



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**CAMBIOS EN LA CALIDAD DE FRUTOS DE LITCHI
MÍNIMAMENTE PROCESADOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTA:

ANDRÉS VILLEGAS CARDENAZ

DIRECCIÓN: DRA. ELIA NORA AQUINO BOLAÑOS

TULANCINGO DE BRAVO, HIDALGO, 2005.

EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZÓ EN LOS LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS DEL INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO, BAJO LA DIRECCIÓN DE LA DRA. ELIA NORA AQUINO BOLAÑOS.

RESUMEN

Frutos de litchi (*Litchi Chinensis* Sonn. cv. Racimo Rojo) sin cáscara fueron empacados al vacío (60%) y almacenados a 2, 5 y 10 °C durante 18 días, cada 3 días se evaluó su calidad objetiva y subjetiva. El contenido de sólidos solubles se incrementó durante los primeros 9 días de almacenamiento; el pH se mantuvo en un intervalo de 3.72 a 4.75, mientras que la acidez titulable disminuyó ligeramente. El aspecto traslúcido de la pulpa se relacionó con el incremento en el valor de L* de 48.7 (día 0) a 63.5 después de 15 días. Las evaluaciones objetivas mostraron pocas diferencias con respecto a la temperatura de almacenamiento. Las evaluaciones subjetivas indicaron que los frutos de litchi mínimamente procesados pueden ser almacenados durante 18 días a 2 °C, sin pérdidas importantes de calidad, mientras que a 5 y 10 °C la presencia de olor indeseable redujo su calidad después de 12 y 6 días, respectivamente. Contrario a lo que se ha observado en la mayoría de los productos mínimamente procesados, en los frutos de litchi no se presentó oscurecimiento de la pulpa durante su almacenamiento, lo cual se explica por la baja actividad de las enzimas PPO y POD. El contenido de compuestos fenólicos se mantuvo en un intervalo de 0.6 a 0.9 mg ác. gálico / g de tejido durante el almacenamiento de los frutos.

Palabras clave: productos mínimamente procesados, color, sólidos solubles, polifenol oxidasa, peroxidasa, fenoles.

ÍNDICE

Contenido	Pág.
RESUMEN.....	i
ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Calidad de los PMP	3
2.1.1 Factores que tienen influencia en la calidad y composición de frutas y hortalizas.....	3
2.1.2 Procedimientos de preparación que influyen en la calidad de los PMP	5
2.1.3 Factores pospreparación que tienen influencia en la calidad de los PMP.....	5
2.1.4 Signos de deterioro en los PMP	6
2.1.5 Calidad nutricional	6
2.2 Efectos físicos y fisiológicos importantes del procesado mínimo	7
2.2.1 Efectos físicos del daño mecánico	7
2.2.2 Efectos fisiológicos del daño mecánico	7
2.2.2.1 Inducción de la síntesis de etileno	7
2.2.2.2 Degradación de la membrana celular	8
2.2.2.3 Incremento en la tasa de respiración.....	8
2.2.2.5 Oscurecimiento oxidativo.....	9
2.2.2.6 Cicatrización de heridas.....	10
2.3 Control del deterioro de PMP por temperatura y atmósferas modificadas	10
2.3.1 Efectos de la baja temperatura	10
2.3.1.1 Reducción de la velocidad metabólica.....	11
2.3.1.2 Disminución de la pérdida de agua.....	11
2.3.2 Efectos bioquímicos y fisiológicos de las atmósferas modificadas o controladas	11

2.3.2.1 Disminución del metabolismo respiratorio	12
2.3.2.2 Disminución del oscurecimiento en tejido.....	13
2.3.2.3 Reducción de la pérdida de agua	13
2.3.2.4 Reducción de la biosíntesis y acción del etileno.....	14
2.3.2.5 Reducción del desarrollo microbiano.....	14
2.3.2.6 Disminución de la pérdida de firmeza.....	14
2.3.3 Atmósferas modificadas y su relación con la temperatura	14
2.3.4 Empaque	15
2.4 El fruto de litchi	15
2.4.1 Descripción del fruto	15
2.4.2 Composición y sus cambios durante la maduración y el almacenamiento.....	16
2.4.3 Almacenamiento poscosecha	19
2.4.4 Producción nacional de litchi	20
3. OBJETIVOS.....	23
3.1 Objetivo general.....	23
3.2 Objetivos específicos.....	23
4. MATERIALES Y MÉTODOS	24
4.1. Caracterización física	24
4. 2. Sólidos solubles totales	25
4.3. pH.....	25
4.4 Acidez titulable.....	25
4.5. Color	25
4.6 Actividad de la enzima polifenol oxidasa (PPO)	26
4.7. Actividad de la enzima peroxidasa (POD)	27
4.8 Contenido de fenoles totales	28
4.9 Escalas subjetivas de calidad.....	28
4.10. Análisis de resultados.....	29
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30

5.1 Caracterización física del fruto	30
5.2 Sólidos solubles totales (°Brix)	30
5.3 pH y acidez titulable.....	32
5.4 Cambios de color	36
5.5 Actividad de la enzima polifenol oxidasa	38
5.5.1 Temperatura óptima	38
5.5.2 pH óptimo	39
5.5.3. Determinación de Km y Vmáx	39
5.5.4 Cambios en la actividad de la enzima polifenol oxidasa.....	40
5.6 Actividad de la enzima peroxidasa	43
5.6.1 Cambios en la actividad de la enzima peroxidasa.....	44
5.7 Fenoles totales	45
6. CONCLUSIONES	49
7. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS	50
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	51
9. APENDICE	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Nombre	Pág.
1	Composición del fruto de litchi por 100 gramos de porción comestible	17
2	Efecto del grado de madurez sobre la acidez titulable y el contenido de SST en diferentes variedades de litchi	18
3	Producción nacional de Litchi	21
4	Características físicas del fruto de litchi	30
5	Cambios en los parámetros de calidad subjetiva en frutos de litchi mínimamente procesados después de 0, 12 y 18 días de almacenamiento a 2, 5 y 10 °C	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Nombre	Pág.
1	Producción de Litchi en los estados de la República Mexicana	21
2	Cambios en el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C.	31
3	Cambios en el pH en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C.	33
4	Cambios de acidez titulable en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2, 5 y 10°C.	34
5	Cambios en el parámetro L en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10 °C.	37
6	Cambios en el parámetro a* en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C.	37
7	Cambios en el parámetro b* en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C.	38
8	Efecto de la temperatura sobre la actividad de la enzima PPO en fruto de litchi mínimamente procesados.	39
9	Efecto del pH sobre la actividad de la enzima PPO en frutos de litchi mínimamente procesados	40
10	Efecto de la concentración de sustrato sobre la actividad de la enzima PPO en frutos de litchi mínimamente procesados.	41
11	Cambios en la actividad de la enzima PPO en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C.	42
12	Efecto del pH sobre la actividad de la enzima POD en frutos de litchi mínimamente procesados.	43
13	Cambios en la actividad de la enzima POD en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C.	44

14	Cambios en el contenido de fenoles totales en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C.	46
A1	Curva estándar de ác. gálico para cuantificar el contenido de fenoles totales por el método de Singleton y Rossi (1965)	58

1. INTRODUCCIÓN

Los Productos Mínimamente Procesados (PMP) se definen como aquellas frutas y hortalizas preparadas mediante una o varias operaciones como pelar, cortar, sanitizar y empacar (Wiley, 1997). También se les conoce como ligeramente procesados, pre-preparados, precortados, preparados frescos o parcialmente procesados (Cantwell y Suslow, 1999).

El principal usuario de los PMP fue la industria de los servicios de los alimentos; sin embargo, en la actualidad han cobrado mayor importancia y difusión debido a la necesidad, por parte de los consumidores, de contar con productos saludables y listos para consumo (Watada *et al.*, 1996).

Entre las ventajas potenciales que los PMP ofrecen al consumidor se pueden mencionar el incremento al acceso a frutas y hortalizas saludables, libres de aditivos o conservadores, la facilidad para almacenarlos en su empaque y la disminución del espacio de almacenamiento, la reducción en el tiempo de su preparación y el proporcionar una calidad más uniforme y consistente de los alimentos, así como también reducir el desperdicio para el consumidor (Cantwell, 1998a).

Los PMP son más perecederos que los intactos, Salveit (1998) indicó que una de las principales causas de pérdida en los PMP es el oscurecimiento de la superficie expuesta y además mencionó que en este fenómeno el metabolismo de fenoles tiene un papel importante.

Para la conservación de los PMP se utilizan comúnmente dos herramientas: la disminución de la temperatura y la modificación de la atmósfera; el primer punto se logra por medio de la refrigeración; mientras que el segundo con el uso de películas que presenten una difusibilidad específica a los gases de O₂ y CO₂. Para la aplicación de estos procesos es necesario determinar la temperatura óptima de almacenamiento y las atmósferas potencialmente para conservar su calidad.

El litchi (*Litchi chinensis* Soon.) es un fruto subtropical, con cáscara de color rojo brillante y la pulpa blanca, es apreciado por su sabor dulce y su textura crujiente. El volumen de producción de litchi (*Litchi chinensis* Soon.) en México, se ha incrementado de 1783 ton en 1995, a 4,608.44 ton en el 2003. En México se

producen comercialmente en nueve estados, y se ha ido introduciendo en otros estados como Hidalgo, Jalisco, Coahuila, Campeche y Chiapas. Sin embargo, su comercialización esta restringida a los mercados locales principalmente debido al oscurecimiento en su pericarpio; una forma de minimizar este problema podría ser ofrecerlo sin cáscara.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el potencial del fruto de litchi para ser comercializado sin cáscara, es decir, como un producto mínimamente procesado para lo cual se analizarán los cambios en la calidad, el contenido de compuestos fenólicos, así como los cambios en la actividad de las enzimas polifenol oxidasa y peroxidasa durante su almacenamiento en temperaturas de refrigeración y empacados en atmósferas modificadas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Calidad de los PMP

La calidad en las frutas y hortalizas mínimamente procesadas es una combinación de atributos que determinan su valor como alimento humano. Estos factores incluyen: apariencia visual (frescura, color, defectos y pudriciones), textura (crujencia, jugosidad, firmeza, integridad del tejido), sabor, olor, valor nutritivo (vitaminas A y C, minerales y fibra dietaria) y seguridad (ausencia de residuos químicos y contaminación microbiana) (Kader y Mitcham, 1998).

La calidad de los PMP depende del producto intacto y su conservación hasta el momento de su preparación, métodos de preparación y las condiciones de manejo de estos (rapidez de enfriamiento, mantenimiento de temperatura y humedad relativa óptimas, rapidez en la comercialización y la sanitización apropiada). Las operaciones que involucra la elaboración de los PMP, no deben ser vistos como una forma para utilizar frutas y hortalizas con menor calidad, sobremaduros o con defectos, que no puedan ser comercializadas intactas. Para asegurar la calidad, solamente deben ser utilizadas frutas y hortalizas adecuadas para la preparación de los PMP (Kader y Mitcham, 1998).

2.1.1 Factores que tienen influencia en la calidad y composición de frutas y hortalizas

Factores genéticos: Para muchas frutas y hortalizas hay grandes diferencias en cuanto a su composición y calidad entre los diferentes cultivares. Por ejemplo, el contenido de vitamina A en zanahorias varía desde 8,500 a 19,500 UI por 100 g de tejido y en la manzana y la pera, el potencial de oscurecimiento de la pulpa varía grandemente. El uso de cultivares de brócoli y coliflor que forman cabezas menos compactas puede facilitar el corte de los floretes con menos daño mecánico. Es posible que nuevos cultivares con características deseadas sean desarrolladas a través del mejoramiento de las plantas y el uso de la biotecnología; algunos ejemplos incluyen actividad más baja de la polifenol oxidasa para disminuir el oscurecimiento; actividad reducida de las enzimas que degradan la pared celular (con el fin de mejorar la retención de firmeza y disminuir

la exudación de la savia celular), y/o mejorar el sabor (mayor contenido de azúcares, menor acidez, y aroma mas intenso) (Roming, 1995).

Factores precosecha: Condiciones climáticas como la temperatura y las lluvias tienen influencia en la calidad del producto y la duración de su vida poscosecha debido a que los efectos del estrés ambiental es acumulativo. Las practicas culturales tales como el suministro de agua y nutrientes, manejo de pesticidas y el número de frutos por árbol, afectan su composición. El exceso de suministro de agua, el exceso de nitrógeno y la deficiencia de calcio están relacionados a una corta vida poscosecha de frutas y hortalizas frescas. El contacto de la parte comestible de la planta con el suelo, donde un fertilizante orgánico es usado, incrementa el potencial de contaminación con patógenos humanos (Watada *et al.* 1996)

Momento de la cosecha: Seleccionar la madurez optima es esencial para proveer la mejor combinación de la calidad comestible y la vida poscosecha. Las hortalizas cosechadas cuando están en la etapa de crecimiento (tales como el brócoli, elote, calabaza y espárrago) tienen muy alta actividad metabólica y pequeñas cantidades de reservas de almacenamiento, mientras que los productos cosechados en la etapa de madurez (tales como calabaza amarilla y papa) tienen baja actividad metabólica y grandes cantidades de reservas de almacenamiento. Las hortalizas inmaduras se deterioran mucho mas rápido que las maduras, por lo tanto son inapropiadas para la elaboración de los PMP. El sabor de los frutos es mejor cuando son cosechados completamente maduros, pero esos frutos pueden ser demasiado blandos para un PMP, por tal motivo es necesario considerar el sabor óptimo y la textura para la elaboración de este tipo de productos (Shewfelt, 1987)

Manejo entre la cosecha y la preparación: Mantener la calidad de las frutas y hortalizas frescas entre la cosecha y preparación (pelado, cortado etc.) depende del cuidado en el manejo de los productos intactos. Con la finalidad de minimizar los daños mecánicos, es necesario realizar un enfriamiento rápido, mantener la temperatura y humedad relativa, óptimas y la eliminación de etileno de los productos sensibles a este compuesto. Los frutos cosechados en estado de madurez verde maduro o parcialmente maduro deben ser madurados antes del corte para asegurar la buena calidad comestible (Watada *et al.* 1996).

2.1.2 Procedimientos de preparación que influyen en la calidad de los PMP

Limpieza: La limpieza del producto intacto (incluyendo el uso de cloro para reducir la carga microbiana) es esencial para obtener un producto cortado inocuo. La microflora de las frutas y hortalizas cortadas se puede originar a partir de la contaminación precosecha o a partir del equipo de procesamiento, ambos se deben mantener tan limpios como sea posible, durante la preparación. Lavar el fruto u hortaliza cortados remueve el exudado del tejido, el cual puede ser un sustrato para el desarrollo microbiano (Wiley, 1994).

El corte: La preparación de los PMP involucra el daño del tejido de la planta con lo cual se incrementa la velocidad de respiración, la producción de etileno, el oscurecimiento, pérdida de agua y un deterioro general de la calidad. El incremento del daño (como el corte del producto en piezas más pequeñas) disminuye su vida pospreparación. Por ejemplo, la vida pospreparación de zanahorias peladas y cortadas es mayor que las zanahorias en rodajas y esta a su vez es mayor que la zanahoria rallada. Para disminuir el daño mecánico se debe emplear cuchillos filosos (Wiley, 1994).

Uniformidad: La presencia de tamaños inadecuados y/o tejidos no comestibles como corazones, raíces, cáscara, etc. disminuye la calidad del producto cortado (Wiley, 1994).

Empaque: El empaque apropiado ayuda a mantener la calidad, reduce la pérdida de agua y el oscurecimiento del tejido. Si el empaque restringe demasiado la difusión del gas, es posible que el consumo del oxígeno y/o la acumulación de dióxido de carbono pueda inducir el metabolismo de la fermentación con el consecuente desarrollo de malos olores (Wiley, 1994).

2.1.3 Factores pospreparación que tienen influencia en la calidad de los PMP

El enfriamiento, el mantenimiento de la temperatura óptima (0 °C para la mayoría de los productos) y la humedad relativa (95 –98 %) durante el transporte, el almacenamiento en los centros de distribución y puntos de venta son los factores más importantes para mantener la calidad. El manejo rápido (reduciendo el tiempo entre la preparación y el consumo) también asegura su buena calidad. Es

conveniente colocar en el empaque la fecha de preparación y la fecha de caducidad (Kader y Mitcham, 1998).

2.1.4 Signos de deterioro en los PMP

De acuerdo a Kader y Mitcham (1998), los signos de deterioro en los PMP mas frecuentes, son los siguientes:

Piezas incompletas, pueden ser el resultado del sobrellenado del empaque y/o un manejo inadecuado.

El marchitamiento, arrugamiento y/o ablandamiento, son debido a la pérdida de agua como resultado de un empaque inadecuado.

El desarrollo de colores indeseables (amarillamiento, bronceado, pardeamiento y/o oscurecimiento) puede ser debido a la pérdida de clorofila (color verde), oscurecimiento enzimático y/o a desordenes fisiológicos, como el moteado de los híbridos de la lechuga.

Presencia de liquido dentro del empaque, esto puede ser asociado con la limosidad y la incidencia de patógenos que causan pudriciones (tales como bacterias de ablandamiento).

Presencia de olores indeseables, tales como aromas de la fermentación debido a la acumulación de etanol, acetaldehído y/o acetato de etilo.

Inflado de las bolsas, debido al exceso de gas de las bolsas selladas, puede ser el resultado de la fermentación del producto.

2.1.5 Calidad nutricional

El daño mecánico del tejido puede acelerar la pérdida de vitaminas, especialmente la vitamina C. Todos los procedimientos recomendados para mantener la calidad general de las frutas y hortalizas frescas, podrían ayudar a minimizar la pérdida de su contenido nutricional. La pérdida de vitamina A y C en frutos cortados son significativos solo después que la calidad visual del producto se ha deteriorado a niveles inferiores para su comercialización (Brecht, 1995).

2.2 Efectos físicos y fisiológicos importantes del procesado mínimo

La preparación de frutas y hortalizas mínimamente procesadas implican daño físico del tejido, este proceso inherente provoca una serie de respuestas físicas y fisiológicas que incrementan la velocidad de deterioro de estos productos (Cantwell, 1998b).

Una célula vegetal contiene muchos compuestos que son conservados en compartimentos separados por membranas semipermeables; el corte no solo daña físicamente estas membranas, también cambia sus funciones; así moléculas inicialmente compartimentalizados, con el corte se mezclan y producen reacciones indeseables e incontrolables. Por ejemplo, los fenoles de la vacuola se mezclan con las enzimas en el citoplasma para producir quinonas y con ello el oscurecimiento del tejido (Saltveit, 1998; Brecht, 1995).

2.2.1 Efectos físicos del daño mecánico

El efecto físico inmediato del acto mecánico de corte en el tejido, es la remoción de la capa epidérmica protectora, la liberación de fluidos intercelulares a la superficie y exposición del tejido a los contaminantes. Posteriormente, cuando el agua se evapora y el tejido empieza a responder fisiológicamente, hay una alteración en la difusión de gas y en la apariencia (Saltveit, 1998).

2.2.2 Efectos fisiológicos del daño mecánico

El daño afecta una serie de procesos fisiológicos y bioquímicos. En segundos, hay una señal en el tejido dañado que se propaga al tejido adyacente e induce respuestas en cadena que disminuyen la calidad de los PMP. Las principales respuestas son inducción de la síntesis de etileno, degradación de los lípidos de la membrana celular, incremento en la tasa de respiración, oscurecimiento oxidativo, cicatrización de heridas y pérdida de agua (Ke y Saltveit, 1989).

2.2.2.1 Inducción de la síntesis de etileno

Una respuesta rápida al daño es el incremento en la velocidad de respiración y producción de etileno, estos cambios fisiológicos se pueden inducir a través de una mezcla no controlada de componentes celulares (por ejemplo con el cambio

en la permeabilidad de las membranas) o a través de mecanismos controlados de reparación celular (Saltveit, 1998). Un ejemplo es el tomate que al ser cortado en pequeñas rodajas (1 cm) incrementa la producción de etileno hasta 20 veces comparado con el tomate entero (Watada *et al.*, 1990). Un comportamiento similar se observó en discos de kiwi almacenados a 20 °C que después de 2-4 horas del corte presentaron una producción de etileno 7 veces mayor que en kiwi intacto (Varoquaux *et al.*, 1990). Rosen y Kader (1989) encontraron un incremento de etileno 4 veces mayor en fresa cortada en rebanadas que en fresa intacta.

2.2.2.2 Degradación de la membrana celular

El daño en el tejido de las plantas durante la preparación de PMP puede causar una degradación de los lípidos de la membrana (Rolle y Chism, 1987); donde también puede ocurrir una degradación enzimática, causando pérdidas de componentes lipídicos y pérdida de compartimentalización de enzimas y sustratos. Las reacciones enzimáticas catalizadas por la enzima acil lípido hidrolasa y fosfolipasa D producen ácidos grasos de la membrana lipídica; estos ácidos grasos libres son tóxicos para muchos procesos celulares y son capaces de causar lisis en los organelos e inactivar proteínas (Brecht, 1995).

2.2.2.3 Incremento en la tasa de respiración

La respiración en los PMP generalmente aumenta, tal es el caso de zanahoria que al ser cortada en tamaños de 2 pulgadas, su respiración aumenta del 25 al 50%; o en el caso de lechuga que aumenta de 2-3 veces su tasa de respiración. La velocidad de respiración de zanahoria entera y pelada fue de 6 $\mu\text{l/g h}$, mientras que cortada en forma de discos o tiras su velocidad se incrementa a 8 y 12 $\mu\text{l/g h}$, respectivamente; en col también se incrementó su velocidad de respiración a 6, 13 y 17 $\mu\text{l/g h}$, al ser cortada en cuartos, tiras de 0.5 x 3 cm y 0.25 x 1.5 cm, respectivamente (Cantwell, 1998b). Estos datos indican que el grado de daño también es un factor que influye en la velocidad de respiración de los PMP, es decir, a mayor número de piezas o menor tamaño de ellas hay siempre una tasa de respiración mayor.

Una velocidad de respiración más alta indica un metabolismo más rápido. Dado que el resultado final de la actividad respiratoria es el deterioro del producto y

senescencia, es deseable alcanzar una velocidad de respiración tan baja como sea posible sin arriesgar el daño o muerte en el tejido. Para lograr esto, se recurre principalmente a las bajas temperaturas y/o a la modificación de las atmósferas (Cantwell, 1998a).

2.2.2.4. Pérdida de agua

El tejido de los vegetales está en equilibrio con una atmósfera a la misma temperatura y humedad relativa interna estimada en los tejidos vegetales de 99% a 99.5% (Burton, 1982). La reducción de la presión de vapor de agua en la atmósfera comparada con la del tejido provoca la pérdida de agua. En órganos intactos, el agua de los espacios intercelulares no está directamente expuesta a la atmósfera exterior; sin embargo, el corte o eliminación de la cáscara expone el interior del tejido y drásticamente se incrementa la velocidad de evaporación de agua. La diferencia de la velocidad de pérdida de agua entre la superficie de plantas intactas y dañadas varía de 5 a 500 veces dependiendo de la facilidad del tejido para reparar el daño a través del proceso de suberización (Brecht, 1995). Para mantener la apariencia visual aceptable, es importante evitar la deshidratación de la superficie del producto cortado.

2.2.2.5 Oscurecimiento oxidativo

El cambio de color es uno de los principales problemas y de hecho uno de los factores limitantes que presentan los PMP; ocurre en la superficie de corte como resultado del rompimiento de las células que son dañadas, permitiendo que sustratos y oxidantes se pongan en contacto. El daño induce la síntesis de algunas enzimas involucradas en las reacciones de oscurecimiento o en la biosíntesis de sustratos (Rolle y Chism, 1987).

En muchos casos la síntesis, oxidación y polimerización de los fenoles son los factores a los que se ha atribuido el cambio de color. El oscurecimiento ocurre cuando los fenoles se oxidan en reacciones catalizadas por fenolasas, como las polifenol oxidasas o las peroxidasas (Hanson y Havir, 1979) que utilizan como sustratos a los compuestos fenólicos

2.2.2.6 Cicatrización de heridas

En respuesta al daño, los tejidos vegetales sintetizan una serie de compuestos secundarios, muchos de los cuales parecen estar relacionados con la reparación del daño o como un mecanismo de defensa contra el ataque de microorganismos e insectos. Los compuestos secundarios que se producen depende de la planta y el tejido involucrado. En ciertos casos estos compuestos pueden afectar el aroma, sabor, apariencia, valor nutritivo o seguridad de los PMP. Los compuestos producidos por frutas y hortalizas dañadas incluyen fenoles, flavonoides, alcaloides, taninos, ácidos grasos y alcoholes de cadena larga (Miller, 1992).

La cicatrización de heridas se refiere a la producción de suberina y lignina en las paredes celulares del sitio dañado, seguido por una división celular para formar un peridermo (Burton, 1982). El primer cambio observable en la superficie del corte es la deshidratación de la primera capa de las células rotas (Brecht, 1995). La suberización de las células cercanas al daño mecánico ocurre en muchos tejidos, como por ejemplo en papa, camote (*Ipomea batatas* L) o zanahorias (*Daucus carota* L.) (Kolattukudy, 1984).

2.3 Control del deterioro de PMP por temperatura y atmósferas modificadas

2.3.1 Efectos de la baja temperatura

Los PMP son más perecederos que los productos intactos debido a que están sujetos a estrés físico severo, causado por las operaciones unitarias de pelar y cortar, con la consecuente remoción de las células epidérmicas protectoras. En consecuencia, los PMP deben de conservarse a temperaturas más bajas que las recomendadas para los intactos. Aunque 0 °C es la temperatura deseada para estos productos, a nivel comercial la mayoría son almacenados a 5 °C o incluso hasta 10°C (Watada *et al.*, 1996).

La pérdida de la calidad se retrasa al disminuir la temperatura del tejido a un punto justo por encima de la temperatura de congelación de tejidos no sensibles al daño por frío (Schlimme, 1995). En los productos sensibles al daño por frío, el almacenamiento a temperaturas similares parece también mantener mejor calidad

en los productos precortados. Las razones por las cuales la baja temperatura disminuye la velocidad de deterioro de todo tejido viviente son las siguientes:

2.3.1.1 Reducción de la velocidad metabólica

Existe una disminución en la velocidad de respiración y en la actividad enzimática; por ello, es deseable alcanzar una velocidad de respiración tan baja como sea posible sin producir daño o muerte en el tejido. La actividad enzimática es función directa de la temperatura, por ejemplo Hyodo *et al.* (1978) encontraron que la actividad de la enzima fenil alanina amonioliasa (PAL), disminuye al disminuir la temperatura; en tejido de lechuga, en un periodo de 8 días de almacenamiento a 12.5 °C, la actividad fue de 0.7 unidades, mientras que a 0.5 °C se mantuvo casi constante en 0.15 unidades durante el mismo periodo de almacenamiento.

2.3.1.2 Disminución de la pérdida de agua

La pérdida de agua se da como resultado de un gradiente de vapor de agua entre la atmósfera saturada interna (dentro de los espacios intercelulares) y la atmósfera externa menos saturada. El vapor de agua migra hacia la concentración más baja, principalmente a través de las aperturas de la superficie, pero también a través de la superficie de daño. La velocidad de migración es función de la resistencia de la epidermis del producto, en particular al movimiento del vapor de agua y la diferencia de presión de vapor entre el producto y su medio ambiente; el cual es gobernado por la temperatura y humedad relativa. Por lo tanto, el mantener baja la temperatura es un factor esencial para reducir la pérdida de agua y evitar la deshidratación (Thompson, 1992).

2.3.2 Efectos bioquímicos y fisiológicos de las atmósferas modificadas o controladas

Una atmósfera modificada (AM) o controlada (AC) es aquella en la cual su composición es diferente a la del aire (78.08 % N₂, 20.95% O₂, 0.03% CO₂), usualmente involucra una reducción de la concentración de oxígeno y/o un incremento de la concentración de dióxido de carbono, la diferencia entre una atmósfera controlada y modificada es el grado de control (Kader, 1986).

Después de la disminución de la temperatura de los productos, el envasado en AM se considera como el segundo factor más eficaz para prolongar la conservación de los PMP. La utilización de películas poliméricas permeables para modificar la concentración de la atmósfera interior de un envase, ofrece grandes posibilidades de alcanzar este objetivo. Para el diseño de una AM adecuada, se debe conocer la velocidad de consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono, así como también la tolerancia de los productos envasados a los niveles de CO₂ y O₂ (Solomos, 1997).

El beneficio o daño potencial del uso de AC o AM depende del producto, variedad, estado de madurez, calidad inicial, composición atmosférica, temperatura, y tiempo de exposición a tales condiciones. Generalmente las atmósferas que son benéficas a los PMP, contienen de 2-8% de oxígeno y de 5-15% de dióxido de carbono (Kader, 1986).

Las AC o AM se han utilizado como un complemento al manejo adecuado de la temperatura, y su efecto puede traer consigo una menor pérdida de la calidad en los PMP (Cantwell, 1998a).

2.3.2.1 Disminución del metabolismo respiratorio

Bajando el nivel de O₂ atmosférico, las frutas y hortalizas frescas reducen su respiración en forma proporcional a la concentración de O₂, pero se requiere de un mínimo de 1 % O₂ (dependiendo del fruto) para evitar el cambio de respiración aeróbica a anaeróbica. Bajo condiciones de anaerobiosis, la vía de la glicólisis se ve incrementada y el ciclo de Krebs se ve inhibido alterándose la principal fuente de energía necesaria para las plantas. El ácido pirúvico formado en la glicólisis puede en este caso formar acetaldehído, etanol y CO₂, lo que produce olores desagradables y daño del tejido. Una concentración de oxígeno de 1-3% alrededor del producto, puede generar un gradiente de concentración al interior del mismo que provoque una concentración en el interior de las células de 0.2%; condición a la cual ocurre la respiración anaeróbica. Esta condición puede darse en función de la tasa de respiración del producto, las características de difusión del tejido y la temperatura de almacenamiento. Elevadas concentraciones de CO₂ también reducen la velocidad de respiración de frutas y hortalizas, pero

concentraciones mayores del 20% provocan la acumulación de productos de la fermentación (Kader, 1986; Kennedy *et al.*, 1992).

Se ha observado que el consumo de O₂ y la producción de CO₂ de zanahoria mínimamente procesada fueron menores a concentraciones bajas de O₂ comparadas con atmósferas de aire (Kato y Watada, 1996).

Las exposiciones a bajas concentraciones de O₂ y/o altas concentraciones de CO₂ cambian el pH intracelular, el cual es importante en la regulación del metabolismo de frutas y hortalizas. Hess *et al.* (1993) encontraron una disminución del pH de 6.9 a 6.3 en discos de aguacate como respuesta a la alta concentración de CO₂.

2.3.2.2 Disminución del oscurecimiento en tejido

La disminución del O₂ en las atmósferas de almacenamiento reduce la velocidad de las oxidaciones catalizadas por enzimas, ya que el oxígeno constituye uno de los sustratos (Murr y Morris, 1974).

Buescher y Henderson (1977) encontraron que el CO₂ puede inhibir la actividad de la polifenol oxidasa y que concentraciones de 10-30% de CO₂ retrasaron el oscurecimiento en tejido de ejotes verdes dañados mecánicamente con una disminución en el contenido de fenoles. El efecto de concentraciones altas de CO₂ sobre la inhibición en la producción de fenoles y la actividad de polifenol oxidasa, y por consiguiente el oscurecimiento, también fue observado en tejido de lechuga (Mateos *et al.*, 1993).

2.3.2.3 Reducción de la pérdida de agua

Con el empaque en AM se mantiene una alta humedad relativa en el medio ambiente que rodea al producto. Cisneros-Zevallos *et al.* (1995) demostraron que seleccionando un empaque apropiado se puede reducir la capa blanca de la superficie de zanahorias peladas, formada a causa de la deshidratación.

2.3.2.4 Reducción de la biosíntesis y acción del etileno

Concentraciones bajas de O₂ y elevadas de CO₂ también inhiben significativamente la producción y los efectos del etileno. El daño ocasionado al tejido durante el corte, provoca inmediatamente la inducción de síntesis de etileno, por lo cual es importante generar rápidamente un ambiente de AM para reducir los efectos del etileno (Gorny, 1997).

2.3.2.5 Reducción del desarrollo microbiano

Los ambientes con concentraciones bajas de oxígeno y elevadas de dióxido de carbono tienen influencia en la velocidad de desarrollo y tipo de microorganismos que proliferan en un producto mínimamente procesado. Concentraciones elevadas de CO₂ (≥10%) son fungistáticas, retrasan el ablandamiento del tejido (Madrid y Cantwell, 1993) y aumentan la resistencia a pudriciones. Sin embargo, no disminuyen el desarrollo de patógenos por lo tanto, no es un sustituto de un manejo apropiado de temperatura ni de buenas prácticas de manufactura y sanidad (Beuchat y Brackett, 1990).

2.3.2.6 Disminución de la pérdida de firmeza

Otro de los beneficios potenciales que ha mostrado el uso de las AM es la disminución en la pérdida de firmeza. Las concentraciones altas de CO₂ retrasaron el ablandamiento en chirimoya, al disminuir la actividad de la poligacturonasa (Del Cura *et al.*, 1996). Así mismo, se ha reportado una disminución de la pérdida de firmeza en rebanadas de fresa y pera cuando fueron almacenadas en atmósferas de aire + 12% de CO₂ y en 0.5% de O₂, respectivamente (Rosen y Kader, 1989).

2.3.3 Atmósferas modificadas y su relación con la temperatura

Las frutas y hortalizas frescas varían grandemente en su tolerancia relativa a las concentraciones bajas de oxígeno y elevadas de CO₂. Los límites de tolerancia pueden ser diferentes a temperaturas arriba o abajo de las temperaturas recomendadas para cada producto. La concentración límite de tolerancia a bajo oxígeno podría ser más alto si se incrementa la temperatura de almacenamiento y el tiempo de exposición debido a que los requerimientos de O₂ para la respiración

aeróbica del tejido se incrementan a temperaturas más altas. Dependiendo del producto, el daño asociado con el CO₂ puede incrementarse o disminuirse con un incremento en la temperatura. La producción de CO₂ se incrementa con la temperatura, y su solubilidad disminuye; entonces el CO₂ en el tejido puede aumentar a temperaturas altas (Kader, 1986). Los PMP tienen menos barreras a la difusión de gas, y consecuentemente toleran concentraciones más altas de CO₂ y más bajas de O₂ que los productos intactos (Watada *et al.*, 1996).

2.3.4 Empaque

Los PMP son empacados tanto en bolsas de películas plásticas como en bandejas de diversos tamaños y formas. Algunos productos requieren ser empacados con determinadas atmósferas de empaque para lo cual se requiere eliminar el aire dentro de la bolsa (vacío) y posteriormente inyectar la mezcla de gases deseada, estableciendo así la AM requerida. Es importante considerar el material de la película del empaque de acuerdo a las necesidades de atmósfera del producto que se está empacando, para lograr mantener la calidad del producto y extender su vida de anaquel, ya que una incorrecta selección del material del empaque puede causar una aceleración en el deterioro del producto. Un sellado correcto de la bolsa es crítico para mantener la calidad del producto ya que si se realiza de forma incorrecta el sellado se puede tener altas concentraciones de oxígeno lo cual puede acelerar el oscurecimiento del producto (Gorny, 1998).

2.4 El fruto de litchi

2.4.1 Descripción del fruto

El litchi (*Litchi chinensis* Sonn.), también llamado lychee, litchee y mamoncillo chino, es un fruto tropical y subtropical con alto valor comercial en el mercado internacional, es originario de China y hay evidencia de su cultivo desde el año 1700 a.C. Estos frutos formaron parte de la cultura China y fueron utilizados como regalos imperiales y tema de incontables poemas.

El fruto de litchi es una drupa o un fruto de hueso, el pericarpio del fruto maduro es delgado, duro y con algunas rugosidades en la superficie. Dependiendo del

cultivar el pericarpio puede ser de color verde pálido, rosa y más comúnmente rojo-fresa brillante; tiene forma esférica o de corazón y mide alrededor de 2.5 a 4 cm de diámetro (Jiang *et al.* 2003).

La porción comestible del fruto se encuentra en el interior de la corteza y es una pulpa carnososa de color blanco a crema traslúcido y jugosa que cubre por completo la semilla de color café, su textura es similar a la de la uva, su sabor es muy dulce, ácido y exótico, recordando al de las uvas, con un cierto aroma a rosas (Seymour *et al.*, 1993).

Los criterios de calidad para los frutos litchi se dividen en externos e internos. Los externos incluyen el color de la cáscara (se prefiere un color rojo brillante), el tamaño del fruto, que esté libre de daño mecánico, pudriciones y agrietamientos; mientras que los internos incluyen el tamaño de la semilla y la relación entre el dulzor y el contenido de jugo de la pulpa (Seymour *et al.*, 1993).

El estado de madurez para la cosecha depende de la distancia al punto de venta. Para los mercados locales, los frutos son cosechados cuando están completamente rojos; mientras que, para comercializarse a grandes distancias son empacados cuando están empezando a tornarse rojos. Como índices de madurez se utilizan el color rojo de la cáscara y la relación azúcar/ácido de la pulpa (Seymour *et al.*, 1993).

2.4.2 Composición y sus cambios durante la maduración y el almacenamiento

La composición de los frutos de litchi varía ampliamente dependiendo de la variedad, de las condiciones climáticas y de las prácticas culturales. Kadam y Deshpande (1995) señalaron que el contenido de agua en el fruto es muy elevado y está en el intervalo de 77 a 83 %, el contenido de proteína varía de 0.8 a 1.5 %, el contenido de grasa es despreciable (menos del 1%), los azúcares totales están el rango de 11.8 a 20.6 %, de los cuales aproximadamente el 81.7 % son azúcares reductores y el 18.3% es sacarosa. Debido a su bajo contenido en grasas y proteínas su valor calórico es bajo (Cuadro 1).

Respecto a otros nutrientes, el fruto de litchi es considerado como una excelente fuente de vitamina C, su contenido varía considerablemente de 40-90 mg/100 g;

estos valores son comparables con el de otros frutos que son considerados fuentes importantes de vitamina C como es el caso de la papaya y la naranja que contienen 84 y 50.5 mg/100 g, respectivamente; aporta también, aunque en menor proporción, otras vitaminas hidrosolubles del complejo B, entre ellas el ácido fólico. En lo que se refiere a su contenido de minerales, aporta potasio y en menor cantidad magnesio. Contiene fibra en cantidades poco significativas. El fruto de Litchi no es una fuente significativa de tiamina, riboflavina, calcio, fierro y éste carece completamente de carotenos (Saunkhe y Desa 1984).

Cuadro 1. Composición del fruto de litchi por 100 gramos de porción comestible.

Constituyente	Contenido
Calorías	65
Proteína	0.90
Grasa	0.10
Carbohidratos (g)	13.10
Fibra (g)	0.40
<i>Minerales</i>	
Potasio (mg)	99.00
Magnesio (mg)	6.00
Calcio (mg)	7.00
Fósforo (mg)	41.00
Hierro (mg)	1.30
<i>Vitaminas</i>	
Vitamina C (mg)	28.00
Tiamina (mg)	0.11
Riboflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.30
Ácido fólico (µg)	14.00

Menzel y Simpson (1993).

De acuerdo a Joubert (1986), el litchi se clasifica como un fruto no climatérico por lo cual no continúa madurando después de la cosecha. Cavaletto (1980) reportó que los sólidos solubles totales (SST) en frutos cosechados al 50% de color fue más alto que en frutos completamente rojos (Cuadro 2). La acidez disminuye

durante la maduración y el almacenamiento. La relación °Brix/acidez se incrementa durante la maduración y el almacenamiento y puede alcanzar valores de 80:1, sin embargo esta relación generalmente es más baja.

Cuadro 2. Efecto del grado de madurez sobre la acidez titulable y el contenido de SST en diferentes variedades de litchi.

Variedad	Grado de madurez	Acidez titulable (%)	SST
Kwai Mi (Tong)	Color medio	0.70	20.4
	Completamente rojos	0.31	18.3
Heung Lai	Color medio	0.84	19.5
	Completamente rojos	0.50	21.9
Brewster	Color medio	0.62	20.6
	Completamente rojos	0.47	19.4

Fuente: Cavaletto (1980)

El ácido no volátil predominante en los frutos de litchi es el ácido málico que representa alrededor del 80% de los ácidos no volátiles. Otros ácidos presentes son los ácidos cítrico, succínico, levulínico, fosfórico, glutámico, malónico y láctico.

Otro cambio importante durante el desarrollo del fruto es la pigmentación de la cáscara. El contenido de clorofila empieza a disminuir logarítmicamente después de que inicia el desarrollo del fruto y esto coincide con la síntesis activa de flavonoides, particularmente las antocianinas, cuya concentración incrementa hasta el estado completamente rojo (Jaiswal *et al.*, 1987). Lee y Wicker (1990) indicaron que el color rojo brillante del fruto de litchi se debe a las antocianinas presentes en la cáscara de los frutos y que los compuestos cianidin-3-glucosido, cianidin-3-rutinosido y malvidin-3-glucósido son los monómeros de las antocianinas más abundantes.

2.4.3 Almacenamiento poscosecha

Los factores de mayor relevancia que reducen la vida de almacenamiento y la comercialización de los frutos de litchi son: el oscurecimiento del pericarpio y la contaminación microbiológica.

El oscurecimiento del pericarpio reduce el valor comercial del fruto y ha sido considerado el problema principal en poscosecha, aparece muy rápidamente después 2-3 días de la cosecha (Akamine, 1960). Este desorden fisiológico se presenta en respuesta a varios factores incluyendo las condiciones climáticas, infección fúngica, pérdida de agua, senescencia del fruto y daño por calor y, una vez que esta presente, es difícil identificar el estrés inicial que causó el daño (Tan y Li, 1984; Underhill y Critchley, 1995). Zhang y Quantick (2000) indicó que el oscurecimiento poscosecha de litchi, se debe a la degradación de las antocianinas y la formación de sustancias de color oscuro catalizadas por la actividad de las enzimas polifenol oxidasa y peroxidasa.

Para mantener la calidad poscosecha de los frutos de litchi se han empleado dos principales herramientas que son: la temperatura y las AM. Las bajas temperaturas de almacenamiento a 1-5 °C se han utilizado para reducir el oscurecimiento del pericarpio; sin embargo, los frutos se deterioran rápidamente cuando son removidos del almacenamiento en frío. Bajo refrigeración, los frutos de litchi tienen una vida de aproximadamente de 30 días. La calidad de la pulpa y el desarrollo de enfermedades son generalmente estables durante el almacenamiento en frío hasta que el pericarpio llega a ser visiblemente inaceptable basados en la evaluación del oscurecimiento del pericarpio (Underhill y Critchley, 1995).

Kader (1993) indicó que el almacenamiento de litchi a temperaturas de 2 a 5 °C y humedad relativa (HR) de 90 a 95% conservó los frutos de 3 a 5 semanas, mientras que el almacenamiento a 20 °C y HR de 60% los conservó solamente de 3 a 5 días.

Majan y Goswami (2004) estudiaron la calidad poscosecha de frutos de litchi cv. Bombay almacenados bajo AC conteniendo 3.5% O₂ + 3.5% CO₂, a 2 °C y 92-95% HR; en atmósferas regulares (aire) (AR) a 2 °C y 92-95% HR y en condiciones ambientales (control). Después de 56 días los frutos almacenados en

AC mostraron mejor retención del color rojo comparados con los frutos conservados en AR. La pérdida de peso fue la más baja (4.9%) para los frutos almacenados en AC comparada con los que fueron almacenados en AR (11.0%) y control (33.1%). La pérdida de acidez y el contenido de ácido ascórbico de los frutos almacenados en AC fue menor que los de AR. Los sólidos solubles totales incrementaron de 19.3 °Brix en la cosecha hasta 23 °Brix en el día 48 de almacenamiento bajo AC, después de lo cual disminuyó a 22.8 °Brix. La evaluación sensorial del color y el sabor de la pulpa mostró que los frutos conservados en AC fueron calificados como buenos a través de 56 días de almacenamiento.

La deshidratación se ha asociado con el desarrollo del oscurecimiento del pericarpio durante el almacenamiento. Bain *et al.* (1983) encontraron que la pérdida de agua, puede ser prevenida por el empaque del fruto en pequeñas mallas y cubriéndolas con una película plástica. Otros tratamientos con el mismo objetivo incluyeron el preenfriado de los frutos de litchi con una solución de 0.5% de lecitina y 2.5% de bicarbonato de sodio (Zhang *et al.* 1986) y posteriormente empacados en bolsas de polietileno de 0.04 mm de espesor y almacenados a temperatura ambiente. Bajo tales condiciones después de 8 días, el fruto aún retiene su color rojo, con una pérdida de peso de 2-3%, mientras que los controles (no empacados en bolsas) llegaron a ser totalmente de color café, con una pérdida de peso de 18-20% (Seymour *et al.* 1993). Chen (1984) y Paull y Chen (1987) también reportaron que envolviendo la fruta en bolsas de polietileno ayuda a reducir la desecación y retarda el cambio de color.

2.4.4 Producción nacional de litchi

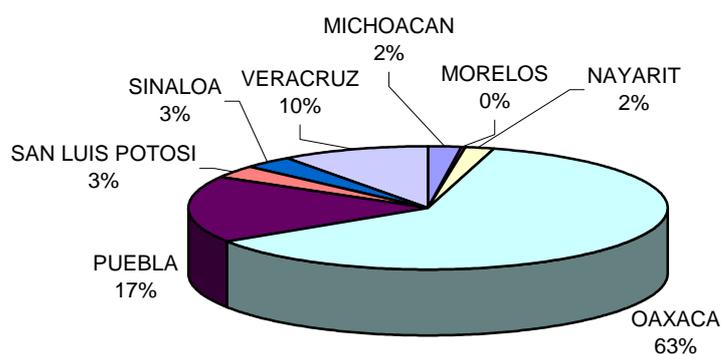
En México, los frutos de litchi se producen en los meses de mayo a julio, la producción nacional se ha incrementado de manera importante en los últimos años, de 1,783 ton en 1995 a 4,608.44 en el año 2003 (Cuadro 3). Este fruto se produce comercialmente en nueve estados de la República Mexicana: Baja California Sur, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa y Veracruz. Siendo los estados productores más importantes Oaxaca (63% del total), Puebla (17%) y Veracruz (10%) (Figura 1).

El fruto de litchi se ha ido introduciendo en otros estados como Hidalgo, Jalisco, Coahuila, Campeche y Chiapas.

Cuadro 3. Producción nacional de Litchi

Año	Volumen de producción (ton)
1995	1,783.0
1997	1,565.0
1999	3,228.2
2001	3,612.5
2003	4,608.44

Fuente: SIACON (2003).



Fuente: Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2003)

Figura 1. Producción de Litchi en los estados de la República Mexicana

Debido a que su precio es relativamente alto, es considerado un fruto de lujo y aún no está muy difundido entre los consumidores nacionales, este hecho plantea un mercado nacional potencial para el fruto.

Existe una clara demanda internacional en crecimiento de este fruto a través de los restaurantes, establecimientos gourmets y mercados étnicos de EE.UU y

Canadá. Además es importante mencionar que se debe aprovechar la ventaja que la época de cosecha en México se presenta cuando no hay oferta de litchi en el mercado europeo y en algunos países asiáticos.

Su comercialización es principalmente como fruta fresca, sin embargo puede ser conservada de numerosas formas. Los frutos de litchi deshidratados son conocidos como nuez de litchi, la pulpa marchita alrededor de la semilla seca es de un sabor muy agradable y de textura similar a una resina, los frutos también pueden ser enlatados en almíbar (Saunkhe y Desa, 1984).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la temperatura sobre la calidad de frutos de litchi mínimamente procesados.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física de los frutos de litchi (var. Racimo rojo) cultivadas en Mecatepec, Puebla.
- Evaluar los cambios fisicoquímicos en frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a tres diferentes temperaturas.
- Determinar los cambios en la actividad de las enzimas polifenol oxidasa y peroxidasa en frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a tres diferentes temperaturas.
- Analizar los cambios en el contenido de fenoles en frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a tres diferentes temperaturas.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron frutos de Litchi (*Litchi Chinensis* Sonn) de la variedad 'Racimo Rojo' los cuales fueron cosechados en Mecatepec, Puebla, en un estado de madurez totalmente rojos. Los frutos se trasladaron a los laboratorios del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICyTA) del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Los frutos fueron almacenados 24 horas a temperatura de refrigeración (4-6 °C) antes del procesado mínimo. Después de este tiempo se seleccionaron aquellos frutos libres de defectos y con color y tamaño uniformes. Una muestra representativa de 20 frutos fueron seleccionados para su caracterización física. Los frutos fueron separados en tres fracciones: cáscara, pulpa y semilla. Cada fracción fue expresada como porcentaje del peso del fruto completo.

Para la preparación de los frutos mínimamente procesados se eliminó el pericarpio manualmente cuidando de no ocasionar daño a la pulpa, se colocaron 9 frutos en bolsas de polietileno (Coex 230x300/200-5C) y se envasaron con un 60% de vacío, en una empacadora (VC999). Las bolsas se almacenaron a temperaturas de 2, 5 y 10 °C en cámaras de refrigeración, en las que se monitoreo la temperatura en intervalos de 24 horas. Cada 3 días, durante 18 días, se tomaron 3 bolsas de cada temperatura para evaluar en el tejido fresco los siguientes parámetros: % de SST, pH, acidez titulable, color, la actividad de las enzimas polifenol oxidasa (PPO), peroxidasa (POD) y el contenido total de compuestos fenólicos y además se realizaron evaluaciones subjetivas de sabor, aroma, calidad visual, oscurecimiento, deshidratación, olor y sabor.

4.1. Caracterización física

Para realizar la caracterización física, 20 frutos fueron separados en tres fracciones: cáscara, pulpa y semilla. Se tomó el peso de cada fracción por separado y fue expresada como % del peso del fruto completo.

4. 2. Sólidos solubles totales

Se tomaron alícuotas del jugo de la pulpa y se determinó directamente el % de sólidos solubles totales como °Brix, en un refractómetro digital marca ATAGO, previamente calibrado con agua destilada a temperatura ambiente (22 °C),

4.3. pH

Se pesaron 5 g de pulpa y se homogenizaron con 50 ml de agua destilada, se filtró y se tomó la lectura directamente en un potenciómetro marca Thermo Orion mod. 420A previamente calibrado con amortiguadores pH 4.0 y 7.0.

4.4 Acidez titulable

La acidez titulable se realizó siguiendo el método 942.15 del AOAC (1997); una muestra de 5 g de pulpa se homogeneizaron con 50 ml de agua destilada, se filtró a través de 2 capas de manta de cielo y del filtrado se titularon alícuotas de 20 ml con NaOH 0.01 N utilizando 0.3 ml de solución de fenolftaleína al 1 % como indicador.

La acidez titulable se expresó en g de ácido málico por cada 100 g de tejido fresco, utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ ac. málico} = \frac{N_{\text{NaOH}} \times \text{ml}_{\text{NaOH}} \times 0.06705 \times 100}{\text{g muestra}}$$

4.5. Color

El color en las muestras se determinó a través de los parámetros L*, a* y b* utilizando un colorímetro Minolta modelo 508d, con iluminante C y observador a 10°. En el espacio de color CIE 1976 (L*, a*, b*), o CIELAB, el coeficiente de luminosidad L, tiene un intervalo de negro =0 a blanco =100. Las coordenadas (a* y b*) localizan el color sobre una coordenada rectangular perpendicular a L*. El color en el origen (a*=0, b*=0) es acromático o gris. Sobre el eje horizontal X, a* positivo indica las tonalidades de rojo y a* negativo, las tonalidades de verde. Sobre el eje vertical, b* positivo indica color amarillo y b* negativo, color azul McGuire (1992).

4.6 Actividad de la enzima polifenol oxidasa (PPO)

La actividad de la enzima PPO se realizó tomando como referencia el método propuesto por Montgomery y Sgarbieri (1975), el cual se basa en la determinación espectrofotométrica del color que se genera a partir de la acción del extracto de la enzima sobre un sustrato fenólico.

Extracción de la enzima

Se homogenizaron 0.6 g de polivinilpolipirrolidona (PVPP) insoluble con 5 g de tejido fresco y 50 ml de amortiguador de fosfatos 50 mM a pH 7.0. El homogenizado se filtro a través de 2 capas de manta de cielo. El filtrado se centrifugó a una velocidad de 13500 rpm durante 15 minutos a 4 °C y el sobrenadante se consideró como el extracto de la enzima.

Ensayo de la actividad

El ensayo de la actividad se realizó con 2.7 ml de amortiguador de fosfatos 200 mM (pH 7.5), 200 µl de catecol (60 mM) como sustrato y se inició la reacción agregando 100 µl del extracto de la enzima, la mezcla se mantuvo a 30 °C y se registro el cambio de absorbancia cada 10 segundos durante 1 minuto a una longitud de onda de 420 nm en un espectrofotómetro (Spectronic Genesys 5). La actividad se reportó en unidades de actividad (UA), siendo una unidad de actividad de PPO el cambio de una unidad de absorbancia por minuto.

Determinación de la temperatura óptima

La temperatura óptima de la actividad de la enzima PPO se determinó en un intervalo de 15 a 35 °C. En tubos de ensaye se colocaron 2.7 ml de amortiguador de fosfatos pH 7.5 y 200 µl de catecol 50 mM. Estos tubos fueron colocados en un baño de agua a la temperatura requerida. Después de que los tubos alcanzaron la temperatura deseada, se adicionaron 100 µl del extracto de la enzima. La actividad fue determinada en la forma descrita anteriormente.

Determinación de pH óptimo

El pH óptimo de actividad de PPO fue determinado utilizando amortiguador de ácido cítrico y fosfato de sodio para pH's de 4.5 a 5.5 y amortiguador de fosfatos

para valores de pH entre 6.0 a 8.0. Se utilizó catecol 50 mM como sustrato. La actividad fue determinada a la temperatura óptima obtenida anteriormente.

Efecto de la concentración de sustrato

Para determinar el efecto de la concentración de sustrato se evaluó la actividad de PPO en un intervalo de 0.0 a 10.0 mM de catecol. La actividad fue determinada a temperatura y pH óptimos obtenidos anteriormente.

4.7. Actividad de la enzima peroxidasa (POD)

Extracción de enzima

Se homogenizaron 0.6 g de polivinilpirrolidona (PVPP) insoluble con 5 g de tejido fresco y 50 ml de amortiguador de fosfatos 50 mM a pH 7.0. El homogenizado se filtró a través de 2 capas de manta de cielo. El filtrado se centrifugó a una velocidad de 13500 rpm durante 15 minutos a 4 °C y el sobrenadante se consideró como el extracto de la enzima.

Ensayo de la actividad

El ensayo de la actividad de POD se midió tomando como referencia el método propuesto por Childs y Bardsley (1975). Se realizó con 2.6 ml de amortiguador fosfatos 100 mM (pH 5.5), 100 µl de *o*-dianisidina 7 mM, 200 µl del extracto de la enzima y se inició la reacción con 100 µl de peróxido de hidrógeno (0.5 %). Se incubó la mezcla de reacción a 30 °C durante 1 minuto y se leyó el cambio de absorbancia a 500 nm utilizando un espectrofotómetro Marca Spectronic Genesys 5. La actividad se reportó en unidades de actividad (UA), siendo una unidad de actividad de POD, el cambio de una unidad de absorbancia por minuto.

Determinación de pH óptimo

El pH óptimo de actividad fue determinado utilizando amortiguador de fosfatos con valores de pH's entre 3.0 a 7.0, amortiguador de ác. cítrico y fosfato de sodio para pH's 3.5 – 5.0 y de fosfato de potasio para pH's de 6.0 – 7.0. Se utilizó *o*-dianisidina y peróxido de hidrógeno como sustrato. La actividad fue determinada a la temperatura óptima obtenida anteriormente.

4.8 Contenido de fenoles totales

Para la cuantificación global de los compuestos fenólicos se siguió el método descrito por Singleton y Rossi (1965). Este método se basa en que el reactivo Folin-Ciocalteu oxida a los fenoles presentes en la solución y al mismo tiempo se reduce parcialmente, lo cual genera un complejo de color azul. La intensidad del color es monitoreada espectrofotométricamente a 750 nm.

Extracto de la muestra

Se homogenizaron 5 g de tejido fresco con 20 ml de etanol al 80 % durante 1 minuto. El homogenizado se filtró a través de 2 capas de manta de cielo y el filtrado fue centrifugado por 15 minutos a una velocidad de 10,000 rpm a 4 °C. El sobrenadante se utilizó para la determinación de fenoles totales.

Cuantificación

En un tubo de ensaye se colocaron 1 ml de agua destilada, 200 µl del extracto y 200 µl del reactivo Folin Ciocalteu, después de 5-8 minutos se adicionaron 2 ml de carbonato de sodio (7 %), y se llevó la solución a 5 ml con agua. Después de una hora se leyó la absorbancia a 750 nm. La cuantificación se realizó utilizando una curva estándar de ácido gálico (Apéndice).

4.9 Escalas subjetivas de calidad

Las escalas subjetivas de estimación de la calidad se utilizan para expresar la severidad de un defecto, para comparar grados de severidad o para expresar numéricamente la calidad total de un producto (Lipton, 1980). Las escalas subjetivas para evaluar la calidad de frutos de litchi se plantearon tomando como referencia las propuestas por Kader (1993).

Calidad visual. Se estimó con la siguiente escala: 5 = excelente, 4 = buena, 3 = regular, 2 = pobre, defectos excesivos; 1 = extremadamente pobre o de rechazo.

Oscurecimiento. Se calificó en una escala de 1 a 5, donde 1 = ninguno o no se presenta, 2 = ligero, 3 = moderado, 4 = severo y 5 = extremo muy oscuro.

Deshidratación. Se calificó en una escala de 1 a 5, donde 1 = no se presenta, 2 = ligera, 3 = moderada, 4 = severa, y 5 = extrema.

Olor. Se evaluó en una escala del 1 al 5, donde 1= característico, 2 = bueno, 3 regular, 5 = desagradable.

Sabor. Se evaluó en una escala de 5 a 1, donde 5 = sabor característico, completo, 4 = cercano al típico, 3 = moderado, pero típico, 2 = poco pero típico, 1= desagradable.

4.10. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se consideraron como factores la temperatura (2, 5 y 10 °C) y el tiempo de almacenamiento (0, 3, 6, 9, 12, 15 y 18 días). Las variables respuesta fueron el % de SST, pH, acidez titulable, color, la actividad de las enzimas polifenol oxidasa (PPO), peroxidasa (POD) y el contenido total de compuestos fenólicos y además evaluaciones subjetivas de sabor, aroma, calidad visual, oscurecimiento, deshidratación, olor y sabor.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización física del fruto

Los frutos de litchi de la variedad “Racimo Rojo” utilizados en este estudio son de forma redonda o ligeramente ovalada, miden entre 2.5 y 4 cm pesan alrededor de 22 g (Cuadro 4). El arilo o pulpa comprende el 63.2 % del peso, la cáscara el 19.2% y la semilla el 17.6 %, estos datos obtenidos son similares a los reportados por Cavaletto (1980) y Kevin (1994) para frutos de litchi.

Cuadro 4. Características físicas del fruto de litchi

	Peso (g)	%
Pulpa	13.82 +- 1.44	63.2
Semilla	3.88 +- 0.93	17.6
Cáscara	4.17 +- 0.39	19.2
Fruto completo	22.88 +-1.93	100.00

5.2 Sólidos solubles totales (°Brix)

El contenido de sólidos solubles totales (SST), medido como °Brix, en el tiempo inicial para los frutos de litchi fue de 20.0 °Brix, valor similar al reportado por Cavaletto (1980) para las variedades Kwai Mi (Tong), Heung Lai y Brewster; mientras que Ming-Chang y Chin-Shu (1999) reportaron un intervalo de 15.1 a 17.1 °Brix para cinco cultivares de litchi (Hau-yeh, Kwai-wei, No-mitzu, Sakan y Yu-ho-bou) ubicados en Taiwan, en estos cultivares los sólidos solubles más abundantes fueron la fructosa (6.0 - 7.2 %) y la glucosa (5.7 - 6.7 %) mientras que la sacarosa se encontró en menor proporción (0.4 - 2.1 %). Por su parte, Neog y Saikia (2001) reportaron para el cultivar ‘Muzaffarpur’ 18.2 % de SST, 14.1 % de azúcares totales y 10.1 % de azúcares reductores.

Después de tres días de almacenamiento, los frutos de litchi mínimamente procesados mostraron incremento en el contenido de SST obteniendo valores en el día 9 de 22.3, 21.1 y 20.8 °Brix, a temperaturas de 2, 5 y 10 °C, respectivamente (Figura 2). Después de este tiempo, los frutos almacenados a 5 °C mantuvieron constante sus valores de °Brix. Por el contrario, en los frutos almacenados a temperaturas de 2 y 10 °C, el contenido de sólidos solubles disminuyó, observándose valores similares al inicial en el día 12.

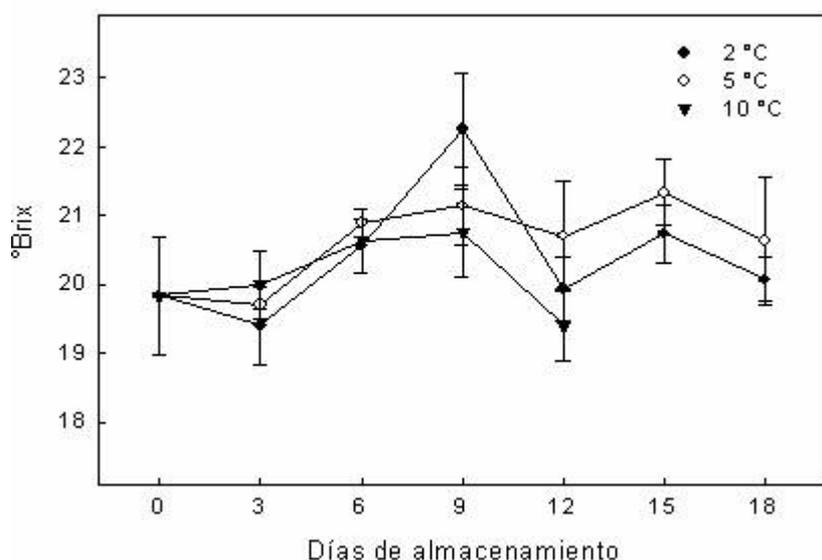


Figura 2. Cambios en el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C. Cada punto es el promedio de 4 réplicas \pm desviación estándar.

Un comportamiento similar al observado en los frutos almacenados a 2 y 10 °C, ha sido reportado por Majan y Goswami (2004) en frutos intactos, estos autores indicaron que el contenido de SST incrementó en la pulpa inicialmente durante su almacenamiento a temperaturas de refrigeración de 19.3 a 23.7 °Brix y disminuyó después de 24 días. El incremento de los sólidos solubles totales puede ser atribuido a la hidrólisis del almidón en mono y disacáridos como lo han señalado Gaur y Bajapai (1978) quienes indicaron que durante el primer periodo de almacenamiento de los frutos de litchi ocurre una hidrólisis completa del almidón y subsecuentemente se observa una disminución de los azúcares cuando estos son utilizados como sustratos primarios durante el proceso de la respiración.

Singh *et al.* (1993) señalaron que en cinco cultivares de litchi (Ajhouli, Early Bedana, Dehra Rose, Deshi y Late Large Red) se observó una disminución en el contenido de almidón que coincidió con un rápido incremento en los azúcares totales desde el inicio de la maduración hasta el estado completamente maduro.

Li *et al.* (2003) estudiaron los cambios de la acumulación de azúcares y la actividad de las enzimas relacionadas al metabolismo de azúcares en la pulpa durante la maduración de dos variedades 'Nuomici' y 'Huaizhi'. Los resultados mostraron que el contenido total de azúcares, la glucosa y la fructosa aumentaron paulatinamente durante la maduración, mientras que, el contenido de sacarosa aumentó rápidamente, posteriormente disminuyó y finalmente incrementó. La actividad de las enzimas sacarosa sintasa e invertasa ácida mostraron un pico en el día 60 después del amarre del fruto, después de esto la actividad disminuyó y se mantuvo en niveles bajos hasta una semana antes de la cosecha. En estos trabajos los autores sugieren que el metabolismo de azúcares esta asociado con la actividad de las enzimas sacarosa sintasa e invertasa ácida en la pulpa de los frutos de litchi. La actividad de sacarosa sintasa e invertasa ácida más alta en la pulpa fue asociada al contenido total de azúcares más alto causado por la disminución de la sacarosa y el incremento en la acumulación de monosacáridos glucosa y fructuosa. De acuerdo a los datos observados en la Figura 2 se puede hipotetizar que los cambios en los sólidos solubles en los frutos de litchi mínimamente procesados podrían deberse a la actividad de las enzimas sacarosa sintasa e invertasa ácida, sin embargo, para corroborarlo se deberá medir la actividad de estas enzimas así como los azúcares individuales durante el almacenamiento de los frutos de litchi mínimamente procesados.

Por otro lado, contrario a los resultados hallados en este estudio Paull y Chen (1987) y Nagar (1994) indicaron, que en frutos de litchi almacenados durante 8 días a 22 °C el contenido de sólidos disminuyó de 18-2 a 15-1%, lo cual puede deberse a que a 22 °C la velocidad de respiración es mayor y se utilizan más rápidamente los azúcares.

5.3 pH y acidez titulable

El pH inicial en los frutos de litchi fue en promedio de 4.2. A 2 °C se mantuvo casi constante durante 18 días de almacenamiento, sólo en el día 12 el valor de pH

disminuyó a 3.7 (Figura 3). A temperaturas de 5 y 10 °C, se observó un ligero incremento hasta el día 6, alcanzando valores de 4.4 y 4.8 unidades de pH respectivamente. Después de este periodo el pH disminuyó observando valores similares al inicial. Ming-Chang y Chin-Shu (1999) reportaron valores de pH en un intervalo de 4.7 a 5.5 en frutos de litchi de los cultivares Hau-yeh, Kwai-wei, No-mitzu, Sakan y Yu-ho-bou. Mientras que el valor de pH reportado para frutos completamente rojos de la variedad 'Grof' fue de 3.8 (Paull *et al.* 1984), por otro lado Saunkhe y Desa (1984) indicaron un valor de pH 4.6. A partir de estos datos se puede referir que existe una amplia variación de pH en los frutos de litchi, sin embargo, en general los frutos de litchi muestran un pH ácido menor de 5.0 durante el almacenamiento, independientemente de la temperatura.

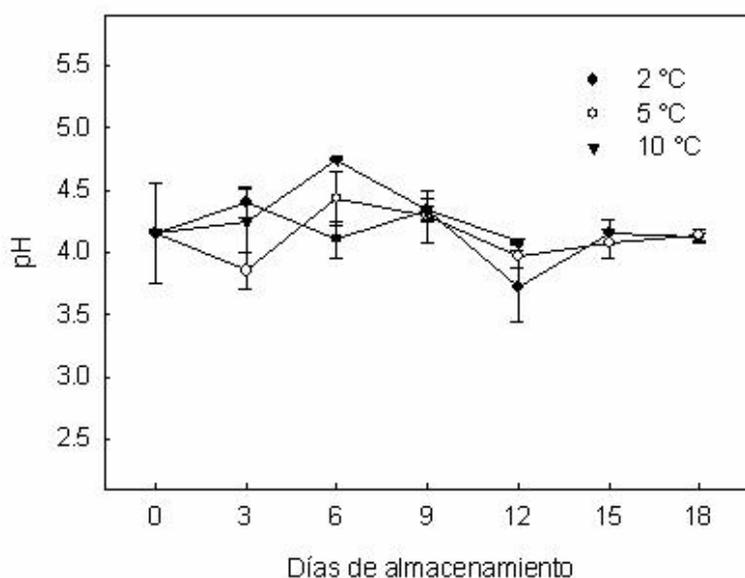


Figura 3. Cambios en el pH en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C. Cada punto es el promedio de 4 réplicas \pm desviación estándar.

La acidez inicial (Figura 4) observada en los frutos de litchi fue de 0.5 g ác.málico/100 g de tejido, estos valores se encuentran dentro del intervalo que Saunkhe y Desa (1984) reportaron para este fruto al analizar 12 cultivares de la India, estos autores indicaron que la acidez titulable estuvo entre 0.2 y 0.6 g ác./100 g. De forma similar Neog y Saikia (2001) reportaron acidez titulable de 0.5 g ác. /100 g en el momento de cosechar frutos de la variedad Muzaffarpur. También se han encontrado valores de acidez titulable más altos como 1.1%

(Majan y Goswami, 2004) o con intervalos mas amplios como es el caso de Revanthy y Narasimham, (1997) quienes reportaron que este parámetro mostró una variación desde 0.4 hasta 1.2% en cultivares de Bengal, India. Sólo los cultivares Hau-yeh, Kwai-wei, No-mitzu, Sakan y Yu-ho mostraron intervalos tan bajos como de 0.1% a 0.2% (Ming-Chang y Chin-Shu, 1999). Paull *et al.* (1984) sugirieron que la acidez titulable en frutos de litchi se debe principalmente a la presencia de los ácidos málico y succínico.

Durante el almacenamiento de los frutos de litchi mínimamente procesados, los valores de acidez disminuyeron de 0.5 a 0.4, y 0.3 g ác. málico/100 g de tejido después de 12 días a 2, 5 y 10°C, respectivamente (Figura 4), lo cual puede explicarse por la utilización de los ácidos orgánicos en el proceso de respiración y otras reacciones biodegradables como lo han señalado Majan y Goswami (2004).

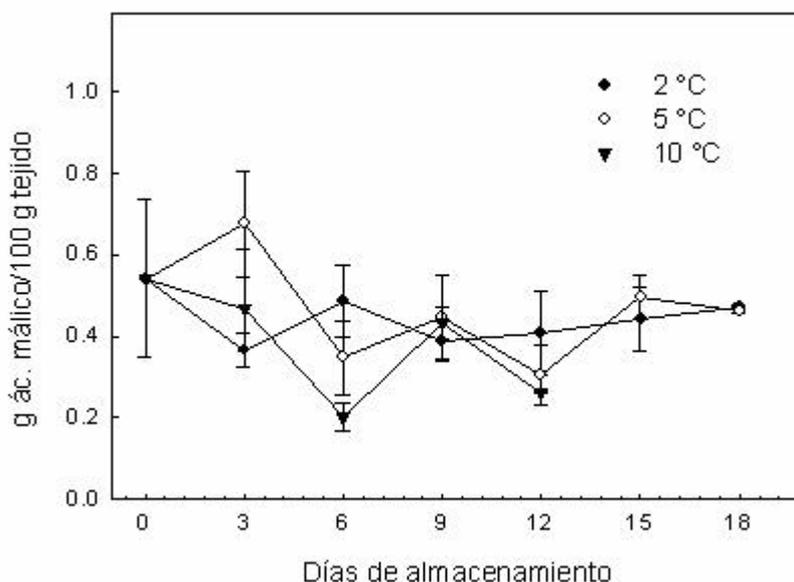


Figura 4. Cambios de acidez titulable en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2, 5 y 10°C. Cada punto es el promedio de 4 réplicas \pm desviación estándar.

La disminución de la acidez titulable durante el almacenamiento de los frutos de litchi también fue reportado por Saunkhe y Desa (1984) y Paull *et al.* (1984), estos últimos autores atribuyeron el decremento en la acidez titulable a la disminución de la concentración de los ácidos succínico y málico ya que el ácido cítrico permaneció sin cambio. Durante el desarrollo del fruto también se ha observado

una disminución de estos ácidos; el ácido succínico disminuyó de 350 a 0.40 meq/100 g de tejido, el ácido málico de 75 a 12 meq/100 g, mientras que el ácido cítrico se mantuvo constante (alrededor de 3 meq/100 g). La disminución del ác. succínico fue atribuida a un efecto de dilución.

Otro ácido que se ha asociado con la acidez titulable de los frutos de litchi, aunque con menor relación, es el ácido ascórbico. Paull y Chen (1987) estudiaron los cambios poscosecha de los cultivares Hei Ye y Chen Zi durante su almacenamiento, observando que el contenido de ácido ascórbico disminuyó de 1 a 0.4 mg/g en 4 días independientemente de la temperatura de almacenamiento. Los cambios de ác. ascórbico fueron más marcados en la variedad Chen Zi que en la variedad Hei Ye en la que este ácido disminuyó de 1.2 a 0.2 mg g⁻¹ a 22 °C después de 8 días. En estudios recientes, Majan y Goswami (2004) evaluaron también los cambios de ác. ascórbico en frutos de litchi durante su almacenamiento. Después de 8 días, el ác. ascórbico disminuyó de una concentración inicial de 26.0 mg/100 ml de jugo a 25.8 ó 23 mg/100 ml de jugo en frutos de litchi almacenados en AC o en condiciones ambientales. La disminución del ácido ascórbico durante el almacenamiento fue atribuido a la oxidación enzimática del ác. L-ascórbico a ác. dehidroascórbico.

Las variaciones de los datos fisicoquímicos reportados en los frutos de litchi se debe a las condiciones climáticas, así como también, a los propios cultivares y las relaciones azúcar/ácido adecuadas y son establecidas para cada variedad y región donde se cultivan los frutos así como las preferencias de los consumidores.

Los estudios realizados por Batten (1989) reportan que, a diferencia de otros frutos, el contenido de sólidos solubles (°Brix) no se puede considerar como un indicador de madurez adecuado en los frutos de litchi, mientras que la acidez titulable (AT) y la relación de °Brix/AT mostraron ser buenos indicadores del sabor. Batten (1989) sugirió que una relación de °Brix/AT de 4.3 es apropiada como índice de madurez.

La relación inicial de azúcar/ácido para los frutos estudiados como producto mínimamente procesado fue de 37:1 al inicio del almacenamiento. Un índice estándar para la cosecha de litchi en Australia es la relación azúcar/ácido de 40:1 (Underhill y Wong, 1990). En Israel, la relación azúcar/ácido de la variedad

'Floridian' es 20:1 en la madurez y no más de 29:1 cuando el fruto llega a estar sobremaduro (Kadman y Slor, 1974). En Sudáfrica, se reportó alta incidencia de pudriciones en frutos sobremaduros con una relación de azúcar/ácido de 80:1 (Joubert, 1970).

5.4 Cambios de color

Saltveit (1998) indicó que una de las principales causas de pérdida de calidad en los PMP son los cambios de color de la superficie expuesta. Los cambios de color en los frutos de litchi mínimamente procesados fue evaluado en forma objetiva a través de los parámetros: L, a^* y b^* .

El valor de L en la pulpa de los frutos de litchi mínimamente procesados aumentó continuamente con el tiempo de almacenamiento a las diferentes temperaturas desde 48.7 hasta valores de 63.5 (Figura 5), lo que pareciera indicar que el fruto fue más blanco al final del almacenamiento que al inicio, esto puede explicarse por la expulsión de fluidos del interior del fruto hacia la superficie que hizo que la pulpa presentara un color blanco menos translúcido. Salveit (1997) reportó cambios similares de color en la superficie de zanahorias después de dañarlas mecánicamente, indicando que las propiedades ópticas del tejido cambiaron al perder humedad formando una capa blanquecina semi-opaca.

No se encontraron diferencias de color entre los frutos de litchi almacenados a las distintas temperaturas.

Los valores de a^* y b^* en la escala CIELa*b* se encuentran en un intervalo de -40 a 40. Estos valores en los frutos de litchi mínimamente procesados en el tiempo inicial estuvieron cercanos a cero -0.9 y 0.04 para a^* y b^* , respectivamente.

Durante el almacenamiento de los frutos se observaron pocos cambios de color en la pulpa; los promedios del valor de a^* estuvieron en un intervalo de -0.9 a -2.0 (Figura 6) y los valores promedio de b^* estuvieron en el intervalo de -0.0 y 3.5 (Figura 7), los valores cercanos a cero observados se debe a que el valor de a^* indica los cambios de color de verde a rojo y el valor b^* indica los cambios de azul a amarillo, siendo blanco, el color de la pulpa del fruto, los valores de a^* y b^* se localizaron en la región acromática.

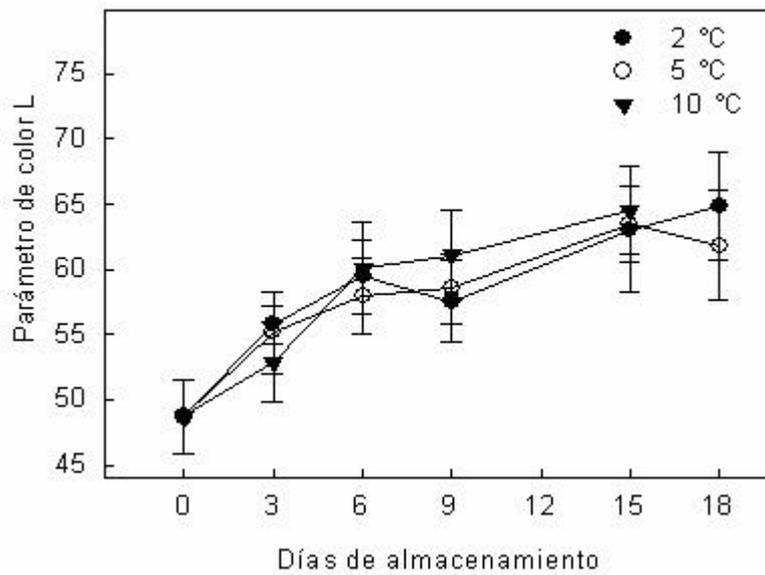


Figura 5. Cambios en el parámetro L en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10 °C. Cada punto es el promedio de 4 réplicas \pm desviación estándar.

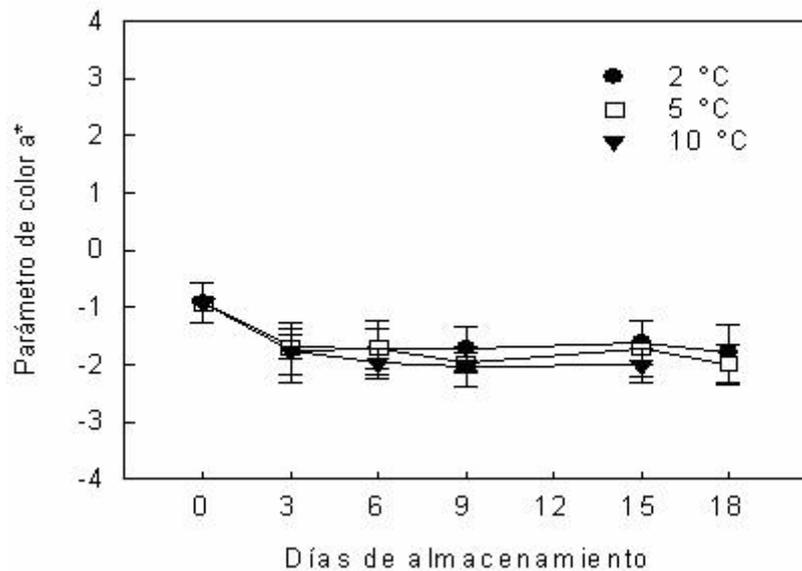


Figura 6. Cambios en el parámetro a* en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C. Cada punto es el promedio de 4 réplicas \pm desviación estándar.

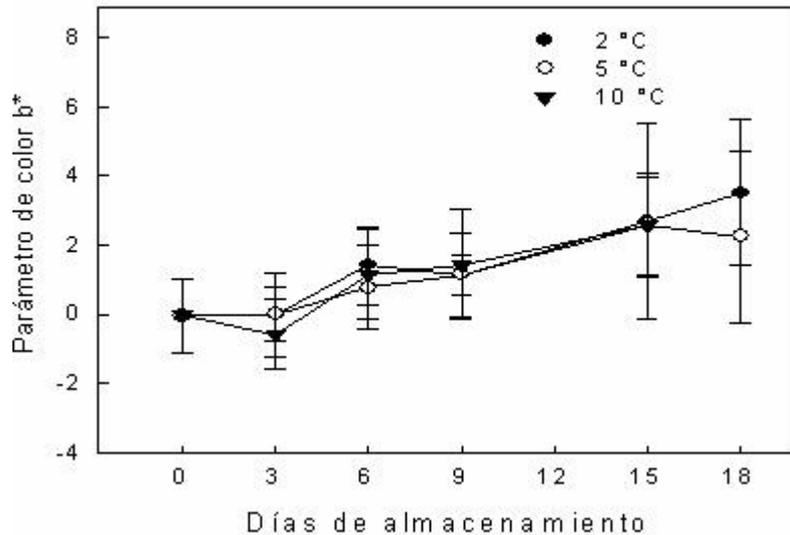


Figura 7. Cambios en el parámetro b* en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C. Cada punto es el promedio de 4 réplicas \pm desviación estándar.

Los mínimos cambios de color encontrados en la pulpa de los frutos de litchi mínimamente procesados indican una ventaja importante de estos frutos ya que el oscurecimiento, que se ha indicado como la principal causa de pérdida de calidad, no es un problema para la comercialización de este fruto como producto mínimamente procesado.

5.5 Actividad de la enzima polifenol oxidasa

La temperatura y el pH óptimos varían ampliamente dependiendo de la fuente de extracción de la enzima y del sustrato (Vámos-Vigyázó, 1981), por ello se evaluaron estos parámetros en el extracto crudo de la pulpa de litchi.

5.5.1 Temperatura óptima

La Figura 8 muestra la actividad de la enzima PPO en un intervalo de temperatura de 15 a 40 °C. La temperatura óptima para obtener la máxima actividad de PPO estuvo entre 30 y 35 °C (0.8 UA); mientras que a 15 y 20°C se observaron actividades bajas 0.3 y 0.5 UA, respectivamente. A temperaturas mayores de 35 °C la actividad de la enzima fue menor. Estos resultados coinciden con los obtenidos para PPO de frutos como la manzana 'Monroe' o el plátano donde la temperatura óptima fue de 30 y 37.5 °C, respectivamente (Vámos-Vigyázó, 1981;

Zhou *et al.*, 1993). Sin embargo, estos resultados son diferentes a los reportados por Jiang (2001) quien indicó que la enzima extraída del pericarpio de litchi presentó una actividad máxima a 65 °C.

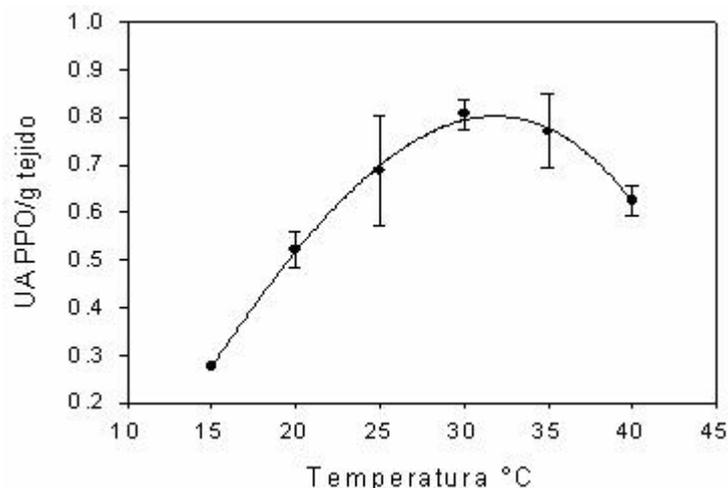


Figura 8. Efecto de la temperatura sobre la actividad de la enzima PPO en fruto de litchi mínimamente procesados. Cada punto es el promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar

5.5.2 pH óptimo

Una enzima tiene actividad máxima solamente dentro de un estrecho intervalo de pH (Whitaker, 1994). El pH óptimo para la enzima PPO, extraída de una amplia gama de productos de frutas y hortalizas, es, generalmente 7.0 como es el caso de la manzana, durazno, uva, plátano y mango (Vámos-Vigyázo, 1981).

La Figura 9 muestra la actividad de PPO extraída de frutos de litchi a diferentes pH's. El pH óptimo de actividad estuvo entre 7.5 y 8, este valor es más alto al reportado previamente para este fruto. Jiang (2001), utilizando 4-metil catecol como sustrato, reportó un pH óptimo de 6.8, mientras que Phunchaisri y Apichartsrangkoon (2005) reportaron un valor de 7.0 para esta enzima. A pH's menores de 7.0 la actividad de la enzima PPO extraída de la pulpa del frutos de litchi fue apenas detectable.

5.5.3. Determinación de K_m y $V_{máx}$

La Figura 10 muestra la gráfica del efecto de la concentración del catecol sobre la actividad de la enzima PPO. A partir de ella se obtuvieron los valores de K_m y

$V_{m\acute{a}x}$, siendo estos de 4.3 mM y 1.6 UA PPO/ g tejido, respectivamente. Los valores de K_m recopilados por Vamos-Vigiázó (1981) para la enzima PPO extraída de la pera (8 mM), el tubérculo de papa (4.8 mM) la pulpa de manzana (4.6 mM), utilizando el catecol como sustrato, fueron mayores que los obtenidos para la enzima PPO de la pulpa de litchi, lo cual indicó que la PPO de litchi tiene mayor afinidad por el catecol en comparación con la PPO extraída de los productos antes citados. Por el contrario, el valor de K_m obtenido para PPO de la uva (3.06 mM), el durazno (0.12 mM) y la jícama (0.53 mM) son menores que el valor de PPO extraída de la pulpa de litchi.

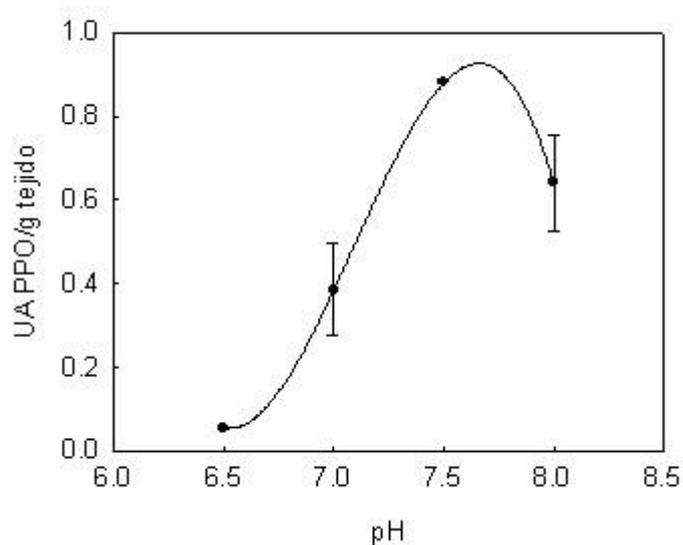


Figura 9. Efecto del pH sobre la actividad de la enzima PPO en frutos de litchi mínimamente procesados. Cada punto es el promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar.

Además del catecol, los compuestos fenólicos como el pirogalol y 4-metil catecol mostraron ser sustratos adecuados para la PPO extraída de los frutos de litchi; por el contrario, no se encontró actividad con el ácido clorogénico, *p*-cresol, resorcinol, hidroquinona o tirosina como sustratos (Jiang, 2001).

5.5.4 Cambios en la actividad de la enzima polifenol oxidasa

La enzima polifenol oxidasa ha sido considerada como la responsable del oscurecimiento en frutas y hortalizas (Mayer y Harel, 1979), así como también del oscurecimiento en la superficie de los PMP, (Salveit, 1998). La actividad de la

enzima polifenol oxidasa en la pulpa de los frutos de litchi, en el tiempo inicial fue de 1.4 unidades de actividad (UA)/g de tejido fresco.

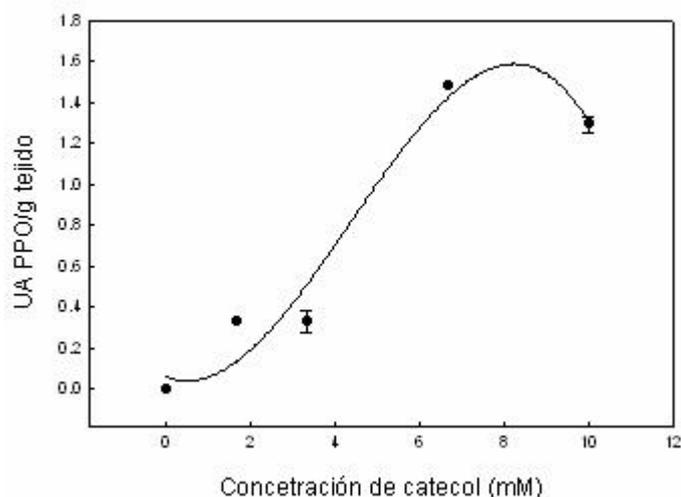


Figura 10. Efecto de la concentración de sustrato sobre la actividad de la enzima PPO en frutos de litchi mínimamente procesados. Cada punto es el promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar

Después de tres días, la actividad disminuyó a valores de 1.0, 0.9 y 0.7 UA/g en los frutos almacenados a 2, 5 y 10 °C, respectivamente (Figura 11). Estos valores se mantuvieron constantes hasta el día 6. Las muestras almacenadas a 10 °C incrementaron su actividad a 1.1 UA/g y se mantuvo constante hasta el final de su almacenamiento. Por el contrario, los frutos almacenados a 2 °C disminuyeron su actividad en el día 9, después de este tiempo los valores incrementaron ligeramente. En tanto que los frutos almacenados a 5 °C, incrementaron su actividad obteniendo valores de 1.2 UA/g en día 9, después de este tiempo la actividad se mantuvo casi constante. La actividad de la enzima polifenol oxidasa en la pulpa de los frutos de litchi mínimamente procesados almacenados temperaturas de 2, 5 y 10° estuvo en el intervalo de 0.7 a 1.5 UA/g, lo que significan valores bajos si los comparamos con la actividad de PPO en otros PMP, como cilindros de jícama en donde se reportaron valores de 5 UA/g (Aquino-Bolaños y Mercado-Silva, 2004). No se tienen datos de la actividad de PPO en frutos de litchi sin cáscara o como PMP. En frutos intactos, Huang *et al.* (1990) indicaron que no se observaron cambios en la actividad de PPO en el endocarpio

durante los primeros 15 días de su almacenamiento a 4 °C (0.2 U/min) y a partir de este periodo la actividad se incrementó hasta obtener valores de 1.8 U/min a los 48 días.

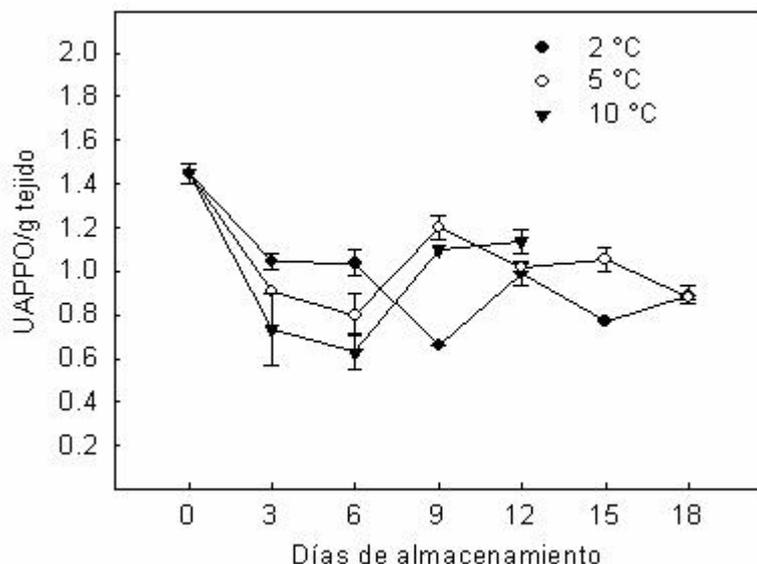


Figura 11. Cambios en la actividad de la enzima PPO en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C. Cada punto es el promedio de 4 réplicas \pm desviación estándar.

Los escasos cambios de color en la pulpa de los frutos de litchi mínimamente procesados durante su almacenamiento en refrigeración se explican por la baja actividad de la enzima PPO. De acuerdo a los resultados presentados en el apartado 5.3, el pH óptimo de actividad de esta enzima es de 7.5 mientras que el pH de los frutos durante el almacenamiento se mantuvo en el intervalo de 4.2 a 4.8, al estar alejado el pH del fruto del pH óptimo de la enzima se presentó baja actividad. Jiang (2001) también reportó que la actividad de la enzima PPO tuvo un pH óptimo de 6.8 y que a pH menores de 4.0, no se detectó actividad.

Adicionalmente, se han reportado diferencias en el pH óptimo de PPO cuando se utilizan varios sustratos y éste varía entre 4.0 y 7.0, dependiendo de la fuente de extracción, método de extracción y sustrato (Mayer y Harel, 1979). Esta diferencia en el valor de pH óptimo pudiera indicar la susceptibilidad al oscurecimiento del fruto ya que Jiang *et al.* (1999) relacionaron el incremento del pH de los frutos con el incremento de la actividad de la enzima PPO.

Zhang y Quantick (2000) indicaron un comportamiento diferente para la actividad de PPO el pericarpio de frutos de litchi (cv. Huaizhi) almacenados a temperatura ambiente y 4 °C por 7 y 35 días, estos autores reportaron que la actividad de PPO incrementó gradualmente durante el almacenamiento y posteriormente disminuyó en forma paralela al contenido de fenoles totales. Jiang y Fu (1999) indicaron que la oxidación tanto de fenoles como de antocianinas catalizada por la PPO pareciera afectar la respuesta del fruto de litchi a la pérdida de agua en términos de oscurecimiento y sugieren que el contacto sustrato-enzima promueve la reacción enzimática permitiendo el oscurecimiento del pericarpio.

5.6 Actividad de la enzima peroxidasa

El efecto del pH sobre la actividad de la enzima POD fue evaluado en un intervalo de 4.5 a 7. La Figura 12 muestra que el pH óptimo de la enzima POD es de 5.5. Estos resultados fueron similares a los encontrados en soya y plátano en los que se reportan valores de pH de 5.5 y 4.5-5, respectivamente (Vámos-Vigyázo, 1981; Hakim *et al.*, 1998). También se han reportado valores más altos como 6.5 para el camote y la coliflor (Hakim *et al.*, 1998).

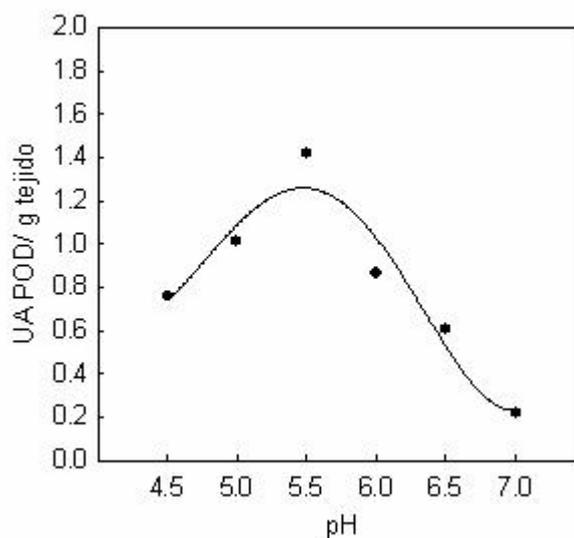


Figura 12. Efecto del pH sobre la actividad de la enzima POD en frutos de litchi mínimamente procesados. Cada punto es el promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar.

El pH óptimo de actividad de la enzima puede ser diferente en función del sustrato utilizado. Bernardis *et al.*, (1999) reportaron que el pH óptimo para POD de papa fue de 4.5 para los fenoles ácidos, mientras que utilizando guayacol éste estuvo entre 5 y 6 (Kahn, *et al.*, 1981).

5.6.1 Cambios en la actividad de la enzima peroxidasa

La actividad de la enzima peroxidasa en frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a 2, 5 y 10 °C se muestra en la Figura 13. La actividad inicial es baja, cercana a cero y se incrementó de manera constante obteniendo valores promedio de 2.3 UA/g tejido en el día 9, independientemente de la temperatura. Después de este periodo, la actividad disminuyó en frutos almacenados a 10 °C, hasta el final del almacenamiento (día 12). Un comportamiento similar se observó en las muestras almacenadas a 5 °C, a esta temperatura la actividad disminuyó hasta valores iniciales en el día 15 y la actividad incrementó nuevamente en el día 18 (2.9 UA/g tejido). Estos valores tuvieron poca relación con los cambios de color observados a través del parámetro L (Figura 5).

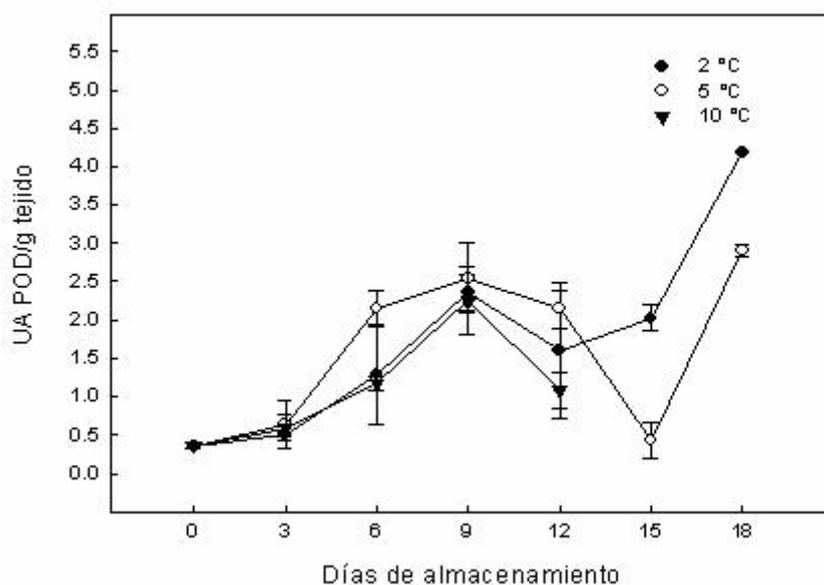


Figura 13. Cambios en la actividad de la enzima POD en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C. Cada punto es el promedio de 4 réplicas \pm desviación estándar.

Un comportamiento diferente al observado en este estudio fue reportado por Huang *et al.* (1990) quienes señalaron que la actividad de la enzima peroxidasa

en el endocarpio de frutos de litchi almacenados a 4 °C, disminuyó desde su valor inicial de 13.1 UA/min a un valor final de 3.8 UA/min después de 48 días. Por su parte, Underhill y Critchley (1995) han realizado estudios para establecer la localización celular del oscurecimiento y la actividad oxidativa así como para determinar el significado relativo de la actividad de PPO y POD durante el oscurecimiento del pericarpio de litchi, encontrando que, el oscurecimiento del pericarpio se observó inicialmente en los ápices de las protuberancias de la cáscara del fruto y subsecuentemente se extendió uniformemente sobre la superficie completa del pericarpio. Anatómicamente, el oscurecimiento estuvo localizado y restringido al epicarpio y a la parte superior del mesocarpio. La actividad de PPO y POD fue más alta en el epicarpio y progresivamente menor en el mesocarpio y en el endocarpio. La localización *In situ* de la actividad oxidativa utilizando técnicas histoquímicas confirmó alta actividad de PPO en el epicarpio. Por lo tanto, el oscurecimiento del pericarpio de litchi se debe a la actividad oxidativa altamente localizada en el epicarpio y en el mesocarpio superior. Debido a que la actividad de las enzimas PPO y POD fue significativamente más alta en este tejido y el oscurecimiento no fue observado cuando ambas enzimas fueron selectivamente inhibidas, estos autores postularon que la actividad de ambas enzimas PPO y POD están asociadas con el oscurecimiento del pericarpio de litchi. A diferencia de los resultados encontrados en los estudios antes descritos, el comportamiento de la actividad de peroxidasa en la pulpa de los frutos de litchi mínimamente procesados no indica que esta enzima este relacionada con los cambios de color mostrados por los frutos, esto puede deberse a que el pH óptimo para la enzima peroxidasa fue de 5.5, mientras que el pH de los frutos durante el almacenamiento estuvo en un intervalo de 4.2 y 4.8 por lo cual la enzima no tuvo las condiciones adecuadas de pH para actuar.

La baja actividad de las enzimas PPO y POD explican los mínimos cambios de color observados en los frutos de litchi mínimamente procesados durante su almacenamiento en temperaturas de refrigeración.

5.7 Fenoles totales

El contenido inicial de compuestos fenólicos en los frutos de litchi var. Racimo Rojo fue de 0.8 mg ác. gálico/g de tejido fresco, valor que esta por debajo al

reportado por Neog y Saikia (2001) para frutos del cultivar Muzaffarpur (1.40 mg/g). Durante el almacenamiento de los frutos mínimamente procesados se observaron pocos cambios en la concentración de este tipo de compuestos, los valores estuvieron en el intervalo de 0.6 a 0.9 mg ác. gálico/g de tejido (Figura 14).

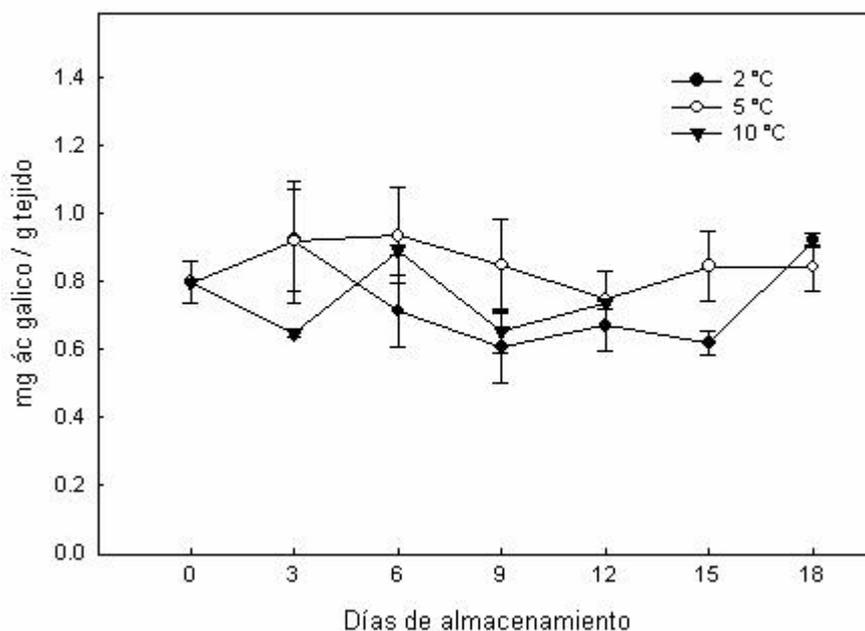


Figura 14. Cambios en el contenido de fenoles totales en la pulpa de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de 2,5 y 10°C. Cada punto es el promedio de 4 réplicas \pm desviación estándar.

No se tienen referencias de los cambios en los compuestos fenólicos en los frutos de litchi como PMP, respecto a los compuestos fenólicos en frutos intactos, Zhang y Quantick (2000) investigaron los cambios en los fenoles libres, enlazados y totales en relación con el oscurecimiento de la cáscara del fruto encontrando que, durante el almacenamiento de los frutos a temperatura ambiente, el contenido de los fenoles totales y libres disminuyó continuamente, mientras que los fenoles enlazados se mantuvieron en el mismo nivel. Sin embargo, en el almacenamiento a 4 °C el contenido de fenoles totales disminuyó ligeramente, mientras que el contenido de fenoles enlazados también disminuyó durante los primeros 5 días, pero retornó a los niveles iniciales al final del almacenamiento. El contenido de fenoles libres tuvo un ligero incremento durante los primeros 5 días y

posteriormente disminuyó. Con el incremento del oscurecimiento, el contenido total de fenoles y los fenoles libres disminuyeron, mientras que los fenoles enlazados se mantuvieron en un nivel estable, independientemente si los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente o a 4 °C.

Jaiswal *et al.* (1986) observaron que durante la maduración, el contenido de fenoles se incrementó de manera considerable en la pulpa y en la cáscara y disminuyó rápidamente con la senescencia. En esta etapa el contenido de fenoles fue mayor en la cáscara que en la pulpa. Entre los compuestos fenólicos, los ácidos tánico, caféico, vanilínico y salicílico predominaron, mientras que los ácidos ferúlico y *p*-hidroxibenzoico estuvieron en menor proporción.

5.8 Cambios en la calidad subjetiva

En el cuadro 5 se muestran los resultados de la evaluación subjetiva de la calidad de frutos de litchi mínimamente procesados almacenados a temperaturas de refrigeración. A 2 °C, la calidad visual, el oscurecimiento, el olor y el sabor se mantuvieron similares a la calidad de los frutos en el tiempo inicial, como defecto sólo se observó deshidratación ligera, por lo cual, se puede indicar que a esta temperatura los frutos se pueden almacenar sin problemas de calidad hasta por 18 días, tiempo que se considera suficiente para su transporte y comercialización.

A 5 °C, la calidad se mantiene sin cambios hasta por 9 días y en el día 12 se calificó la calidad visual como buena, se observó un ligero oscurecimiento, una deshidratación ligera de la superficie, así como también hubo un ligero cambio en el olor y sabor. En el día 18 el factor que causa la disminución de la calidad de los frutos a esta temperatura es la pérdida del olor característico. La vida de anaquel de los frutos almacenados a 5 °C fue de 12 días. A 10 °C, la calidad disminuyó muy rápidamente debido principalmente a la presencia de olor indeseable producido por la fermentación de los azúcares. Estos resultados corresponden con lo indicado por Gorny (1998), quien señaló que para mantener la calidad en los PMP, éstos se deben mantener a una temperatura lo más cercana a 0 °C. Los datos aquí mostrados señalan la importancia de evitar el abuso de temperaturas para mantener la calidad de los frutos de litchi como producto mínimamente procesados.

Cuadro 5. Cambios en los parámetros de calidad subjetiva en frutos de litchi mínimamente procesados después de 0, 12 y 18 días de almacenamiento a 2, 5 10 °C.

Días de almacenamiento	2 °C			5 °C			10 °C	
	0	12	18	0	12	18	0	6
Calidad visual	5	5	5	5	4	4	5	4
Oscurecimiento	1	1	1	1	2	2	1	1
Deshidratación	1	1	2	1	2	2	1	3
Olor	1	1	1	1	2	3	1	5
Sabor	5	5	5	5	4	4	5	1

Calidad visual: 5= excelente, 1 = rechazo; Oscurecimiento: 1= no se presenta, 5= extremo muy oscuro; Deshidratación: 1= no se presenta, 5= extremo; Olor: 1= característico, 5 = desagradable; sabor: 5= característico, 1 desagradable.

6. CONCLUSIONES

El contenido de sólidos solubles totales incrementó ligeramente durante el almacenamiento de los frutos de litchi mínimamente procesados. Mientras que el pH se mantuvo en un intervalo de 3.7 a 4.2 unidades.

Los cambios en el color de la pulpa de los frutos de litchi resultó ser un problema poco importante en los frutos de litchi mínimamente procesados.

La baja actividad de las enzimas polifenol oxidasa y peroxidasa explican los mínimos cambios de color observados en los frutos de litchi mínimamente procesados durante su almacenamiento en temperaturas de refrigeración.

El contenido de fenoles en los frutos de litchi se mantuvo casi constante durante 18 días de almacenamiento a temperaturas de 2 y 5 °C y durante 12 días a 10°C.

En general los cambios en la calidad subjetiva fue mínimo en los frutos almacenados a 2 y 5°C durante 18 y 12 días, respectivamente; mientras que a 10 °C, la presencia de olores indeseables fue la principal causa de pérdida de calidad.

7. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

El trabajo de investigación aquí planteado es el inicio de un proyecto con el fin de proponer al fruto de litchi como producto mínimamente procesado. Los trabajos futuros estarán encaminados a evaluar el uso de las AC, probar diferentes películas que mantengan la concentración de la atmósfera antes determinada; así como también cuantificar el contenido de etanol y acetaldehído, como productos de la respiración anaerobia.

Desde el punto de vista básico se propone evaluar los cambios en los azúcares individuales durante el almacenamiento de los frutos, cuantificar la actividad de la enzima invertasa, así como también cuantificar la velocidad de respiración y producción de etileno del fruto intacto y como producto mínimamente procesado.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Akamine, E. K. 1960. Preventing the darkening of fresh litchi prepared for export. Citado en: Changes in phenolic compounds in Litchi, 2000.
- AOAC. 1997. Official Methods of Analysis, 16 ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington., V:A.
- Aquino-Bolaños, E.N. and Mercado-Silva, E. 2004. Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jicama. *Postharvest Biology and Technology*. 33(3): pp. 275-283.
- Bain J. M., Chaplin G. R., Scott K. J., Brown B. I. and Willcox M. E. 1983. Control of wastage in litchi during marketing. Citado en *Biochemistry of fruit ripening*.
- Batten, D. J. 1989. Maturity criteria for lychees. *Food Qual. Prefer.* 1: pp. 149-155.
- Bernards, M., Fleming, W.D., Llewellyn, D.B., Priefer, R. Yang, X., Sabatino, A. y Plourde, G.L. 1999. Biochemical characterization of the suberization-associated anionic peroxidase of potato. *Plant Physiology*. 121: pp. 135-145.
- Beuchat, L.R. y Brackett, R.E. 1990. Survival and growth of *Listeria monocytogenes* on lettuce as influenced by shredding, chlorine treatment, modified atmosphere packaging and temperature. *J. Food. Sci.* 55: pp. 755-758
- Brecht, J. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30: pp. 18-22.
- Buescher, R.W., y Henderson, J. 1977. Reducing discoloration and quality deterioration in snap beans by atmospheres enriched with CO₂. *Acta Hort.* Pp. 62:55.
- Burton, W.G. 1982. *Post-harvest Physiology of Food Crops*. Longman. London.
- Cantwell, M. 1998a. Introduction en *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10*.
- Cantwell, M. 1998b. *Fresh-Cut Biology and Requirements*. En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10*.
- Cantwell, M., y Suslow T. 1999. *Fresh-cut Fruits and Vegetables: Aspects of Physiology, Preparation and Handling that Affect Quality*. UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.
- Cavaletto, C. G. 1980. Lychee In *Tropical and Subtropical Fruits*. Eds. Nagy, S. y Shaw P. Avi Pub. pp. 469 – 478.

- Chen, W. S. 1984. A brief profile on studies of postharvest storage of litchi fruit. *Litchi Sci. Bull.* 3-4, pp. 47-51.
- Childs, R.E. and Bardsley, W.G. 1975. The steady-state kinetics of peroxidase with 2,2'-azino-di-(3-ethyl-benzthiazoline-6-sulfonic acid) as chromogen. *Biochem. J.* pp. 145:93-103.
- Cisneros-Zevallos, L., Saltveit, M.E., and Krochta, J.M. 1995. Mechanism of surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage. *J. Food Sci.* 60: pp. 320-323.
- Del Cura, B., Escribano, M., Zamorano, J., and Merodio, C. 1996. High carbon dioxide delays postharvest changes in RuBPase and polygalacturonase-related protein in cherimoya peel. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121 (4): pp. 735-739.
- Gaur, G.S. and Bajapai, P.N. 1978. Post-harvest physiology of litchi fruits-I. *Progressive Horticulture.* 10: pp. 63-77.
- Gorny, J.R. 1997. A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (Minimally processed) fruits and vegetables. En Gorny, J.R. (ed). *Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf.* University of California Davis, CA. *Postharvest Hort. Series No. 10.* Vol 5. pp. 30-66.
- Gorny, J.R. 1998. Fresh-Cut Product Preparation En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.*
- Hakim, S., Shabnam, Siddiqui, S.F and Nawaz, H. 1998. Studies on the activity of peroxidase in the crude extracts of sweet potato (*Ipomea batatas*), coulfiflower (*Brassica oleracea*), soybean (*Glicine max*) an Sourlime (*Citrus amantifolia*). *Pakistan J. Biol.Sci.* 1 (4): pp. 309-312.
- Hanson, K.R., y Havir, E.A. 1979. An introduction to the enzymology of phenylpropanoid biosynthesis, p. 91-138. En Swain, T., Harborne, J.B. y Sumere, C.F. (eds). *The Biochemistry of Plant Phenolics.* Plenum Press, New York.
- Hess, B., Ke, D., and Kader, A. 1993. Changes in intracellular pH, ATP, and glycolytic enzymes in "Hass" avocado in response to low O₂ and high CO₂ Stresses. En *Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conf.* Cornell University Ithaca, New York. *NRAES Vol (1) 71:* pp. 1-9.
- Huang, S., Hart, H., Lee, H., and Wicker, L. 1990. Enzymatic and color changes during post-harvest storage of Lychee fruit. *J. Food Sci.* 55 (6) pp. 1762 – 1763.
- Hyodo, H., Kuroda, H., and Yang, S.F. 1978. Induction of Phenylalanine-ammonia lyase and increase in phenolics in lettuce leaves in relation to the development of russet spotting caused by ethylene. *Plant Physiol.* 62: pp. 31-35.

- Jaiswal B. P., Sah N. L. and Prasad U. S. 1987. Regulation of colour break during litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) ripening. Indian J. Exp. Biol. 25, pp. 66-72.
- Jaiswal, B. P., Sah, N. L., and Prasad, U. S. 1986. Studies on phenolics of rind and aril during ripening and senescence of litchi fruits. Plant Phys. Biochem. 13: pp. 40-45.
- Jiang, Y. 2001. Properties of litchi polyphenol oxidase. Acta Horticulturae. 558: pp. 367-373.
- Jiang, Y. and Fu, J. R. 1999. Postharvest browning of litchi fruit by water loss and its prevention by controlled atmosphere storage at high relative humidity. Lebensmittel-Wissenschaft und –Technologie. 32(5): pp. 278-283.
- Jiang, Y., Fu, J. R., Zauberman, and G., Fuchs, Y. 1999. Purification of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid. J. Sci. Food Agric. 79: pp. 950-954.
- Jiang, Y., Yao, L., Lichter, A. and Li, J. 2003. Postharvest biology and technology of litchi fruit. J. Food, Agriculture & Environment. 1(2): pp. 76-81.
- Joubert, A.J. 1986. Litchi. En Handbook of fruit set and development. Ed. Shaul, P. Monselise. CRC Press. pp. 233-246
- Joubert, A. J. 1970. The litchi, Citrus sub-trop. Fruit Res. Inst. Bull. 389 South Africa.
- Kadam S. S. y Deshpande, S. S. 1995. Lychee. En Handbook of fruit science and technology. Eds. Salunkhe, D. K. y Kadam, S. S. pp. 435-443.
- Kader A. A. 1993. Modified controlled atmosphere storage of tropical fruits. En B. R. Champ, E. Highley y G. I. Jonson (eds) Postharvest handling of tropical fruits. ACIAR Proc. No. 50, Chiang Mai, Tailandia, pp. 239 – 249.
- Kader, A.A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. Food Tech. 40: pp. 99-100, 102-104.
- Kader, A.A., y Mitcham, E. 1998. Standarization of quality. En Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.
- Kadman, A. y Slor, E. 1974. Experiments with propagation of the litchi (*litchi chinensis*) in Israel. Indian journal of horticulture 31 (1) pp. 28-31
- Kahn, V., Goldshmidt, S., Amir, J. y Grant, R. 1981. Some biochemical properties of soluble and bound potato tuber peroxidase. J. Food Sci. 46: pp. 756-764.

- Kato-Noguchi, H., and Watada, A. 1996. Regulation of glycolytic metabolism in fresh-cut carrots under low oxygen atmosphere. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: pp. 123-126.
- Ke, D. and Salveit M. 1989. Wound induced ethylene production, phenolic metabolism, and susceptibility to russet spotting in Iceberg lettuce. *Physiologia Plantarum* 76: pp 412-418
- Kennedy, R., Rumpho, M., and Fox, T. 1992. Anaerobic metabolism in plants. *Plant Physiol.* 100: pp. 1-6.
- Kevin, K. 1994. Take a walk on the wild side. *Food Processing*. May: pp. 27-34
- Kolattukudy, P.E. 1984. Biochemistry and function of cutin and suberin. *Can. J. Bot.* 62: pp. 918-933.
- Lee H. S. and Wicker L. 1990. Anthocyanin pigments in the skin of lychee fruit. *J. Food Sci.* 56, pp. 466-468, 483.
- Li, J., Luo, S. and Yuan, W. 2003. Changes of sugar accumulation and enzyme activity related to sugar metabolism during litchi fruit maturation. *Huanan Nongye Daxue Xuebao, Ziran*
- Lipton W. 1980. Interpretation of quality evaluations of horticultural crops. *HortScience* 15(1):pp. 64-67.
- Madrid, M., y Cantwell, M. 1993. Use of high CO₂ atmospheres to maintain quality of intact and fresh-cut melon. *Proc. Sixth Intl. Controlled Atmosphere Reseach Conf.* vol 2, pp 736-745.
- Majan, P.V. y Goswami, T.K. 2004. Extended storage life of litchi fruit using controlled atmosphere and low temperature. *J Food Proc. Preserv.* 28 (5): pp. 388-403.
- Mateos, M., Ke, D., Cantwell, M., and Kader, A. 1993. Phenolic metabolism and ethanolic fermentation of intact and cut lettuce exposed to CO₂ enriched atmospheres. *Postharvest Biol. Tech.* 3: pp. 225-233.
- Mayer, M. and Harel, E. 1979. Review: polyphenol oxidase in plants. *Phytochem* 18: pp. 193-215.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *Hortscience* 27: pp. 1254-1255
- Menzel C. M. y Simpson, D. R. 1993. Fruits of tropical climate – Fruits of Sapindaceae. *Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition* Eds. Macrae, R. Robinson, R. K. y Sadler, M. J. Academic Press. Londres p. 2108.
- Miller, A.R. 1992. Physiology, biochemistry and detection of bruising (mechanical stress) in fruits and vegetables. *Postharv. News & Info.* 3:pp. 53-58.

- Ming-Chang, W. and Chin-Shu, C. 1999. Effect of sugar types and citric content on the quality of canned lychee. *J Food Quality*. 22: pp. 461-469.
- Montgomery, M.W. y Sgarbieri, V.C. 1975. Isoenzymes of banana polyphenol oxidase. *Phytochemistry* 14: p. 1245
- Murr, D.P., y Morris, L.L. 1974. Influence of O₂ and CO₂ on *o*-diphenol oxidase activity in mushrooms. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: pp. 155-158.
- Nagar, P. K. 1994. Physiological and biochemical studies during fruit ripening in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) *Postharvest Biol. Technol.* 4: pp. 225-234.
- Neog, M. y Saikia, L. 2001. Compositional changes in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) during fruit development. *Journal of the Agricultural Science Society of North-East India*. 14 (2): pp. 208-212.
- Paull, R. and Chen, N. 1987. Effect of storage temperature and wrapping on quality characteristics of litchi fruit. *Scientia Hort.* 33, pp. 226-233.
- Paull, R., Chen, N., Deputy, J., Huang, H., Cheng, G., and Gao, F. 1984. Litchi growth and compositional changes during fruit development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109(6): pp. 817-821.
- Phunchaisri, C. and Apichartsrangkoon, A. 2005. Effects of ultra-high pressure on biochemical and physical modification of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). *Food Chemistry*. 93(1): pp. 57-64.
- Revanthy, J. y Narasimham, P. 1997. Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit: influence of pre- and post-harvest factors on storage life and quality for export trade – a critical appraisal. *J. Food Sci. Technol.* 34(1) pp. 1-19.
- Rolle, R.S., and Chism, G.W. 1987. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Quality* 10: pp. 57-117.
- Roming, R.W. 1995. Selection. Selection of cultivars for lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30: p 3840.
- Rosen, J.C., and Kader, A.A. 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *J. Food Sci.* 54: pp. 656-659.
- Saltveit, M. 1998. Fresh-cut product biology. En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety* UC Davis Postharvest Hort. Series No.10.
- Saltveit, M. 1997. Physical and physiological changes in minimally processed fruit and vegetables. En *Phytochemistry of Fruit and Vegetables*. Tomás-Barberán F.A y Robins R.J. Oxford Science Publications. pp. 205-220.
- Saunkhe, D. y Desa, B. 1984. Lychee In *Postharvest Biotechnology of Fruits* Vol. II. CRC press. pp. 77 -79.

- Schlimme, D. 1995. Marketing lightly processed fruits and vegetables. HortScience 30: pp. 15-17.
- Seymour, G.B., Taylor, J.E. and Tucker, G.A. 1993. Exotics En Biochemistry of fruit ripening. Chapman and Hall. pp.159-162.
- Shewfelt, L.R. 1987. Quality of minimally processed fruits and vegetables. J. Food Quality 10: pp 143-156.
- Singh, A.K., Azad, A.K., Singh, A. K. y Prasad, U. S. 1993. Protein, starch and total sugar contents in aril tissues during fruit ripening of five litchi cultivars. Comparative Physiology and Ecology. 18(4): 176-9.
- Singleton, V.L. y Rossi, J. A., Jr. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acids reagents. Amer. J. Enol. Viticult. 16: pp. 144-158.
- Sistema Agropecuario de Consulta (SIACON). 2003. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA)
- Solomos, T. 1997. Principios físicos y biológicos de envasado en atmósferas modificadas en Wiley, R. (ed.). Frutas y Hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Acribia. España.
- Tan X. J. y Li Y. B. 1984. Partial purification and properties of polyphenol oxidase in litchi fruit peel. Acta Phytophys. Sin. 10, pp. 339-346.
- Thompson, J.F. 1992. Psychrometrics and perishable commodities. Postharvest Technology of Horticultural Crops, University California Publ. 3311. pp. 79-84.
- Underhill S. J. and Critchley C. 1995. Cellular localization of polyphenol oxidase and peroxidase activity in *Litchi chinensis* Sonn. Pericarp. Aust. J. Plan Physiol. 22: pp. 627-632.
- Underhill, S. J. and Wong, L. S. 1990. A maturity standart for lychee (*Litchi Chinensis Sonn*) Acta Hortic. 269: pp. 181-187.
- Vámos-Vigyázó, L. 1981. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 15: pp. 49-127.
- Varoquaux, P., Lecendre, I., Varoquaux, F and Souty, M. 1990. Change in firmness of kiwi fruit after slicing. Sci. Alim. 10: pp. 127-139
- Watada, A. E., Abe, K., and Yamaguchi, N. 1990. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. Food Tech.. 44(5): pp. 116-122.
- Watada, A., Ko, N., and Minott, D. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. Postharvest Biol. Tech. 9: pp. 115-125.

- Whitaker, J.R. 1994. Effect of pH on rates of enzyme-catalyzed reactions. En Principles of enzymology for the food sciences. Maecel Dekker. USA. p. 271.
- Wiley, C.R. (ed). 1994. Minimally processed refrigerated fruits and vegetables. Chapman Hall, New York. p. 368
- Wiley, C.R. (ed). 1997. Frutas y Verduras Mínimamente Procesadas y Refrigeradas. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Zhang Q. C, Huang J. W., Tan P. F. and Ye W. 1986. A brief report on the study of fresh litchi preservation. Plant Physiol. Comm. 1: pp. 35-36.
- Zhang, D. L. and Quantick, P. C. 2000. Changes of phenolics of Litchi fruit during postharvest storage. Acta Horticulturae. 517: pp. 427-433.
- Zhou, P., Smith, N.L. and Lee, C.Y.1993. Potential purification and some properties of Monroe apple peel polyphenol oxidase. J. Agric. Food Chem. 41: pp. 532-536.

9. APENDICE

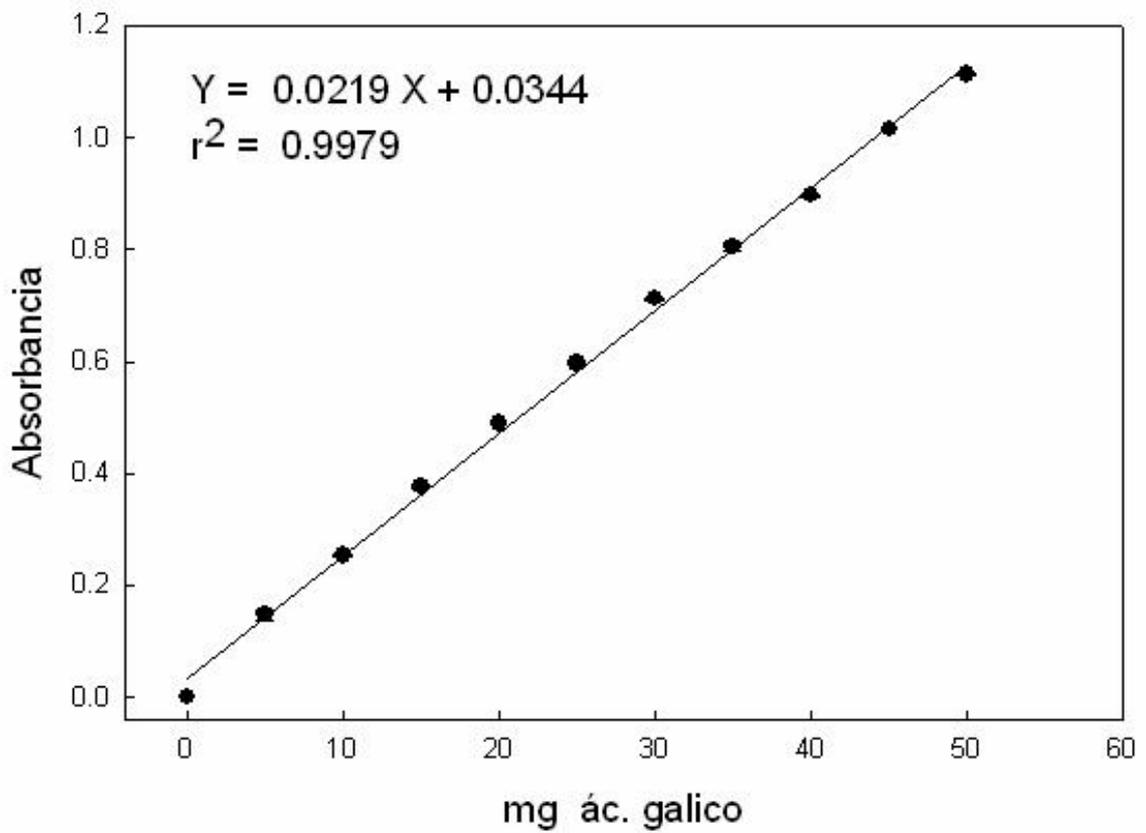


Figura A1. Curva estándar de ácido gálico para quantificar el contenido de fenoles totales por el método de Singleton y Rossi (1965).