

COMPORTAMIENTO RESPIRATORIO Y EVOLUCIÓN DEL COLOR, DURANTE LA MADURACIÓN DE MANGO (*Mangifera indica* L.), COSECHA 2016, CULTIVADO EN EL ESTADO YARACUY, VENEZUELA

Iván de Jesús Toro Hidalgo
Mabeth Yornelis Caro Eulacio
Centro de Investigaciones del Estado para la
Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE) San Felipe, Venezuela

RESUMEN

Las frutas obtienen de la respiración, la energía requerida para realizar el proceso de maduración, es por ello que el estudio de esta función fisiológica es de vital importancia durante la postcosecha, ya que permite conocer el comportamiento respiratorio de la fruta, calcular su calor metabólico y estimar su vida útil, para establecer estrategias que garanticen la conservación de la calidad y eviten pérdidas. Por otra parte, el cambio de color que experimentan las frutas durante su maduración es un fuerte indicador de la madurez de consumo, calidad y vida útil; esto es particularmente importante en el mango (*Mangifera indica* L.) tipo 'hilacha', por el llamativo color amarillo que adquiere en su estado de madurez de consumo. La investigación consistió en estudiar el comportamiento respiratorio y la evolución del color, durante la maduración del mango tipo 'hilacha', producidos en Yaracuy, Venezuela, a fin de generar información para la postcosecha del mango producido en la región, aportando datos para el manejo de la fruta. Para ello, se cosecharon 250 frutas con estado de madurez fisiológica, cultivadas en la localidad de interés, se desinfectaron y almacenaron a temperatura promedio $24,20 \pm 2^{\circ}\text{C}$; el comportamiento respiratorio se estudió mediante la recolección y titulación del CO_2 generado por la respiración de los mangos y la evolución del color de las frutas, mediante medición de la reflectancia (Coordenadas del espacio de color: L^* , a^* y b^*), durante su maduración. El climaterio respiratorio se alcanzó al cuarto día, justo en el inicio de la madurez de consumo y la tasa de respiración promedio, se ubicó en $90,68 \text{ mg de CO}_2/\text{kg.h}$ ($19.950,48 \text{ BTU/T.día}$); los cambios en los parámetros de color L^* , a^* y b^* , para la pulpa de la fruta, guardaron relación con el comportamiento respiratorio; los mangos tuvieron una vida útil de 11 días, bajo las condiciones del estudio.

Palabras Clave: *Mangifera indica* L., Maduración, Climaterio Respiratorio, Color por Reflectancia, Calor Metabólico.

Recibido: 29/06/2020

Aceptado: 15/10/2020

In Situ. e-ISSN: 2610-8100. Volumen 4. Número 4/Abril-Diciembre 2020/Año de publicación 2021

RESPIRATORY BEHAVIOR AND EVOLUTION OF COLOR, DURING THE RIPENING OF MANGO (*Mangifera indica* L.), HARVEST 2016, CULTIVATED IN THE STATE OF YARACUY, VENEZUELA

Iván de Jesús Toro Hidalgo

Mabeth Yornelis Caro Eulacio

Centro de Investigaciones del Estado para la
Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE) San Felipe, Venezuela

ABSTRACT

Fruits obtain from respiration the energy required to carry out the ripening process, which is why the study of this physiological function is of vital importance during postharvest, since it allows knowing the respiratory behavior of the fruit, calculating its metabolic heat and estimate its shelf life, to establish strategies that guarantee the conservation of quality and avoid losses. On the other hand, the color change that fruits undergo during their ripening is a strong indicator of consumption maturity, quality and shelf life; This is particularly important in the mango (*Mangifera indica* L.) 'hilacha' type, due to the striking yellow color that it acquires in its mature consumption state. The research consisted of studying the respiratory behavior and the evolution of color, during the ripening of the 'hilacha' type mango, produced in Yaracuy, Venezuela, in order to generate information for the postharvest of the mango produced in the region, providing data for the management of the fruit. For this, 250 fruits with a physiological maturity stage were harvested, grown in the locality of interest, disinfected and stored at an average temperature of 24.20 ± 2 °C; The respiratory behavior was studied by collecting and titrating the CO₂ generated by the respiration of mangoes and the evolution of the color of the fruits, by measuring reflectance (Coordinates of the color space: L*, a* and b*), during its ripening. The respiratory climacteric was reached on the fourth day, just at the beginning of consumption maturity and the average respiration rate was located at 90.68 mg of CO₂ / kg.h (19,950.48 BTU / T.day); the changes in the color parameters L*, a* and b*, for the fruit pulp, were related to the respiratory behavior; the mangoes had a shelf life of 11 days, under the conditions of the study.

Keywords: *Mangifera indica* L., Ripening, Respiratory Climacteric, Color by Reflectance, Metabolic Heat.

INTRODUCCIÓN

La maduración de las frutas ocurre en las últimas etapas de su desarrollo; se trata de un proceso programado genéticamente, que implica una serie de cambios fisiológicos, bioquímicos y sensoriales, dando como resultado una fruta madura comestible, con parámetros de calidad deseables. Existen cambios bioquímicos y fisiológicos específicos, que varían entre las especies, pero en general incluyen modificaciones en el metabolismo del azúcar, ablandamiento, cambios de color y la síntesis de compuestos volátiles aromáticos; generando además, una mayor susceptibilidad al ataque de patógenos (Brasil y Siddiqui, 2018; Toro, 2015; Wang et al., 2018). La energía requerida para que se activen y se ejecuten dichos cambios en las frutas, proviene esencialmente de la respiración, que es una función catabólica en la que se consumen sustratos respiratorios, ocasionándose pérdida de los mismos; sin embargo, mientras las frutas se encuentran unidas a la planta, las pérdidas ocasionadas por la respiración se compensan mediante el flujo de la savia que contiene, agua, productos fotosintetizados y minerales. Después de la cosecha, las frutas continúan respirando y como pierden la conexión con la planta madre, dependen exclusivamente de sus reservas alimenticias y del contenido de agua que tenían al ser cosechadas, por lo que las pérdidas de los sustratos respirables no se compensan, iniciándose el deterioro (Barreiro y Sandoval, 2006; Toro, 2018; Valero y Serrano, 2010).

Aunque todas las frutas respiran, existen diferencias marcadas en el comportamiento respiratorio, así se tiene que, de acuerdo a sus patrones de respiración y síntesis de etileno durante la maduración, las frutas pueden separarse en dos grandes grupos: climatéricas y no climatéricas. Las frutas climatéricas presentan un incremento característico de la actividad respiratoria durante la maduración, denominado climaterio respiratorio; este incremento genera un pico que puede corresponder con la madurez de consumo, o bien puede precederla u ocurrir después, dependiendo de las particularidades de cada fruta. Por su parte, las frutas no climatéricas mantienen o exhiben una disminución gradual de su ritmo respiratorio durante la maduración postcosecha (Arias y Toledo, 2007).

El conocimiento de la diferencia antes mencionada, es muy importante pues permite establecer que, las frutas climatéricas pueden alcanzar la madurez de consumo en la planta, o después de cosechadas, con madurez fisiológica y los cambios asociados con la maduración (color, sabor, aroma, textura) son rápidos, intensos y variados; mientras que, las frutas no climatéricas, poseen procesos de desarrollo y maduración continuos y graduales, manteniendo en todo momento, niveles bajos de respiración y únicamente alcanzan la madurez de consumo en la planta. La importancia del estudio de la respiración durante la maduración de frutas se encuentra en que posibilita: conocer el comportamiento postcosecha de la fruta, estimar la vida útil, conocer el calor generado por la respiración y calcular la carga frigorífica en los almacenes y bodegas de barcos, idear estrategias para garantizar la conservación de la calidad y evitar pérdidas durante la postcosecha (Arias y Toledo, 2007; Toro, 2018).

Por otra parte, es importante diferenciar los estados de madurez que ocurren durante el proceso de maduración dependiendo del interés que se tenga, ya sea comercial o científico. En el caso de una investigación para evaluar el proceso de maduración de una fruta, se deben tener en cuenta principalmente, los estados de madurez fisiológica, madurez de cosecha y madurez de consumo. La madurez fisiológica, se refiere al estado en el que la fruta alcanza el máximo grado de desarrollo y, por lo tanto, el organismo ha madurado lo suficiente como para lograr alcanzar la madurez de consumo. La madurez de cosecha,

debe corresponder a un determinado estado de desarrollo, que puede coincidir con la madurez fisiológica, pero nunca antes de esta última, pues la fruta no alcanzaría la madurez de consumo, que es el estado de madurez en el que la fruta alcanza el óptimo de sus características organolépticas y nutricionales, haciéndola atractiva para el consumo. Posterior a la madurez de consumo, sobreviene la etapa de senescencia, que consiste en un proceso de degradación que sufren las frutas, llegando a la pérdida total de sus características sensoriales y nutricionales, imposibilitando su consumo. (Toro, 2015; Toro et al., 2020).

La mayoría de las frutas experimentan cambios de color como parte del proceso de maduración, siendo esta característica de mucha importancia para los consumidores, en el momento de evaluar su madurez y su calidad. La fruta inmadura, es generalmente de color verde y comúnmente, este color se vuelve más ligero, pudiendo llegar a perderse, durante la maduración debido a la descomposición de la clorofila; por ejemplo, en mangos, guayabas, naranjas, y lechosas. Estos cambios de color afectan tanto la piel como la pulpa y en muchos casos, el color de la fruta es un fuerte indicador de la calidad de consumo y vida útil (Valero y Serrano, 2010).

Para investigar la calidad de color de una manera sistemática, es necesario medirlo objetivamente, así como la concentración de pigmento. En este contexto, el color indica la apariencia visual del producto, mientras que los pigmentos o colorantes son los compuestos químicos que imparten el color observado. La industria de alimentos adoptó el sistema CIE L^* , a^* , b^* (Comisión Internacional de Iluminación, Viena), para medir el color de los productos alimenticios. Si bien este sistema no da necesariamente una definición precisa del color, es muy eficaz para la medición de diferencias de color y en el seguimiento de los cambios de color en frutas y del resto de alimentos. El sistema, L^* , a^* , b^* , se basa en que para la visión diurna, el ojo posee tres tipos de conos: los sensibles al rojo, al verde y al azul. Por otra parte, la teoría de los colores oponentes indica que las respuestas de los conos rojos, verdes y azules del ojo, se transmiten hasta el cerebro, no como cantidades relativas de los tres colores primarios, sino como tres señales ya codificadas, referidas a colores oponentes; es decir, blanco-negro, rojo-verde y amarillo-azul. (Harold y Alsina, 2002; Wrolstad et al., 2005).

El mango (*Mangifera indica* L.), es una fruta ampliamente producida y consumida en Venezuela (Fernández et al., 2016). Se trata de una fruta climatérica, que en cierta etapa de la maduración muestra un característico ascenso en la respiración y producción de etileno. Sin embargo, cuando madura en el árbol no presenta dicho aumento climatérico; además, el ablandamiento y la acumulación de sólidos solubles totales, es más lento que cuando se retira de la planta y se madura en almacén (Estrada et al., 2015; Villamizar et al., 2019, Sánchez, 2015). Una vez que alcanza la madurez fisiológica, puede ser separada de la planta y continúa su proceso de maduración. Cuando esta fruta es cosechada, comienzan a ocurrir una serie de transformaciones bioquímicas en su interior, que le permiten adquirir la máxima aptitud comestible. Durante el proceso de maduración, la firmeza del mango disminuye e incrementa el contenido del jugo, el color interno de la pulpa se torna, de un color amarillo pálido, a un color amarillo dorado muy fuerte; y el externo, pasa, de verde a amarillo, en la mayoría de las variedades. Debido a la disminución de la clorofila y aumento de carotenoides, se presenta una conversión de almidones en azúcares, principalmente para incrementar la dulzura de la fruta, se produce una disminución de los ácidos orgánicos y se incrementa la tasa de respiración (Brecht et al., 2017).

Como un aporte al mejoramiento de la postcosecha del mango, producido en la

región y para generar datos de mucha utilidad para el manejo de la fruta en procesos de exportación; la investigación realizada tuvo como objetivo, estudiar el comportamiento respiratorio durante la maduración del mango tipo hilacha, producido en el estado Yaracuy, Venezuela, relacionando este parámetro bioquímico, con el color medido instrumentalmente (L^* , a^* , b^*), que es un parámetro físico de suma importancia para la evaluación de la madurez y la calidad de esta fruta. Además, se detalla el procedimiento y un montaje, para determinar la tasa de respiración de frutas y hortalizas, en laboratorios que no dispongan de equipos sofisticados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y tasa de muestreo.

Se emplearon frutos de mango (*Mangifera indica* L.) 'hilacha', cosechados en julio de 2016, en un huerto ubicado en la urbanización El Ciepto, avenida las Américas, entre avenidas Yaracuy y Las Fuentes, municipio San Felipe, estado Yaracuy. Situado a $10^{\circ} 21' 8,897''$ de latitud norte y $68^{\circ} 44' 44,444''$ de longitud oeste. Se colectaron 250 frutos con estado de madurez fisiológica (figura 1), provenientes de cuatro árboles del huerto.

Los mangos cosechados, se trasladaron en cestas plásticas al Laboratorio de Fisiología Postcosecha de la Fundación Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE), en donde se lavaron con agua potable y se desinfectaron por 10 minutos en agua clorada (150 ppm); luego se escurrieron y se dejaron secar al aire, en una superficie limpia y se colocaron en cestas plásticas previamente lavadas y desinfectadas, las cuales se almacenaron bajo condiciones de laboratorio a temperatura ambiente promedio de $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Para efectuar la investigación, se siguió un diseño completamente al azar, en el que se evaluó por duplicado, el comportamiento respiratorio y la evolución del color de las frutas en estudio. La frecuencia de la evaluación fue cada dos y tres días, hasta que los mangos presentaron deterioro evidente.



Figura 1. Frutos de mango (*Mangifera indica* L.) 'hilacha', cosechados con madurez fisiológica, empleados en la investigación.

Fuente: Autores, 2016.

Determinación de la tasa de respiración.

La determinación de la tasa de respiración, se realizó de forma indirecta, mediante titulación con HCl estándar, del CO₂ producido por los frutos al respirar ($C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 36 ADP \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 36 ATP$), colectado en una solución de NaOH. Para la recolección del CO₂, se construyó un dispositivo (figura 2), el cual permitió coleccionar en la solución de NaOH, el gas desprendido por los frutos de mango analizados como producto de 24 horas de respiración, mediante la reacción: $2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$. La construcción del dispositivo y la metodología para el ensayo, se realizó según lo indicado por Angueira et al. (2003), modificado por Toro (2015).

El sistema se instaló en un lugar donde la temperatura se mantuviera constante, dentro del laboratorio de Fisiología Postcosecha de la Fundación CIEPE, realizando monitoreo diario de la temperatura. En el montaje se emplearon tres cámaras de polipropileno (figura 2, h), donde, en cada una se colocaron dos mangos por día de evaluación, haciendo un total de seis frutos. La tasa de respiración fue determinada durante 14 días, realizando las mediciones los días lunes, miércoles y viernes, desde el día cero (cosecha), hasta el día 14 de almacenamiento, dando un total de siete evaluaciones.

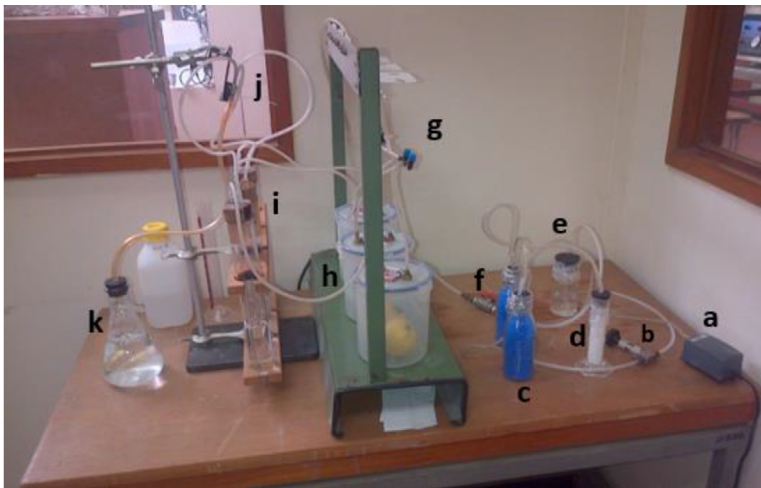


Figura 2. Montaje del sistema empleado para recoger en una solución de NaOH, el CO₂ desprendido por los mangos, como producto de su respiración:

- | | |
|---|--|
| a: Bomba de aire. | g: Válvulas para regular el flujo de aire en cada cámara. |
| b: Válvula para el paso de aire al sistema. | h: Cámaras de respiración (3 recipientes de plástico, cerrados herméticamente). |
| c: Columnas con gel sílica para retirar la humedad del aire. | i: Recipientes con solución de NaOH para coleccionar el CO ₂ resultante de la respiración de los frutos. |
| d: Columna con KOH sólido para eliminar el CO ₂ del aire. | j: Manifold para la salida del aire de los recipientes con NaOH. |
| e: Recipiente con agua libre de CO ₂ para reponer la humedad en el aire que ingresará a las cámaras de respiración. | k: Recipiente con solución de KOH, para evitar la entrada de aire con CO ₂ al sistema. |
| f: Válvula para el paso de aire hacia las cámaras de respiración. | |

Fuente: Autores, 2016.

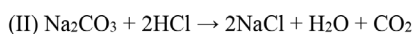
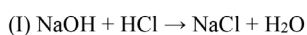
El dispositivo ensamblado permitió realizar los ensayos por triplicado. Sólo fue necesario regenerar la sílica de la primera columna (figura 2, c), al inicio de cada prueba, garantizando la entrada de aire seco a la columna con KOH 1N (figura 2, d). Antes de iniciar cada ensayo de respiración, se efectuó el ensamblaje colocando los frutos (previamente pesados), en las cámaras de respiración, sin colocar la solución de NaOH 1N en los tubos colectores (figura 2, i) y se barrió el sistema con aire libre de CO₂ durante 15 minutos, para eliminar el aire con CO₂ contenido en las cámaras de respiración; posteriormente, se suspendió el suministro de aire y se abrieron uno a uno los tubos colectores, para agregarles una solución NaOH 1N, tapándolos inmediatamente.

Al tener todos los tubos colectores con solución de NaOH 1N, se reinició el suministro de aire y se graduó el flujo en cada cámara a razón de 10 burbujas/5 segundos aproximadamente (medidas en los tubos colectores), mediante la válvula de admisión de aire de las cámaras (figura 4, g), marcando en ese instante el tiempo cero del ensayo. En ensayos preliminares, se hicieron 2 pruebas para cerciorarse de que el sistema funcionara correctamente y para determinar cuánto debería contener de NaOH 1N cada tubo colector. La primera fue 50 mL de NaOH por cada tubo y la segunda de 100 mL de NaOH 1N, tomándose esta última para los ensayos del estudio. El sistema se mantuvo conectado durante 24 horas.

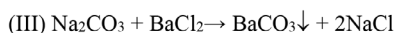
Al transcurrir las 24 horas de respiración, se cortó el suministro de aire al sistema, y se procedió a realizar las titulaciones mediante el método de Winkler, que consiste en trabajar sobre dos alícuotas iguales de la misma muestra; en una de ellas, se valora con un ácido fuerte normalizado (HCl 0,5N) hasta el viraje del indicador verde de bromocresol, para determinar la alcalinidad total; en la segunda alícuota, se precipitan los iones CO₃= con BaCl₂ agregado en exceso y se valoran los iones OH- presentes, usando fenolftaleína como indicador. Las titulaciones por cada indicador se realizaron por duplicado, dando un total de 12 titulaciones por los 3 tubos colectores.

De cada tubo con el CO₂ colectado, se tomaron dos alícuotas de 10 mL de solución, se agregaron 3 gotas de verde de bromocresol cada una y se tituló con HCl 0,508N hasta la aparición de color amarillo, para la determinación de alcalinidad total (AT). Luego, a dos alícuotas de 10 mL de muestra, se les añadieron 5 mL de solución de cloruro de bario saturada y 5 gotas de fenolftaleína y se titularon con HCl estándar hasta la desaparición del color (AF). Los tubos colectores solo se destaparon por un breve instante, mientras se tomaban las alícuotas para la titulación. El proceso de titulación involucró las siguientes reacciones:

Alcalinidad total:



Alcalinidad fenolftaleínica:



El volumen de solución de HCl estándar consumido en la neutralización del NaOH y Na₂CO₃ correspondiente a la determinación de la alcalinidad total (ecuaciones I y II), se denominó volumen total (VT). Mientras que el volumen de titulante consumido en la neutralización del NaOH correspondiente a la determinación de alcalinidad fenolftaleínica,

se denominó volumen fenolftaleínico (VF). Con los valores de VT y VF se determinaron los equivalentes de HCl que reaccionaron en cada titulación (ET y EF).

$$ET = 0,508 \frac{eq}{L} \times VT(L)$$

$$EF = 0,508 \frac{eq}{L} \times VF(L)$$

Con los equivalentes totales (ET) y los equivalentes fenolftaleínicos (EF), se determinaron los equivalentes de Na₂CO₃:

$$ET = E(NaOH) + E(Na_2CO_3)$$

$$EF = E(NaOH)$$

$$\rightarrow E(Na_2CO_3) = ET - EF$$

De la reacción que fija el CO₂ como Na₂CO₃ (2NaOH + CO₂ → Na₂CO₃ + H₂O), se tiene que E(CO₂) = E(Na₂CO₃). Por lo que se pudo calcular la fracción de CO₂ (en mg) fijada en 10 mL de NaOH 1N, durante 24 horas de respiración de las frutas:

$$mg(CO_2)_{(10ml,24h)} = [E(CO_2) * 22g/eq] * 100$$

Dónde: 22 g/eq, es el peso equivalente del CO₂ para la reacción.

Para conocer los mg de CO₂ fijados en los 100 mL de NaOH 1N, durante 24 h de respiración de los frutos:

$$mg(CO_2)_{(100ml,24h)} = mg(CO_2)_{(10ml,24h)} * (100/10)$$

$$\rightarrow mg(CO_2)_{(100ml,24h)} = mg(CO_2)_{(10ml,24h)} * 10$$

Finalmente, la tasa de respiración en mg CO₂ / (kg.h), se obtuvo dividiendo los mg CO₂ contenidos en 100 mL entre el peso de los frutos y el periodo de 24 h que duró la respiración:

$$TRM = \frac{mg(CO_2)_{(100ml,24h)}}{24h * PM}$$

Dónde:

TRM: Tasa de respiración de los mangos de hilacha analizados (mg CO₂ / (kg.h))

PM: Peso de los frutos de mango empleados en el ensayo (kg).

Determinación de color externo e interno.

La determinación de color se realizó mediante reflectancia, recurriendo al sistema CIE L*, a*, b*. Las mediciones se realizaron con un colorímetro triestímulo de Hunterlab,

modelo MiniScan XE Plus, el cual registra valores en la escala L*, a* y b*. El valor de L* designa luminosidad o brillantez y está en una escala entre 100= blanco y 0= negro; a* indica qué tan rojo o verde es el alimento y presenta una escala de valores positivos (color rojo) y valores negativos (color verde); b* muestra qué tan amarillo o azul es el alimento y su escala es de valores positivos (color amarillo) y negativos (color azul). El color de la piel (externo), se evaluó en tres puntos del fruto (ápice, centro y base). Para la pulpa (color interno), se realizó un corte longitudinal de ésta, en la zona más cercana a la semilla para así proceder a realizar la medición en tres puntos cercanos a la zona central de la muestra.

Esta determinación, fue ejecutada en tres frutos por cada día de evaluación para sacar un promedio y se efectuó tres veces a la semana, específicamente los días lunes, miércoles y viernes, desde el día cero (cosecha), hasta el día 11 de almacenamiento. Además, en cada medición, se tomaron fotografías para llevar un registro fotográfico de la evolución del color, durante la maduración de las frutas y comprobar de forma visual, las determinaciones realizadas instrumentalmente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la tasa de respiración.

En la figura 3, se muestra gráficamente, la evolución de la tasa de respiración de los mangos estudiados, durante el tiempo de evaluación. El primer punto (76,71 mg de CO₂/kg.h), corresponde al día cero del estudio, cuando las frutas presentaban madurez fisiológica, siendo este el valor más bajo de la tasa de respiración, del período evaluado; lo cual era de esperarse, debido a que; por una parte, las frutas tenían poco tiempo de arrancadas del árbol, por lo que en su interior ocurrían procesos de adaptación a la supervivencia, sin el aporte de nutrientes y regulación por parte de la planta madre; por otra parte, este punto corresponde al inicio del proceso de maduración para alcanzar la madurez de consumo, esperándose un incremento gradual de la tasa de respiración, característico de las frutas climatéricas, a medida que ocurre la maduración (Chakraverty et al., 2003; Toro, 2018).

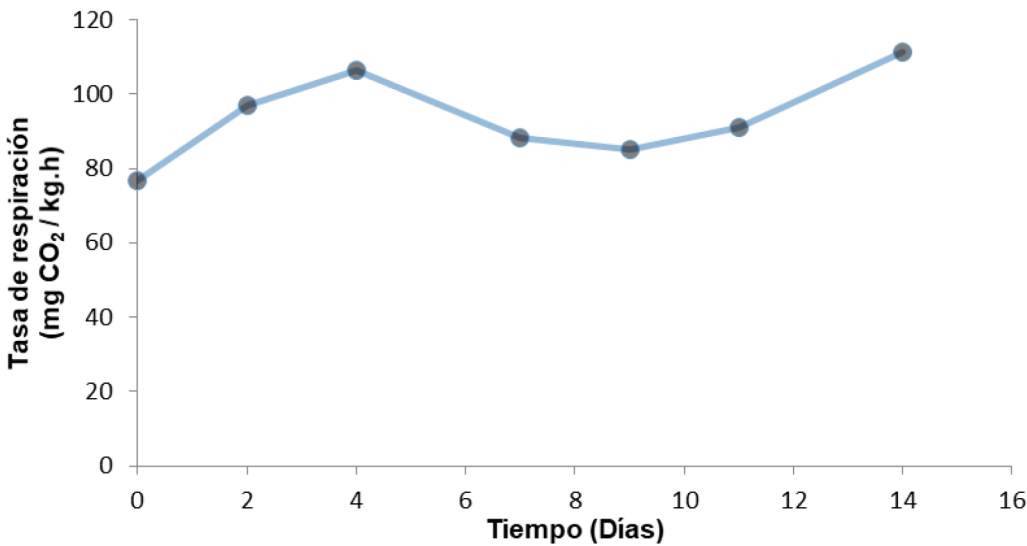


Figura 3. Tasa de respiración promedio evaluada durante 14 días, de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) ‘hilacha’, cosechados en estado de madurez fisiológica y almacenados a 24 ± 2 °C.

Fuente: Autores, 2016.

Efectivamente, con el transcurso del tiempo de almacenamiento, la tasa de respiración fue en aumento, evidenciándose el patrón respiratorio característico de las frutas climatéricas, llegando a un pico, en el día cuatro, cuyo valor fue de 106,49 mg de CO₂/kg.h, lo cual concuerda con lo esperado, según la premisa de que el mango es una fruta climatérica (Estrada et al., 2015). Las frutas climatéricas presentan un pico característico de la actividad respiratoria durante la maduración, denominado climaterio respiratorio, el cual puede corresponder con la madurez de consumo; aunque también puede ocurrir antes o después, dependiendo de la particularidad de la fruta. Para el caso de los mangos estudiados, el mencionado pico se ubicó justo en el inicio de la madurez de consumo, según la apreciación de una evaluación sensorial realizada.

Luego, en el día 11, ocurrió otro incremento de la actividad respiratoria, que se mantuvo hasta el final del estudio (día 14), pero este incremento no se atribuye al proceso de respiración de las frutas, sino a actividad de microorganismos en la piel de las mismas, según se pudo apreciar visualmente, de forma muy evidente (figura 4). Debido a esto, la evaluación del color se realizó sólo hasta el día 11. En promedio (hasta el día nueve), la tasa de respiración de los mangos evaluados, se ubicó en 90,68 mg de CO₂/kg.h, que en unidades térmicas equivaldría a, 19.950,48 BTU/T. día (Barreiro y Sandoval, 2006), por lo tanto, el calor metabólico de cada tonelada de los mangos evaluados, almacenados a 24 ± 2 °C, sería, 19.950,48 BTU/día; este dato es importante para el manejo de la fruta durante la postcosecha.



Figura 4. Desarrollo microbiano detectado en la piel de mangos ‘hilacha’, a partir del día 11 de almacenamiento, durante la evaluación de la tasa de respiración.

Fuente: Autores, 2016.

Determinación de color externo e interno.

En la figura 5, se muestra el comportamiento del color externo (piel) del mango durante el tiempo de evaluación; se puede observar la variación de los parámetros, L*, a* y b* durante el período de evaluación. La luminosidad (L*), incrementó constantemente, partiendo de 50 hasta llegar a un valor aproximado de 60; esto se traduce en que el color de las frutas evaluadas, se tornaba más brillante a medida que transcurría la maduración. Con respecto al valor de a*, el cual indica una gama de colores que van de verde (valores negativos), a rojo (valores positivos); se puede apreciar que se fue perdiendo el color verde hasta que en el día nueve, apareció el color rojo; esto se debe a la pérdida de la clorofila y acumulación de pigmentos rojos, azules o púrpuras, en la vacuola o por la conversión del cloroplasto en cromoplasto, con la acumulación de carotenoides amarillos y rojos (Martínez et al., 2017;

Sánchez, 2015), que por lo general ocurre principalmente en la piel de las frutas, durante la maduración.

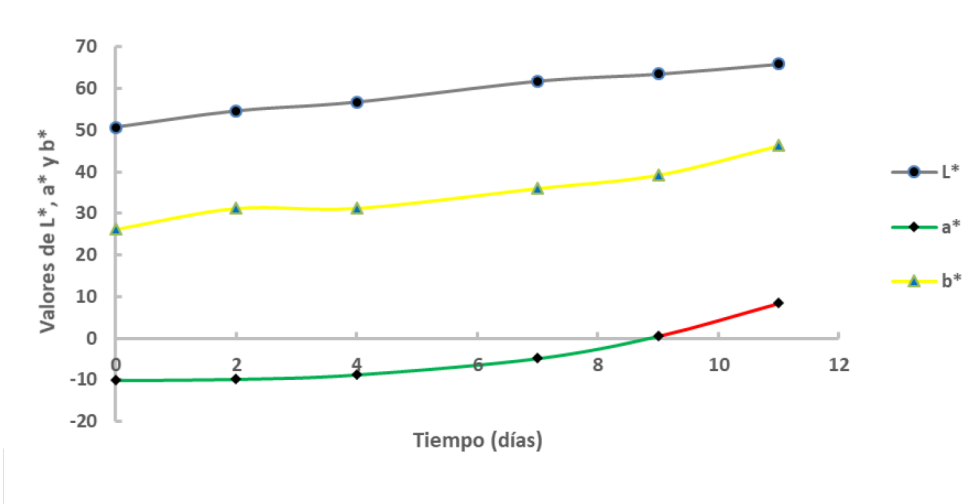


Figura 5. Variación del color externo, evaluado mediante medición de los parámetros L*, a* y b*, durante la maduración de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) ‘hilacha’, cosechados en estado de madurez fisiológica.
Fuente: Autores, 2016.

Cabe señalar que, los pigmentos que imparten coloración amarilla o amarilla rojiza, como carotenoides y flavonoides, están presentes en las frutas verdes, solo que se ven enmascarados por la clorofila y cuando esta se pierde durante la maduración, dichos pigmentos se evidencian a la vista, además de incrementarse la cantidad, mediante los mecanismos descritos anteriormente. Al observar en la figura 5, la curva correspondiente al parámetro b* (valores positivos, amarillo; valores negativos, azul), se evidencia que el color amarillo siempre estuvo presente en los mangos estudiados y su valor fue incrementando, a medida que maduraban las frutas. Esto permite deducir, que se generaron más pigmentos amarillos durante la maduración y que combinado con la pérdida gradual del color verde, dio como resultados, que los mangos adquirieran la coloración amarilla característica de cuando están maduros.

En la figura 6, se puede visualizar el cambio de color en la piel del mango ‘hilacha’ evaluado, mediante fotografías tomadas en cada evaluación. Para la primera evaluación se aprecia un color verde, el cual se fue degradando al transcurrir la maduración, a verde amarillento, amarillo con manchas verdes, hasta llegar al color amarillo característico de la fruta madura.



Figura 6. Cambio de color externo (piel) de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) ‘hilacha’ durante el tiempo de evaluación: 1= 0 días, 2= 2 días, 3= 4 días, 4= 7 días, 5= 9 días, 6= 11 días.
Fuente: Autores, 2016.

La figura 7, muestra el comportamiento del color interno (pulpa), durante el tiempo de evaluación. Se puede observar las variaciones que sufren los parámetros L^* , a^* y b^* a medida que van madurando los mangos de ‘hilacha’. La luminosidad (L^*), disminuyó de 67 hasta 50, indicando que la pulpa de las frutas evaluadas fue perdiendo brillo a medida que maduraban. El parámetro a^* , presentó un incremento notable hacia valores positivos (tonalidad roja), desde el segundo día de la evaluación, evidenciando que la pulpa prácticamente no presentaba color verde desde el inicio y el mismo se perdió rápidamente, al iniciarse el desarrollo de la madurez de consumo. El valor del parámetro b^* , experimentó un incremento notable hasta el día cuatro del estudio, lo cual coincide con el hecho de que en ese día, se detectó el inicio de la madurez de consumo y la ocurrencia del climaterio respiratorio; posteriormente, se generó una meseta hasta el día siete; y luego, el valor empezó a descender, indicando degradación de los pigmentos amarillos; y que, en combinación con el incremento de los pigmentos rojos (detectado por el incremento del valor positivo de a^*), proporcionaron a la pulpa una tonalidad anaranjada. Según (Quintero et al. (2013), en la pulpa no hay clorofilas y los cambios se deben a la aparición de nuevos compuestos carotenoides, lo cual origina que el color de la pulpa cambie constantemente durante el proceso de maduración.

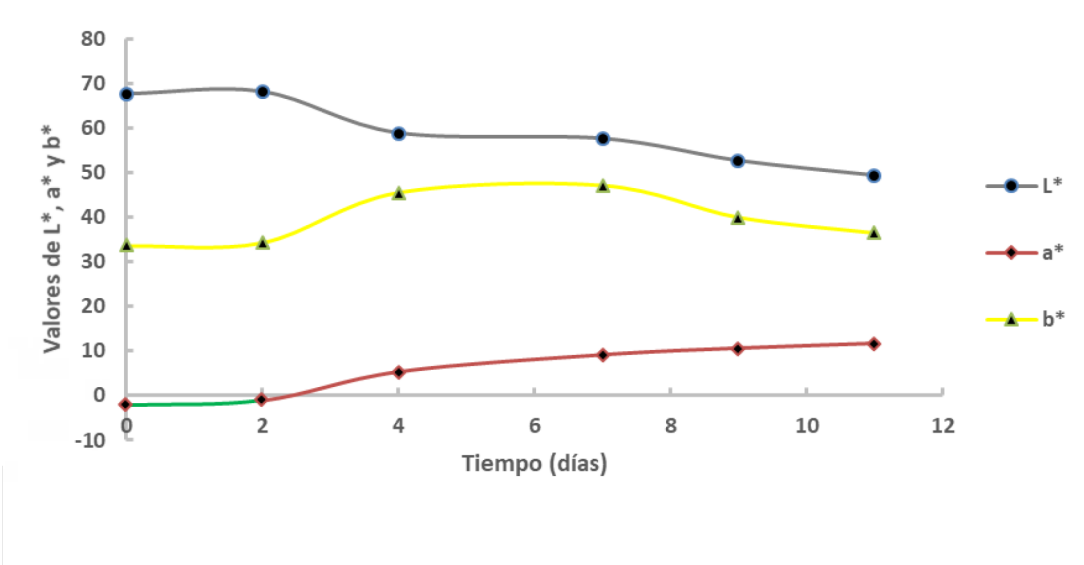


Figura 7. Variación del color interno, evaluado mediante medición de los parámetros L^* , a^* y b^* , durante la maduración de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) ‘hilacha’, cosechados en estado de madurez fisiológica.
Fuente: Autores, 2016.

En la figura 8 se presenta un registro fotográfico del cambio de color que presentó la pulpa, durante la maduración de las frutas evaluadas. Se pueden visualizar con claridad, los diferentes cambios de color experimentados, concordando con lo deducido mediante la medición de los parámetros L^* , a^* y b^* . Al inicio se detecta un leve color amarillo, que se va incrementando con el pasar de los días, hasta que al final se observa una coloración amarilla-anaranjada, que según se dedujo mediante la medición instrumental, es debida a la degradación de los pigmentos amarillos y el incremento de los pigmentos rojos.

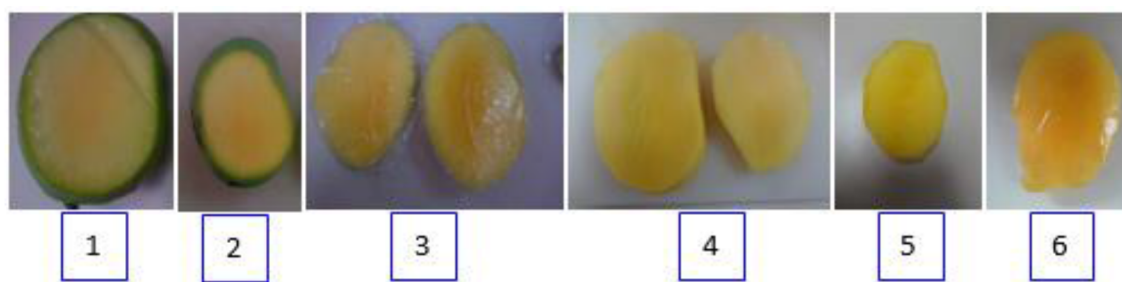


Figura 8. Cambio de color interno (pulpa) de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) ‘hilacha’ durante el tiempo de evaluación: 1= 0 días, 2= 2 días, 3= 4 días, 4= 7 días, 5= 9 días, 6= 11 días.

Fuente: Autores, 2016.

CONCLUSIONES

El sistema ensamblado con tres cámaras de respiración, para la medición de la tasa de respiración, permitió el análisis por triplicado, de forma simultánea, eliminando el error que se podría cometer al trabajar con tres sistemas, con una cámara de respiración cada uno.

El climaterio respiratorio de los mangos ‘hilacha’, cosechados con madurez fisiológica, y almacenados a 24 ± 2 °C, se alcanzó en el cuarto día, justo en el inicio de la madurez de consumo.

La tasa de respiración promedio, de los mangos evaluados y bajo las condiciones del estudio, se ubicó en 90,68 mg de CO₂/kg.h, lo cual se traduce en que el calor metabólico de cada tonelada de estas frutas, almacenadas a 24 ± 2 °C, sería, 19.950,48 BTU/día.

Las gráficas de los parámetros L*, a* y b*, permitieron determinar que el color de la piel de los mangos evaluados, experimentó un incremento gradual y constante, hacia el color amarillo característico de la fruta madura, con la pérdida del color verde en forma paralela, concordando esto, con la apreciación visual; pero no se detectó una diferencia en el cambio de color que se pueda asociar con el climaterio respiratorio.

El color de la pulpa de los mangos del estudio, evaluado mediante los parámetros L*, a* y b*, durante la maduración, evidenció un incremento notorio del color amarillo hasta el día cuatro de almacenamiento, guardando relación con el climaterio respiratorio. Los mangos ‘hilacha’, cosechados con madurez fisiológica y almacenados a 24 ± 2 °C, tuvieron una vida útil de 11 días; por lo que, si se requiere alargar este período, se deberán someter a refrigeración.

REFERENCIAS

- Angueira, M., Sandoval, A. y Barreiro, J. (2003). Tasas de respiración en 4 híbridos de pimentón (*Capsicum annum* L.). *Interciencia*, 28(10), 593-596. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908506>.
- Arias, C. y Toledo, J. (2007). Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales. Proyecto TCP/PER/6713 Técnicas mejoradas de postcosecha, procesamiento y comercialización.

lización de frutas. N° de trabajo AC304. FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-ac304s.pdf>.

Barreiro, J. y Sandoval, A. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Editorial Equinoccio.

Brasil, I. y Siddiqui, M. (2018). Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable, Chapter, Postharvest Quality of Fruits and Vegetables: An Overview. Editorial Elsevier Inc.

Brecht, J., Sargent, S., Kader, A., Mitcham, E., Maul, F., et al. (Revisión 2017). Manual de prácticas para el mejor manejo poscosecha del mango. Recuperado de: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/HS/HS119000.pdf>.

Chakraverty, A., Mujumdar, A., Vijaya, G. y Ramaswam, H. (2003). Handbook of Postharvest Technology. New York, USA: Editorial Marcel Dekker, INC.

Estrada, E., Padilla, F. y Márquez, C. (2015). Efecto de recubrimientos protectores sobre la calidad del mango (*Mangifera indica* L.) en poscosecha. *Rev.U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 18(1), 181-188. Recuperado de: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/468/394>.

Fernández, V., Hernández, J. y Sulbarán, R. (2016). Caracterización físico-química y actividad antioxidante de frutos de mango (*Mangifera indica*) cv. Tommy Atkins. *Rev. Fac.Agron. (LUZ)*, 33, 216-231. Recuperado de: <file:///C:/Users/Carlos/Downloads/Fernndez-PalmarHernndezySulbarn2016.pdf>.

Harold, R. y Alsina, G. (2002). Principios básicos de colorimetría. HunterLab y representaciones Alfil C.A. 124 p.

Martínez, M., Morales, R., Tejacal, I., Cortes, M., Palomino, Y. y Lopez, G. (2017). Postcosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (19), 4075-4087. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263153823018.pdf>.

Quintero, V., Giraldo, G., Lucas, J. y Vasco, J. (2013). Caracterización físicoquímica del mango común (*Mangifera indica* L.) durante su proceso de maduración. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 10-18. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a02.pdf>.

Sánchez, L. (2015). Evaluación de las propiedades funcionales del mango durante el almacenamiento (trabajo Final para optar al Grado de Ciencia y Tecnología de Alimentos). Universidad Miguel Hernández de Elche. Recuperado de: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/1980/1/TFG%20S%C3%A1nchez%20%20Rodr%C3%ADguez%2C%20Luc%C3%ADa.pdf>.

Toro, I. (2015). Establecimiento de estados de madurez de guayabas rojas (*Psidiumguajava* L.), cultivadas en Carayaca estado Vargas, basados en medición instrumental de dureza (trabajo de Grado para optar al Título de Magister en Ciencia de los Alimentos). Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

- Toro, I. (2018). Curso: Comportamiento respiratorio de frutas y hortalizas. Programa de Formación de la División de Postcosecha. Fundación Ciepe. San Felipe, Venezuela. 40 p.
- Toro, I., Lira, M. y Cova, A. (2020). Evaluación de la textura durante el crecimiento y maduración de guayabas rojas (*Psidium guajava* L.), basada en medición instrumental de dureza. *In Situ*, 3(3), 139-156.
- Valero, D. y Serrano, M. (2010), *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*. Boca Raton, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Villamizar, R., Quiceno, C. y Giraldo, G. (2019). Cambios fisicoquímicos durante la maduración del mango Tommy Atkins en la poscosecha. *Rev.U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 22(1), 1159. Recuperado de: [file:///C:/Users/Carlos/Downloads/1159-Texto%20del%20art%C3%ADculo-6447-8-10-20191209%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Carlos/Downloads/1159-Texto%20del%20art%C3%ADculo-6447-8-10-20191209%20(4).pdf).
- Wang, D., Yeats, T., Uluisik, S., Rose, J. y Seymour, G. (2018). Fruit Softening: Revisiting the Role of Pectin. *Trends in Plant Science*, 23(4), 302-310. Recuperado de: [file:///C:/Users/Carlos/Downloads/FruitSofteningRevisitingtheRoleofPectin%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Carlos/Downloads/FruitSofteningRevisitingtheRoleofPectin%20(1).pdf).
- Wrolstad, R., Dursta, R. y Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology*, 16 (2005), 423–428. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.1913&rep=rep1&type=pdf>.

Mabeth Yornelis Caro Eulacio: Ingeniero Agroindustrial, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA); Jefa (E) de la División de Frutas y Hortalizas, Fundación Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE); Secretaria del Subcomité Técnico de Normalización de Frutas, Hortalizas y Productos Derivados (FODENORCA-CIEPE).

E-mail: Mabeth.Caro@gmail.com

Iván de Jesús Toro Hidalgo: Técnico Superior Universitario en Química, Instituto Universitario de Tecnología Valencia (IUTVAL); Ingeniero de Alimentos, Universidad Nacional Experimental “Simón Rodríguez” (UNESR); Magíster en Ciencia de los Alimentos, Universidad Simón Bolívar (USB); Investigador Jefe de la División de Postcosecha y Coordinador de la Gerencia de Investigación, Fundación Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE); Presidente del Subcomité Técnico de Normalización de Frutas, Hortalizas y Productos Derivados (FODENORCA-CIEPE); Investigador Acreditado por el Programa de Estímulo a la Innovación e Investigación (PEII).

E-mail: thivanje@gmail.com.