

ANÁLISIS DEL ESTADO DE MADUREZ DE FRUTOS MEDIANTE ESPECTROSCOPÍA UV-VIS-NIR

Martínez Estrada Carlos David (1), Trejo Durán Mónica (2)

1 [Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad de Guanajuato] | [carlos.martinez@ugto.mx]

2 [Estudios Multidisciplinarios, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [mtrejo@utgo.mx]

Resumen

El objetivo de este estudio fue establecer un índice de madurez de consumo mediante un método no destructivo. Durante dos semanas se analizó el comportamiento en el proceso de maduración de las guayabas de variedad 'Media china' (*Psidium guajava* cv 'Media china'). Los datos de la curva espectral sobre la piel del fruto se midieron y registraron en regiones UV, VIS y NIR (250-1000nm). La guayaba se clasificó por colorimetría mediante los parámetros L, a* y b*, durante 1,2,3,4 y 5 días después de su compra. Mediciones destructivas fueron usadas para obtener firmeza, pH y sólidos solubles totales (TSS). Por otro lado, las mediciones no destructivas fueron definidas por peso, tasa de respiración, reflectancia y color en CIELab-D65. Se calcularon tres índices espectrales empleando las reflectancias de 530, 676 y 740 nm (longitudes de onda en donde se observaron los principales cambios por maduración), obteniéndose como resultado que la razón de reflectancias de 510 y 676 nm ofreció un indicador apropiado para de la madurez de la guayaba.

Abstract

The objective of this study was to establish an index of consumer maturity by a non-destructive method. Behavior in the process of maturation of guava 'Media china' (*Psidium guajava* cv "Media China") was analyzed for two weeks. Spectral signature data on fruit skin were measured and recorded in the UV, VIS and NIR regions (250-1000 nm). The guava was classified by colorimetry using the parameters L, a* and b*, for 1,2,3,4 and 5 days after its purchase. The destructive measurements were applied to obtain firmness, pH, total soluble solids (TSS). On the other hand, non-destructive measurements were defined by weight, respiration rate, reflectance and color in CIELab-D65. Three spectral indices were calculated using reflectance at 530, 676 and 740 nm (wavelengths which were mainly observed in maturity process), as results reflectances at 510 and 676 provides an appropriate indicator for guava maturity.

Palabras Clave

Análisis no destructivo; reflectancia; climatérico; fisicoquímico; madurez

INTRODUCCIÓN

México es uno de los mayores productores mundiales de guayaba. La guayaba es una buena fuente de vitamina C, calcio, fósforo y hierro para la dieta humana. La clasificación de la guayaba como una fruta climatérica o no climatérica sigue siendo controvertida y depende de la variedad. Mercado-Silva et al. (1998) [1] estudiaron las características de calidad de la guayaba 'Media china' (principal variedad cultivada en México) en ambas temporadas de producción para determinar un índice confiable de cosecha. En el estudio, la guayaba mostró respiración climatérica. Los frutos de la guayaba fueron cosechados en tres etapas de madurez y esto no mostró influencia en el momento en que se alcanzó el climaterio, pero la temporada de producción mostró influencia. Diversos estudios consideran al ángulo de color (Hue) como un buen indicador de la etapa de maduración fisiológica de la guayaba. La firmeza de la guayaba disminuye con el tiempo tras la cosecha, pero la magnitud del cambio varía según la variedad Bashir y Abu-Gouk (2003) [2] Hay poca investigación sobre el patrón de maduración de consumo de la guayaba 'Media china' y los consumidores no tienen una manera confiable y de bajo costo para conocer las características de calidad de la guayaba para el consumo natural o procesamiento industrial. Por lo tanto, esta investigación estudió algunas características fisicoquímicas y fisiológicas durante la maduración de consumo de la guayaba 'Media china', ya que se propone que un número reducido de bandas espectrales de la curva de reflectancia de la guayaba puede ayudar a determinar un indicador de la madurez de consumo.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Fruta

Se trabajó con Guayaba 'Media China' del ciclo mayo-junio. La fruta presentaba algunos daños provocados en la central de abastos de la ciudad de Irapuato, Guanajuato donde fueron seleccionadas de dos lotes diferentes y en dos fechas distintas. El primer lote de guayabas se

quedó almacenado a una temperatura ambiente (17 - 25 °C), mientras que el segundo lote se refrigeró a una temperatura de 4°C. En los análisis se midieron las propiedades fisicoquímicas (parámetros de color de la piel L a* b*, firmeza, sólidos solubles totales (TSS), y pH), tasa de producción de bióxido de carbono (TPBC) y firma espectral. En la semana 1 se seleccionaron 30 guayabas de una caja de aproximadamente 100. De las 30 guayabas se usaron 5 para medir diario, durante 5 días, la reflectancia, colorimetría (L* a* y b*), peso y TPBC. Las otras 25 se dividieron en 5 grupos de 5 guayabas cada uno. A cada guayaba de estos grupos se les midió diario, durante 5 días, color (L a* y b*), reflectancia, así como pruebas destructivas para obtener, datos de firmeza, TSS y pH. En la semana 2 se repitió el procedimiento, excepto que en las pruebas destructivas se emplearon 35 frutos, divididos en 7 grupos de 5 guayabas cada uno, y así se amplió el número a siete días de medición.

2.2. Medición de datos espectrales

Los espectros de reflectancia se midieron y se registraron con un Analizador de Espectro Óptico (OSA-HR4000GC- UV-NIR, Ocean Optics, Dunedin, FL, EUA) dentro de un intervalo de longitud de onda de 200-1100 nm. Se realizaron y registraron dos mediciones equidistantes alrededor del ecuador de cada guayaba. Los datos de las dos mediciones se promediaron para obtener una curva espectral por fruto.

2.3. Parámetros fisicoquímicos

El color de cada superficie se midió con un espectrofotómetro Color Flez EZ (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, EE.UU.). Se registraron las coordenadas de color L, a* y b*. El valor del tono se calculó según lo descrito por McGuire (1992) [3].

$$H^{\circ} = \frac{360}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (1)$$

Donde H es el ángulo en el espacio de color en coordenadas polares, a* y b* son las coordenadas rectangulares en el espacio CIELa*b*. Se usaron cinco guayabas para medir la firmeza. La medición se realizó en una de las mejillas de la guayaba con un analizador de textura (TA-XT2, Texture Technologies, NY) equipado con una sonda de 4 mm que penetraba a 1 mm s⁻¹. Se registró la

máxima fuerza de penetración para cada guayaba y se promedió por cada grupo, registrando el valor obtenido como la firmeza de ese día. Para el análisis químico, el pericarpio y las semillas se retiraron de cinco guayabas, luego se mezclaron y homogeneizaron en una licuadora. El jugo extraído directamente de la pulpa se utilizó para medir TSS con un refractómetro Hanna instruments H196801 a 20 °C. Además, se mezclaron 10 g de puré de guayaba y se homogeneizaron con 100 ml de agua destilada y finalmente se midió el pH de la solución con un pHmetro Hanna pHep®.

2.4. Tasa de producción de CO₂.

La producción de bióxido de carbono se determinó encerrando una guayaba en un frasco de vidrio de 0,5 litros durante 3 h a 20 ° C y analizando el gas de espacio de cabeza con un equipo Quantek Instruments 902D (Quantek Instruments, Inc., Grafton, MA, USA). Este procedimiento se repitió para cinco frutos de guayaba en cada día de medición.

2.5. Análisis de los datos

Las guayabas de las pruebas no destructivas pudieron medirse durante los 5 y 7 días consecutivos, semana 1 y 2 respectivamente, por lo que se realizaron análisis de regresión de reflectancia, colorimetría ($L a^*$ y b^*), peso y TPBC contra los días transcurridos, así como análisis de regresión entre pares de estos parámetros. Los resultados de guayabas empleadas en las pruebas destructivas, para ambas semanas, al término de las mediciones se reagruparon nuevamente, en grupos de cinco frutos. Para reagruparlas se calculó el parámetro de color Hue (a partir de a^* y b^* medidos previo a iniciar las pruebas destructivas) y partiendo de este valor se hicieron los grupos con las guayabas. Los parámetros firmeza, TSS y pH se estimaron del promedio por grupo de guayabas. Estos promedios se analizaron por regresiones con el parámetro de color (Hue). Las mediciones de reflectancia por día por guayaba se graficaron y por análisis visual se escogieron tres de las bandas espectrales en donde se observaron los principales cambios de reflectancia, para las curvas de reflectancia de las pruebas destructivas y no destructivas. A partir de estas bandas, se propusieron tres índices de reflectancia basados en la razón de las reflectancias de dos pares de estas tres bandas.

Los índices se analizaron mediante regresión con los otros parámetros medidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas no destructivas.

Las guayabas de la semana 1 tuvieron al inicio un peso medio de 83.7 ± 6.3 g, mientras que en la semana 2, el peso medio fue 65.6 ± 2.2 g. Las guayabas de la semana 1 presentaron una TPBC que constató el comportamiento climatérico (Imagen 1) observado en un estudio anterior para la variedad 'Media china'. En la semana 2 no se observó este comportamiento debido a la temperatura de almacenamiento de la guayaba y la sensibilidad del equipo usado.



IMAGEN 1: Tasa de producción de CO₂ de las guayabas de la semana 1.

Las guayabas de ambas semanas perdieron peso y para la semana 1, esta pérdida de peso estuvo asociada con la respiración, pues se encontró una correlación alta (Imagen 2). Para la semana 2 esto no ocurrió. La razón de peso perdido por día fue mayor para los frutos de la semana 1 que para aquellos de la semana 2.

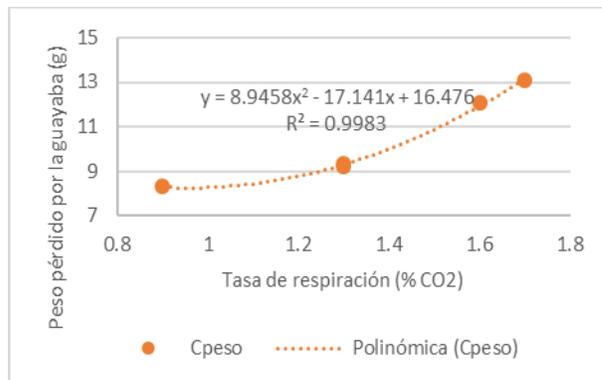


IMAGEN 2: Regresión de Peso perdido y Tasa de respiración de las guayabas.

El parametro Hue en las guayabas de ambas semanas decreció conforme pasaron los días, iniciando en valores de 88 a 101 y terminando en valores de 77 a 89, resultados congruentes con lo presentado anteriormente. Las guayabas de la semana 1 presentaron mayor cambio de color por día que aquellas de la semana 2 como resultado de la temperatura de almacenamiento (Imagen 3).

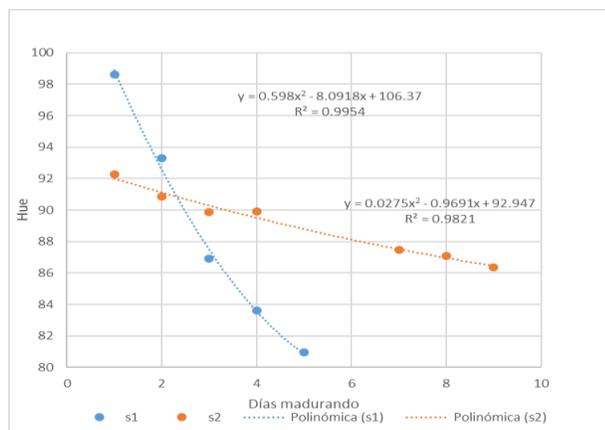


IMAGEN 3: Cambio de color(Hue) de las guayabas de la semana 1 a 25 °C y de la semana 2 a 4 °C.

Las curvas de reflectancia de las guayabas de ambas semanas en pruebas destructivas y no destructivas presentaron un cambio notorio en 676 nm, y menos observable en los 510, 530, 740 y 800 nm. En 676 nm la clorofila absorbe energía radiante, por lo que las guayabas verdes presentan menor reflectancia, conforme desaparece y aparecen otros pigmentos incrementa la reflectancia principalmente en el visible entre 500 y 680 nm de longitud de onda (Imagen 4).

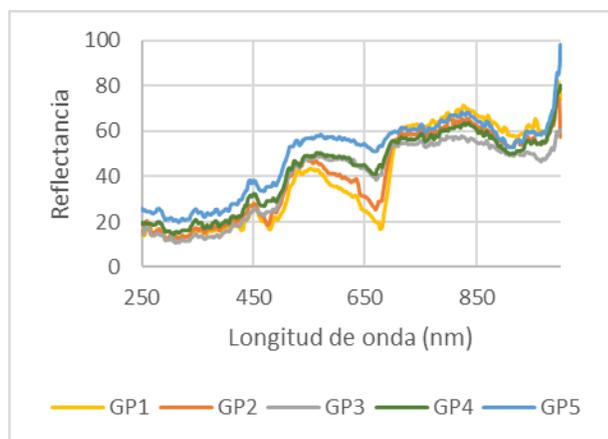


IMAGEN 4: Curvas de reflectancia de los cinco grupos de guayabas usadas en las pruebas destructivas de la semana 1.

Pruebas destructivas.

Los resultados de estas pruebas constataron anteriores hallazgos sobre el pH y los Brix que cambiaron de forma aleatoria sin observarse patron de comportamiento asociado al tiempo o a otro parametro medido. En cambio, la firmeza decreció como tendencia general con el tiempo de maduración de los frutos. La variabilidad de este parametro fue grande sin importar el verdor de la guayaba. Las guayabas de la semana 1 presentaron menor firmeza inicial, menor pérdida de firmeza por día y una alta correlación de ésta con el parametro de color (Hue), mientras que los frutos de la semana 2 presentaron mayor firmeza al inicio, mayor pérdida por día y pobre correlación con Hue (Imagen 5). Hue disminuye conforme la firmeza disminuye en una relación casi lineal. Hue es un parametro de color que presenta un valor de 90 cuando el parametro de color a* es cero, indicado que el punto en CIEL*a*b* (eje verde-rojo) esta al centro y al ser b* (eje amarillo-azul) positivo se tiene un amarillo con diferente nivel de iluminación (L).

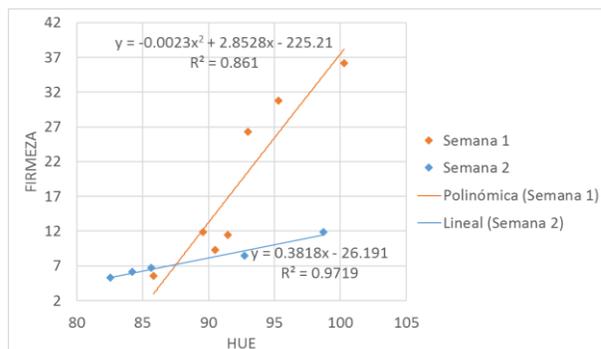


IMAGEN 5: Cambio firmeza de las guayabas de la semana 1 a 25 °C y de la semana 2 a 4 °C.

Por lo anterior, en la guayaba se puede considerar que un Hue de 90 indica madurez de consumo, lo que además se confirma analizando los resultados presentados hasta el momento, pues en las guayabas de ambas semanas, un Hue de 90 coincide con el pico de la TPBC, la mayor pérdida de firmeza y el mayor porcentaje de peso perdido. Se propusieron 3 indices con base en las siguientes razones:

$$I510/676 = R510/R676 \quad (2)$$

$$I530/676 = R530/R676 \quad (3)$$

$$I740/676 = R740/R676 \quad (4)$$

Donde I es el índice calculado, R es la reflectancia de las guayabas en la longitud de onda indicada por su subíndice.

El índice espectral que mejor se correlacionó con Hue fue I510/676, para las guayabas de ambas semanas. Las guayabas (verdes) con Hue mayor a 90, presentaron un valor de I530/676 de mayor a 1, las guayabas con Hue cercano a 90 tuvieron un I510/676 cercano a 1. Sin embargo, las guayabas al alcanzar Hue menor a 90 (sobremaduras), tuvieron valores I510/676 menores a 1, uno o dos días después de alcanzar la madurez y luego I530/676 se mantuvo cerca de 1 para las guayabas sobre maduras de la semana 2 según Hue.

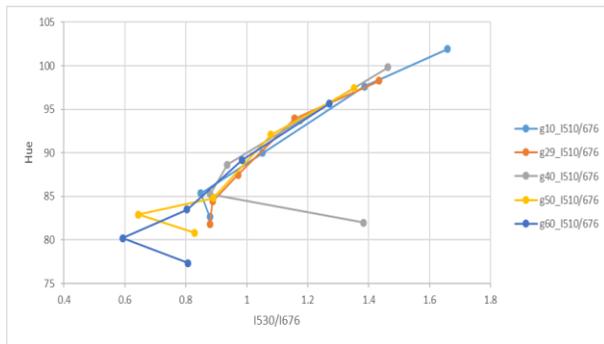


IMAGEN 6: Cambio de color(Hue) de las guayabas de la semana 1 comparado con el índice propuesto I530/676.

CONCLUSIONES

La tasa de producción de bióxido de carbono y la pérdida de peso en la guayaba 'Media china' están asociadas de tal forma que se puede observar el pico máximo de la primera a partir del pico máximo de la segunda. Hue es un indicador de la madurez de consumo al alcanzar un valor de 90, indicado inmadurez para valores mayores y sobre madurez para valores menores. La firmeza no puede indicar la madurez de consumo pues exhibió gran variabilidad, aunque presentó tendencia general de disminución con el tiempo. Los sólidos solubles totales y el pH no presentaron algún patrón de comportamiento asociado a los otros parámetros. El índice I510/676 se comportó similar al ángulo de color Hue y puede ser empleado como un indicador de madurez de consumo de la guayaba 'Media china'.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Dra. Mónica Trejo Durán, la Dra. Ma. Del Rosario Abraham Sosa, la Dra. Adriana Saldaña Robles, la Lic. Itzel Deniss Corrales Zapien y el Dr. Noé Saldaña Robles por el apoyo y tiempo dedicado para llevar a cabo este proyecto ya que hicieron posible la obtención de resultados favorables para el posible desarrollo y mejoramiento de un proyecto futuro. También incluyo a mis padres, M. Guadalupe y Magdaleno, al igual que mis hermanos, Abraham, Isaac, Jacob y Valeria, por su apoyo incondicional. Para terminar, agradezco a la Universidad de Guanajuato por la oportunidad de prepararme aún más, permitiéndome el haber desarrollado este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] Mercado-Silva E, Bautista PB, Garcia-Velasco MA (1998) Fruit development, harvest index ripening changes of guavas produced in central Mexico. *Postharvest Biology and Technology* 13(2):143-150.
- [2] Bashir HA and Abu-Goukh AA (2003) Compositional changes during guava fruit ripening. *Food Chemistry* 80(4) : 557-563.
- [3] McGuire RG (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.