

EFFECTO DE DOS ÍNDICES DE MADUREZ Y DOS TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO SOBRE EL COMPORTAMIENTO EN POSCOSECHA DE LA PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus* Haw.)¹

Diana Alexandra Rodríguez Rodríguez²; María del Pilar Patiño Gutiérrez³; Diego Miranda Lasprilla⁴; Gerhard Fischer⁵ y Jesús Antonio Galvis Vanegas⁶

RESUMEN

*Con el fin de evaluar el comportamiento poscosecha de la pitahaya amarilla, se almacenaron 60 kg de fruta cosechada en estado 3 de madurez, según la Tabla de Color de CENICAFE (ICONTEC NTC 3554), de los cuales 30 kg se colocaron en un cuarto a 19 °C y los 30 kg restantes en un cuarto frío a 8 °C; igual se procedió con 60 kg de la fruta cosechada en estado 5 de madurez. Las características físicas de las frutas en estado 3 cambiaron poco, mientras las químicas variaron a través del tiempo, respondiendo al proceso de maduración; tuvieron un tiempo de vida útil mayor los frutos almacenados a 8 °C (19 días). Sin embargo a partir de este día se evidenció daño por frío en el 50 % de los frutos. Los frutos a 8 °C y 19 °C, presentaron aumento en el pH y el índice de madurez, pasando de estado 3 a 5 y de 5 a 6 al final del almacenamiento. Así mismo la acidez titulable decreció, pasando de 2,54 % a 1,50 % y 3,02 % a 1,29 % en estado 3 a 19 °C y 8 °C, respectivamente. El porcentaje de agua en el fruto tuvo una reducción del 3,0 % y 1,10 % para las frutas en estado 3 a 19 °C y 8 °C; y de 2,54 % y 0,51 % en estado 5 a 19 °C y 8 °C, respectivamente. Los °Brix tuvieron un comportamiento errático. Las frutas cosechadas en estado 5, no presentaron cambios fisicoquímicos importantes y su duración fue menor, debido en parte a la presencia de la pudrición basal del fruto causada por *Fusarium* sp. Por lo*

¹ Investigación desarrollada dentro del proyecto "Desarrollo de tecnologías de cosecha y poscosecha para mango común, mora, lulo, pitahaya y uchuva" del convenio SENA – CIAL – Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá, Colombia.

² Asistente de Mercadeo. Hortitec Colombia S.A. Cra 9 N° 17 – 27 Funza, Cundinamarca, Colombia. <dialexamarg@yahoo.com>

³ Ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Agronomía. A.A. 14490, Bogotá, D.C., Colombia

⁴ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Agronomía. A.A. 14490, Bogotá, D.C., Colombia. <dmirandal@unal.edu.co>

⁵ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Agronomía. A.A. 14490, Bogotá, D.C., Colombia. <gfischer@unal.edu.co>

⁶ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA). A.A. 14490, Bogotá, D.C., Colombia. <jagalvisv@unal.edu.co>

Recibido: Marzo 2 de 2005; aceptado: Septiembre 13 de 2005.

tanto se sugiere cosechar la fruta en estado 3 de madurez y almacenarla a una temperatura menor al ambiente (19 °C aprox.) y mayor a 8 °C.

Palabras clave: Pitahaya amarilla, maduración, respiración, longevidad, daño por frío.

ABSTRACT

EFFECT OF TWO RIPENING STAGES AND TWO STORAGE TEMPERATURES ON THE POSTHARVEST BEHAVIOUR OF YELLOW PITAHAYA (*Selenicereus megalanthus* Haw.)

*In order to evaluate the postharvest behaviour of yellow pitahaya, 60 kg of fruit harvested at ripening stage 3, as determined by the CENICAFE colour scale (ICONTEC NTC 3554), were stored, of which 30 kg were placed in a room at 19 °C and the remaining 30 kg were placed in refrigerated storage at 8 °C; similarly, the same procedure was conducted with 60 kg of fruit harvested at ripening stage 5. The physical properties of stage 3 fruits changed little, while chemical properties varied over time, responding to the ripening process. Fruits stored at 8 °C had a longer shelf life (19 days). However, after this time, chill injury was apparent in 50 % of the fruits. Fruits at 8 and 19 °C exhibited increases in pH and the ripening index went from 3 to 5 up to 5 to 6 by the end of the storage. Likewise, titratable acid decreased in stage 3 from 2,54 % to 1,50 %, and from 3,02 % to 1,29 %, at 19 and 8 °C, respectively. Water percentage of the stage 3 fruit decreased 3 and 1,10 % at 19 and 8 °C; and decreased in stage 5 fruits 2,54 and 0,51 % at 19 and 8 °C, respectively. °Brix exhibited erratic behavior. Fruits harvested at ripening stage 5 did not exhibit important physicochemical changes and their longevity were lower, due in part to fruit basal end-rot caused by *Fusarium* sp. Therefore, it is suggested that fruit be harvested at ripening stage 3 and stored at temperatures below ambient (19 °C) and above 8 °C.*

Key words: Yellow pitahaya, ripening, respiration, longevity, chilling injury.

En Colombia la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) se cultiva comercialmente desde los años ochenta aproximadamente. La fruta se caracteriza por tener una corteza de color amarillo con espinas y una pulpa blanca y aromática con pequeñas semillas negras, mientras la pitahaya roja (*Hylocereus undatus* Britt et Rose), cultivada en México, Nicaragua y

Vietnam, entre otros países, es de cáscara roja, tiene brácteas en lugar de espinas y su pulpa puede ser blanca o roja clara (dependiendo de la variedad), con pequeñas semillas negras (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005).

Colombia e Israel son los mayores proveedores de la pitahaya a nivel

mundial; Colombia exporta pitahaya a Holanda, Japón, Francia, Alemania, España, Suiza, Reino Unido, Brasil y Suecia (Corporación Colombia Internacional (CCI), 2001). Este hecho implicó un estricto control ligado a normas de calidad establecidas para el mercado, dentro de las cuales se encuentran los aspectos sanitarios, físicos, químicos, fisiológicos y de empaque entre otros.

Las frutas y hortalizas modifican, alteran o ajustan su comportamiento fisiológico como respuesta obligada de sus células, tejidos y órganos a las nuevas condiciones, tratamientos y manipulación a las que son sometidas, a partir del momento mismo de la cosecha, siendo retiradas de su fuente y medio natural de producción. Estas respuestas se manifiestan a través del cambio, en los procesos bioquímicos normales (Gallo, 1996; Tucker, Seymour y Taylor, 1993), entre ellos la respiración. Las frutas siguen un patrón de respiración que los divide en climatéricos y no climatéricos; a este respecto, algunos estudios realizados con pitahaya, concluyeron que se encuentra dentro del grupo de los climatéricos (Camargo y Moya, 1995; Chavez y Stevenson, 1992; Garnica y Quintero, 1994 y Rudas, 1995) mientras otros autores, basados en la baja concentración de etileno, encontrada en sus experimentos, afirman que no lo es (Nerd y Mizrahi, 1997 y 1999).

Con base en la necesidad de proporcionar a las frutas un manejo poscosecha adecuado que garantice una mayor protección de la calidad y asegure el cumplimiento de los requisitos comerciales exigidos, se conformó un grupo de trabajo que involucra profesores y estudiantes, encargados de realizar investigación,

con el fin de conocer los aspectos relacionados con la fisiología en poscosecha de la fruta y su importancia en próximos trabajos sobre mercadeo de la fruta, todo al interior de un convenio suscrito entre el SENA, la Universidad Nacional de Colombia y el CIAL.

El objetivo de este trabajo fue determinar la temperatura de almacenamiento adecuada según dos estados de madurez de cosecha, que permitieran un manejo poscosecha ideal y así mantener la calidad de la fruta y el éxito en la comercialización, para ello se realizó una caracterización física química y fisiológica de la pitahaya a lo largo del periodo de almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal. Las frutas utilizadas para el estudio fueron cosechadas en la Finca San José, ubicada en la vereda La Capilla en el municipio de Zipacón, Cundinamarca, Colombia, a una altura aproximada de 1650 msnm y a temperatura media de 19 °C. Estas frutas se recolectaron en el estado tres de maduración, en la cual la fruta presenta color verde-amarillo, inicia el llenado de las mamilas y la separación entre ellas; y la etapa cinco, cuyas frutas son de color amarillo, con la punta de las mamilas ligeramente verdosas, según la escala visual de madurez de la Pitahaya Amarilla de Cenicafé (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 1996), en abril 14 y mayo 5 de 2002 respectivamente. 60 kg de fruta de cada grupo fueron distribuidas aleatoriamente en un cuarto frío, ubicado en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), a 8 °C con una humedad relativa del 90 %, y en un

cuarto a 19 °C con una humedad relativa del 70 %, ubicado en la Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Las frutas fueron muestreadas para el análisis cada dos días durante el tiempo de almacenamiento, y se realizaron tres repeticiones para cada análisis. El tamaño de la muestra fue de tres frutas. Las frutas infectadas por hongos fueron removidas de los cuartos y analizadas en la Clínica de Plantas de la Facultad de Agronomía. Las frutas con daño por frío fueron registradas sin retirarlas de la cámara, con el fin de seguir su comportamiento y describir el progreso del daño.

Diseño Experimental. Para la evaluación del ensayo se implementó un diseño anidado, con la temperatura como factor fijo (8 °C y 19 °C), dentro de las cuales se ubicaron aleatoriamente dos índices de madurez (3 y 5) con tres repeticiones. Las siguientes variables fueron medidas con el fin de determinar el efecto de los factores evaluados: sólidos solubles totales (°Brix), la acidez titulable, índice de madurez (°Brix/acidez), pH, contenido de ácidos y azúcares (g/100g fruta), porcentaje de agua en el fruto y respiración (mg CO₂/kg-h). El procesamiento de los datos obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el laboratorio se hizo utilizando el software SAS 8.0, en sus procedimientos análisis de varianza y correlaciones.

Análisis de las frutas. De cada tratamiento 27 frutos fueron analizados cada día del muestreo, con el fin de realizar las mediciones de pH, porcentaje de acidez, sólidos solubles totales (°Brix), porcentaje de agua, y respiración. Para determinar el pH y los sólidos solubles totales (°Brix), se maceró la pulpa y se utilizó un potenciómetro

Beckman, modelo 31 y un refractómetro de mesa ABBE 3-L de Bausch & Lomb, respectivamente, este extracto fue luego pesado en una balanza analítica Chio Júpiter y titulado con NaOH 0,1 N hasta alcanzar un pH de 8,2 y así determinar el porcentaje de acidez.

Se pesaron tres muestras en una balanza Metler Modelo 1200 para determinar su peso fresco, posteriormente fueron llevadas a un horno WTB Binder a 90 °C durante 24 horas al cabo de las cuales se pesaron de nuevo, se determinó su peso seco y así se calculó el porcentaje de agua en el fruto. Finalmente tres muestras de cada tratamiento fueron puestas en una cámara de respiración, cada una durante una hora para medir la producción de CO₂ con un cromatógrafo de gases HEWLETT PACKARD 5890 con columna Supel-Q PLOT (30 m x 0,53 mm); fase estacionaria Carbosieve S-II equipado con un detector de conductividad térmica (TCD), usando Helio como gas de arrastre y el volumen de inyección fue de 1 cm³. Mediante el empleo estándar externo de CO₂ (15 % de CO₂ y Nitrógeno como balance, certificado por AGAfano). Las condiciones del equipo al momento de las mediciones eran las siguientes: temperatura inicial de la columna: 35 °C; temperatura final de la columna: 250 °C; temperatura del detector: 250 °C; tiempo de detección: 3 min; velocidad de calentamiento: 16 °C/min; tiempo final: 8 min; volumen de inyección: 1 mL. La intensidad respiratoria se expresa como: mg CO₂ / kg de fruta por hora.

A partir de estas últimas 6 muestras se obtuvieron extractos, los cuales fueron utilizados en el análisis de cromatografía líquida, que permitió definir los ácidos y

azúcares predominantes y sus concentraciones. Para tal procedimiento se utilizó un cromatógrafo líquido de alta eficiencia (CLAE o HPLC). La preparación de la muestra consistió en la extracción metanólica a reflujo por una hora con 20 g de pulpa y 30 mL de metanol, a continuación se filtró al vacío y el filtrado se concentró en rotovapor. Finalmente, se aforó a 50 mL con agua destilada y justo antes de inyectar en el equipo, la muestra se filtró por una membrana marca XPERTEK con diámetro de poro de 45 μ .

El análisis se realizó en forma simultánea usando una columna AMINEX HPX –87H (300 x 7,8 mm), detectores UV e índice de refracción conectados en serie y fase móvil H_2SO_4 8 mM. Las condiciones del equipo de cromatografía líquida Waters para las mediciones fueron: temperatura de la columna: 45 °C; flujo de la fase móvil: 0,40 μ L/min; temperatura del detector (η): 45 °C; volumen de inyección: 20 μ L; tiempo final: 35 min. La identificación se realizó mediante la comparación con patrones y la cuantificación por interpolación en respectivas curvas de calibración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tiempo de almacenamiento. La fruta fue evaluada hasta que su aspecto físico fue considerado inaceptable para el mercado y el consumo. La pitahaya cosechada en estado 3 y almacenada a 19 °C se conservó durante 15 días, a partir de los cuales la fruta perdió consistencia y presentó síntomas avanzados de daños correspondientes a pudrición basal del fruto causada por *Fusarium* sp. (Bibliowicz y Hernández, 1998), según resultados obtenidos en la Clínica de Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad

Nacional de Colombia. La pitahaya cosechada en estado 3 de madurez y almacenada a 8 °C, se conservó por 19 días sin ser atacada por algún agente patógeno; sin embargo, a partir del día 20 manifestó daño por frío en el 50 % de los frutos, el cual se evidenció principalmente en la epidermis del fruto, presentando picaduras y coloración marrón (Rodríguez y Patiño, 2003). Mientras la fruta cosechada en estado 5, almacenada a 19 °C presentó un tiempo de vida útil de 13 días, a partir de los cuales la pudrición basal afectó más del 70 % de los frutos. Igualmente la fruta cosechada en estado 5, almacenada a 8 °C presentó una vida útil de 15 días, pero a partir del día 16 se observó que presentaba los mismos síntomas del daño por frío de la fruta cosechada en grado de madurez 3 y almacenamiento a 8 °C, aunque la severidad del daño y el desarrollo del mismo fue más acelerado (Rodríguez y Patiño, 2003). Después de este periodo, se inició un deterioro hacia el interior del fruto debido al avance del daño por frío, la presencia de *Fusarium* sp. y la degradación bioquímica de los azúcares y ácidos orgánicos, relacionada con la senescencia del fruto (Tucker, Seymour y Taylor, 1993). Las mediciones de las variables para los frutos cosechados en estado 3 y almacenados a 8 °C se realizaron hasta el día 23 con el fin de analizar las reacciones metabólicas consecuentes al daño mencionado. El tiempo de almacenamiento en el experimento realizado fue menor que el máximo de 24 días recomendado por las normas técnicas del ICONTEC (1996) para exportación, y que el encontrado por Cuevas y Ortiz (1997), quienes usaron películas plásticas y refrigeración (7 °C) en frutas cosechadas en estado 4 de madurez,

logrando una duración de 21 días, sin embargo concuerda con los resultados obtenidos por Rudas (1995), quien después de dos semanas de almacenamiento a 5 °C encontró daño por frío.

Cambios físicoquímicos

pH. En el momento de la recolección, la fruta cosechada en estado 3 presentó un pH menor que la cosechada en estado 5, como era de esperarse. Sin embargo, al final del almacenamiento cuando la fruta en estado 3 almacenada a 19 °C había madurado, esta alcanzó el valor de pH más alto, concordando con el medido para el estado 5 al momento de la cosecha. En la Figura 1, se observa la tendencia ascendente del pH a lo largo del almacenamiento en todos los tratamientos, conforme con lo encontrado por Garnica y Quintero (1994).

En las frutas en estado 3 almacenadas a 8 °C el pH aumentó a lo largo del período de almacenamiento. Esta es una de las variaciones más altas después de la analizada en el párrafo anterior. En los días 21 y 23 las frutas en estado 3 almacenadas a 8 °C no presentaron variación en el pH, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Camargo y Moya (1995); este patrón corresponde al proceso bioquímico de la maduración de la fruta (Camargo y Moya,

1995; Gallo, 1996; Garnica y Quintero, 1994; Tucker, Seymour y Taylor, 1993), durante el cual el pH aumenta hasta alcanzar el grado de madurez de consumo, aportando así el sabor característico de la fruta, según la especie. Este aumento mostró que el desarrollo de la madurez de la fruta, con respecto al pH, se llevó a cabo de acuerdo con las características de fruta de moderada a ligeramente ácida de la pitahaya amarilla (Hernández, 1991; Rojas *et al.*, 2004).

El pH de las frutas cosechadas en el estado 5 almacenadas a 19 °C, varió dentro de un rango de 5,00 a 5,35, lo cual indica que el pH se encontraba en el nivel correspondiente a la fruta madura, razón por la cual no presentó mayor incremento. Mientras que en la fruta en estado 5 y almacenada a 8 °C presentó una tendencia estable, con valores alrededor de 5,05 durante el almacenamiento, esto debido a su estado de madurez. Se encontraron diferencias significativas en la variable estado de madurez, únicamente los 7 primeros días del almacenamiento ($P < 0,05$).

Sólidos solubles totales (°Brix). La fruta cosechada en estado 3 y almacenada a 19 °C presentó una variación de los °Brix, manteniéndose en un rango entre 14.00° y 16.33° a lo largo del almacenamiento. La fruta en estado 3 almacenada a 8 °C

Tabla 1. Tiempo de almacenamiento de la pitahaya amarilla, cosechada en dos estados de madurez y almacenada a 8 °C y 19 °C.

Estado de Madurez	Temperatura de almacenamiento (°C)	Días de almacenamiento
3	19	15
3	8	19
5	19	13
5	8	15

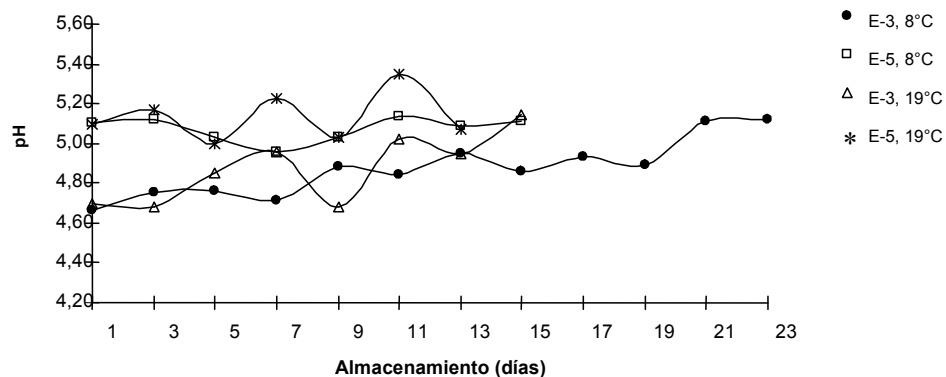


Figura 1. Comportamiento del pH en el macerado de la fruta de pitahaya amarilla, cosechada en dos estados de madurez y almacenada a 8 °C y 19 °C.

aumentó 2 grados desde el inicio del almacenamiento hasta el día 19, con un descenso hacia el día 23, llegando a 13,00 °Brix; sin embargo, existió una alta variación durante el almacenamiento en un rango de 12,33 a 17,83 °Brix; este comportamiento errático con valores muy fluctuantes concuerda con lo hallado en los estudios de Garnica y Quintero (1994), igualmente se podría atribuir al daño por frío, que causaría este tipo de alteraciones del metabolismo como respuesta al fenómeno.

La fruta cosechada en estado 5 y almacenada a 19 °C se mantuvo en un rango de variación entre 13,33 y 16,67 °Brix. Mostrando un comportamiento similar, la pitahaya en estado 5 almacenada a 8 °C presentó valores entre 13,33 y 16,83 °Brix. Los resultados obtenidos concordaron con el estudio de Chávez y Stevenson (1992); Rudas (1995) y Garnica y Quintero (1994), quienes encontraron un comportamiento similar de la variable medida y

concluyeron que los grados Brix no varían significativamente durante el almacenamiento de la fruta. Igualmente, Gallo (1993) indicó que esta característica no contribuye a la identificación del grado de maduración de la fruta, teniendo en cuenta que los sólidos solubles totales (°Brix), varían con el tamaño de la misma.

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos solamente en los días 3, 7, 11 y 13, para la variable estado de madurez ($P < 0,05$).

Índice de madurez. El índice de madurez de los frutos tuvo una tendencia ascendente en todos los tratamientos. La pitahaya en estado 3, almacenada a 19 °C, varió de 6,80 a 10,79; la cosechada en este mismo estado y almacenada a 8 °C presentó un índice 5,48 al inicio del almacenamiento y alcanzó un índice de 11,90 al final de las mediciones. La fruta cosechada en estado 5 a 19 °C aumentó

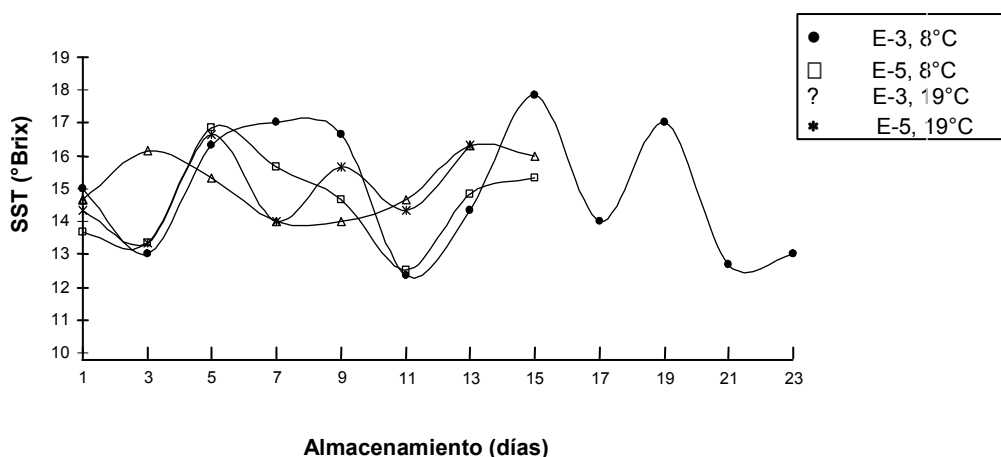


Figura 2. Comportamiento de los sólidos solubles totales (°Brix) en el macerado de la fruta de pitahaya amarilla, cosechada en dos estados de madurez y almacenada a 8 °C y 19 °C.

aumentó de 11,34 a 13,71, y en estado 5 a 8 °C varió de 12,52 a 16,67. El comportamiento de esta variable, relacionada con el aumento del pH y la disminución del porcentaje de acidez ($P < 0,05$), indicó una continuidad en el proceso de maduración (Gallo, 1993).

El índice de madurez obtenido fue más alto para las frutas cosechadas en estado 5, en ambas temperaturas y a lo largo del almacenamiento (Figura 3), sin embargo la variación fue mayor para las frutas cosechadas en estado 3 en ambas temperaturas, ya que pasaron de tener características fisicoquímicas (color verde-amarillo, pH y °Brix bajos) correspondientes a un estado inmaduro a aquellas propias del estado 5, mientras la pitahaya cosechada en estado 5 pasó a estado 6 (fruto completamente amarillo). Teniendo en cuenta este comportamiento, se podría afirmar que la temperatura no afectó el proceso de maduración de la fruta evaluada y que

las diferencias fueron resultado de los dos índices de madurez comparados, las cuales son altamente significativas para este último factor del día 1 al 9 ($P < 0,05$). Estos valores fueron similares a los encontrados por Rudas (1995), quien no reporta variaciones significativas del índice de madurez.

Agua en la fruta (%). En las frutas almacenadas en estado 3 a 19 °C, la pérdida del 3 % de agua fue gradual, durante los 15 días de almacenamiento. La fruta de este mismo estado almacenada a 8 °C disminuyó en 1,10 % desde el inicio hasta el día 19, esta pérdida aumentó en el día 23 en un 5,09 % más. Este comportamiento descendente (Figura 4), reflejó las pérdidas por transpiración (Gallo, 1996), que al parecer son más altas en la fruta pintona, debido posiblemente al evento de la maduración, para el que se requiere una alta tasa de respiración, que implica a su vez generación de

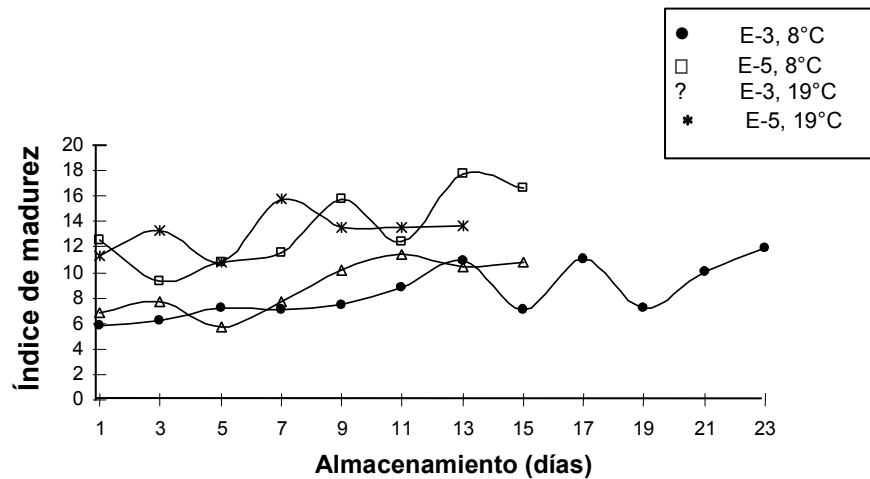


Figura 3. Comportamiento del índice de madurez en el macerado de la fruta de pitahaya amarilla, cosechada en dos estados de madurez y almacenada a 8 °C y 19 °C.

calor y pérdida de agua, igualmente existe una respuesta de transpiración, al regular la temperatura (Tucker, Seymour y Taylor, 1993). Las frutas en estado 5, almacenadas a 19 °C presentaron una variación corta de 2,54 %, igualmente la fruta de este mismo estado y almacenada a 8 °C varió solo en 0,51 % durante el almacena-

miento. La pérdida de agua parece estar relacionada más con el grado de madurez, que con el efecto de la temperatura, según el análisis estadístico, donde se encontraron diferencias significativas hasta el día cinco de almacenamiento, pero luego esta variable se comportó sin ninguna relación con los dos factores ($P < 0,05$).

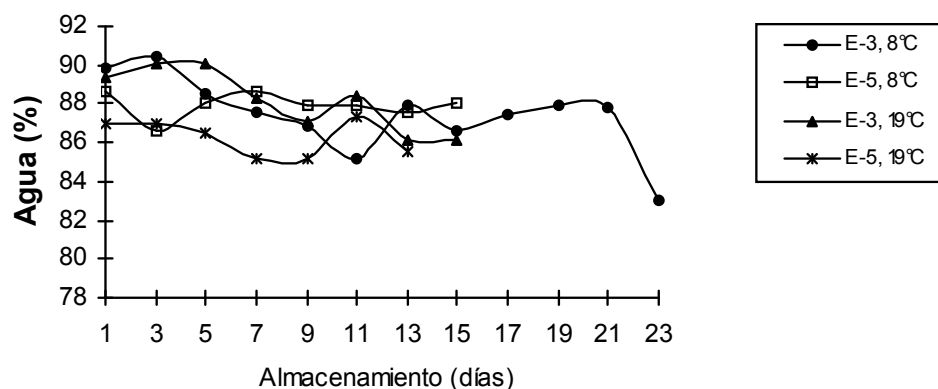


Figura 4. Comportamiento del agua en el macerado de la fruta de pitahaya amarilla, cosechada en dos estados de madurez y almacenada a 8 °C y 19 °C.

Sin embargo, la pitahaya, almacenada en frío, tuvo un menor porcentaje de pérdidas, posiblemente por las diferencias en la humedad relativa de los dos ambientes estudiados (90 % a 8 °C vs 70 % a 19 °C) y la reducción de la transpiración y respiración.

Cambios Químicos

Acidez titulable. El ácido predominante en la fruta de pitahaya, según análisis de cromatografía líquida, fue el ácido cítrico (Tabla 2). La fruta cosechada en estado 3 y almacenada a 19 °C, presentó disminución de la acidez titulable, expresada en porcentaje de acidez, pasando de 2,54 % en el día 1 a 1,50 % en el día 15. La fruta en estado 3 a 8 °C, disminuyó de 3,02 %, en el día 1, a 1,29 %, en el día 23. Por su parte las frutas cosechadas en estado 5 tuvieron porcentajes de acidez titulable ubicados en un rango entre 1,00 y 1,50 %, a temperatura ambiente, mientras las frutas almacenadas a 8 °C mostraron poca variación entre 0,90 y 1,68, debido a que se encontraban en la fase final de la maduración (Camargo y Moya, 1995;

Gallo, 1996; Garnica y Quintero, 1994; Tucker, Seymour y Taylor, 1993) (Figura 5). En cuanto al fenómeno de maduración, las frutas cosechadas en estado 3 mostraron una disminución del porcentaje de acidez, esto está altamente correlacionado con el aumento del pH ($P < 0,05$), por lo tanto se observó que dicho proceso siguió su desarrollo en términos del porcentaje de acidez (Hernández, 1991; Gallo, 1993). El efecto que tiene el grado de madurez de cosecha hasta el día 9 del almacenamiento fue más evidente, mientras la temperatura no mostró diferencias significativas ($P < 0,05$).

Contenido de ácidos orgánicos. El ácido predominante encontrado en la fruta de pitahaya amarilla, fue el ácido cítrico seguido por el ácido ascórbico, según cromatografía líquida y en concordancia con lo hallado en reportes anteriores (Vidal, 1989; Camargo y Moya, 1995; Rudas, 1995). La Tabla 2, muestra las concentraciones presentes al inicio y al final del experimento, notándose que los ácidos en general disminuyeron hacia el final del almacenamiento, debido posiblemente a

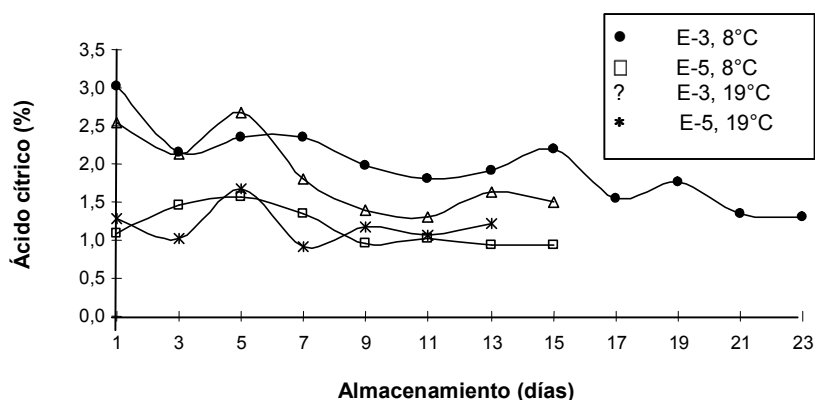


Figura 5. Comportamiento de la acidez en el macerado de la fruta de pitahaya amarilla, cosechada en dos estados de madurez y almacenada a 8 °C y 19 °C.

su uso como sustratos respiratorios durante la maduración (Tucker, Seymour y Taylor, 1993). La pitahaya cosechada en estado 3, almacenada a 19 °C varió de 14,77 a 7,40 g/100g fruta, mientras la cosechada en estado 3 y almacenada a 8 °C presentó una mayor variación, de 17,04 a

7,73 g. Este factor está altamente correlacionado con el pH y el porcentaje de acidez ($P < 0,05$), variables que se comportaron acordes con la disminución de la concentración de los ácidos - el pH aumentó, mientras el porcentaje de acidez disminuyó.

Tabla 2. Concentración de ácidos en el macerado de la fruta de pitahaya amarilla, cosechada en dos estados de madurez y almacenada a 8 °C y 19 °C.

Ácido	Índice madurez	Temp. (°C)	Concentración inicial (g/100 g fruta)	Concentración final (g/100 g fruta)
Cítrico	3	19	14,8	7,4
	3	8	17,0	7,7
	5	19	13,9	6,9
	5	8	10,9	8,7
Ascórbico	3	19	1,7	1,8
	3	8	5,1	2,2
	5	19	6,3	2,0
	5	8	5,7	1,4

En la fruta cosechada en estado 5, almacenada a 19 °C, el contenido de ácido cítrico disminuyó de 13,90 a 6,87 g/100g fruta, comportamiento similar al de la fruta en estado 3 y almacenada a esta misma temperatura. Mientras la fruta cosechada en estado 5 y almacenada a 8 °C presentó la menor cantidad de ácido cítrico, 10,88 g/100g fruta y la menor variación del mismo, pasando a 8,68 g; esto pudo ocurrir debido a que en el estado de madurez al que se cosechó ya había bajado la cantidad de ácido en el fruto y su proceso de maduración estaba culminando y la temperatura de almacenamiento pudo haber reducido su uso como sustrato respiratorio. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en los factores estado de madurez y temperatura para ningún tratamiento, ni día ($P < 0,08$).

Contenido de azúcares: sacarosa, glucosa y fructosa. Según el análisis de cromatografía líquida, el azúcar predominante en la fruta de pitahaya estudiada fue la fructosa, la cual, al igual que sacarosa presentó una disminución de la concentración al final del tiempo de almacenamiento, mientras la glucosa aumentó en su concentración al final (Tabla 3). Los azúcares son utilizados como sustrato para la respiración, principalmente aquellos atrapados dentro de la vacuola, que posteriormente son liberados de manera controlada, por medio de la glicólisis, la vía de la pentosa fosfato y la vía de los ácidos tricarboxílicos. Se presume que también hay una reserva separada disponible para la respiración (Nerd y Mizrahi, 1997; Planella, 1987; Tucker, Seymour y Taylor, 1993).

En las frutas de pitahaya evaluadas la concentración de los azúcares se mantuvo relativamente estable, concordando con lo hallado por Rudas (1995); Chavez y Stevenson (1992) y Hernández (1991), ya que la disminución observada de estos no presentó diferencias significativas para ninguno de los factores evaluados ($P < 0,05$), al igual que el comportamiento de los grados Brix, variable correlacionada debido a que refleja el contenido de azúcares o sólidos solubles en la fruta.

Cambios fisiológicos

Respiración. La producción de CO_2 de las frutas utilizadas en el experimento, concordó con los valores de respiración de la pitahaya de 20 - 80 $\text{mg CO}_2 / \text{Kg} - \text{h}$ reportados por Gallo (1996). Las frutas evaluadas mostraron una curva de respiración de tipo climatérico, a pesar de no haberse detectado etileno en la cromatografía de gases realizada; concordando con Hernández (1991); Chavez y Stevenson (1992); Rudas (1995); Gallo (1996) y a diferencia de lo reportado por Nerd y Mizrahi (1997). En la Figura 7 se observa el comportamiento de la respiración del fruto hallado en el ensayo. La fruta en estado 3, almacenada a 19 °C presentó un descenso

en la producción de CO_2 , pasando en el día 1 de 66,85 a 27,97 $\text{mg CO}_2/\text{kg-h}$ en el día 3, entre el día 5 y el 9 se mantuvo con poca variación, mostrando un pequeño pico en el día 13 de almacenamiento alcanzando los 48,91 $\text{mg de CO}_2/\text{kg-h}$. El aumento que ocurrió a partir del día 9 pudo estar relacionado con la presencia de *Fusarium sp.*, ya que la producción de CO_2 aumentaría por la aceleración de los procesos metabólicos en presencia del patógeno y por la respiración del mismo (Figura 6a). Por su parte las frutas de este mismo estado, almacenadas a 8 °C presentaron una curva de respiración variable, con pequeños picos y descensos subsecuentes a lo largo del almacenamiento, hasta un gran pico al final del mismo. Se pudo observar un aumento marcado del día 1 al 3 de 16,12 a 46,35 $\text{mg CO}_2/\text{kg-h}$, y uno final de 54,49 $\text{mg CO}_2/\text{kg-h}$, sin encontrar relación con el daño por frío (Figura 7b). En la fruta en estado 3 almacenada a 8 °C, el pico considerado como climatérico, se presentó tardíamente, seis días después de cosechada, en estado 5, almacenada a 19 °C, hacia el día 19, debido posiblemente al estado de madurez al que fue cosechado y el efecto del frío, el cual retrasa los procesos metabólicos (Gallo y Gómez, 1992).

Tabla 3. Concentración de azúcares en el macerado de la fruta de pitahaya amarilla, cosechada en dos estados de madurez y almacenada a 8 °C y 19 °C.

Ácido	Índice madurez	Temp. (°C)	Concentración inicial (g/100 g fruta)	Concentración final (g/100 g fruta)
Cítrico	3	19	14,8	7,4
	3	8	17,0	7,7
	5	19	13,9	6,9
	5	8	10,9	8,7
Ascórbico	3	19	1,7	1,8
	3	8	5,1	2,2
	5	19	6,3	2,0
	5	8	5,7	1,4

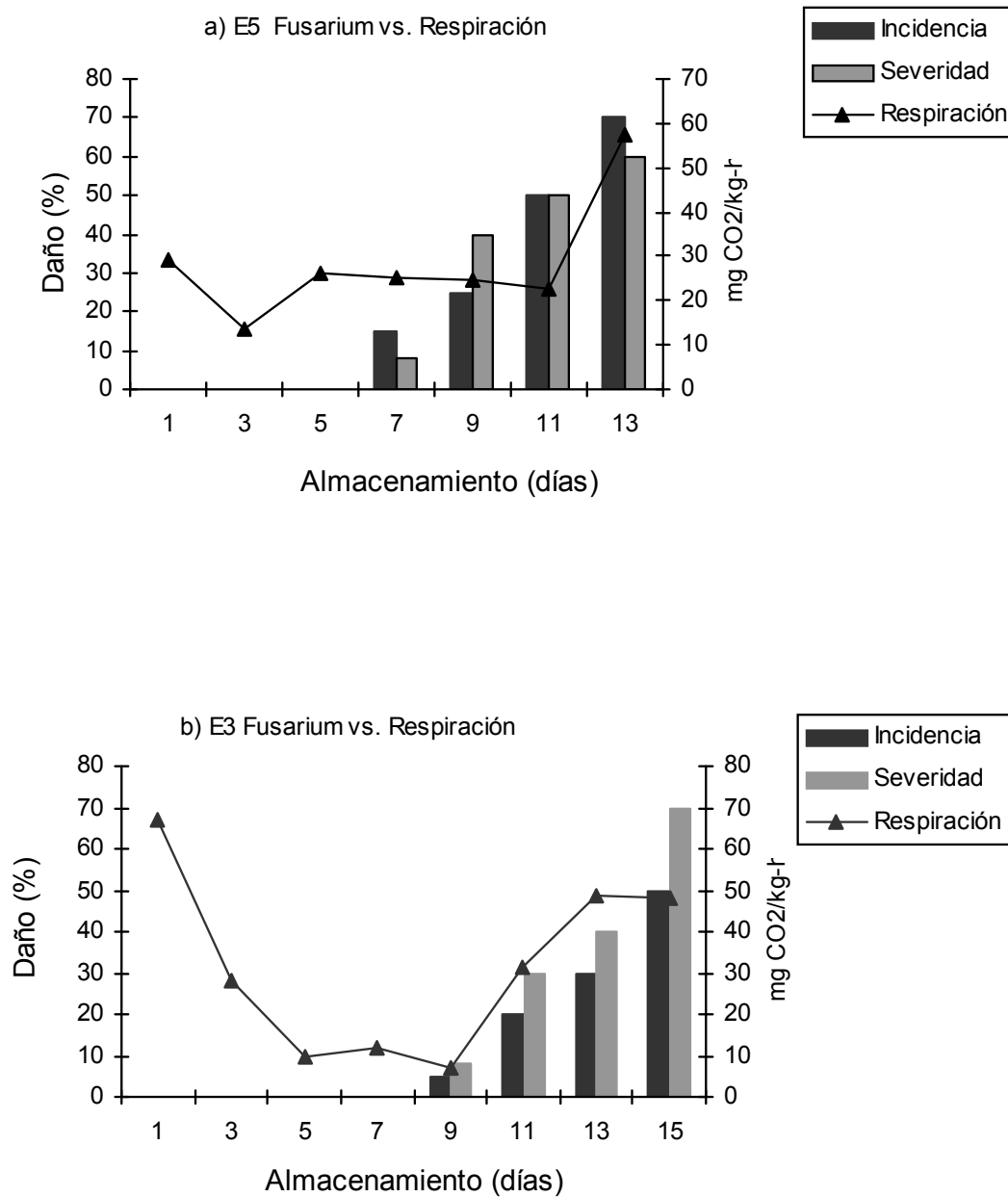


Figura 6. Respiración en frutas de pitahaya amarilla, cosechada en dos estados de madurez y almacenada a 8 °C y 19 °C, comparada con el daño por Fusarium. **a)** estado 5 y **b)** estado 3.

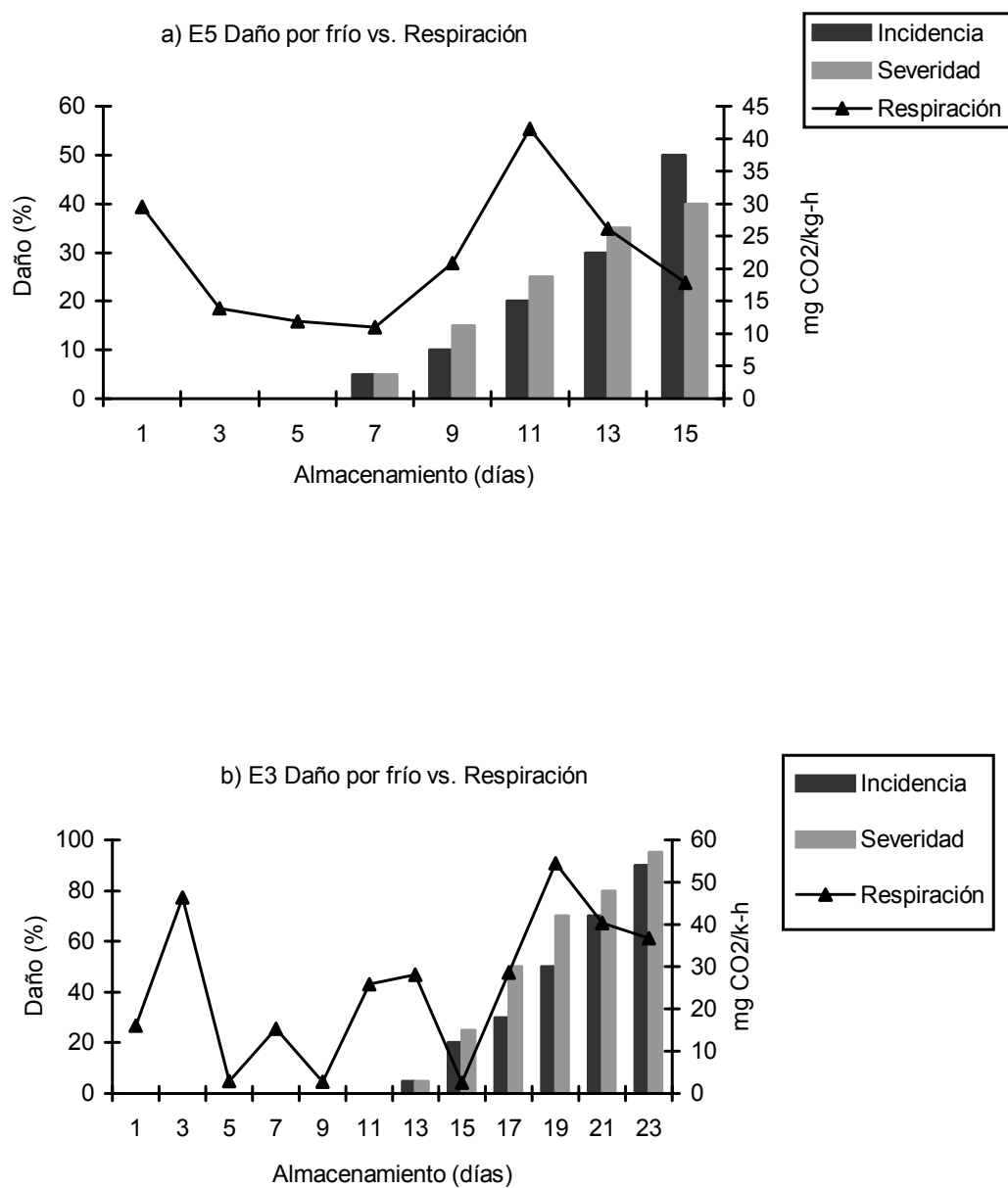


Figura 7. Respiración en frutas de pitahaya amarilla, cosechada en dos estados de madurez y almacenada a 8 °C y 19 °C, comparada con daño por frío. **a)** estado 5 y **b)** estado 3.

La fruta en estado 5, almacenada a 19 °C, presentó un descenso inicial de 29,99 a 13,63 mg CO₂/kg-h del día 1 al 3 respectivamente, luego aumentó hasta 26,22 mg CO₂/kg-h para mantenerse con poca variación hasta el día 11, a partir del cual se dio un aumento que llevó a un pico de 57,46 mg CO₂/kg-h en el día 15; en la Figura 6b, se puede ver que puede existir una relación del ascenso de la respiración con la presencia de *Fusarium sp.* Por su parte, los frutos en estado 5 y almacenados a 8 °C mostraron un descenso inicial en la producción de CO₂ de 29,50 mg CO₂/kg-h en el día 1 a 11,3 mg CO₂/kg-h en el día 7, para luego mostrar un aumento acelerado hasta el día 11 con una producción de 41,53 mg CO₂/kg-h, que pudo corresponder al climaterio. A partir de este día la curva de respiración descendió hasta 17,87 mg CO₂/kg-h en el último día de la toma de datos. El pico encontrado en el día 11 se consideró como el climaterio, teniendo en cuenta que la cantidad de CO₂ es más alta que la reportada por Hernández (1991), 9,4 mg CO₂/kg-h; debido al efecto del daño por frío, el cual causa una actividad respiratoria elevada en el momento en que la mitocondria es averiada, para luego descender por esta misma valor correspondiente al descenso del día 15, cuando el daño es más avanzado (Figura 7a).

El grado de madurez fue el factor que ejerció un efecto significativo sobre la respiración del fruto en los días 1 al 5, 9 y 13, esto refuerza el supuesto del climaterio, ya que no se encontró relación entre las curvas de respiración con la temperatura, además del pico climatérico encontrado tardíamente (día 19) en el estado 3 a 8 °C.

Evaluación del daño por frío. El almacenamiento a 8 °C favoreció el tiempo de duración de la fruta empleada en el estudio realizado, sin embargo días después de iniciado el almacenamiento ésta empezó a presentar síntomas superficiales que han sido relacionados con el daño por frío debido a sus características similares a las encontradas por Rudas (1995); Camargo y Moya (1995) y reportadas por Garnica y Quintero (1994) y a que no se presentaron en la fruta almacenada a 19 °C en el mismo experimento. A continuación se hace una breve descripción cronológica del daño encontrado en los dos grados de madurez.

En el día 13 de almacenamiento se observaron sobre un 5 % de la superficie de la fruta, picaduras de color rojizo de 2 a 5 mm de diámetro, distanciadas entre sí (Rodríguez y Patiño, 2003) (Figura 8a). Aproximadamente un 5 % del total de los frutos presentaron esta lesión. Este síntoma es producto de la acumulación de volátiles tóxicos (acetaldehído y etanol) generados en la suboxidación de sus-tratos, consecuencia de la baja provisión de energía. (Rudas, 1995). Progresiva-mente la cantidad de frutas afectadas aumentó hasta alcanzar un 20 %, con un 25 % de la superficie afectada, en el día 15 (Figura 8b).

Con un daño de 50 % del área superficial de la fruta y 30 % del total de frutas afectadas, tres de éstas fueron llevadas a temperatura ambiente, el día 17 de almacenamiento, para observar su reacción. Hacia el día 19 las pigmentaciones se unieron apareciendo extensas áreas de color rojizo de mayor intensidad y se apreciaban

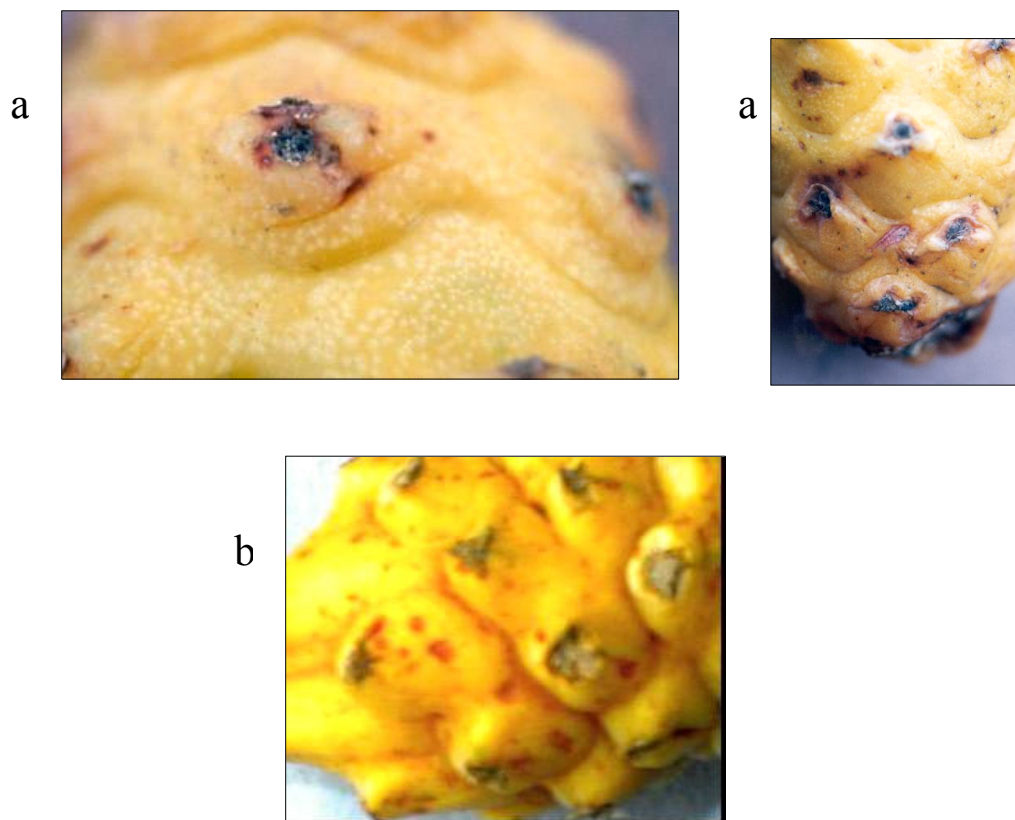


Figura 8. a. Daño por frío en el día 13 de almacenamiento. **b.** Daño por frío en el día 15 de almacenamiento en frutas de pitahaya amarilla.

además pequeños arrugamientos y hundimientos en las aristas, las cuales comenzaban a necrosarse a partir del día 21 (Rodríguez y Patiño, 2003) (Figura 9a, b). Igualmente las frutas que fueron dejadas a temperatura ambiente tenían las aristas

En el día 23 el daño ha avanzado notablemente, afectando hasta un 90 % del total de frutas almacenadas, la cara

de la fruta que da hacia arriba estaba completamente parda, debido a la acción de la polifenoloxidasas sobre compuestos fenólicos liberados de las vacuolas tras el enfriamiento. Las aristas estaban necrosadas y arrugadas, las picaduras iniciales eran más grandes y se unían formando estrías entre las escamas cubriendo un 95 % de la superficie (Rodríguez y Patiño, 2003) (Figura 10). La pulpa presentaba manchas pardas y su consistencia no

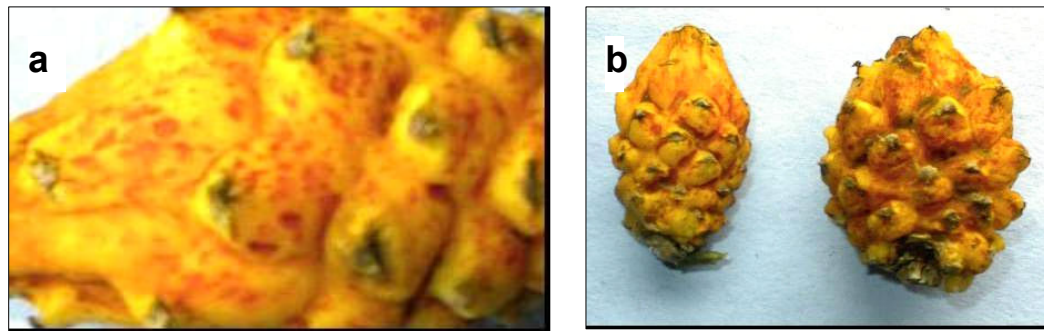


Figura 9. **a.** Daño por frío en el día 19 de almacenamiento. **b.** Daño por frío en el día 21 de almacenamiento en frutas de pitahaya amarilla.

permitía realizar las extracciones para análisis en laboratorio. Las frutas dejadas a temperatura ambiente presentaban necrosis total en las escamas.

Finalmente en el día 25 de almacenamiento se observó necrosis en las aristas en el total de los frutos, igualmente la coloración parda cubrió toda la superficie de la fruta, debido a

que la pérdida de la estructura celular epidérmica permitió aumentar la entrada de oxígeno a través de ella y ocasionó la oxidación de taninos (Rudas, 1995) (Figura 11a). Las frutas que fueron dejadas a temperatura ambiente estaban completamente dañadas, presentaban pudrición, ablandamiento, arrugamiento, y necrosis de las aristas (Figura 11b).



Figura 10. Daño por frío en el día 23 de almacenamiento en frutas de pitahaya amarilla.

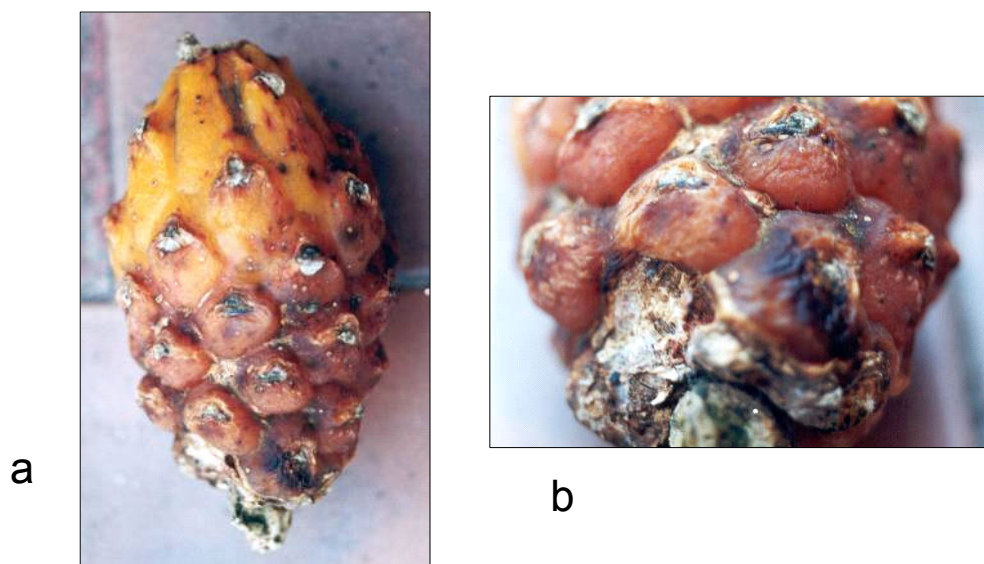


Figura 11. a. Daño por frío en el día 25 de almacenamiento. **b.** daño por frío en el día 25 en frutas de pitahaya amarilla a temperatura ambiente después de 17 días de almacenamiento a 8 °C.

Los síntomas se presentaron de igual manera en ambos grados de madurez evaluados (grados 3 y 5), diferenciado únicamente por el momento de la aparición del daño y la velocidad a la que avanzó, siendo la fruta cosechada en estado 5 la más rápidamente afectada. Los datos de incidencia y severidad fueron registrados como se muestra en las Figuras 6 y 7, comparados con la respiración.

CONCLUSIONES

La temperatura a la que fue almacenada la fruta no mostró, en el experimento realizado, un efecto determinante sobre el comportamiento bioquímico en poscosecha de la pitahaya amarilla, sin embargo la vida útil de la fruta en el cuarto frío (8 °C)

fue mayor, debido a la acción del frío sobre los procesos metabólicos del fruto y la actividad de *Fusarium* sp. A pesar de esta ventaja, la temperatura utilizada para refrigeración promovió el daño por frío, lo cual representaría pérdidas poscosecha a nivel comercial, ya que éste se manifiesta en la corteza carnosa de la fruta, afectando principalmente su apariencia, mas no las características organolépticas, las cuales variaron, al parecer por el evento de la maduración.

El pH, los sólidos solubles totales (°Brix), la acidez titulable, el índice de madurez, el porcentaje de agua en el fruto, la respiración, y el contenido de ácidos y azúcares, siguieron un patrón de maduración de acuerdo al descrito para pitahaya amarilla (Hernández, 1991; Camargo y Moya, 1995; Gallo, 1996;

Garnica y Quintero, 1994), dependiendo del grado de madurez al que fueron recolectadas las frutas. Por lo tanto, es el estado de madurez, el factor que determinó su comportamiento poscosecha en el experimento, siendo el estado 3 de la Tabla de Color (NTC 3554 de ICONTEC), el índice de cosecha que presentó mejores resultados en la evaluación; teniendo en cuenta que la fruta duró más tiempo y se conservó en mejores condiciones a lo largo del almacenamiento, con valores de porcentaje de acidez y concentración de ácidos más bajos y valores de índice de madurez, pH y sólidos solubles totales más altos. Entre tanto, la fruta cosechada en estado 5, especialmente aquella almacenada a 19 °C de temperatura, tuvo un tiempo de duración menor al resto de los tratamientos y fue más susceptible al ataque de patógenos, en las condiciones en las que fueron estudiadas, sin embargo, presentó los valores de concentración de azúcares más altos (14,88 g fructosa /100 g fruta) al finalizar el almacenamiento.

La fruta utilizada en el experimento siguió una curva de respiración similar a aquella descrita para los frutos climáticos, a pesar de no ser detectado el etileno. El pico correspondiente al climaterio es más alto que el esperado para pitahaya amarilla, debido posiblemente al efecto del daño por frío (almacenamiento a 8 °C) y a la presencia de *Fusarium* sp.

Los resultados obtenidos en el experimento realizado, son una base muy útil para mejorar las condiciones de mercadeo de la pitahaya amarilla; a nivel interno, proporcionarán al productor una guía del índice de madurez de cosecha

óptimo, que le permita comercializar la fruta, con cadena de frío, reduciendo las pérdidas por deterioro y/o sobremaduración. Igualmente para el exportador serían base del éxito, ya que se garantizaría la conservación de la fruta durante el periodo de almacenamiento y transporte y, por lo tanto, la colocación de un producto de calidad en países importadores de Europa, Asia y Norte América, cumpliendo con las normas exigidas.

Se recomienda, realizar ensayos con temperaturas mayores a 8 °C y menores a 19 °C, con el fin de determinar la temperatura crítica de almacenamiento para pitahaya amarilla y evitar así el daño por frío encontrado en el experimento realizado a 8 °C, así mismo tener en cuenta los tratamientos previos a la adecuación final de la fruta como son: Desinfección y aplicación de fungistáticos con cera para proteger la epidermis y retardar al máximo la posible aparición de síntomas de daño por frío y fungosos.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOWICZ, A. y HERNÁNDEZ, S. Organismos fungosos presentes en las estructuras reproductivas de la pitaya amarilla. Bogotá, 1998. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

CAMARGO, A. y MOYA, O. M. Estudio preliminar de la influencia del choque térmico en la inhibición de daños por frío en la pitaya amarilla (*Acanthocereus pitaya*). Bogotá, 1995. 26 p. Tesis (Magister en Ciencias Farmacología).

Universidad Nacional de Colombia.
Facultad de Ciencias.

CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL. Aumentan las exportaciones colombianas de pitaya. Bogotá: CCI, 2001. p. 4. (Noticiero no; 37).

CHAVEZ, S. y STEVENSON, Y. Estudio del comportamiento de algunos parámetros, durante el curso de maduración de la pitaya amarilla (*Cereus triangularis* Haw). Bogotá, 1992. 43 p. Tesis (Magister en Ciencias Farmacología). Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias.

CUEVAS, J. A. y ORTIZ, J. G. Uso de películas plásticas y refrigeración para la conservación del fruto de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw). Bogotá 1997. 36 p. Trabajo de grado (Ingenieros Agrónomos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

GALLO, F. Índice de madurez para piña cayena lisa, guanábana, pitaya amarilla y maracuyá. *En: Agrodesarrollo*. Vol. 4, Nos.1/2 (1993); p. 171-200.

_____. Manual de fisiología, patología post - cosecha y control de calidad de frutas y hortalizas. Armenia Quindío: Convenio Sena - Reino Unido, 1996.

_____ y GÓMEZ, C. Manejo poscosecha, almacenamiento y transporte de frutas de Colombia. *En: Acta Horticulturae*. Vol. 310 (1992); p. 155-169.

GARNICA, G. y QUINTERO, E. Estudio preliminar de la influencia de las bajas temperaturas sobre algunas caracterís-

ticas de la maduración de la pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). Bogotá, 1994. 43 p. Tesis (Magister en Ciencias Farmacología). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.

HERNÁNDEZ, M., S. Análisis del desarrollo y crecimiento reproductivo de la pitaya amarilla (*Cereus triangularis* Haw.). Bogotá, 1991. Tesis (Magister en Fitoecnia). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION - NTC 3554. Frutas frescas: pitahaya. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Cenicafé. Bogotá: ICONTEC. 1996.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL y CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL. Manual del exportador de frutas, hortalizas y tubérculos en Colombia. Disponible en Internet: <http://www.cci.org.co/Manual/Productos/Frutas/Pitayapitaya02.htm>. [consulta: agosto 2005].

NERD, A. and MIZRAHI, Y. Reproductive biology of cactus fruit crops. *En: Horticultural Reviews*. Vol. 18 (1997); p. 321-346.

_____ and _____. The effect of ripening stage on fruit quality after storage of yellow pitaya. *En: Postharvest Biology and Tecnology*. Vol. 15 (1999); p. 99-105.

PLANELLA, I. Tecnología del manejo de poscosecha de frutas y hortalizas. Bogotá: IICA, 1987. 242 p. (IICA Serie de Publicaciones Misceláneas de Colombia; no. 027).

RODRÍGUEZ, D. y PATIÑO, P. Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.). Bogotá, 2003. Trabajo de grado (Ingenieros Agrónomos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

ROJAS, J. M *et al.* Caracterización de los productos hortifrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad. Chinchiná: Cenicafe, 2004. 253 p.

RUDAS, O. L. Contribución al estudio de las condiciones de almacenamiento en frío de la pitaya amarilla (*Acanthocereus*

pitahaya). Bogotá, 1995. 57 p. Tesis (Magister en Ciencias Farmacología). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.

TUCKER, , G. A., SEYMOUR, G. B. and TAYLOR, J. E., ed. Biochemistry of fruit ripening. London: Chapman and Hall, 1993. 454 p.

VIDAL, P. Contribución a la caracterización fisicoquímica de la pitaya amarilla y estudio preliminar de la toxicidad aguda oral de su parte comestible. *Acanthocereus pitajaya*. Bogotá, 1989. Tesis (Magister en Ciencias Farmacología). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.