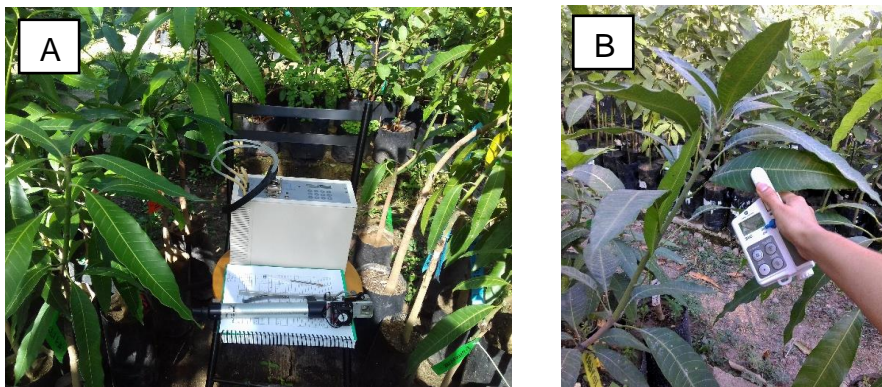
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES

Este tipo de trabajos permite realizar una temprana toma de decisiones para el establecimiento de cultivos, principalmente perennes, en donde la evaluación de rendimiento, resistencia a agobio hídrico, susceptibilidad a plagas y enfermedades, puede tomar años. La presente investigación expone que los cultivares de mango amarillos introducidos se adaptarán satisfactoriamente a las condiciones ambientales del país.

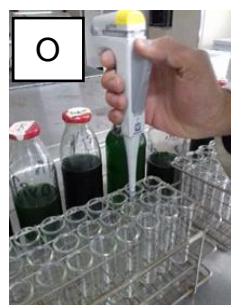
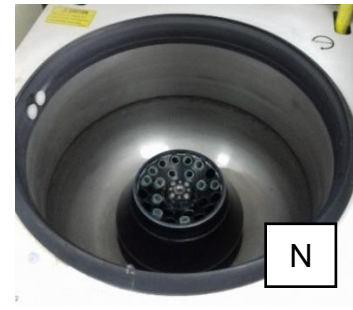
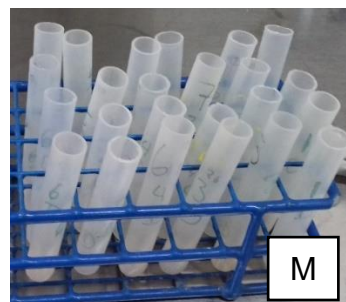
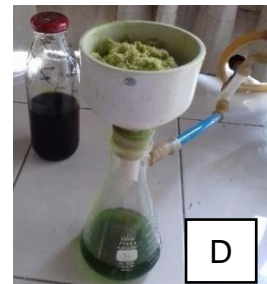
APÉNDICE



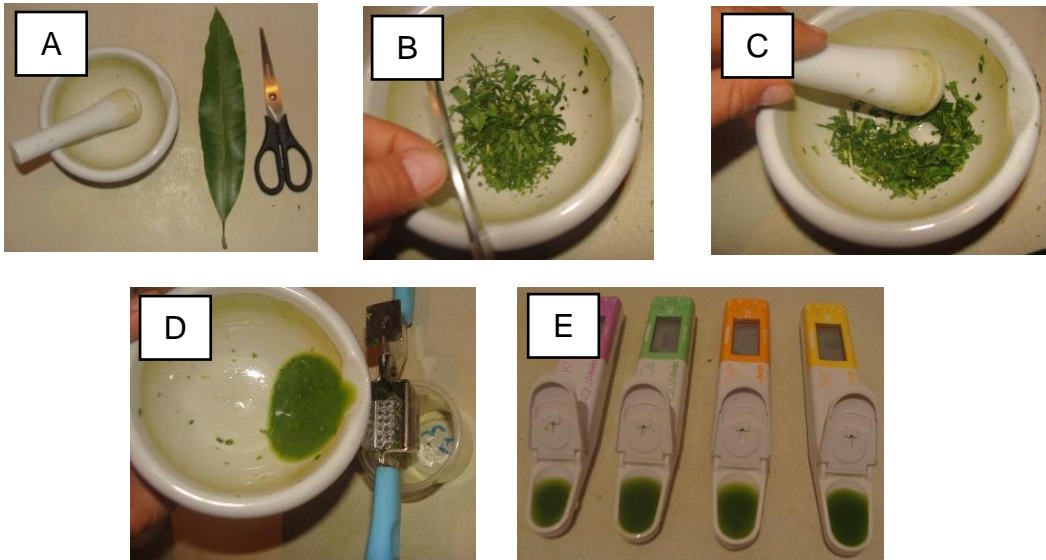
Anexo 1. Plantas de mango (*Mangifera indica* L.) de 10 cultivares de reciente introducción en México en condiciones de laboratorio (A) y vivero (B).



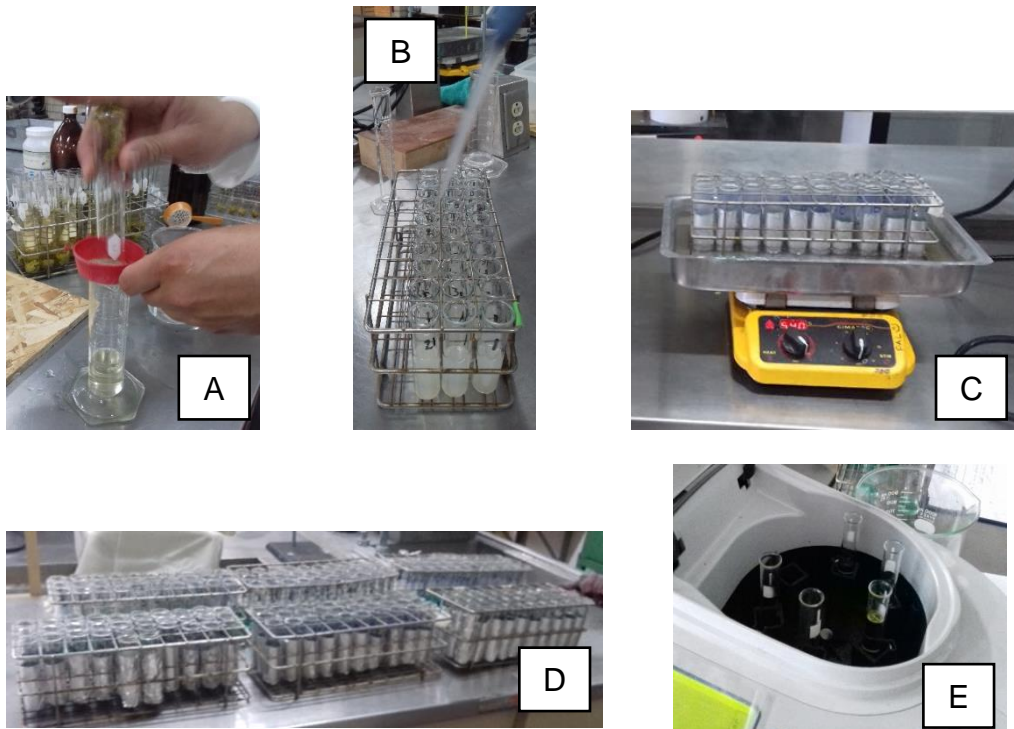
Anexo 2. Evaluación de A_g , C_i y E con la ayuda del equipo TPS-2 (portable photosynthesis system) (A) y determinación de Unidades Spad mediante el uso de un sistema SPAD® 502 (Soil Plant Analysis Development, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japón) (B).



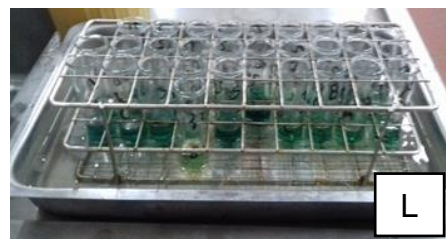
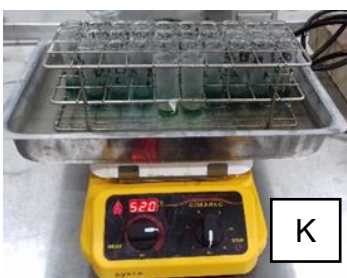
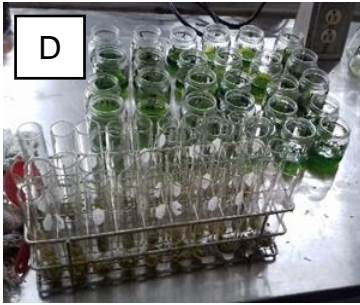
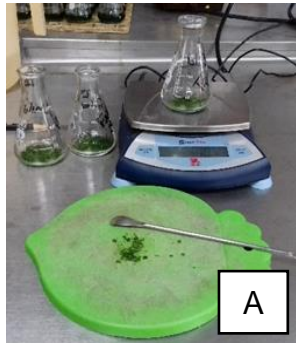
Anexo 3. Determinación de clorofilas totales de las 10 cv. de mango (*Mangifera indica* L.). Material vegetal (A); triturado en acetona pura (B); extracción de pigmentos (C, D, E, F, G, H, I, J, K, L); tubos de plástico (M); centrifuga (N); decantación en tubos (O); espectrofotómetro (P).



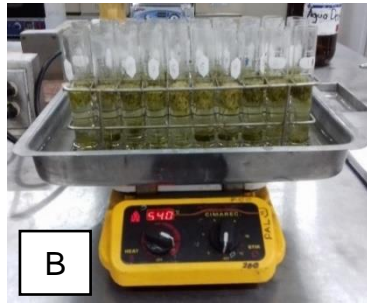
Anexo 4. Análisis de nutrimentos foliares por método de ionómetros portátiles marca Horiba Scientific® tipo LAQUAtwin. Material utilizado (A); material vegetal (B); triturado (C); extracción de savia (D); lectura de los resultados (E).



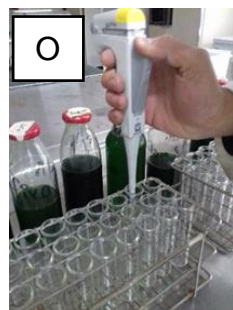
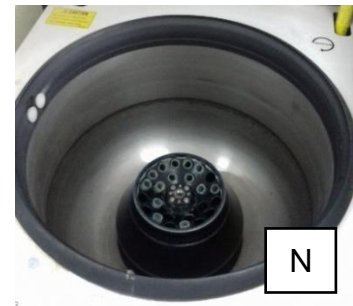
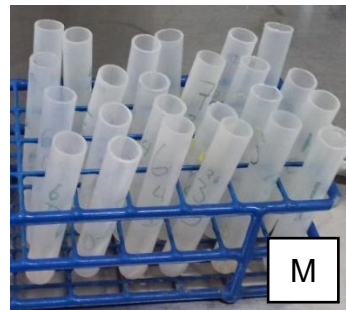
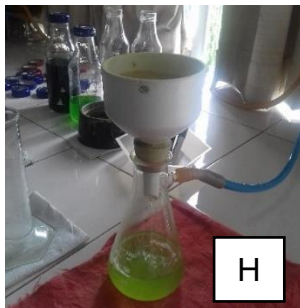
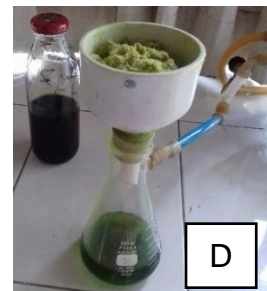
Anexo 5. Determinación de azúcares reductores de las 10 cv. de mango (*Mangifera indica* L.). Filtrar y medir el volumen (A); decantación en tubos (B); baño María (C); incubación es oscuridad (D); espectrofotómetro (E).



Anexo 6. Determinación de azúcares totales de las 10 cv. de mango (*Mangifera indica* L.). Tejido vegetal (A); ebullición en etanol (B); filtrado (C); material vegetal y sobrenadante (D); baño María (E); sobrenadante evaporado (F); agua destilada (G, H); muestra en tubos de fondo plano (I); antrona-ácido sulfúrico (J); baño María (K); baño frío (L); espectrofotómetro (M).



Anexo 7. Determinación de almidón de las 10 cv. de mango (*Mangifera indica* L.). Agua destilada en material vegetal (A); ebullición (B); temperatura de 55°C (C); prueba de lugol (D); filtrar y medir el volumen (E); tubos fondo plano (F); ajustar el pH (G).



Anexo 8. Determinación de clorofilas Alpha y beta de las diaz cv. de mango (*Mangifera indica* L.). Material vegetal (A); triturado en acetona pura (B); extracción de pigmentos (C, D, E, F, G, H, I, J, K, L); tubos de plástico (M); centrifuga (N); decantación en tubos (O); espectrofotómetro (P).