

RELACION ENTRE COLOR Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* T.) DEL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO

RELATION BETWEEN COLOR AND PHYSICAL-CHEMICAL PARAMETERS OF PERSIAN LIME (*Citrus latifolia* T.) FROM CENTRAL VERACRUZ, MEXICO

García-López, F.M.¹; Herrera-Corredor, J.A.¹; Pérez-Sato, J.A.¹; Alatríste-Pérez, I.²; Contreras-Oliva, A.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km. 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C.P. 94946. México. ²Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Campus Cuitláhuac. Av. Universidad No. 350, Carretera Federal Cuitláhuac-La Tinaja, Congregación Dos Caminos, Cuitláhuac, Veracruz. C.P. 94910. México.

*Autor de Correspondencia: adricon@colpos.mx

RESUMEN

La calidad en las frutas es importante para decidir el grado de aceptación del consumidor y su valor económico. El color es un aspecto muy importante para determinar la calidad, ya que es la primera característica que percibe el consumidor, e influye en la decisión de aceptación. Los parámetros que se miden para determinar la calidad interna del limón persa (*Citrus latifolia* T.), se obtienen mediante métodos destructivos, generando pérdidas económicas. Se determinó la relación entre parámetros físicoquímicos que aportan información de la calidad interna del fruto, con la coloración del mismo. Las determinaciones de los parámetros físicoquímicos y de color, generaron correlaciones positivas y negativas para cada una de las calidades que se emplearon en el análisis. Empleando el método CIE se obtuvieron los valores L*, a* y b*, y con ellos se pudieron calcular el índice de color, el tono y el ángulo de color para cada calidad del limón persa, registrando diferencias significativas entre calidades. Los resultados se correlacionaron con la caracterización morfológica y físicoquímica, observando correlaciones negativas entre el tono y grados brix (°Bx), ya que al madurar los frutos pierden su tonalidad verde oscura y registran aumento en la cantidad de sólidos solubles (°Bx). El empleo de métodos de análisis de color puede ser una alternativa para determinar la calidad interna del fruto y minimiza la pérdida por el empleo de métodos destructivos.

Palabras clave: calidad, color, caracterización morfológica, parámetros físicoquímicos.

ABSTRACT

Fruit quality is important to decide the degree of acceptance by the consumer and its economic value. Color is an important aspect to determine the quality, since it is the first characteristic that the consumer perceives, and it influences the decision to approve. The parameters that are measured to determine the inner quality of the Persian lime (*Citrus latifolia* T.) are obtained through destructive methods, generating economic losses. The relation between physical-chemical parameters that provide information regarding the inner quality of the fruit and the color was



Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 9, septiembre. 2017, pp: 9-14.

Recibido: abril, 2017. **Aceptado:** septiembre, 2017.

determined. The determinations of physical-chemical parameters and color generated positive and negative correlations for each of the qualities used in the analysis. Using the CIE method, the values of L*, a* and b* were obtained and with them the color index, tone, and color angle for each quality of the Persian lime were calculated, recording significant differences between qualities. The results were correlated with the morphological and physical-chemical characterization, observing negative correlations between the tone and Brix degrees ($^{\circ}\text{Bx}$), since the fruits lose their dark green tonality when maturing and show an increase in the amount of soluble solids ($^{\circ}\text{Bx}$). The use of color analysis methods can be an alternative to determine the inner quality of the fruit and to minimize loss from the use of destructive methods.

Keywords: quality, color, morphological characterization, physical-chemical parameters.

INTRODUCCIÓN

La calidad en cualquier producto es importante para determinar el grado de aceptación del consumidor. En las frutas, la calidad se puede definir como el conjunto de atributos o características que son importantes para el consumidor (Ladanyia, 2007), y que repercute directamente en el valor económico. Los atributos de calidad se pueden evaluar por métodos objetivos, empleando instrumentos, y métodos subjetivos, utilizando los sentidos humanos. Los cítricos (*Citrus* spp.), son un cultivo comercial de importancia internacional, teniendo una amplia variedad de especies (Moltó y Blasco, 2008). Son frutos no climatéricos y por lo tanto no maduran después de su cosecha (Matheyambath *et al.*, 2016), por lo cual la etapa de madurez es un factor crítico en la calidad de los frutos. México produce en promedio 2 millones de t año⁻¹ de limones y limas, de las cuales únicamente 29 % (625, 000 t) es destinado a su exportación (SIAP, 2015). El limón persa (*Citrus latifolia* T.) conocido en México como "limón sin semilla" y en Estados Unidos como lima de Persia o lima de Tahití, es una de las principales exportaciones de México. Esta variedad crece en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, siendo los principales productores México, Florida, India Occidental y Egipto (Matheyambath *et al.*, 2016). En México, su cultivo se introdujo en la dé-

cada de los setentas, sin embargo, fue hasta la siguiente década que inició su cultivo a una escala comercial importante, adoptándose el cultivo en la zona costera del Golfo de México, principalmente en los estados de Veracruz, Tabasco y Yucatán. La producción anual de limón persa en México, es de 1 000 192 t, siendo Estados Unidos, el principal mercado importador cosechado en México (SIAP, 2015). Los niveles bajos en las exportaciones, se debe principalmente a que no todo el limón persa producido en México cuenta con los estándares de calidad que se persiguen en el mercado mundial, aunado a esto, la falta de estandarización y objetividad en la medición de los parámetros de calidad a provocado que los niveles de exportación se mantengan bajos. Los parámetros que se miden para determinar la calidad interna del limón persa, se obtienen mediante métodos destructivos, lo que significa una pérdida económica importante ya que no se pueden comercializar los frutos que se emplearon para dichos análisis.

Los métodos para evaluar la calidad se pueden dividir en destructivos y no destructivos, dependiendo si la fruta permanece integra durante su análisis o si es destruida (rebanada o molida). Los métodos no destructivos se pueden realizar cuando el fruto todavía no ha sido cosechado, y con esto se puede monitorear la calidad del fruto. Además, estos métodos se pueden emplear después de la cosecha para asegurar la calidad y el cumplimiento de los requerimientos de comercialización. En contraste, en los métodos destructivos se toma una muestra representativa que se pierde durante los análisis. La mayoría de los métodos para evaluar la calidad son destructivos (Ladanyia, 2007).

Los atributos de calidad también se pueden agrupar en tres categorías: físicos, químicos y fisiológicos. Los parámetros físicos que se miden en los cítricos son: firmeza; color y grosor de la cascara; tamaño, forma, peso y volumen del fruto; porcentaje de jugo, y los sólidos solubles totales. Los parámetros químicos de importancia en los cítricos son: acidez titulable total; azúcares totales; azúcares reductores y no reductores; y pH (Ladanyia, 2007). Existen normas internacionales, nacionales y regionales, que dictaminan los parámetros que se deben tomar en cuenta para determinar la calidad de las frutas. El índice de madurez (IM), es una relación entre el contenido de sólidos solubles y la acidez expresada en ácido cítrico. Los frutos con un valor de IM superior a cierto umbral (que depende de la especie y variedad) se consideran

maduros y con un sabor apto para su comercialización (Moltó y Blasco, 2008).

La madurez de los cítricos se puede definir por los parámetros fisicoquímicos como el contenido de sólidos solubles totales (SST, contenido de azúcares), proporción de azúcar-ácido y color (Moltó y Blasco, 2008). La acidez titulable es otro parámetro fisicoquímico que disminuye al avanzar la madurez como resultado de la descomposición del ácido cítrico. El contenido de sólidos solubles aumenta debido al incremento de azúcar en el jugo (El-Otmani y Ait-Oubahou, 2011), siendo los principales la sacarosa, la glucosa y fructuosa. Los sólidos solubles totales conforman del 10-20% del peso del fruto fresco, y son principalmente carbohidratos, y en pequeñas cantidades, ácidos orgánicos, proteínas, lípidos y minerales (Matheyambath *et al.*, 2016). El contenido de jugo en los cítricos oscila entre 45% y 60% de su peso, y depende de factores, tales como la variedad y el clima donde son cultivados. En algunos países, el contenido mínimo de jugo en limones, para poder ser comercializados debe ser de 25% y 30% (El-Otmani y Ait-Oubahou, 2011).

El tamaño de los cítricos está determinado por el diámetro máximo de la sección ecuatorial (Moltó y Blasco, 2008). Los frutos de limón persa son grandes, de 80 a 100 g, y de forma oblonga. La corteza del fruto es de color amarillo verdoso a amarillo en la madurez, y la parte carnosa es tierna y jugosa. La parte carnosa de los frutos se divide en 8-12 segmentos llamados gajos, que forman el núcleo del fruto, y que contienen el jugo y las semillas (Matheyambath *et al.*, 2016).

Los parámetros analizados de manera visual para la clasificación en calidades del fruto, y que pueden afectar la apariencia de los frutos son: color, textura, tamaño, manchas, magulladuras, lesiones, quemaduras, arrugas, fisuras y protuberancias, de la cascara. Mientras que la calidad interna se determina por: sabor, aroma, color del jugo y pulpa, y apariencia; estos atributos de calidad están influenciados por la composición química. Uno de los métodos empleados para desechar frutos que no cuentan con una calidad interna para comercializarse, es la flotación del fruto. Los frutos que satisfacen las normas internas mínimas y las características de tamaño se separan en grados o categorías, definidas de acuerdo a la apariencia externa y a la intensidad de las manchas, que varían entre los países productores e incluso entre las regiones de los mismos, según las características definidas para el lugar en cuestión (El-Otmani y Ait-Oubahou, 2011).

El color de la pulpa depende de la presencia, ausencia o abundancia de carotenoides y antocianinas, y puede ser pálida, amarilla, naranja o roja (Matheyambath *et al.*, 2016). Los estándares de calidad en los cítricos que se destinan a su consumo en fresco, se basan principalmente en la ausencia de magulladuras y pudriciones, así como en la forma correcta del fruto, color y tamaño.



Alrededor del 75% del total de la producción de cítricos a nivel mundial es destinado para su consumo en fresco. Por lo cual, mantener una buena apariencia externa, sin lesiones o defectos visibles, y preservar la calidad organoléptica y nutricional, es primordial para proporcionar cítricos de alta calidad a los mercados nacionales y extranjeros (El-Otmani y Ait-Oubahou, 2011).

Los parámetros para determinar la calidad interna del limón persa, en su mayoría obtenidos por métodos destructivos, muestran una correlación, positiva o negativa, con parámetros obtenidos por métodos no destructivos, tales como los morfológicos. Con base en lo anterior, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del fruto de limón persa relacionándolas con su apariencia externa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material vegetal fue limón persa (*Citrus latifolia* T.) recolectados en Cuitláhuac, Veracruz, México. Los frutos se cosecharon y clasificaron en tres calidades distintas, de acuerdo a los parámetros locales de la región, que incluye aspectos de color de la cáscara, integridad y tamaño del fruto. Se tomaron muestras aleatorias de 30 frutos por calidad. Veinticuatro horas después de la cosecha se realizó la determinación de color, utilizando un colorímetro Konica & Minolta (modelo CR-400, Japón), empleando el método CIE, con el que se obtienen los valores de L^* (luminosidad, $L^*=0$ [negro] y $L^*=100$ [blanco]), a^* ($-a^*$ =verde y $+a^*$ =rojo), y b^* ($-b^*$ =azul y $+b^*$ =amarillo). Las lecturas del color se realizaron por triplicado alrededor de la región ecuatorial para cada uno de los 30 frutos de las tres calidades, para obtener un promedio.

Los Sólidos Solubles Totales se determinaron por el método AOAC 932.12 (AOAC, 1990) utilizando un refractómetro portátil (modelo HI 96801, 0 a 85% Brix). El pH se determinó por el método AOAC 981.12 (AOAC, 1990) y midió utilizando un potenciómetro de mesa Oakton (Modelo ECO testr pH2, USA), calibrado con solución buffer a dos puntos (7 y 4). La Acidez Titulable se determinó por el método AOAC 942.15 (AOAC, 1990) titulando 5 mL de jugo con 0.1 N NaOH (Marca Hycel grado analítico, México) hasta el cambio de coloración, empleando fenolftaleína al 1% (Marca Hycel grado analítico, México) como indicador, el resultado se expresó en % de acidez en equivalentes de ácido cítrico. Los Azúcares Reductores Totales se determinaron por el método AOAC 977.20 (AOAC, 1990) utilizando el reactivo de Fehling (Marca Hycel grado analítico, México) y una alícuota de 5 mL de jugo para cada una de las calidades por triplicado. Los datos obtenidos se analizaron con el programa estadístico R (ver.3.1.2), determinando diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las medias de cada parámetro, considerando como factor los tipos de calidad. Se emplearon herramientas gráficas (biplot y diagrama de elipses) de dicho programa, para analizar las relaciones entre los promedios de los parámetros propuestos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos de la determinación de color presentaron diferencia significativa en los parámetros de luminosidad (L^*), en las coordenadas a^* y b^* , Índice de Color (CI), Croma (Cr^*) y Tono (Hue*), entre las tres calidades (Cuadro 1), demostrado por el cambio marcado

en la coloración del fruto, que va del tono verde oscuro al verde amarillento en la etapa de mayor maduración. Los valores de L^* , a^* y b^* mostraron un comportamiento similar al reportado por Castro *et al.* (2013) en guayaba pera (*Psidium* sp.) en diferentes estados de madurez, a pesar de haber empleado imágenes digitales para obtener los datos en el modelo RGB y transformándolos al espacio de color CIE. Los valores de luminosidad aumentaron de la Calidad Extra a la Calidad B lo cual explica la tendencia a colores más claros, en este caso el amarillo. La coordenada a^* evoluciona de valores negativos altos a valores cercanos al cero al disminuir la Calidad (disminuye el tono de verde oscuro), mientras que la coordenada b^* aumenta hacia el color amarillo. Los valores de CI son similares, en el limón persa, a los obtenidos por Villalba *et al.* (2014) en variedades de mandarinas (*Citrus x tangerina*) aumentan conforme avanza la madurez, obteniendo valores negativos altos que equivalen al color verde oscuro en las etapas de desarrollo en las mandarinas, observando lo mismo en la Calidad Extra y Calidad A del limón persa, aumentando a valores negativos bajos en la calidad B o en etapas de mayor maduración. La cromaticidad va en aumento al disminuir la calidad, y en contraste el Tono disminuye del verde oscuro en la Calidad Extra a un amarillo verdoso en la Calidad B. Así mismo, se obtuvieron datos con diferencias significativas entre las tres calidades empleadas en esta investigación para los parámetros fisicoquímicos de pH, °Brix, Acidez Titulable y Azúcares Reductores Totales (Cuadro 2), coincidiendo con lo reportado por Villalba *et al.* (2014) en donde obtuvo diferencias significativas

Cuadro 1. Parámetros de color del limón persa de 3 calidades.

Calidad	L^*	a^*	b^*	Índice de Color (CI)*	Croma (Cr^*)	Tono (Hue*)
Extra	42.24±2.54 c	-14.28±1.19 c	23.80±3.27 a	-14.67±2.43c	27.78±5.34c	121.36±4.67a
A	56.52±1.22 b	-15.96±0.36 b	37.91±0.85 b	-8.04±1.29b	41.26±3.60b	113.26±4.83b
B	73.90±1.81 a	-6.48±2.52a	48.66±1.31 c	-1.90±2.71a	49.26±5.62a	97.70±2.20c

*Valores medios ± desviación estándar (n=30). Valores con misma letra no difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos del jugo de limón persa de 3 calidades.

Calidad	pH*	°Bx*	% Azúcares Reductores**	% Acidez Titulable**
Extra	2.30±0.07 ^a	7.46±0.43 ^c	5.39±0.07 ^c	6.75±0.03 ^b
A	2.27±0.05 ^c	7.75±1.21 ^b	7.07±0.16 ^b	6.92±0.01 ^a
B	2.29±0.04 ^b	9.54±0.78 ^a	8.92±0.06 ^a	6.23±0.03 ^c

*Valores medios ± desviación estándar (n=30). **Valores correspondientes al promedio ± desviación estándar del tratamiento por triplicado del jugo en cada calidad. Valores con misma letra no difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

entre todos los parámetros fisicoquímicos medidos, de las variedades de mandarinas en sus distintas etapas de madurez.

Al igual que lo reportado por Torres *et al.* (2013) en frutos de plátano (*Musa sp.*), se encontró que, al disminuir el pH, el % de Acidez Titulable aumentaba, lo que se relacionó con la degradación de carbohidratos más complejos en azúcares reductores. Es por esto que el % de Azúcares Reductores aumenta de la calidad Extra, que se encuentra en un estado de madurez menos avanzado, hacia la calidad B (etapa de mayor madurez), como también se observa en otros cítricos como la mandarina (Villalba *et al.*, 2014). Lo anterior concuerda con lo explicado por Torres *et al.* (2013) sobre la hidrólisis de diversos polisacáridos estructurales, tales como las pectinas de las paredes celulares, en componentes más básicos de monómeros. Hardy y Sanderson (2010) atribuyen el aumento en el contenido de los Sólidos Solubles a la acumulación de la sacarosa al avanzar la madurez, lo cual también se puede observar en las diferentes calidades que coinciden con los niveles de maduración del limón persa.

El aumento de Azúcares (Sólidos Solubles) coincide con el cambio de coloración al tono amarillento en el limón (aumento del Índice de Color), así mismo la acidez y el pH disminuyen, corroborando con ello que se están llevando a cabo una serie de reacciones bioquímicas al interior del fruto, como lo describe Quintero *et al.* (2013).

En la Figura 1 se observa una correlación negativa en el Tono (Hue*) con los parámetros de Índice de Color, Cromo (Cr*) y °Brix, este último se correlaciono positivamente con el Índice de Color y el Cromo (Cr*), así como con los parámetros morfológicos de peso del fruto y porcentaje de jugo; marcando una clara relación entre el color del fruto y la composición interna. Cuando el color de la cáscara del fruto tiende a verde oscuro, la cantidad de °Brix es menor, esto quiere decir que cuando el Tono (Hue*) disminuye, la cantidad de °Brix aumenta y viceversa, lo que significa que las muestras con coloración más clara tendrán una mayor cantidad de azúcares reductores.

Torres *et al.* (2013) reportan que el parámetro de Tono (Hue*) se correlaciono con el pH en todas las variedades de frutas tropicales analizadas y solo dos variedades de mango (*Mangifera indica*) presentaron correlación entre el Cromo (Cr*) y el pH, no así en esta investigación donde se observó que no existe correlación entre el Tono (Hue*), Cromo (Cr*) con el pH medido en limón persa, sin embargo, se registró correlación significativa entre color y °Brix. La diferencia entre los resultados registrados en diferentes variedades de frutas tropicales, y los obtenidos en la presente investigación, se podrían atribuir al tipo de fruta, y al método utilizado para la obtención de los parámetros de color, ya que en otras investigaciones se ha empleado un método de captura de imágenes analizándolas mediante un software para la obtención de los valores L*, a* y b*.

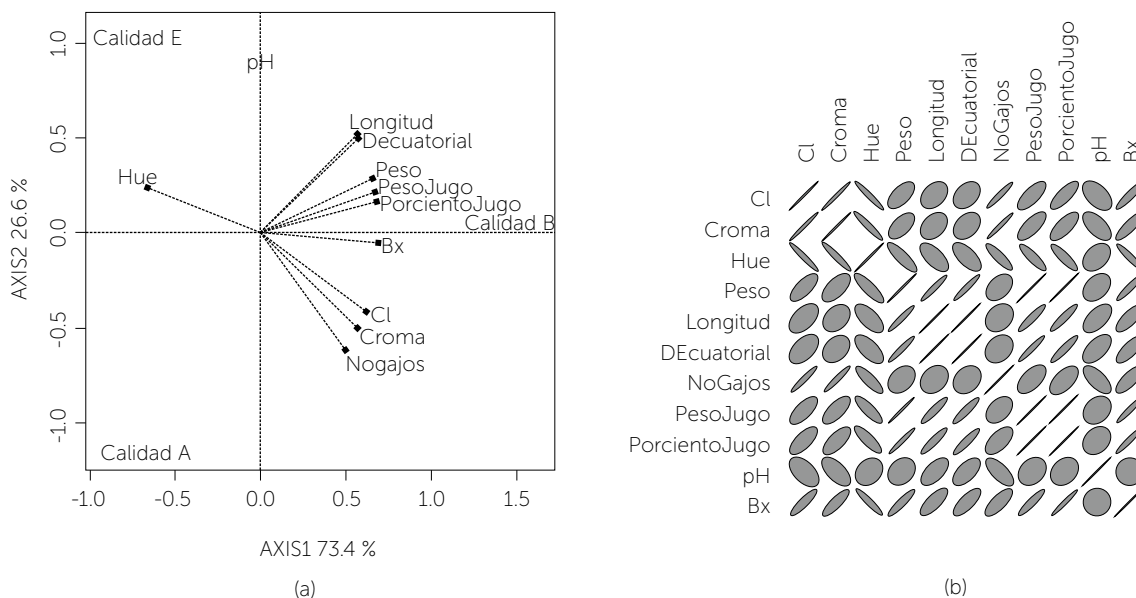


Figura 1. Biplot (a) y Diagrama de elipses (b) que muestran las correlaciones entre los atributos de limón persa de 3 calidades

referencia investigaciones realizadas en otras frutas ya que no se encontró investigación similar en limones o limas.

CONCLUSIONES

LOS parámetros fisicoquímicos y los morfológicos, nos proporcionan datos acerca de la calidad interna y externa en el limón persa, además correlacionándolos entre sí, son útiles a la hora de escoger el tipo de método para el análisis de la calidad de los frutos, pudiendo optar por métodos no destructivos, que permitan su uso posterior y así minimizar la pérdida económica. Los análisis realizados en esta investigación mostraron correlación entre los °Brix y los atributos de color, siendo útiles para determinar la calidad de los frutos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de manutención otorgada a FMGL. También agradecen el apoyo de la LGAC-2: Innovación y Desarrollo de Procesos Agroalimentarios para el Bienestar Social, del programa de Innovación Agroalimentaria Sustentable del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, y al Departamento de Procesos Alimentarios de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz Campus Cuitláhuac (UTCV).

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemistry. 1990. 16th ed, Whashington, USA.
- Castro-Camacho J.K., Cerquera-Peña N.E., Gutiérrez-Guzmán N. 2013. Determinación del Color del Exocarpio como Indicador de Desarrollo Fisiológico y Madurez en la Guayaba Pera (*Psidium guajava* cv.) Utilizando Técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes. Revista EIA 10(19): 79-89.
- El-Otmani M., Ait-Oubahou A. 2011. *Citrus* spp.: Orange, Mandarin, Tangerine, Clementine, Grapefruit, Pomelo, Lemon and Lime. In: Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. Woodhead Publishing Limited (ed). Morocco. Agricultural and Veterinary Institute Hassan II. pp: 437-516e.
- Hardy S., Sanderson G. 2010. Citrus maturity testing. Prime Fact 980: 1-6.
- Matheyambath A.C., Padmanabhan P. y Paliyath G. 2016. Citrus fruits. In: Encyclopedia of Food and Health. University of Guelph. Guelph, Canada. pp. 136-140.
- Ladanya M. 2007. Fruit Quality Control, Evaluation, and Analysis. In: Citrus Fruit: Biology, Technology and Evaluation. Academic Press (ed). pp. 475-483.
- Moltó E., Blasco J. 2008. Quality Evaluation of citrus fruits. In: Computer vision technology for food quality evaluation. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Moncada, Spain. Elsevier Inc (ed). pp. 243-264.
- Quintero V., Giraldo G., Lucas J., Vasco J. 2013. Caracterización Físicoquímica del Mango Comun (*Mangifera indica* L.) Durante su Proceso de Maduración. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 11(1): 10-18.
- Torres R., Montes E., Pérez O., Andrade R. 2013. Relación del Color y del Estado de Madurez con las Propiedades Físicoquímicas de Frutas Tropicales. Información Tecnológica 24(3): 51-56.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Producción Agrícola. En línea: www.siap.sagarpa.gob.mx. Consultado el 15 de febrero de 2015.

