

ACTIVIDAD RESPIRATORIA VS. VARIACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN LA MADURACIÓN DE FRUTOS DE NARANJITA CHINA (*Citrus x microcarpa* Bunge)

Ángel Guadarrama¹ y Yexsi Peña¹

RESUMEN

En los frutos la actividad respiratoria está estrechamente relacionada con los cambios en la maduración, calidad y vida útil en el almacenamiento. Con la finalidad de conocer el patrón respiratorio de frutos de naranjita china y su relación con las variaciones físicas y químicas se realizó el presente estudio en frutos provenientes de un huerto familiar ubicado en Maracay, estado Aragua, Venezuela. Los frutos fueron cosechados en estado de madurez fisiológica. Un día después de la cosecha se inició la determinación del patrón respiratorio en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente (28 °C y 60-70 % HR). Paralelamente se realizaron análisis físicos (color, firmeza y peso fresco) y químicos (carotenoides, sólidos solubles totales y acidez titulable). La actividad respiratoria se determinó mediante el método clásico, basado en la recolección del CO₂ en un álcali. Se utilizó un diseño completamente al azar y los resultados se evaluaron mediante análisis de regresión y correlación. Los frutos aumentaron la producción de CO₂ a medida que transcurrió el tiempo de maduración y en el sexto día presentaron su máximo valor (32,2 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹) para luego comenzar a decrecer hasta estabilizarse entre el octavo y décimo día. A pesar de que estos frutos pertenecen a la categoría de cítricos, mostraron un patrón respiratorio similar al climatérico. Las variables más relacionadas con la respiración fueron el peso fresco y el contenido de carotenoides.

Palabras clave adicionales: Firmeza, grados Brix, acidez titulable, carotenoides

ABSTRACT

Respiratory activity vs. physical and chemical changes in calamondin (*Citrus x microcarpa* Bunge) fruits during ripening

Fruit respiratory activity is closely related to changes in maturation, quality and shelf life in storage. In order to know the respiratory pattern of *Citrus x microcarpa* and its relationship to physical and chemical changes, the present study was conducted using fruits coming from a home garden located in Maracay, Aragua State, Venezuela. Fruits were harvested at physiological maturity stage. Starting one day after harvest the respiratory pattern was determined, under storage at room temperature (28 °C and 60-70 % RH). Parallel analyzes were performed for physical (color, texture, and fresh weight) and chemical (carotenoid content, total soluble solids, and titratable acidity) variables. Respiratory activity was determined by the classical method, based on the collection of CO₂ in alkali. A completely randomized design was used, and results were evaluated under regression and correlation analysis. Fruits increased CO₂ production as ripening time elapsed, reaching its maximum value (32.2 mg CO₂ ·kg⁻¹ ·h⁻¹) at the sixth day; then CO₂ production began to decrease until it stabilized between the eighth and tenth day. Although these fruits belong to the category of citrus, they showed a respiratory pattern similar to climacteric fruits. The variables closely related to respiration were fresh weight and carotenoid content.

Additional key words: Firmness, Brix degree, titratable acidity, carotenoids

INTRODUCCIÓN

Los frutos cítricos son ampliamente consumidos debido a sus excelentes propiedades organolépticas y a su importante aporte nutricional a la dieta diaria, ya que representan una de las principales fuentes de vitamina C y de azúcares

fácilmente digeribles por el organismo humano (Hande et al., 2006). La citricultura en Venezuela presenta una gran relevancia, en virtud de la buena calidad de los frutos, determinada por las adecuadas condiciones agronómicas y ecológicas que algunas zonas del país ofrecen para su desarrollo. Esta situación permite que Venezuela

Recibido: Junio 28, 2012

Aceptado: Enero 7, 2013

¹ Instituto de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela. e-mail: angelguadarrama6@gmail.com

sea un país con altas potencialidades para incursionar en la producción de otras especies cítricas, como la naranjita china, ya sea destinada para el consumo fresco, la agroindustria o para uso ornamental.

La naranjita china presenta ventajas que favorecen su explotación ya que se caracteriza por ser altamente productiva. El árbol tiene vigor medio, no posee espinas y los frutos son muy pequeños con pocas semillas y corteza muy delgada, fácilmente separable de la pulpa, la cual es comestible por su sabor dulce-ácido (Agustí, 2003).

En los frutos la actividad respiratoria está estrechamente relacionada con los cambios en la maduración, calidad y vida útil postcosecha. Si se conoce previamente el patrón respiratorio de un fruto en particular, se puede predecir el momento oportuno de la cosecha con mayor precisión (Guadarrama, 2001); además, la textura, contenido de carotenoides, sólidos solubles totales y acidez titulable son aspectos que normalmente se utilizan para determinar la madurez óptima para la cosecha de los frutos. En este contexto, surgió la necesidad de realizar el presente estudio cuyo objetivo fue conocer algunas características fisiológicas, físicas y químicas de los frutos de naranjita china (*Citrus x microcarpa* Bunge) que a la vez puedan servir de estímulo para la realización de estudios posteriores que contribuyan a un mejor conocimiento científico de la fisiología postcosecha de este rubro frutícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron frutos provenientes de un huerto familiar ubicado en Maracay, Venezuela, cosechados y seleccionados por coloración, utilizando frutos con matices verdes con ligeras tonalidades de amarillo, característica tomada como índice de madurez fisiológica aproximado para la cosecha. Los mismos fueron almacenados en un ambiente bajo condiciones naturales (28 °C y 60-70 % HR). Los análisis se iniciaron un día después de la cosecha, considerando tres repeticiones para cada análisis durante 10 días consecutivos, los cuales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fisiología Postcosecha del Instituto de Botánica Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela.

Se determinó la actividad respiratoria en 20 frutos para cada una de las tres repeticiones, utilizando el método clásico basado en la recolección de CO₂ en un álcali. Los resultados se expresaron en mg de CO₂ por kilogramo de frutos por hora.

A medida que avanzaba el proceso de maduración, partiendo de frutos en madurez fisiológica, se realizaron los siguientes análisis 10 frutos con tres repeticiones para un total de 30 frutos analizados.

- Color: Se determinó empleando un colorímetro Quest II, utilizando la escala Hunter Lab, iluminante D65 y observador a 10° C. Se obtuvieron los valores de “a”, “b” y del iluminante.

- Firmeza: Mediante un penetrómetro modelo ELE-440. Los resultados se expresaron en milímetros de penetración por la punta cónica del instrumento.

- Peso fresco: Utilizando una balanza Ohaus, con apreciación de 1 g. Los resultados se expresaron como porcentaje del peso inicial.

- Carotenoides, por el método de McCollum (1953), utilizando hexano como solvente y para los cálculos se utilizó un coeficiente de absorción específica promedio de 224, proveniente de α -caroteno (248), β -caroteno (228) y criptoxantol (216) y las lecturas se realizaron en un Spectronic 20 a 470 nm.

- Sólidos solubles totales (SST), mediante la utilización de un refractómetro manual modelo Zeiss-Abbe.

- Acidez titulable, se determinó según la AOAC (1990) y las muestras se prepararon según las indicaciones para soluciones ligeramente coloreadas. Las titulaciones se realizaron con NaOH 0,1 N utilizando fenolftaleína como indicador. Los resultados se expresaron como ácido cítrico.

Las muestras de los frutos se tomaron al azar, utilizando tres repeticiones para cada análisis y a los datos obtenidos se les aplicó un análisis de regresión. También se realizó un análisis de correlación entre cada una de esas variables y la respiración de los frutos; para esto se consideraron dos períodos: el primero cuando la curva de respiración mostró un ascenso sostenido (días 1 a 6) y el segundo cuando existió un descenso neto (días 6 a 10). Ambos análisis se realizaron mediante la aplicación del programa Excel 2007.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad respiratoria durante la maduración de los frutos. En el primer día después de la cosecha se presentó un valor mínimo de actividad respiratoria de $7,34 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, para luego incrementarse entre el segundo y quinto día a 20 y $23 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente (Figura 1). Estos valores se asemejan a los valores promedio en frutos de limón ($20\text{-}28 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), naranja ($25\text{-}40 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) y lima Tahití ($15\text{-}45 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) (Guadarrama, 2001). En el sexto día se presentó el valor más alto, observándose un pico de $32,2 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, para luego comenzar a decrecer hasta estabilizarse entre el octavo y décimo día en aproximadamente $15 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, con ligeras variaciones como las observadas en los días iniciales de este estudio.

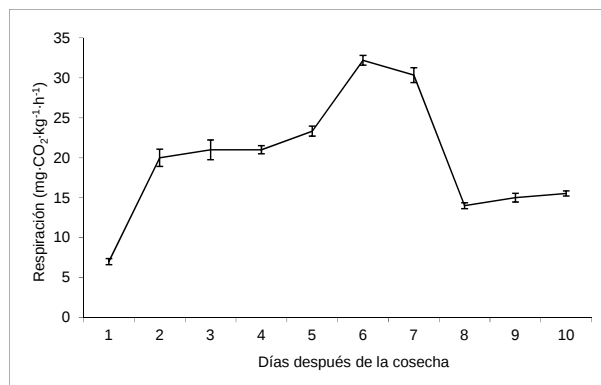


Figura 1. Variación de la actividad respiratoria durante la maduración de frutos de naranjita china (*Citrus x microcarpa*). Las barras verticales indican el error estándar

Estos resultados indican que en los frutos de naranjita china aumenta la producción de CO_2 a medida que transcurre el tiempo de maduración, presentando un incremento paulatino de la respiración. El aumento de la tasa respiratoria en frutos después de cosechados usualmente está acompañado de la producción de etileno e incremento de la transpiración, lo cual acelera su deterioro postcosecha (Muayed y Bushra, 2002). Estos procesos aceleran las reacciones metabólicas de los frutos, estimulando una serie de actividades bioquímicas que conducen a su maduración y/o senescencia manifestándose a través de cambios de color, pérdida de firmeza, pérdida de peso fresco y seco, y aumento de carotenoides, entre otros. Así, la respiración es un

indicador de la actividad metabólica y por lo tanto es una guía útil para evaluar la vida postcosecha potencial de los frutos en condiciones de almacenamiento. Además, la tasa respiratoria de los frutos durante el proceso de maduración permite definir si son frutos climatéricos o no climatéricos.

Los resultados sugieren que en los frutos de naranjita china el patrón respiratorio pudiera corresponder al de un fruto climatérico, alcanzado la máxima actividad entre el día seis y siete después de la cosecha. No obstante, para establecer la premisa anterior sería necesario determinar si la actividad respiratoria está acompañada de un incremento catalítico del etileno, típico de los frutos climatéricos, ya que usualmente los cítricos son considerados como frutos no climatéricos (Agustí, 2003).

La maduración de los frutos de naranjita china ocurre más rápidamente que otros frutos cítricos, lo cual podría deberse a su velocidad de respiración, alcanzado el estado completamente maduro a los diez días después de la cosecha, durante las condiciones de almacenamiento señalados anteriormente. El análisis de regresión mostró una ecuación de modelo cuadrático para la respiración de estos frutos, representada por $Y = 2,0137 + 7,8730 X + 0,6260 X^2$ ($R^2 = 0,67$; $P \leq 0,02$), donde Y es la respiración en $\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ y X es el número de días después de la cosecha. El coeficiente de determinación indica que el 67 % de la variabilidad en la respiración se puede describir mediante la ecuación polinómica de segundo grado obtenida en función del tiempo en días.

Variación del color. Durante el estudio se identificaron diez estados de coloración en los frutos hasta llegar al estado sobremaduro (Figura 2). En este período ocurrieron cambios en el color que van desde el verde oscuro hasta el anaranjado-rojizo, lo cual se debe a la dinámica metabólica de los pigmentos clorofila y carotenoides. Los cambios en la pigmentación de los frutos tienen lugar durante el desarrollo y la maduración, algunos de los cuales pueden continuar después de la cosecha como se observa en la mencionada figura, donde el color se va degradando a medida que avanza la maduración. Los valores obtenidos mediante el colorímetro reflejan bien la pigmentación de los frutos y proporcionan una adecuada correlación entre la apreciación visual y la instrumental.

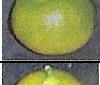
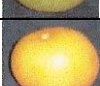
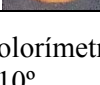
Estado	Valor "a"	Valor "b"	L	
1	-4,47	15,88	38,49	
2	-3,98	15,34	38,32	
3	-3,11	16,17	38,15	
4	-2,40	20,91	45,05	
5	-3,77	21,53	44,76	
6	-1,61	19,48	41,43	
7	-2,80	21,40	44,97	
8	-1,84	23,26	47,75	
9	8,95	24,16	50,66	
10	17,04	26,94	53,15	

Figura 2. Valores de frutos de naranjita china (*Citrus x microcarpa*) tomados por el colorímetro Quest II utilizando la escala Hunter Lab (a, b y L), iluminante D65 y observador a 10°

Firmeza y su relación con la actividad respiratoria. Los frutos con coloración verde y en madurez fisiológica presentaron la mayor firmeza en el primer día de evaluación y por tanto mayor resistencia a la penetrabilidad de la punta cónica del instrumento y menor grado de penetración sobre la superficie de los frutos (Figura 3). Posteriormente la resistencia tendió a disminuir a medida que transcurría el tiempo de maduración, atribuido a los cambios en la estructura y composición de las paredes celulares mediante la degradación de sustancias pépticas y celulósicas por enzimas hidrolasas (Lohani et al., 2004; Brummell et al., 2004).

Para el modelo lineal se encontró que la pérdida de firmeza quedó representada por $Y = 0,95 + 0,234 X$ ($r^2 = 0,87$; $P \leq 0,01$), donde Y es la lectura del penetrómetro en mm y X es el número de días después de la cosecha. El coeficiente de determinación indica que el 87 % de la

variabilidad de la firmeza durante la maduración de estos frutos se puede describir con dicha ecuación de regresión.

Al comparar las tendencias de la actividad respiratoria y la profundidad de penetración del instrumento (reflejo de pérdida de la firmeza) no se detectó significancia estadística ($P > 0,05$).

Peso fresco del fruto y su relación con la actividad respiratoria. El peso fresco de los frutos de naranjita china presentó un descenso paulatino a medida que avanzó el proceso de maduración (Figura 4), dado que después de la cosecha los frutos continúan transpirando.

El agua se pierde por transpiración hacia el ambiente desde el interior de los frutos a través de los poros que existen en su superficie. Si la humedad relativa del ambiente del almacenamiento es baja se produce movilización del agua del fruto hacia al ambiente, lo que ocasiona las pérdidas de peso fresco,

significativas para desmejorar la calidad externa de los frutos después de la cosecha (Guadarrama, 2001).

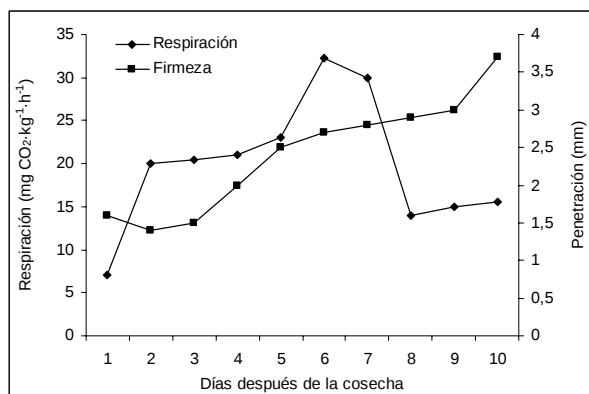


Figura 3. Relación entre la actividad respiratoria y la firmeza durante la maduración de los frutos de naranjita china (*Citrus x microcarpa*)

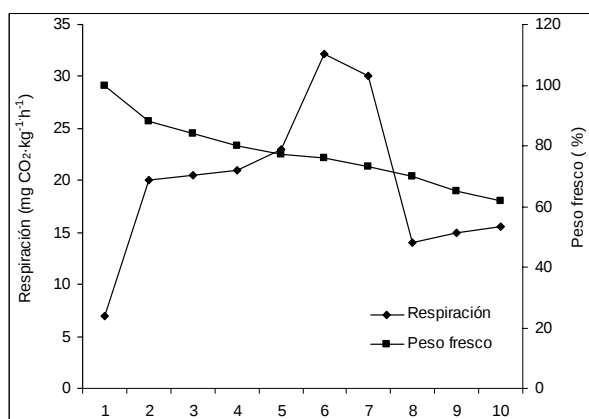


Figura 4. Relación entre la actividad respiratoria y el peso fresco durante la maduración de los frutos de naranjita china (*Citrus x microcarpa*)

Para el modelo lineal se obtuvo que la pérdida de peso fresco quedó representada por $Y = 102,72 - 3,964 X$ ($r^2 = 0,99$; $P \leq 0,01$), donde Y es el peso fresco en gramos y X es el número de días después de la cosecha. Este modelo refleja que el 99 % de la variabilidad de la pérdida de peso fresco se explica mediante dicha ecuación de regresión.

Se detectó una asociación significativa ($P \leq 0,01$) entre la actividad respiratoria y la pérdida de peso fresco, con altos coeficientes de correlación ($r = 0,82$ para el primer período y $r = -0,94$ para el segundo período).

Contenido de carotenoides y su relación con la actividad respiratoria. La producción de

carotenoides en los frutos presentó una tendencia ascendente (Figura 5), aumento que coincide con la degradación de la clorofila (Muayed y Bushra, 2002).

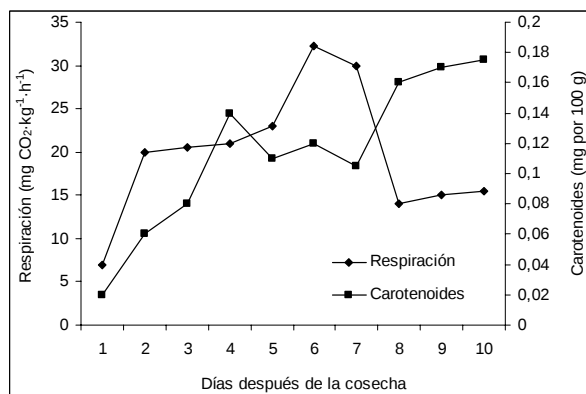


Figura 5. Relación entre la actividad respiratoria y el contenido de carotenoides durante la maduración de los frutos de naranjita china (*Citrus x microcarpa*)

Se encontró que el contenido de carotenoides en función del tiempo quedó representado por el modelo cuadrático $Y = 0,0328 + 0,01761 X - 0,00055 X^2$ ($r^2 = 0,729$; $P \leq 0,01$), donde Y es el contenido de carotenoides en mg por cada 100 g de corteza y X es el número de días después de la cosecha; se interpreta que la variabilidad del contenido de carotenoides es descrita en un 73 % mediante una ecuación polinómica de segundo grado en función del tiempo de maduración de los frutos.

Se observó una relación visual casi directa entre la respiración y la síntesis de carotenoides, con tendencia a incrementarse, desde el primer día hasta el séptimo, a partir del cual ambos procesos fisiológicos de la maduración de los frutos siguen tendencias opuestas. La correlación resultó alta y significativa ($P \leq 0,01$) durante los diez días, con un coeficiente positivo ($r = 0,83$) en los primeros seis días y negativo ($r = -0,94$) en los restantes. La respiración disminuyó pero la producción de carotenoides se incrementó, lo cual sugiere que en los últimos estados de la maduración no se requiere mucha energía proveniente de la respiración, probablemente debido a que ya se han sintetizado suficientes precursores para continuar con la síntesis de estos pigmentos.

Contenido de sólidos solubles totales y su relación con la actividad respiratoria. El

contenido de SST en los frutos presentó una tendencia ligeramente ascendente, mostrando fluctuaciones durante el proceso de maduración (Figura 6). Para el modelo lineal se obtuvo que la variación de los SST durante la maduración estuvo representada por $Y = 9,448 + 0,1034 \text{ días}$ ($r^2 = 0,70$; $P \leq 0,05$), donde Y corresponde a los SST en °Brix y X es el número de días después de la cosecha. El coeficiente de determinación indica que este modelo explica el 70 % de la variabilidad de los sólidos solubles totales en función del tiempo de maduración.

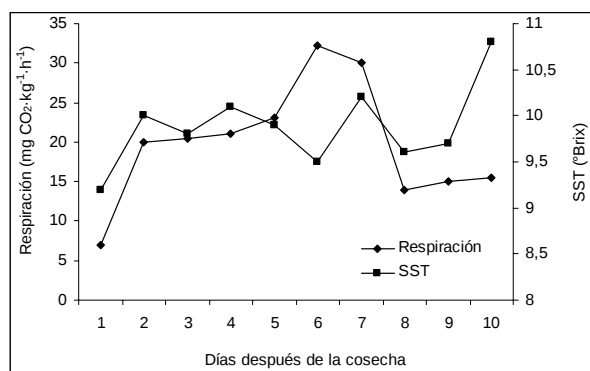


Figura 6. Relación entre la actividad respiratoria y los SST (° Brix) durante la maduración de los frutos de naranjita china (*Citrus x microcarpa*)

En la figura se observa cierta relación directa entre la respiración y el contenido de SST (° Brix) con tendencia a incrementarse del primero al cuarto día, a partir del cual se hace más evidente el incremento de la tasa de respiración con la consecuente disminución en el contenido de SST, probablemente debido al alto consumo de azúcares y ácidos orgánicos como sustratos respiratorios. Cuando la actividad respiratoria disminuyó en los estados finales de la maduración, se observa un incremento en el contenido de SST lo cual sugiere que el consumo de azúcares y ácidos orgánicos es menor. No obstante, el análisis de correlación entre la respiración y el contenido de sólidos solubles totales no mostró significancia estadística ($P > 0,05$).

Acidez titulable y su relación con la actividad respiratoria. La acidez titulable mostró una tendencia a disminuir durante el almacenamiento, variando de 1,1 % en el primer día después de la cosecha hasta 0,3 % en el décimo día (Figura 7).

La acidez en estos frutos se debe

principalmente al ácido cítrico, y el modelo que más se ajustó a los datos obtenidos fue la regresión $Y = 1,3051 - 0,009 X - 0,0006 X^2$ ($r^2 = 0,93$; $P \leq 0,01$), el cual indica que el 93 % de la variabilidad en la acidez titulable durante el almacenamiento se puede describir mediante la ecuación polinómica de segundo grado obtenida en función del tiempo de maduración.

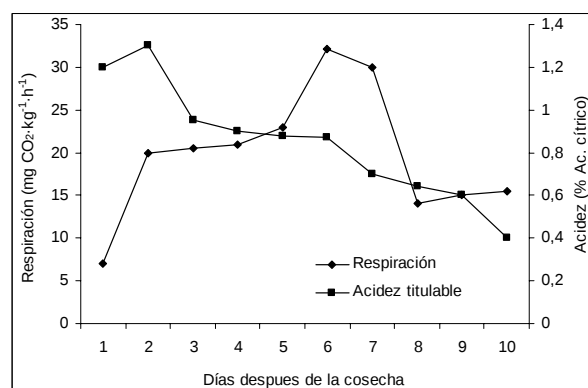


Figura 7. Relación entre la actividad respiratoria y la acidez titulable durante la maduración de los frutos de naranjita china (*Citrus x microcarpa*)

En la Figura 7 se observa que la acidez titulable tendió a disminuir a medida que avanzó el proceso de maduración de los frutos y al relacionar esta tendencia con la tasa de respiración se encuentra que a partir del día seis es cuando empieza una mayor expresión del descenso de la acidez titulable coincidiendo con los picos altos de respiración, cuya alta actividad metabólica puede demandar mayor cantidad de sustrato incluyendo ácidos orgánicos. Sin embargo, el análisis de correlación no mostró una asociación significativa entre ambas variables ($P > 0,05$).

CONCLUSIONES

Los frutos de naranjita china mostraron un incremento de la respiración después de cosechados, tal como ocurre en los frutos climatéricos, a pesar de pertenecer a la categoría de cítricos considerados tradicionalmente como frutos no climatéricos.

La relación de la respiración con cada una de las variables físicas y químicas estudiadas mostró un comportamiento diferencial, siendo las variables más relacionadas el peso fresco y el contenido de carotenoides, y las menos

relacionadas la firmeza, los SST y la acidez titulable.

Almacenados en las condiciones ambientales de esta investigación (28 °C y 60-70 % HR), estos frutos mostraron ser muy perecederos, ya que sólo tuvieron una vida útil postcosecha de aproximadamente 10 días.

LITERATURA CITADA

1. Agustí, M. 2003. Citricultura. Ed. Mundi Prensa, Madrid.
2. AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 1990. Official methods of analysis. AOAC International. 15th Edition. Gaithersburg, MD. Vol. 2. 918 p.
3. Brummell, D., V. Dalcin, C. Crisosto y J. Labavitch. 2004. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit. *J. Exp. Bot.* 55(405): 2029-2039
4. Hande B., N. Koca y F. Karadeniz. 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *J. Food Eng.* 74(2): 211–216.
5. Guadarrama, A. 2001. Fisiología postcosecha de frutos. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV) Alcance* 61: 139 p.
6. Lohani, S., P.K. Trivedi y P. Nath. 2004. Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. *Postharvest Biology and Technology* 31(2): 119–126.
7. McCollum, J. 1953. A rapid method for determining total carotenoids and carotene in tomatoes. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 61: 431-433.
8. Muayed, A. y F. Bushra. 2002. Respiration rate, ethylene production and biochemical changes during fruit development and maturation of jujube (*Ziziphus mauritiana* Lamk). *J. Sci. Food Agric.* 82(13): 1472-1476.