

# CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL MANGO COMUN (*Mangifera indica* L.) DURANTE SU PROCESO DE MADURACION

## PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE COMMON MANGO (*Mangifera indica* L.) DURING RIPENING PROCESS

### CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MANGA COMUM (*Mangifera indica* L.) DURANTE PROCESSO DE MATURAÇÃO

VICTOR QUINTERO C.<sup>1</sup>, GERMAN GIRALDO G.<sup>2</sup>, JUAN LUCAS A.<sup>3</sup>, JOSE VASCO L.<sup>4</sup>

#### RESUMEN

*El proceso de maduración del mango está gobernado bajo una serie de reacciones bioquímicas al interior del fruto que se caracterizan por cambios en la textura, color, en el contenido de azúcares, ácidos, aromas, entre otros. Las sustancias acumuladas durante el desarrollo se transforman de manera lenta y progresiva hasta que el fruto alcanza las condiciones de aroma y jugosidad que permita clasificarlo como maduro. Se realizó una cinética de maduración durante nueve días, determinando parámetros físicos y químicos como color en pulpa y en cáscara, textura, actividad de agua, sólidos solubles, pH y acidez titulable. Se modeló cinéticamente el comportamiento de cada una de estas variables y se pudo determinar que los sólidos solubles tienen una tendencia explicada con un modelo de regresión multiplicativo y la actividad de agua con un modelo de regresión recíproco de X mientras el pH y la acidez con una ecuación de regresión de raíz cuadrada de X, de la misma manera el cambio de color en cáscara y en pulpa presenta una*

Recibido para evaluación: 06/05/2012. Aprobado para publicación: 13/03/2013

- 1 MS.c Química con énfasis en alimentos. Programa de Química, Universidad del Quindío.
- 2 Ph.D en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Quindío.
- 3 Ph.D (c) en Ingeniería de Alimentos. Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Quindío.
- 4 MS.c (c) en Producción sustentable de bioenergéticos, Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. México

Correspondencia: vascoal26@hotmail.com

*regresión recíproca de X. Por último en el caso de la textura se observó y se ajustó modelos lineales tanto para cáscara como para pulpa.*

## ABSTRACT

*Mango maturation process is governed by a series of biochemical reactions within the fruit are characterized by changes in the content of sugars, acids, texture, color, aromas, among others. Substances accumulated during the development are transformed slowly and progressively until the fruit reaches conditions of aroma and juiciness to classify it as mature. The kinetics of maturation was undertaken for 9 days process, determining physical and chemical parameters such as color in pulp and shiny, texture, activity water, soluble solids, pH and acidity title. Modeled kinetically behavior of each these variables could be determined that the soluble solids tends explained with a multiplicative regression model, of the activity of water with a regression model mutual X, pH and acidity with a square root of X regression equation. Color change in shiny and pulp with a regression mutual x. For the texture noted and adjusted linear models for both shiny to pulp.*

## RESUMO

*O processo de maturação é governada lidar com uma série de reações bioquímicas no interior do fruto, que são caracterizadas por alterações nos teores de açúcares, ácidos, em cor, textura, sabor, e outros. Substâncias acumuladas durante o desenvolvimento tornar-se lenta e progressivamente até que a fruta chegue aos termos de aroma e suculência que permite classificada como madura. Realizou-se um amadurecimento cinética durante 9 dias do processo, a determinação de parâmetros físicos e químicos, tais como a cor em polpa e descascar, a acidez, textura actividade da água, sólidos solúveis, pH e titulável. Cineticamente modelado o comportamento de cada uma destas variáveis e determinou-se que os sólidos solúveis têm uma tendência explicado em um modelo de regressão multiplicativo, a actividade da água com um modelo de regressão X recíproco, o pH e da acidez uma equação de regressão da raiz quadrada de X. A mudança de cor em casca e polpa com um recíproco regressão X. No caso da textura foi observada e ajustada modelos lineares para tanto a pele e celulose.*

## INTRODUCCIÓN

El mango común, *Mangifera indica* L., es reconocido en Colombia como un fruto con excelentes propiedades organolépticas, gracias a su contenido de azúcares, ácidos, aromas y pigmentos que lo hacen atractivo para todo tipo de consumidor [1]. Este fruto puede consumirse, comercializarse y transportarse en estado verde o maduro, según las necesidades del mercado y del consumidor final. Para ello el productor necesita conocer como es el comportamiento del fruto con el objetivo de identificar el estado fisicoquímico durante todo el periodo post cosecha de la materia prima. Por lo general, los frutos destinados a los mercados locales y transportados por vía aérea son cosechados

## PALABRAS CLAVES:

Reacciones bioquímicas, Cinética de maduración, Modelo de cinética

## KEYWORDS:

Biochemical reactions, Kinetics of maturation, Modeled kinetically.

## PALAVRAS-CHAVE:

Reações bioquímicas, Amadurecimento cinética, Ineticamente modelado.

“pintones”, mientras que los frutos que deben ser transportados a largas distancias deben ser cosechados firmes y verdes.

Este comportamiento fisicoquímico está gobernado por un proceso fisiológico denominado maduración, el cual lo sufren todas las frutas. La recolección de los mangos se realiza en estado inmaduro organolépticamente, pero fisiológicamente maduros [2], es decir, en este punto el mango ya ha crecido y desarrollado lo suficiente, pero sus aromas y sabores característicos a un no se han desarrollado. El mango después de cosechado verde y a medida que va madurando exhibe una disminución en el contenido de almidón y una serie de cambios en el color de la pulpa y la cáscara. En la mayoría de las variedades estos cambios van acompañados por una disminución de la fuerza de ruptura de la cáscara, aumento de los sólidos solubles y una disminución de la acidez [1,2,3].

La hormona etileno ( $C_2H_4$ ) que se encuentra en la planta y en el fruto juega el rol más importante en los procesos de maduración de las frutas climatéricas. Los parámetros de maduración tales como el ablandamiento, el cambio de color y la producción de aromas y sabores dependen potencialmente de la producción de etileno. Se ha demostrado en estudios anteriores que el etileno se produce antes de la maduración total del fruto y declina cuando la fruta va alcanzando su madurez total [4, 5]. Todos estos cambios fisicoquímicos se pueden modelar matemáticamente con ayuda de regresiones lineales y no lineales, determinando las variables más representativas durante todo el proceso de maduración. Las funciones de regresión son adecuadas para modelar una amplia variedad de relaciones entre variables de respuesta y variables predichas. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) se usa para juzgar la adecuación del modelo de regresión. La regresión no lineal sirve para describir sistemas biológicos y físicos [6]. Algunos autores propusieron, que si el modelo lineal no es el adecuado, se debe considerar el ajuste de algún modelo no lineal. Para otros los modelos que parecen ser no lineales pueden convertirse en lineales utilizando alguna transformación apropiada de la variable respuesta, las variables de predicción, los parámetros o la combinación de estos [7].

En el presente trabajo se realizó un seguimiento diario a nuestra materia prima en estudio, durante nueve días tiempo en el cual se llegó a la máxima madurez organoléptica, con el fin de evaluar el comportamiento

fisicoquímico del fruto teniendo en cuenta el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente. De esta manera se determinaron parámetros físicos y químicos como color en pulpa y en cáscara, textura, actividad de agua, sólidos solubles, pH y acidez titulable. Estas variables fueron analizadas con ayuda de modelos de regresión lineales y no lineales.

## MÉTODO

Tres lotes de mango adquiridos en diferentes periodos de tiempo y en estado de madurez fisiológica máxima e inmaduros organolépticamente se llevaron al laboratorio, donde se lavaron, se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio y se almacenaron a temperatura ambiente alrededor de 25 °C.

Se caracterizaron fisicoquímicamente cada día durante el proceso de maduración, tres mangos de cada lote, determinando por triplicado parámetros como color de la pulpa y cáscara, textura en pulpa y cáscara, actividad de agua, sólidos solubles, pH y acidez titulable [8].

El color de la pulpa y de la cáscara se determinó mediante un colorímetro marca Minolta, CR 10, con iluminante D 65 y observador estándar de 10°. A partir de los espectros reflexión de las muestras se determinaron las coordenadas del CIE-L\*a\*b\*, donde el componente de luminosidad (L) varía entre 0 y 100 y los componentes a (eje verde-rojo) y el componente b (eje azul-amarillo) pueden estar comprendidos entre +127 y -128. A partir de los espectros de reflectancia se obtuvo el cambio de color ( $\Delta E$ ) para determinar el cambio de color global en los tratamientos [9]. La actividad de agua (aw) se determinó empleando para ello un higrómetro de punto de rocío AquaLab modelo series 3 TE con 0,001 de sensibilidad, con un rango de temperatura de 20 a 30 °C.

Los sólidos solubles con un refractómetro de mesa marca Thermo modelo 334610; escala de 0 a 85 °Brix. Siguiendo el método AOAC 932,12. Acidez titulable por el método volumétrico AOAC 1980, el resultado se expresó como porcentaje de ácido cítrico. El pH se realizó por el método potenciométrico, a través de un pH metro Metrohm 704 serie 01 con electrodo de platino, según el método A.O.A.C 981.12. La textura de la cáscara se determinó en un texturómetro TA.TX plus con un accesorio de Pinzas Volodkevich cuan-

tificando la fuerza necesaria para el rompimiento de los tejidos [10,11].

Los datos obtenidos fueron procesados con ayuda del software Statgraphics Centurion XVI para calcular los modelos de regresión lineales y no lineales que más se ajustan al comportamiento de los valores.

## RESULTADOS

### Modelamiento del comportamiento de la cinética de maduración

Los resultados demuestran el comportamiento de las variables analizadas durante los nueve días que duró la cinética completa de maduración del mango común. Esta cinética concuerda con lo reportado por [10] quien en sus estudios alcanza una cinética de ocho días. Se puede observar los cambios fisico-químicos sufridos por el fruto en cuanto al cambio de color, el aumento de sólido de sólidos solubles, la disminución del contenido de ácidos, la pérdida de textura tanto en cáscara como en pulpa. Estos datos son semejantes en los reportados en estudios anteriores [5,8,10,12]. Con estos datos se corrobora que se está llevando a cabo una serie de reacciones bioquímicas al interior del fruto que se reflejan en la pérdida de algunos atributos del fruto, como es el caso de los ácidos y de la textura y la ganancia de otros como los sólidos solubles y el color [5].

Las variables analizadas tuvieron diferente comportamiento en cuanto a sus modelos de regresión, el cuadro 1 muestra los modelos de regresión y la ecuación que más se ajusta a la cinética de cada variable y el R cuadrado con el cual se contrasta el modelo.

La maduración del mango se caracteriza por una serie de transformaciones químicas que determinan los cambios de sabor, consistencia, color y aroma. Las sustancias acumuladas durante el desarrollo se transforman de manera lenta y progresiva en compuestos químicos que en su gran mayoría son de alto peso molecular como lo son los polisacáridos, además de los pigmentos y sabores característicos de cada fruto, esto ocurre hasta que el fruto alcanza las condiciones de aroma y jugosidad que permita clasificarlo como maduro [2]. El crecimiento y la maduración fisiológica de la fruta solo se completan cuando permanece unida a la planta de la cual procede, pero la madurez organoléptica y la senes-

**Cuadro 1.** Modelos cinéticos de maduración del Mango común

Variable	Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup> (%)
°Brix	Multiplicativo	$11,17 * \text{DIA}^{\wedge} 0,25$	90,19
aw	Reciproco-Y	$1/(1,0082 + 0,0009 * \text{DIA})$	77,00
pH	Lineal	$3,19 + 0,23 * \text{DIA}$	94,53
% Acidez	Raíz Cuadrada-Y	$2,12 - 0,61 * \sqrt{(\text{DIA})}$	96,98
ΔE Color cáscara	Reciproca-X	$43,14 - 40,59 / \text{DIA}$	88,94
ΔE Color Pulpa	Reciproca-X	$24,14 - 22,89 / \text{DIA}$	92,96
Textura cáscara (kg. fuerza)	Lineal	$5,41 - 0,27 * \text{DIA}$	79,33
Textura pulpa (kg. fuerza)	Lineal	$2,21 - 0,18 * \text{DIA}$	83,57

encia pueden proseguir una vez separada de la planta. Cuando el fruto es separado de la planta se interrumpe la síntesis de ATP y el flujo de nutrientes por tanto el fruto comienza a hidrolizar los polímeros para obtener compuestos de alto peso molecular y así poder respirar [4].

### Modelamiento del comportamiento de los sólidos solubles

Después de haber alcanzado la madurez fisiológica, el fruto del mango está disponible para la cosecha, es en ese momento cuando se aumenta la producción de etileno, con ello la síntesis de enzimas hidrolíticas produce una serie de cambios en el fruto como lo son: pérdida de textura, cambio de color, aumento de los grados Brix, pérdida de acidez, entre otras. Un aspecto muy importante a tener en cuenta es que después de cosechado, el fruto continúa respirando. Esto se demuestra por la producción masiva de dióxido de carbono acompañado de la combustión interna de glucosa y de metabolitos energéticos [13,14]. La mayoría de compuestos de bajo peso molecular como ácidos y sabores son producidos a partir de la síntesis de acetil Coenzima A, la cual se produce por la degradación de carbo-

hidratos, lípidos o aminoácidos [15]. El proceso de maduración para el mango se realizó 9 días después de la cosecha a temperatura ambiente. Los sólidos solubles son quizás uno de los parámetros fisicoquímicos de mayor interés en los procesos de maduración, ya que gracias a la hidrólisis de los almidones ocurrida con ayuda de las amilasas propias del fruto, se comienza a liberar una gran cantidad de moléculas de glucosa que hacen que el fruto aumente en la cantidad de sólidos solubles lo cual se ve reflejado en el aumento de los grados Brix, provocando que el fruto se vuelva más dulce, por ende más apetecible para el consumidor, pero a su vez se hace más atractivo para bacterias, roedores e insectos. En la figura 1 se observa la tendencia de los sólidos solubles donde se aprecia un aumento no lineal de los grados Brix con el tiempo.

#### Modelamiento del comportamiento e la actividad de agua

La actividad de agua se ve influenciada durante todo el proceso de maduración debido a que en las cadenas de almidón se encuentra atrapada una gran cantidad de agua, la cual está disponible para todos los procesos bioquímicos y microbiológicos al interior del fruto. A medida que el mango va madurando, el almidón se va hidrolizando, en este proceso se gastan moléculas de agua y otra cantidad va saliendo de las cadenas, por medio de la transpiración. La disminución de la actividad de agua se debe a la liberación del agua y del CO<sub>2</sub> de los almidones del fruto en conjunto durante todo el proceso de transpiración, propio de todas las frutas climatéricas como el mango [16].

El comportamiento de la actividad de agua durante el proceso de maduración se observa en la figura 2.

#### Modelamiento del comportamiento del pH y la acidez (% de ácido cítrico)

El pH y la acidez son dos de los parámetros con mayor variabilidad debido que los ácidos orgánicos contenidos en el fruto verde se van transformando o degradando a medida que el fruto respira. Los ácidos en el fruto verde se acumulan ya que las rutas respiratorias, tienen velocidades de reacción menores a las rutas sintéticas, como es el caso de la fotosíntesis, por ende todos los ácidos están almacenados en el complejo citoplasmático celular [14]. Cuando el fruto comienza a madurar, la glucosa comienza

Figura 1. Evolución de los °Brix con respecto al tiempo

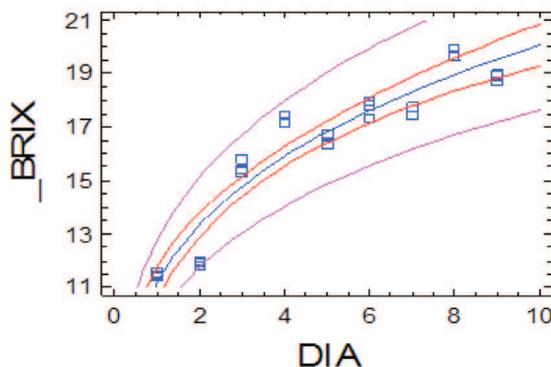
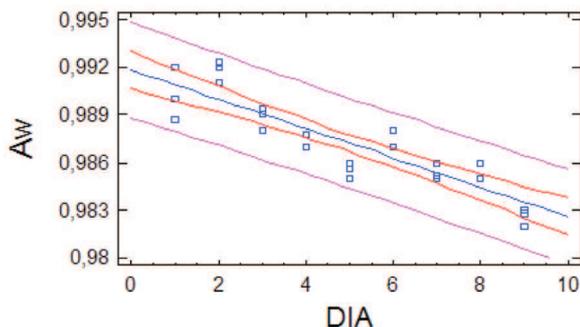


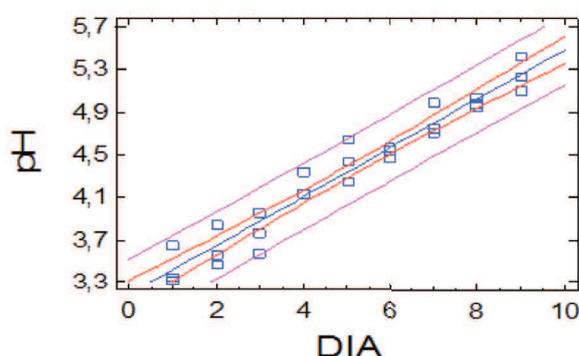
Figura 2. Comportamiento de la aw con respecto al tiempo de maduración del mango.



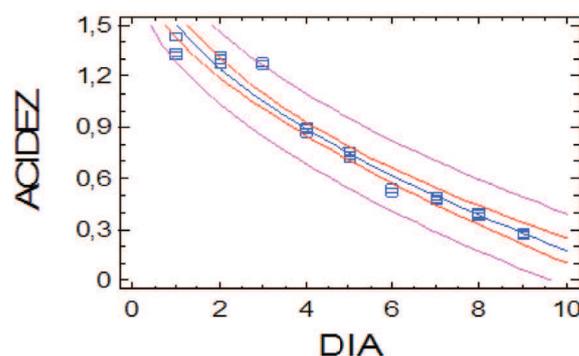
a degradarse para que se inicie el ciclo respiratorio del fruto provocando un movimiento de los ácidos orgánicos internos para activar las diferentes rutas metabólicas [17,18]. El comportamiento del pH y la acidez se observa en las figuras 3 y 4. En estas gráficas se aprecia un aumento del pH y una disminución de la acidez, con lo cual se corrobora la pérdida y degradación de los ácidos orgánicos.

El mango es particularmente rico en ácidos orgánicos en la etapa pre climatérica [15]. Durante la maduración después de la cosecha estos ácidos se pierden. Esta pérdida ha sido atribuida a un incremento concomitante en las enzimas que los metabolizan. Existe evidencia de la formación de ácidos desde carbohidratos en manzanas y de la presencia de altos niveles de citrato sintasa en frutos maduros e inmaduros. Se han realizado estudios en los cuales se han reportado cambios en las enzimas mitocondriales en el mango durante el

**Figura 3.** Comportamiento del pH con respecto al tiempo de maduración del mango.



**Figura 4.** Comportamiento de la acidez con respecto al tiempo de maduración del mango.



desarrollo y la maduración [16]. En estos estudios se ha observado una marcada diferencia en el contenido de ácido glioxílico de la fruta madura a la inmadura y se estima que estos cambios hacen que la ruta del glioxilato sea la responsable del metabolismo de los ácidos y de la capacidad de la mitocondria de oxidar diferentes tipos de ácidos grasos en el desarrollo y maduración de la fruta.

La actividad mitocondrial de las enzimas del ciclo del ácido glioxílico se muestra en un incremento constante durante la cosecha y maduración del mango. Esto muestra que ácidos carboxílicos saturados e insaturados de diferente longitud de cadena son oxidados por mitocondrias aisladas de frutas inmaduras, pulpas de mango climatéricas y pos climatéricas. Como la fruta madura no cosechada contiene altas concentraciones de glioxilato y también tienen una alta capacidad de

oxidar ácidos grasos, los ácidos caprílico, láurico, mirístico y palmítico son oxidados en este sitio produciendo ácidos grasos de cadena corta y altas concentraciones de acetyl Coenzima A con lo cual se aumenta la velocidad de producción de  $\text{CO}_2$  [18].

### Modelamiento del comportamiento del color de la cáscara y de la pulpa

El color es una de las características fisicoquímicas más importantes en el proceso de maduración y es uno de los principales criterios de aceptación por parte de los consumidores [8], ya que los compuestos químicos como las clorofilas, reaccionan a medida que pasa el tiempo, provocando que el mango vaya cambiando de color diariamente. Las clorofilas, son las responsables del color verde, estas se van degradando de tal manera que permiten que los compuestos carotenoides que son los responsables del color amarillo, absorban luz del espectro visible y por tanto la transmitan a la longitud de onda propia del color amarillo. La figura 5 muestra el cambio de color de la cáscara con respecto al tiempo [9,19].

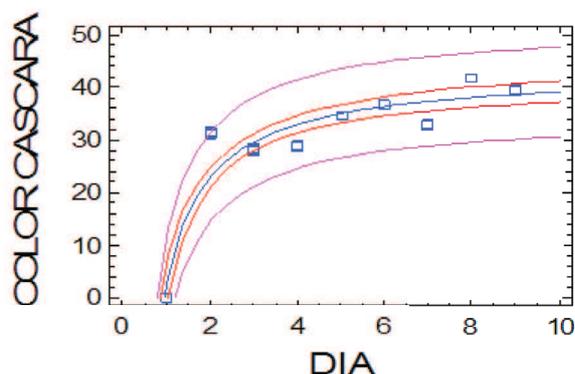
Los carotenoides son compuestos liposolubles asociados con efectos protectores para la salud, en especial contra el cáncer. Además, algunos como los trans carotenos, son precursores de la vitamina A. Varios carotenoides han sido identificados en diferentes frutas, pero únicamente unas pocas de ellos aparecen en concentraciones significativas. En investigaciones anteriores se determinaron que los predominantes son todos los trans carotenos, trans-violaxanthinas y 9-*cis*violaxanthinas, llegando a ser el 27, 28 y 18% respectivamente del total del contenido de carotenoides [16,20].

En la pulpa ocurre un proceso muy similar, con la diferencia que no hay clorofilas, entonces los cambios se deben a la aparición de nuevos compuestos carotenoides que provocan que el color de la pulpa cambie constantemente durante el proceso de maduración.

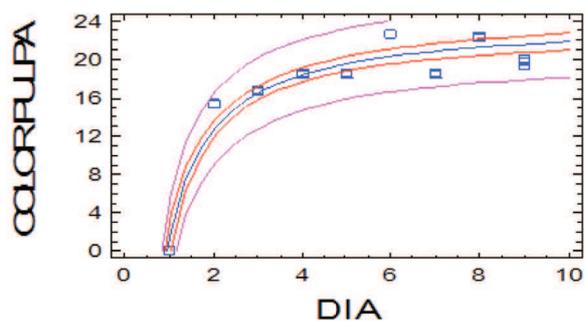
En la figura 6 se observa la evolución del color de la pulpa con respecto al tiempo.

Los carotenos son pigmentos responsables del color amarillo-naranja del mesocarpo del mango. Este color es un importante parámetro de calidad, ya que el consumidor asocia estos colores con el sabor dulce y el aroma característico del fruto maduro. El

**Figura 5.** Cambio de color en la cáscara ( $\Delta E$ ) con respecto al tiempo de maduración del mango



**Figura 6.** Comportamiento del cambio de color de la pulpa ( $\Delta E$ ) con respecto al tiempo de maduración del mango



color de la epidermis juega un papel importante en la percepción de la calidad promedio y puede ser una herramienta importante para la determinación de la madurez apropiada para la cosecha, procesamiento y el consumo [10,19].

#### **Modelamiento del comportamiento la textura de la cáscara del mango común**

El cambio de la textura en la cáscara del mango se debe a la disrupción de las paredes celulares, causada por la degradación de polisacáridos como celulosas, pectinas y hemicelulosas y a la aparición de carbohidratos solubles en agua como arabinosa, galactosa, ácidos galacturónicos. En la pulpa lo que ocurre es una degradación de los amiloplastos por hidrólisis de los almidones producidos en fotosíntesis. Estos compuestos al hidrolizarse producen carbohidratos de bajo peso

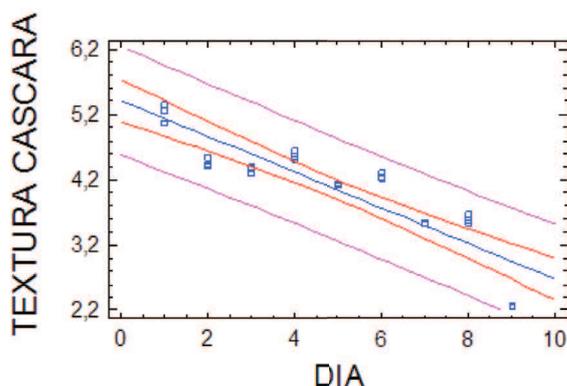
molecular solubles en agua como lo son glucosa, fructosa y sacarosa. Esto se ratifica al observar el aumento de los sólidos solubles en el proceso de maduración [21,22]. El comportamiento de la textura en la cáscara y en la pulpa de mango se observa en las figuras 7 y 8.

La disminución de la textura tanto de la cáscara como de la pulpa es debido a la acción de las enzimas hidrolíticas. Estas hidrolasas que se encuentran en las paredes celulares, incrementan su actividad durante el almacenamiento, especialmente en la etapa del climaterio, resultando en un desamblé, despolimerización y disolución de las pectinas y otros polisacáridos hemicelulosicos [23]. Las enzimas que degradan las pectinas tales como poligalacturonasa, pectatoliasa y pectin metil estearasa están implicadas en la maduración y en el ablandamiento estructural de frutas tales como el tomate, banano y la guayaba. Las enzimas galactosidasa y la galactanasa están envueltas en la maduración de frutos como el kiwi, y la manzana. Un incremento en la actividad de la celulasa fue reportado en la maduración de las peras y el aguacate [21,22].

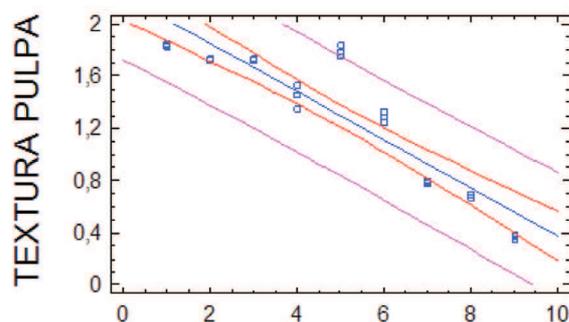
Las hemicelulosas y las pectinas también tienen funciones importantes dentro del fruto del mango, estas son la proporcionan firmeza a las paredes celulares. La degradación de estos compuestos ayuda al ablandamiento de los frutos. Muchos estudios se han enfocado sobre la considerable degradación de la pectina que coincide con el ablandamiento del fruto y el aumento de la actividad de la enzima poligalacturonasa [22, 23, 24].

Sin embargo aproximaciones genéticas moleculares han revelado que la dependencia de la degradación de la pectina con la poligalacturonasa no es esencial para el ablandamiento del fruto, pero puede jugar un rol en otros aspectos de la calidad de la fruta. Estudios recientes han revelado la extensa degradación de la hemicelulosa durante la maduración de los frutos y esto ha sido demostrado porque los xiloglucanos experimentan una depolimeración sustancial en maduraciones de muchos frutos. Esto está bien documentado que las paredes celulares de la plantas consisten de microfibrillas de celulosas entrecruzadas con xiloglucanos formando una red, y una ruptura de tal red podría ser un elemento en la regulación de la integridad de la pared celular [21,24,25].

**Figura 7.** Comportamiento de la textura en cáscara (kg-fuerza) con respecto al tiempo de maduración del mango.



**Figura 8.** Comportamiento de la textura en pulpa (kg-fuerza) con respecto al tiempo de maduración del mango.



## CONCLUSIONES

El fenómeno de maduración del mango común es un proceso bioquímico elevadamente complejo, que se ve reflejado a través de las variables como los sólidos solubles, la actividad de agua, el pH, La acidez, la textura y el color. En este estudio se modeló matemáticamente el comportamiento de cada una de estas variables con respecto al tiempo y se pudo determinar que los sólidos solubles tiene una tendencia explicada con un modelo de regresión multiplicativo ( $^{\circ}\text{BRIX} = 11,1719 \cdot \text{DIA} \wedge 0,254109$  ó  $\ln(^{\circ}\text{BRIX}) = 2,4134 + 0,254109 \cdot \ln(\text{DIA})$ ), la actividad de agua con un modelo de regresión recíproco de x ( $A_w = 1 / (1,00826 + 0,000941422 \cdot \text{DIA})$ ), el pH tiene una tendencia lineal con respecto al tiempo ( $\text{pH} = 3,19104 + 0,228897 \cdot \text{DIA}$ ) y la acidez fue modelada con una ecuación de regresión de raíz cuadrada de x con res-

pecto al tiempo ( $\% \text{ acidez} = 2,11919 - 0,613398 \cdot \sqrt{\text{DIA}}$ ). Para el ajuste de las variables del cambio de color en cáscara y en pulpa con respecto al tiempo, ambas se modelaron con una regresión recíproca de X y se obtuvieron las ecuaciones correspondientes, ( $\Delta E$  (Cáscara) =  $43,1395 - 40,5912/\text{DIA}$  y  $\Delta E$  (Pulpa) =  $24,1417 - 22,8909/\text{DIA}$ ). En el caso de la textura se observó y se ajustó modelos lineales tanto para cáscara como para pulpa ( $\text{TEXTURA CÁSCARA (kg.fuerza)} = 5,40969 - 0,273272 \cdot \text{DIA}$  y  $\text{TEXTURA PULPA (kg.fuerza)} = 2,21326 - 0,183696 \cdot \text{DIA}$ )

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los directivos, investigadores y profesores de la Universidad del Quindío (Colombia), y al Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí (México) por facilitarnos toda la infraestructura y equipos requeridos para llevar a cabo esta investigación y al Conacyt por la beca para los estudios de postgrado.

## REFERENCIAS

- [1] MEJÍA, L.F., MARTÍNEZ, H., BETANCOURT, J. y CASTRILLÓN, C. Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica L.*) en la obtención de azúcares fermentables. Ingeniería y Ciencia, 3 (6), 2007, p. 41-62.
- [2] JOAS, J., CARO, Y. and LECHAUDEL, M. Comparison of postharvest changes in mango (*cv Cogshall*) using a ripening class index (Rci) for different carbon supplies and harvest dates. Postharvest Biology and Technology, 54 (1), 2009, p. 25-31.
- [3] MORGA, S., LUSTRE, O., TUNAC, M., BALAGOT, H. and SORIANO, R. Physico-chemical changes in Philippine Carabao mangoes during ripening. Food Chemistry, 4 (3), 1979, p.225-234.
- [4] MONTALVO, E., GARCIA, H., TOVAR, B. and MATA, M. Application of exogenous ethylene on postharvest ripening of refrigerated "ataulfo" mangoes. LWT-Food Science and Technology, 40(8), 2007, p. 1466-1472.
- [5] GENARD, M. and GOUBLE, E. Et hy. A Theory of fruit climacteric ethylene emission. Plant Physiology, 139(1), 2005, p. 531 - 545.
- [6] MONTGOMERY, C. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. México D.F.(México): Grupo Editorial Iberoamérica, 1991, 589 p.

- [7] ROJAS, C., PÉREZ, M., COLINAS, T., SAHAGÚN, J. y AVITIA, E. Modelos matemáticos para estimar el crecimiento del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens R y P*). Revista Chapingo Serie Horticultura, 14 (3), 2008, p. 289-294.
- [8] SLAUGHTER, D.C. Nondestructive maturity assessment methods for mango: A Review of Literature and Identification of Future Research Needs. Biological and Agricultural Engineering , 2009, p. 1-18.
- [9] JHA, S., CHOPRA, S. and KINGSLEY, A. Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. Journal of Food Engineering, 78 (1), 2007, p. 22-26.
- [10] SUBEDI, P., WALSH, K. and OWENS, G. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. Postharvest Biology and Technology, 43 (3), 2007, p. 326-334.
- [11] MOHD, Z., CHIN, L.H. and LAZAN, H. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. Plant Science, 167 (2), 2004, p. 317-327.
- [12] SUBRAMANYAM, H., KRISHNAMURTHY, S. and PARPIA, H.A.B. Physiology and biochemistry of mango fruit. Advances in Food Research, (21), 1975, p. 223-305.
- [13] SCHMILOVITCH, Z., MIZRACH, A., HOFFMAN, A., EGOZI, H. and FUCHS, Y. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. Postharvest Biology and Technology, 19 (3), 2000, p. 245-252.
- [14] CASTRILLO, M., KRUGER, N. and WHATLEY, R. Sucrose metabolism in mango fruit during ripening. Plant Science, 84 (1), 1992, p.45-51.
- [15] TOVAR, B., GARCIA, H. and MATA, M. Physiology of pre-cut mango. I. ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. Food Research International, 34 (2-3), 2001, p. 207-215.
- [16] SARANWONG, S., SORNSRIVICHAI, J. and KAWANO, S. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. Postharvest Biology and Technology, 31 (2), 2004, p. 137-145.
- [17] BRICENO, S., ZAMBRANO, J. y MATERANO, W. Calidad de los frutos de mango 'bocado', madurados en la planta y fuera de la planta cosechados en madurez fisiológica. Agronomía Tropical, 55 (4), 2005, p. 461-473.
- [18] MIZRACH, A., FLITSANOV, U. SCHMILOVITCH, Z. and FUCHS, Y. Determination of mango physiological indices by mechanical wave analysis. Postharvest Biology and Technology, 16 (2), 1999, p. 179-186.
- [19] ORNELAS, J., YAHIA, E. and GARDEA, A. Changes in external and internal color during postharvest ripening of "manila" and "ataulfo" mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCI+ -time-of-flight mass spectrometry. Postharvest Biology and Technology, 50 (2-3), 2008, p. 145-152.
- [20] KANG, P., EAST, R. and TRUJILLO, J. Colour vision system evaluation of bicolour fruit: A case study with "B74" mango. Postharvest Biology and Technology, 49 (1), 2008, p. 77-85.
- [21] YASHODA, H.M., PRABHA, T.N. and THARANATHAN, R.N. Mango ripening- role of carbohydrates in tissue softening. Food Chemistry, 102 (3), 2007, p. 691-698.
- [22] YASHODA, H.M., PRABHA, T.N. and THARANATHAN, R.N. Mango ripening-chemical and structural characterization of pectic and hemicellulosic polysaccharides. Carbohydrate Research, 340 (7), 2005, p. 1335-1342.
- [23] MUDA, P., SEYMOUR, B. and ERRINGTON, N., TUCKER, G.A. Compositional changes in cell wall polymers during mango fruit ripening. Carbohydrate Polymers, 26 (4), 1995, p. 255-260.
- [24] AJILA, M., BHAT, G. and PRASADA, U. Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. Food Chemistry, 102 (4), 2007, p. 1006-1011.
- [25] VIDHU, S., AMITA, C. and PRAVENDRA, N. Softening in mango (*Mangifera indica cv. Dashehari*) is correlated with the expression of an early ethylene responsive, ripening related expansin gene, *MIExpA1*. Postharvest Biology and Technology, 38 (3), 2005, p. 223-230.