Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.

IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE MICROORGANISMOS FITOPATÓGENOS DE LITCHI (*Litchi chinensis* Sonn.) DURANTE SU MANEJO POSCOSECHA

POR

Jorge Esteban de Jesús Dávila Aviña

TESIS APROBADA POR LA

UNIDAD CULIACÁN DEL CIAD EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA PRODUCTOS AGRÍCOLAS DE ZONAS TROPICALES Y SUBTROPICALES

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

CULIACÁN, SINALOA. SEPTIEMBRE, 2005.

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para evaluar la tesis de Ing. Jorge Esteban de Jesús Dávila Aviña, la han encontrado satisfactoria y recomiendan sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.

Dr. Raymundo Saúl García Estrada
Director de Tesis

Dra. María Dolores Muy Rangel
Asesor

M.C. José Armando Carrillo Fasio
Asesor

M.C. Carmen Alicia Guerrero Ontiveros
Asesor

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen citas breves del material contenido en la presente tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la producción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

La publicación en comunidades científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del director o directora del trabajo de tesis.

Dr. Alfonso A. Gardea Bejar
Director General

DEDICATORIA

Con amor y eterno agradecimiento

A mis padres:

Jorge Antonio Dávila González

Maria de Jesús Aviña Cantú

A quienes debo todo, gracias por estar siempre a mi lado y apoyarme en todos mis proyectos.

A mis hermanas:

Ivonne Alicia Dávila Aviña

Luz Damaris Dávila Aviña

Gracias por compartir mis ilusiones, por su cariño y comprensión.

Son las mejores!!

A mi novia:

Evelyn Ortiz Pérez

Por su comprensión y paciencia durante todo el tiempo que permanecimos distanciados, por el amor y el cuidado que siempre me brinda.

A la **Familia Aviña**

Que siempre están al pendiente de donde ando y dispuestos a darme la mano en lo que necesito.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT),** por el importante apoyo económico brindado durante el tiempo que permanecí en el programa de maestría.

Especial agradecimiento a mi director de tesis **Dr. Raymundo Saúl García**, así como a los señores productores, **Benito y Gaspar Urquidez** por su confianza, ayuda y enorme disposición en la realización de mi tesis. Gracias!!

A mis asesores, **Dra. Ma. Dolores Muy Rangel, M.C José Armando Carrillo Fasio y M.C. Carmen Alicia Guerrero Ontiveros**, agradezco sus atinadas sugerencias y el tiempo dedicado para la realización de este estudio.

A Cada uno de los **investigadores y técnicos** que laboran en esta institución por haberlos conocido y estar disponibles siempre que los necesité.

Al laboratorio de fitopatología, especialmente a **Bety e Isidro** por el apoyo brindado en mi trabajo experimental y sobre todo por su paciencia para lidiar conmigo, gracias.

A mis amigos:
Armenia V., Juan Ramon S., Evangelina A., Mirella R., Olga D., Guillermo N., Maribel J., Osvaldo L., Laura C., Gloria V., Lupita V., Yadira L., Marcela S., Rosalba C., Beatriz I., Vania U., por los agradables momentos que me hicieron pasar, por toda su ayuda y por hacer mas placentera la estancia en esta ciudad, me los llevo a todos en mi corazón. Gracias!!!

Momia!! Gracias por la ayuda en la elaboración de este trabajo, pero sobre todo por ser mi amiga, eres como la familia que no tenía en Culiacán. Suerte!!!

ÍNDICE

Contenido Página

ÍNDICE DE CUADROS x
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE ANEXOS xii
RESUMEN xviii
INTRODUCCIÓN 1
OBJETIVO GENERAL 3
Objetivos Particulares..... 3
HIPÓTESIS..... 4
METAS..... 5
REVISIÓN DE LITERATURA..... 6
Litchi 6
Origen e Historia..... 6
Producción en México..... 7
Cultivares..... 7
Variedad brewster 8
Características del Fruto..... 8
Factores que Determinan la Calidad Poscosecha..... 9
Degradación de Pigmentos..... 11
Antocianinas..... 11
Enzimas Presentes en la Degradación de Antocianinas..... 12
Factores Involucrados en la Senescencia de los Frutos..... 14
Respiración..... 14
Transpiración..... 15

Daños Mecánicos..... 15
Manejo y Preservación de Litchi Poscosecha..... 16
Condiciones Óptimas de Almacenamiento..... 16
Retención de Color Reduciendo Pérdida de Agua..... 17
Efectos de la Pérdida de Agua..... 17
Temperatura..... 17
Humedad Relativa..... 18
Atmósferas Controladas..... 20
Atmósferas Modificadas..... 22
Empaques..... 23
Retención de Color por Métodos Químicos..... 25
Fumigación con Bióxido de Azufre..... 25
Residualidad de SO_2..... 27
Ácido Cítrico..... 27
Ácido Oxálico..... 28
Enfermedades Poscosecha..... 29
Pérdidas Poscosecha..... 29
Micro-fisuras en Pericarpio de litchi..... 31
Control..... 31
Patogenicidad..... 32
Microorganismos Fitopatógenos en Litchi..... 33
Control de Enfermedades Poscosecha de Litchi..... 35
MATERIALES Y MÉTODOS 37
Diagrama de la Metodología..... 37
Cosecha..... 38
Aplicación de Tratamientos Químicos y Biológico..... 38
Bióxido de Azufre (SO_2)..... 38
Captan 480®..... 39
Cuaternario de Amonio..... 39

Bióxido de Azufre-Ácido Cítrico-Captan 480®..... 39
Bacillus stearothermophilus 39
Testigo..... 40
Empacado 40
Almacenamiento..... 40
Evaluaciones en Temperatura de Almacenamiento a 2°C..... 41
Pérdida de Peso..... 41
Color..... 41
Evaluaciones en Condiciones de Mercadeo 20°C..... 42
Pérdida de Peso y Color 42
Respiración..... 43
Incidencia de Fitopatógeno..... 44
Bioensayo..... 44
Preparación del Medio de Cultivo..... 44
Siembra y Medición..... 45
Análisis Estadístico..... 45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 46
Análisis Físicos..... 46
Pérdida de Peso..... 46
Color en el Pericarpio de Fruto de Litchi..... 59
Análisis Fisiológicos..... 69
Bióxido de Carbono (CO_2)..... 69
Incidencia de Microorganismos Fitopatógenos..... 72
Identificación y Bioensayo..... 76
Penicillium sp..... 76
Fusarium oxysporum..... 76
Phomopsis vexans..... 77
Colletotrichum gloesporioides..... 77

Alternaria alternata 78
Pestalotia sp 79
CONCLUSIONES 82
LITERATURA CONSULTADA 83
ANEXOS 99

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido		Página
Cuadro 1.	Reporte de hongos fitopatógenos asociados con el decaimiento poscosecha de los frutos de litchi.....	34
Cuadro 2.	Porcentaje de pérdida de peso en frutos de litchi almacenados a 2°C durante 7 días.....	47
Cuadro 3.	Porcentaje de pérdida de peso en frutos de litchi almacenados a 20°C durante 4 días.....	48
Cuadro 4.	Porcentaje de pérdida de peso en frutos de litchi almacenados durante 11 días (7 días a 2°C + 4 días a 20°C).....	57
Cuadro 5.	Datos de color para el día inicial de L, "a", "b" y °Hue.....	60
Cuadro 6.	Datos de color de L, "a", "b" y °Hue, después de 7 días de almacenamiento a 2°C.....	63
Cuadro 7.	Tasa respiratoria en mL CO_2/ Kg·h. de los frutos de litchi a 20°C.....	70
Cuadro 8.	Evaluación de la severidad de enfermedades de frutos de litchi en la interacción tratamiento-empaque.....	73
Cuadro 9.	Incidencia de microorganismos fitopatógenos *in vivo* a los 14 días de almacenamiento.....	75
Cuadro 10	Porcentaje de inhibición micelial de cada hongo durante el tiempo de exposición de distintos tratamientos.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido | Página

Figura 1. Porcentaje de pérdida de peso en la interacción tratamiento *empaque de los frutos almacenados a 2°C (a)-20°C (b)..... 54

Figura 2. Relación entre el porcentaje de pérdida de peso y los días de almacenamiento a 2° – 20° para cada uno de los tratamientos y empaques utilizados..... 58

Figura 3. Círculo de color..... 61

Figura 4. Interacción tratamiento-tiempo sobre el comportamiento del color en litchi de las variables "a" y "b"..... 65

Figura 5. Interacción tratamiento-tiempo sobre el comportamiento del color en litchi de las variables de luminosidad y ángulo de matiz (°Hue)..... 66

Figura 6. Interacción tratamiento-empaque sobre el comportamiento del color en litchi de las variables "a" y "b"..... 67

Figura 7. Interacción tratamiento-empaque sobre el comportamiento del color en litchi de las variables de luminosidad y ángulo de matiz (°Hue).... 68

Figura 8. Medias de los efectos principales en la producción de CO_2 de frutos de Litchi sometidos a diferentes tratamientos..... 69

Figura 9. Esporas de *Colletotrichum gloesporoides*(a), *Alternaria alternata*(b), *Pestalotia sp* (c), *Penicillium sp* (d), *Fusarium oxysporum* (e), *Phomopsis vexans* (f), aisladas de frutos de litch..... 79

ANEXOS

Contenido | Página

Cuadro 1. Análisis de varianza para pérdida de peso en frutos de litchi almacenados a 2°C..... 99

Cuadro 2. Análisis de varianza para pérdida de peso en frutos de litchi almacenados a 20°C..... 99

Cuadro 3. Análisis de varianza en ángulo de matiz (°Hue) externo en frutos de litchi..... 100

Cuadro 4. Análisis de varianza en luminosidad externa en frutos de litchi..... 100

Cuadro 5. Análisis de varianza en la variable del color "a" de la cáscara de frutos de litchi..... 101

Cuadro 6. Análisis de varianza en de frutos de litchi "b" 101

Cuadro 7. Análisis de varianza de CO_2 de frutos de litchi..... 102

Cuadro 8. Análisis de varianza de bioensayo *in vitro* con *Pestalotia* sp. aislado de frutos de litchi..... 102

Cuadro 9. Análisis de varianza de bioensayo *in vitro* con *Alternaria alternata,* aislado de frutos de litchi..... 102

Cuadro 10. Análisis de varianza de bioensayo *in vitro* con *Fusarium oxysporum,* aislado de frutos de litchi..... 103

Cuadro 11. Análisis de varianza de bioensayo *in vitro* con *Penicillium* sp. aislado de frutos de litchi..... 103

Cuadro 12. Análisis de varianza de bioensayo *in vitro* con *Colletotrichum gloesporoides* , aislado de frutos de litchi..... 103

RESUMEN

El fruto de litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) es una fruta tropical muy perecedera que en un periodo de 1-2 días a temperatura ambiente (20°C), pierde su color rojo brillante y adquiere un color marrón. Este comportamiento y la presencia de enfermedades causadas por microorganismos fitopatógenos en el fruto, son los principales problemas poscosecha a los que se enfrentan los productores de este frutal. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue determinar un tratamiento químico o biológico que permita la menor incidencia de microorganismos sin afectar la calidad visual del fruto. En este estudio se identificaron microorganismos aislados de frutos enfermos de litchi, recolectados de la comunidad de Eldorado, Sinaloa. Posteriormente, se evaluó *in vitro* el efecto de cinco tratamientos químicos (bióxido de azufre, Captan 480®, cuaternario de amonio (Quatz IV) y ácido cítrico; así como, la mezcla de bióxido de azufre ácido cítrico+ Captan 480®) y un biocontrolador (*Bacillus stearothermophilus*), sobre el crecimiento o inhibición micelial de los hongos previamente identificados. Por otra parte, se colectaron frutos sanos, los que fueron sometidos a los tratamientos previamente mencionados en combinación con diversos materiales de empaque (caja de polipropileno, bolsa de polietileno y bolsas de papel) y se evaluaron variables físicas como la pérdida de peso y el color en la cáscara de litchi. Los microorganismos identificados fueron: *Pestalotia* sp, *Phomopsis vexans, Alternaria alternata, Fusarium oxysporum, Penicillium* sp, *Colletotrichum gloeosporioides, Rhodotorula rubra y*

candida guillermondii. En condiciones *in vitro*, los tratamientos con bióxido de azufre y ácido cítrico por si solos, al igual que la combinación bióxido de azufre-ácido cítrico-captan mostraron una inhibición del crecimiento micelial del 100 %, lo que hace evidente que no es necesario el uso de captan. La combinación con el empaque de polipropileno fue el mejor tratamiento poscosecha para este fruto bajo las condiciones de almacenamiento evaluadas.

INTRODUCCIÓN

En la producción agrícola, la reducción de pérdidas poscosecha es un aspecto de suma importancia para ser cada vez más competitivos, se estima que tan solo en campo las pérdidas poscosecha de productos frescos varían entre 25 a 50% de la producción (García *et al.*, 1998). Son muchas las causas reales a controlar que contribuyen a la pérdida poscosecha, pero se pueden clasificar en dos tipos: Pérdida de calidad debida a cambios fisiológicos y modificaciones de la composición que alteran el aspecto, el sabor, la textura, reduciendo así el atractivo de los productos afectados y pérdidas físicas derivadas del daño estructural o el deterioro microbiano (Boyette *et al.*, 2001).

La litchi es un fruto muy perecedero, que después de la cosecha pierde rápidamente su color rojo brillante adquiriendo un color marrón sin vida en un periodo de tiempo de 1-2 días a temperatura ambiente (Jiang *et al.*, 2004[a]), por lo que existen condiciones optimas de almacenamiento para este fruto, manteniéndolo a una temperatura de 2 a 5 °C y a una humedad relativa de 90-95% y una atmósfera con niveles de 3-5% O_2 y 3-5% CO_2 (Paull *et al.*, 2004). Sin embargo, el no mantener el fruto bajo estas condiciones, puede ocasionar la pérdida del fruto aun cuando el arilo no se vea afectado, así como, provocar microfisuras del mismo permitiendo el ataque de insectos y patógenos al fruto (Joubert y Van, 1975; Paull *et al.*, 1998).

Para controlar estos ataques en Australia se recomienda como tratamiento fungicida en poscosecha una inmersión por 2 min. en 500 ppm de benomil a 50°C (Coates *et al.*, 1993). Underhill *et al.* (1997) mencionan que el dióxido de azufre utilizado en algunos lugares como prevención del obscurecimiento del pericarpio de las litchis también tiene efecto fungicida, por otro lado Jiang *et al.* (2001), trabajaron con distintos antagonistas para controlar al principal patógeno de litchi en Asia (*Peronophythora litchi*) obteniendo que el *Bacillus subtilis* exhibió buen control.

Existen reportes de microorganismos que atacan al fruto de la litchi (Underhill *et al.* 1997), sin embargo, se aprecia una falta de documentación de enfermedades poscosecha presentes en los frutos cultivados en el estado de Sinaloa.

Diversos tratamientos han sido recomendados para el manejo poscosecha de la litchi, tal como el dióxido de azufre, que en algunos lugares es usado para la prevención del oscurecimiento del pericarpio y que también tiene efecto fungicida (Goodman and Markakis, 1965, Holcroft and Mitcham, 1996). Sin embargo, se reporta que este tratamiento puede generar susceptibilidad a la colonización por *Penicillium* spp. (Underhill *et al.*, 1997).

Es por ello que es importante determinar a los microorganismos causantes de enfermedades de litchi en Sinaloa y establecer qué tratamientos son los más adecuados contra los mismos sin que afecten la calidad visual del fruto.

OBJETIVO GENERAL

Identificar y controlar microorganismos fitopatógenos presentes en frutos de litchi cultivada en Eldorado Sinaloa. Además, evaluar el efecto de distintos empaques sobre el desarrollo de microorganismos y las variables de calidad físicas poscosecha.

Objetivos Particulares

Identificar microorganismos presentes en los frutos de litchi cultivados en Eldorado Sinaloa

Determinar el efecto de distintos productos químicos los cuales fueron bióxido de azufre, Captan 480®, cuaternario de amonio; así como, la mezcla de bióxido de azufre-ácido cítrico- Captan 480® y un biocontrolador (*Bacillus stearothermophilus*) para el control de enfermedades poscosecha de litchi.

Evaluar el efecto en el fruto de tres tipos de empaques (caja de polipropileno, bolsa de papel, bolsa de polietileno) que le brinde al fruto mayor protección durante su manejo poscosecha, reduciendo pérdida de peso y manteniendo el color rojo de la litchi, mejorando la presentación del fruto en el mercado.

HIPÓTESIS

Existen diferentes microorganismos que pueden causar enfermedad al fruto de litchi.

Al menos uno de los tratamientos poscosecha o combinación de ellos, logran disminuir el ataque de fitopatógenos en litchi.

La pérdida de peso y color se reducirá con el uso de empaques primarios

METAS

Documentar las enfermedades poscosecha presentes en frutos de litchi cultivadas en el estado de Sinaloa.

Proponer un empaque adecuado para comercializar este fruto, en base a la disminución de la pérdida de peso y calidad visual del fruto.

Lograr disminuir el obscurecimiento del pericarpio del fruto durante el almacenamiento, por medio de tratamientos poscosecha óptimos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Litchi

Origen e Historia

La litchi (*Litchi chinensis* Sonn.), miembro económicamente importante de la familia de las Sapindaceae, formada por más de 1000 especies de árboles y arbustos distribuidos por regiones cálidas de todo el mundo. Aunque la litchi se conoce desde hace milenios en China y sus países vecinos, su historia comercial es reciente y aun poco se comercializa a nivel mundial (De Viller , 2002).

El árbol del que procede es originario de China, donde los extractos de sus hojas son utilizados por sus efectos antiflamatorios, analgésicos y antipiréticos, y la cosecha de su fruto se viene realizando por más de 4000 años (Besra *et al.*, 1996). Desde allí se extendió su cultivo por India, Japón, Siria y también al ámbito mediterráneo (Mentzel *et al.*, 1988). Se cultiva en países tropicales y en ciertas zonas subtropicales y muchas veces los productores mezclan mango (*Magnifera indica* L.), longan (*Dimocarpus logan Loureiro*) y litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) en un mismo huerto (De Bie, 2004).

Producción en México

El 60 % de la producción mundial de litchi es contribuida por China e India produciendo 700 toneladas al año (Businessline Chennai, 1999). En México, este fruto se introdujo por el estado de Sinaloa hace aproximadamente 100 años, por la familia Redo. En la actualidad son siete estados que figuran en la producción nacional, entre los mas importantes sobresalen: Oaxaca 62%, Puebla 17.5%, Veracruz 10% y Sinaloa 3.3% principalmente (SIAP, 2003).

Cultivares

Aunque existen más de 100 variedades de litchi a nivel mundial, éstas se distinguen por características tales como sus requerimientos climáticos, calidad de la fruta, la maduración y el grado de alternancia (Aradhya *et al.*, 1995; Underhill y Wong, 1990).

En México su cultivo comercial de este frutal es reciente, y en la actualidad se cuenta con cinco variedades, entre ellas: Brewster, Mauricio, Haak Yip, Geoff y Sweet Cliff, predominando la primera (Schwentesius y Gomez, 1997).

Variedad brewster. La variedad Brewster también conocida como Chen Zi, Chen Tze o Royal Chen púrpura, es la segunda variedad mas popular y comercial al sur de Florida así como en Sinaloa (Campbell, 1959). Es un fruto de talla mediana, jugosos, dulce y con alto contenido en glucosa, lo que lo hace mas atractivo al ser comparado contra otras variedades (Chan *et al.*, 1975). Esta variedad cuenta aproximadamente con un 74% de pulpa, a pesar de tener una semilla de tamaño mediano a grande (Folino y Mee, 2004).

Características del Fruto

La litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) es una fruta tropical con alto valor comercial en el mercado internacional (Dong *et al.*, 2003). El crecimiento del pericarpio, semilla y arilo de este cultivo muestran una curva típica de crecimiento sigmoidal (Huang and Xu, 1983). Es un fruto no climatérico, por lo que el contenido de sólidos solubles totales no aumenta tras la recolección, por lo tanto tiene que ser cosechado en madurez comercial. La madurez del fruto de la litchi es caracterizada por un color rojo brillante del pericarpio, el cual es una superficie cubierta de pequeñas protuberancias angulosas, pulpa traslucida de textura espesa y firme, con un sabor agridulce y altamente aromática (Jiang *et al.*, 2004[b]; Chyau *et al.*, 2003)

Después de la cosecha, la fruta es muy perecedera y pierde rápidamente su color rojo brillante adquiriendo un color marrón sin vida, en un periodo de tiempo de 1-2 días a temperatura ambiente (Jiang *et al.*, 2004[a]). Este cambio de coloración y la presencia de

enfermedades causadas por microorganismos fitopatógenos en el fruto, son unos de los principales problemas poscosecha a los que se enfrentan los productores al llevar a cabo la comercialización de este producto.

Factores que Determinan la Calidad Poscosecha

Calidad es un término muy utilizado en poscosecha pero raramente definido, lo que si es seguro es que la calidad de un fruto no se puede mejorar después de cosecha, sólo ser mantenida, por lo tanto, es importante cosechar las frutas en la etapa y el tamaño apropiados a su máxima calidad. El producto maduro o sobre maduro puede ser candidato a tener una corta vida de anaquel, así como, los frutos dañados físicamente, etc. (Shewfelt, 1999).

Los cambios en el fruto se presentan a medida que transcurre su proceso de maduración y senescencia. Cuando los frutos alcanzan la madurez fisiológica comienzan a manifestar numerosos cambios, entre ellos destacan los de color, firmeza y sabor, relacionados con la maduración organoléptica, hasta alcanzar el estado máximo de calidad y así poder se cortado (Kays, 1999).

Es importante considerar que los productores se preocupan por presentar un producto con buena apariencia, sin defectos y alta vida de anaquel. En cambio, los consumidores se fijan en la apariencia, firmeza, buen sabor y valor nutritivo que los hace finalmente

más atractivos para el consumo (Kader, 2001). Sin embargo, una vez alcanzado el estado de máxima calidad, sobreviene rápidamente la sobre madurez, asociado a un excesivo ablandamiento, y con ello una reducción de la consistencia y marchitamiento, esto debido a la pérdida de agua por la transpiración y respiración, así como el cambio de color, que es otro parámetro de calidad importante que varia de manera natural en el fruto en su maduración y senescencia (Batu, 2004).

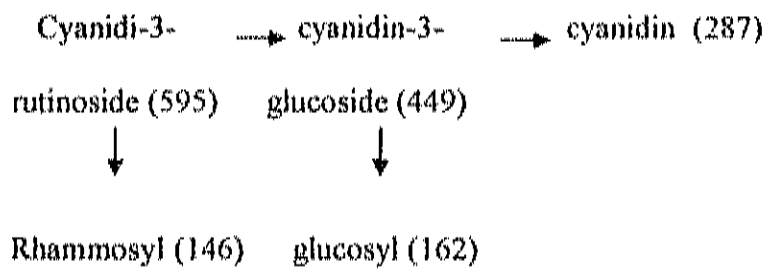
El fruto de la litchí, como la mayoría de las frutas, sufre de un rápido deterioro del arilo inmediatamente después de ser cosechado. El primer síntoma visual de la deterioración, es el bronceado de la piel. Cuando está almacenado bajo condiciones ambiente, el color rojo brillante original del fruto se puede perder a las de 48 horas, debido a la degradación de antocianinas por actividad enzimática (Underhill *et al.*, 1992).

Degradación de Pigmentos

Antocianinas

El pigmento rojo-purpura de la piel de la litchi son las antocianinas (Einbond *et al.*, 2004). La hidrólisis ácida de este pigmento es exitosa por la determinación del aglycon (antocianidinas). La mayor antocianidinidina en litchi variedad Brewster, es el cianidin-3-rutinoside, el cual representa mas del 75%, seguido por el malvindin-3-acetilglucoside, con el 17% y en menor proporción el cianidin-3-glucoside con un máximo valor de 10%. Cuando las frutas están de color verde, solamente contienen malvidin-3-glucoside y al madurar el fruto con la polimeración se convierte en las antocianidinas antes mencionadas, dando la coloración roja característica del fruto de litchi (Lee y Wicker, 1991; Rivera-López *et al.*, 1999).

Las concentraciones de antiocianidinas presentes en la piel del fruto, cambia dependiendo de la variedad. Zhang *et al.* (2000), reportan en un estudio que en la piel de la litchi cv. Huaizhi el principal compuesto antocianidin es cyanidi-3-glucoside, representando un 91.9% y en pequeñas concentraciones malvidin-3-glucoside. También, señalan que estos compuestos declinan durante el almacenamiento u obscurecimiento del fruto. Zhang *et al.* (2004), propone una ruta de degradación dependiendo del peso molecular de cada compuesto antocianidin la cual es :



Enzimas Presentes en la Degradación de Antocianinas

El obscurecimiento del pericarpio del fruto de litchi ha sido atribuido a la rápida degradación de estos pigmentos ya que son muy inestables y rápidamente cambia ese color rojo a una coloración café así como a la oxidación de fenoles, esto es el resultado de la acción enzimática, la alta actividad de las enzimas polifenol oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD), ademas del incremento de la oxidación y peroxidación conduciendo a la coloración café del fruto (Jiang y Chen, 1995; Underhill y Critchley, 1993[a]).

Se ha reportado que la enzima PPO de la litchi no puede oxidar pigmentos de antocianinas, pero al formar un complejo antocianina-PPO-fenol existe una rápida degradación del pigmento, en este sentido Zhang *et al.* (2000), reportan que los compuestos fenólicos presentes en la litchi declinan durante el obscurecimiento del fruto, esta degradación de pigmentos depende directamente del pH ya que cuando estos son bajos disminuye la actividad de esta enzima (Zhang *et al.*, 2001; Zauberman *et al.*, 1990).

La enzima polifenol oxidasa es estable a pH de 7.4 y a una temperatura máxima de 70°C. Existen varios sustratos específicos para esta enzima; sin embargo, se ha detectado una exelente actividad con el compuesto pyrogallol, el cual está formado por los monofenoles catecol y 4-metilcatecol (Robinson *et al.*, 1993; Jiang *et al.*, 1997; Jiang, 2000).

La actividad de la POD aumenta constantemente a medida que el fruto se obscurece, al mismo tiempo la concentración de antocianinas disminuye durante el almacenaje de la fruta del litchi, esto debido a que esta enzima puede catalizar la oxidación de muchas clases de fenoles en la presencia de peróxidos y del resultado en el bronceado enzimático de las frutas cosechadas (Zhang *et al.*, 2005).

Factores Involucrados en la Senescencia de los Frutos

Respiración

Durante la respiración el fruto consume O_2 y desprende CO_2, H_2O y calor, por esto, se aceleran todas las reacciones oxidativas, generalmente, al elevar la temperatura aumenta la velocidad de la reacción. El agua se acumula en la superficie por lo que el producto está más expuesto a la acción de microorganismos (Salisbury y Ross, 1992). Por ello,eEs importante conocer la tasa respiratoria de los frutosa distintas temperaturas, ya que esta se relaciona con el tiempo de conservación. La actividad respiratoria de los productos por unidad de peso es más alta en las fases previas a la maduración y declina luego progresivamente con la edad (Wills *et al.*, 1998). Paull *et al.* (2004) reportan una tasa de respiración normal para frutos de litchi va de 25 a 40 mL CO_2/ Kg·h.

El rango de respiración del fruto de litchi decrece progresivamente. Durante el desarrollo de la fruta, la tasa de respiración en frutos inmaduros es de ocho a diez veces más alta que los frutos maduros, estos frutos producen niveles bajos de etileno y la mayor parte de este es producido por el pericarpio. La respiración y la producción de etileno puede reducirse significativamente bajando las temperaturas de almacenamiento pero se incrementa rápidamente cuando se transfiere a 25°C (Underhill *et al.*, 1997; Paull y Chen, 1987).

Transpiración

La pérdida de agua de los productos hortícolas cultivados es la mayor causa de deterioro en el almacenamiento. Todos los productos hortícolas continúan perdiendo agua en forma de vapor, aún después de ser cosechados. Este fenómeno se puede reducir de manera significativa en función de las condiciones óptimas de almacenamiento del producto, la velocidad de pérdida depende del tipo de producto, de la temperatura y de la humedad ambiental. El comprender el proceso de transpiración es fundamental ya que éste explica claramente la disminución de peso, el marchitamiento y pérdida de textura (Thompson, 2002). En el caso de litchi, el problema de una transpiración excesiva es de gran importancia ya que la fruta pierde peso al no proporcionarle un adecuado control de la humedad relativa. Todo lo señalado anteriormente representa pérdidas económicas para productores y comercializadores.

Daños Mecánicos

Las lesiones mecánicas pueden acelerar considerablemente la pérdida de agua en los tejidos, por lo tanto, las cortaduras ofrecen una importancia aún mayor, ya que rompen por completo la capa superficial protectora y exponen directamente a la atmósfera el tejido subyacente. Si la lesión tiene lugar en las etapas iniciales de crecimiento, suelen cerrarse las áreas afectadas con una capa de células; la capacidad de cicatrización de las heridas suele disminuir a medida que el producto vegetal madura (Wills *et al.*, 1998).

Manejo y Preservación de Litchi Poscosecha

Condiciones Óptimas de Almacenamiento

El manejo óptimo de almacenamiento es a una temperatura de 2 a 5 °C y a una humedad relativa de 90-95%, obteniendo una vida de anaquel de 3 a 5 semanas ya que si los frutos son almacenados a 20 °C y una humedad relativa del 60% podrían durar solamente de 3 a 5 días. Las atmósferas controladas recomendadas para almacenar el fruto de 2 – 3 semanas son a niveles de 3-5% O_2 y 3-5% CO_2 ya que a porcentajes de 10 a 15% CO_2 podría afectar el sabor de la litchi (Paull *et al.* 2004; Jiang y Fu, 1999[a]).

El manejo y almacenamiento de las litchis, está enfocado principalmente a retener el color de la litchi (Nip, 1988). Para mantener la calidad del fruto se han utilizado principalmente dos estrategias, una es reducir la pérdida de agua por diferentes métodos, así como la utilización de tratamientos químicos (Underhill *et al.*, 1997).

Retención de Color Reduciendo Pérdida de Agua

Efectos de la Pérdida de Agua

Existen muchos factores a considerar durante el almacenaje de frutas y hortalizas en poscosecha, los más importantes son la temperatura y la humedad relativa, ya que están directamente ligadas con la pérdida de agua de los frutos. Este efecto conduce a la pérdida de peso y a un decrecimiento de la calidad del producto, la importancia de estas variables son diversos según al material que se esté manejando (Bachmann *et al.*, 2000).

Con la pérdida de agua hay una progresiva disminución de peso de la fruta durante su almacenamiento, pero ello, no se observa de manera marcada ni en el arilo y ni en la parte de la semilla. Esto indica que la deshidratación es selectiva, principalmente en la parte del pericarpio con un pequeño movimiento de agua entre el arilo y el pericarpio (Jiang y Fu, 1999[a]).

Temperatura

El almacenamiento a bajas temperaturas puede ser muy efectivo para extender la vida de anaquel de muchas frutas y hortalizas, teniendo la ventaja de mantener las cualidades que dictan la calidad del fruto como lo es la apariencia, aroma, sabor, además de reducir de manera significativa las pérdidas poscosecha. Sin embargo, no existe una temperatura

ideal para el almacenamiento de todas las frutas y hortalizas, dado a que son distintas fisiológicamente y sus respuestas a bajas temperaturas serán diferentes (Paull, 1999).

Huang y Wang (1990), almacenaron frutos de litchi en cuatro temperaturas 0, 2, 5 y 20°C. Los frutos mostraron un rápido obscurecimiento a 0 °C seguido por 2 y 5°C. La máxima vida de anaquel las tuvieron los frutos expuestos a 0, 2 y 5°C con 17, 24 y 27 días, respectivamente. Por otro lado, las frutas almacenadas a 20°C tuvieron solo un día de vida de anaquel, estos frutos desarrollaron enfermedad al sexto día por lo que ya no fueron monitoreados.

Humedad Relativa

El nivel de humedad de un producto es un factor fundamental para su conservación, el elevar la humedad disminuye la transpiración pero favorece el desarrollo de microorganismos, por lo que debe encontrarse un adecuado punto de equilibrio. En combinación con la temperatura, la transpiración es afectada de manera importante por el vapor de agua en el aire. El mismo ejerce una presión en función del peso del agua por unidad de volumen y temperatura del aire y recibe el nombre de presión de vapor de agua, el cual aumenta a medida que se incrementa la cantidad de vapor de agua y la temperatura del aire. La relación porcentual entre la presión del vapor de agua real y la presión de vapor de agua en el punto de saturación del aire recibe el nombre de humedad relativa (HR) y es el parámetro que comúnmente se utiliza para expresar la cantidad de

agua presente en el aire. En la mayor parte de los productos frescos, el equilibrio se alcanza a una humedad relativa no inferior al 97% (Wills *et al.*, 1998)

La HR elevada durante el almacenamiento minimiza la transpiración y la pérdida de agua de los productos. Sin embargo, valores altos puede ocasionar condensación del agua y crecimiento de microorganismos en la superficie de los productos. La tasa de pérdida de agua de los frutos depende del déficit de la presión de vapor entre el producto y el aire circundante, el cual está influenciado por la temperatura y humedad relativa, por lo que la pérdida de agua en los frutos almacenados se incrementa con el aumento de la temperatura (Kader, 2002).

En el fruto de litchi, la acción de la pérdida de agua está estrechamente ligada con el obscurecimiento del fruto en poscosecha, por lo que Jiang y Fu (1999[b]), redujeron significativamente esta pérdida al incrementar la humedad relativa durante el almacenamiento.

Generalmente, el mayor porcentaje de pérdida ocurre durante el primer y segundo día, especialmente a valores bajos de HR, el máximo de perdida de agua en este estudio se reporta después del tercer día de almacenamiento a 60 % HR reduciendo mas de 50 % de su peso en agua, mientras que en el mismo tiempo pero a 95 % HR solo se reduce un 18 % el peso del producto.

En cuanto al color, generalmente hay menor obscurecimiento en frutos almacenados a valores altos de HR. El color rojo inicial de la litchi desapareció después de dos días a humedades relativas de 60 -70 %. Este obscurecimiento fue causado por una rápida pérdida de agua, mientras que las frutas almacenadas a 90 – 95% HR tardaron mas en desarrollar ese obscurecimiento, ya que el agua es el mayor constituyente de todo fruto por lo que regular su pérdida es el mayor requerimiento para mantener la calidad poscosecha de cualquier fruto (Jiang y Fu, 1999[a]) .

Atmósferas Controladas

La composición del aire consiste en: oxígeno (O_2) 21%, dióxido de carbono (CO_2) 0.03%, nitrógeno (N_2) 78% y otros gases (argón, neón, etc) hasta completar 100%. Las atmósferas modificadas o controladas contienen en general niveles más bajos de O_2 y mayores de CO_2 que el aire, mediante el uso de estas tecnologías se consigue bajar la respiración de la fruta y por lo tanto, retrasar la maduración y reducir el metabolismo en general, inclusive el de los microorganismos (Yommi *et al.*, 2002).

Cuando la modificación de las atmósferas se realiza manteniendo un control más o menos exacto de la concentración gaseosa dentro de cierto rango, recibe el nombre de atmósfera controlada (AC). Y si la modificación de la atmósfera no es controlada activamente, sino que utiliza una mezcla de gases resultante del intercambio gaseoso del envase en equilibrio con la respiración del producto, la técnica se denomina atmósfera modificada (AM). Seis son los factores a controlar durante el almacenaje; tiempo,

temperatura, humedad, O_2, CO_2, y niveles de etileno. Estos pueden ser controlados en un adecuado manejo de las atmósferas modificadas y atmósferas controladas (Salviet, 2003).

Las AC y AM óptimas para el producto fresco varían según la especie, su etapa de madurez, la temperatura, y la duración de la exposición. Y sabiendo que los productos hortofruticolas son expuestos a diversas temperaturas durante el almacenaje, el transporte, y la exhibición al menudeo, es importante mantener un control de la atmósfera durante la cadena poscosecha (Brecht *et al.*, 2003).

En litchi se ha encontrado que el control de atmósferas modificadas retarda el indice del cambio del color de la piel. Como lo reportado por Jiang y Fu, (1999[b]), Mahajan y Goswami, (2004), quienes almacenaron frutos de litchi en atmósferas controladas de 3-5 % O_2 + 3-5% CO_2 y altas humedades relativas de 90-95% a 2 °C. Encontraron que después de 30 y 56 días respectivamente, el fruto retiene el brillo en su color, además que sus características organolépticas no cambian.

Sin embargo, otros autores señalan que algunos tratamientos pueden provocar anaerobiosis y detonar la acumulación de etanol y del acetaldehido en la fruta del litchi durante su almacenamiento (Pesis *et al.*, 2002). Tal como Jiang *et al.* (2004[c]) que trataron frutos de litchi con N_2 en distintos periodos de tiempo que iban desde tres a 24 horas, y redujeron el obscurecimiento del fruto pero perdieron calidad organoléptica, probablemente por la acumulación de etanol dentro del fruto.

Por otro lado, Duang *et al.* (2004), reportan reducción perceptible en el bronceado de la cáscara al exponer al fruto de litchi a una atmósfera O_2 del 40% o del 100%, concluyen que aunque se muestran buenos resultados con este tratamiento, hace falta mas investigación. Por otro lado, Tiang *et al.* (2005), mencionan que altos niveles de O_2 limita significativamente la producción de etanol durante el periodo de almacenamiento de la litchi.

Atmósferas Modificadas

El uso de atmósferas modificadas se ha incrementado en los últimos años en los países desarrollados. Una de las razones es que esta tecnología puede ser aplicada a diversos tamaños de envase, desde palets completos a un pequeño envase individual. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los niveles de O_2 y CO_2 alcanzados en el interior del empaque deben encontrarse dentro del rango recomendado para esta fruta, ya que puede haber producción de aromas extraños y diferentes manifestaciones de daño fisiológico en la misma (Peppelenbos, 2003).

Es importante que el producto que se seleccione para controlar una atmósfera, ya sea una película plástica, caja de PVC, etc., brinde permeabilidad al oxígeno y bióxido de carbono según sea el caso, sin inducir anaerobiosis o intoxicación de tejido.

Ya que si bien es cierto, la reducción de oxígeno y el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera implica una reducción la velocidad de respiración del producto, así como el retraso en su maduración y envejecimiento del fruto y niveles muy limitados de oxígeno o excesivos de CO_2 llevan a condiciones anaeróbias. Con ello, el fruto sufre un rápido deterioro por no poder respirar y se facilita el desarrollo de bacterias causantes de putrefacción (Salviet, 2003).

Empaques. El empaque en atmósferas modificadas mediante el uso de películas plásticas permiten prolongar la vida de anaquel de frutas y hortalizas, ya que se genera una atmósfera baja de oxígeno que reduce la tasa de respiración. Además, actúan como barrera que limita la difusión de las moléculas de agua, que por consecuencia dentro del material de empaque se crea una atmósfera de alta humedad relativa que reduce la transpiración de los productos (Kader, 2002). Ketsa y Leelawatana (1992), reportan que empacar frutos de litchi en cajas de corrugado con películas de polietileno mantienen el color rojo característico de litchi hasta 12 días.

Existen estudios donde reportan que el empacar el fruto de litchi en bolsas de polietileno reduce el porcentaje de pérdida de peso, el obscurecimiento del fruto y alarga su tiempo de almacenaje (Wara *et al.*, 1990; Campbell, 1959).

Scott *et al.* (1982), encontraron que el obscurecimiento del pericarpio causado por deshidratación puede ser minimizado utilizando bolsas de polietileno. Por otro lado, Singh (1957), concluye que al utilizar bolsas de polietileno es importante no permitir se acumule humedad utilizando cloruro de calcio u otro tratamiento. Sin embargo, encontró como mejor tratamiento el perforar las bolsas de polietileno y así reducir la presencia de enfermedades.

En este sentido, Huang y Scott (1985), recomiendan utilizar algún tratamiento químico para reducir la susceptibilidad del fruto a ser atacado por microorganismos fúngicos. Algunos tratamientos químicos como dióxido de azufre e inmersión en ácido tienen mejor efecto en la prevención de obscurecimiento del pericarpio de los frutos de litchi en comparación de algunos empaques o ceras (Paull *et al.*, 1995).

Retención de Color por Métodos Químicos

Fumigación con Bióxido de Azufre

El bióxido de azufre (SO_2) ha sido muy usado en la industria de las frutas y hortalizas como inhibidor de crecimiento microbial así como de algunas reacciones enzimáticas de los frutos (Goodman y Markakis, 1965). En Israel, es uno de los métodos mas utilizados para la retención de color. La fumigación de dióxido de azufre seguido con una inmersión en la mezcla de ácido clorhídrico y fungicida procloraz mantiene calidad externa e interna durante por 35 días. El dióxido de azufre reduce la actividad de la polifenol oxidasa (Litcher *et al.*, 2000).

En relación al control del obscurecimiento del pericarpio de litchi, la fumigación con SO_2 es comercialmente utilizada en los frutos de litchi en Sudáfrica, Tailandia e Israel, siendo un antioxidante e inhibidor eficaz de la reacción enzimática de la polifenol oxidasa (PPO). El principal problema del tratamiento SO_2 es el blanqueamiento de la superficie del pericarpio debido a la formación de colores bajos del complejo antocianinas-SO_3H, junto con otros pigmentos especialmente carotenoides (Lemmer y Kruger, 2002).

Con el tratamiento antes señalado, el color volverá progresivamente, pero solamente a un color rosado; sin embargo, se ha demostrado que si se usa ácido clorhídrico 1 N después del tratamiento con dióxido de azufre, la fruta es capaz de restaurar su color inicial de la piel. Así que el tratamiento con ácido es sugerido para invertir el procedimiento blanqueador del SO_2 afectando la estructura del pigmento (Underhill *et al.*, 1992).

Normalmente, la fruta blanqueada recobra un color rosa uniforme a los 3-5 días a temperatura ambiente de 22°C o hasta 10 días a 2-5°C. El grado de color se recobra dependiendo de la tasa de SO_2 y también de la circulación del aire y de la temperatura de almacenamiento (Zauberman *et al.*, 1990).

Por otro lado, Zauberman *et al.* (1991), también trataron los frutos de litchi con SO_2, mas una inmersión en ácido clorhídrico (HCl), en el cual el pH fue disminuido a 0.5 y 1, estos investigadores encontraron que esta práctica les ayudaba a preservar el color del fruto. Resultados similares fueron determinados por Paull *et al.* (1995), quienes concluyeron que sometiendo al fruto en SO_2 seguido de una inmersión en ácido, en combinación con baja temperatura de almacenamiento o tratamiento en agua caliente, se reduce el obscurecimiento en la piel de la litchi. Con respecto a esto último, Underhill y Critchley (1993[b]), mencionan que los tratamientos con calor inducen el obscurecimiento en el pericarpio del fruto ya que hay un incremento inmediato en la polifenol oxidasa, que corresponde con una rápida degradación de antocianinas.

Residualidad de SO_2. Paull *et al.* (1998), fumigaron con SO_2 los frutos de litchi durante 30 minutos a 22°C a una concentración de 1% v/v y reporta que los residuos en la piel de la litchi recién fumigada es de 388 mg/Kg después del tratamiento. Tambien señalan, que esta concentración declina a 125 mg/Kg en la piel y a 3 mg/Kg en el arilo después de los dos días a 22°C. Por otro lado, si el fruto se sumerge en una solución ácida después de la fumigación, la concentración se reduce a 67 mg/Kg en la piel y a 5 mg/Kg en el arilo, la concentración residual que da la máxima eficiencia después de la fumigación para la protección de la coloración en la piel del fruto se encuentra en un rango de 200-300 mg/Kg.

Los residuos de sulfitos no son permitidos por los E.U en frutas y hortalizas frescas, con excepción de las uvas. La mayoría de los otros países tienen límites de residuos del sulfito permisibles en porciones comestibles, que van de 0-100 mg/Kg (Paull *et al.*, 1998)

Ácido Cítrico

El obscurecimiento enzimático puede ser prevenido con bisulfitos y ácido cítrico, pero aunque este tratamiento es muy efectivo puede ser peligroso para la salud humana especialmente en pacientes asmáticos. Diferentes estudios han demostrado que utilizar ácido cítrico y ácido ascórbico previene el obscurecimiento de las rebanadas de papa y manzana (Vinci *et al.*, 1995). En litchi, el utilizar glutatión en combinación de ácido

cítrico a concentraciones de 10 mmol/ L muestra una buena inhibición de la actividad de PPO *in vitro;* sin embargo, no hay control en frutos de litchi, pero si aumenta la concentración del ácido cítrico a 100 mmol/L la inhibición de la PPO aumenta en un 80 % y el grado de obscurecimiento decrece en un 50 % (Jiang y Fu, 2004). Terdbaramee *et al.* (2003), reportan que tratar frutos de litchi con ácido cítrico a una concentración de 0.5 y 1.0 mol/L disminuye el obscurecimiento del pericarpio, encontraron que al almacenar los frutos a 5 °C a 90-95% HR durante 42 días, después de tratarlos con ácido cítrico, solo el 25 % de la piel de la litchi se obscurece, y por otro lado el fruto sin tratar a los 28 días manifiestan un 50-75% de bronceado en la piel del fruto.

Ácido Oxálico

El acido oxálico es una alternativa química sin efecto tóxico con bajo uso comercial, es un producto metabólico presente en diferentes órganos de las plantas, siendo un antioxidante natural, y juega un rol importante en la preservación de la oxidación de distintos materiales de manera natural y artificial. En los frutos de litchi, a concentraciones de 2 y 4 mM, incrementa la integridad de la membrana, inhibe la degradación de antocianinas, declina la oxidación y mantiene baja la actividad de la enzima peroxidasa (POD) durante el almacenamiento del fruto (Zheng y Tian , 2005)

Enfermedades Poscosecha

Pérdidas Poscosecha

En la producción agrícola, la reducción de pérdidas poscosecha es un aspecto importante para poder ser cada vez más competitivos. Una de las causas a controlar que contribuyen a tales decrementos en la producción son los factores bióticos (infecciosos). En poscosecha los agentes causales bióticos son principalmente hongos, los cuales provocan una serie de enfermedades que se conocen como enfermedades fúngicas; ocasionalmente habrá problemas con bacterias y virus. Por otro lado, también existen los factores abióticos, que causan enfermedad, pero que no son infectivos, es decir, no se transmiten de frutos dañados a frutos sanos (Boyette *et al.*, 1993).

Las frutas y hortalizas frescas reciben el nombre de productos perecederos porque tienen una tendencia inherente a deteriorarse por razones fisiológicas y por la invasión de plagas y microorganismos patógenos. Las pérdidas poscosecha ocurren en cualquier etapa del proceso de mercadeo, pueden iniciar desde la cosecha, después y durante el acopio, así como, a lo largo de su distribución y finalmente cuando el consumidor compra y utiliza el producto. En los países en desarrollo en donde existe una gran deficiencia en la infraestructura de mercadeo, las pérdidas poscosecha de productos frescos varían entre 25 a 50% de la producción. Las mermas de esta magnitud

representan una pérdida significativa de alimentos y un considerable daño económico para los comerciantes y especialmente para los productores (García *et al.*, 1998).

En poscosecha se presentan muchos tipos de alteraciones y enfermedades infecciosas que afectan frutas y hortalizas frescas. Algunos desórdenes pueden causarse por el daño mecánico, pero todos los de origen biótico pueden controlarse, la mayoría con tratamientos químicos en poscosecha. Sin embargo, los problemas abióticos debilitan a menudo a las defensas naturales de producto fresco, haciéndolo más susceptible a enfermedades bióticas (García y Fraile, 1995)

Los patógenos penetran en la superficie de las plantas directamente, a través de aberturas naturales o de heridas. La penetración directa es la más común para hongos y nemátodos y la única para plantas superiores parásitas. Ninguno de los otros patógenos son capaces de llevarla a cabo. Cuando los microorganismos entran en contacto con las células o tejidos susceptibles de un hospedante y se producen nutrientes suficientes para ambos se presenta el proceso de infección; en él tienen lugar la invasión, crecimiento y reproducción (colonización) del patógeno sobre los tejidos o células infectadas (Agrios, 1999).

Micro-fisuras en Pericarpio de Litchi

El ataque de insectos y patógenos al fruto, obscurecimiento o necrosis del pericarpio de la fruta durante su maduración, puede también causar la pérdida del fruto, aún cuando el arilo no se vea afectado. En casos extremos esta alteración de color y deshidratación del pericarpio puede causar micro-fisuras del mismo. Esto da condiciones óptimas y facilita a su vez la proliferación de enfermedades (Joubert y Van, 1975; Paull *et al.*, 1998). Estas micro-fisuras pueden disminuirse desde precosecha ya que uno de los factores es la deficiencia de calcio que deja susceptible al pericarpio (Huang *et al.*, 1999). Sivakumar *et al.* (2005) reportan que la fumigación con bióxido de azufre de los frutos de litchi en poscosecha intensifica las micro-fisuras del pericarpio del fruto.

Control

El control de las enfermedades poscosecha de origen biótico depende de entender la naturaleza del microorganismo, las condiciones que promueven su ocurrencia, y los factores que afectan su capacidad de causar las pérdidas. Las enfermedades en poscosecha pueden ser causadas por hongos o bacterias, aunque los hongos son más comunes que las bacterias en frutas y hortalizas. Las causadas por las bacterias son raras en las frutas, siendo más común su presencia en las hortalizas. Los virus raramente causan enfermedades poscosecha, aunque ellos, como los desórdenes en poscosecha, pueden debilitar el producto. El desarrollo científico de la patología vegetal y ciencias

afines ha posibilitado el planteamiento de estrategias de control científicamente correctas y técnicamente adecuadas (García y Fraile, 1995).

Patogenicidad

Las enfermedades causadas por hongos producen en sus hospedantes diferentes tipos de síntomas. Los hongos fitopatógenos pueden producir manchas cloróticas y necróticas, pudriciones húmedas o duras, hundimiento o picadura, así como deformación y marchitamiento (Agrios, 1999).

Aún cuando muchos microorganismos potencialmente fitoparásitos llegan a estar en contacto con su hospedante, no le pueden inducir enfermedad, porque para que esto suceda debe de existir una relación genética, fisiológica y específica entre los dos, que le permita al patógeno ser aceptado por las células hospedantes. Lo anterior se da siempre y cuando las condiciones del ambiente favorezcan esa relación (Hammerschmidt, 2004[a]).

Para que las bacterias causen infección en plantas hospedantes susceptibles, se requiere que primero penetren a los tejidos y se pongan en contacto con las sustancias que ellas necesitan para su desarrollo y multiplicación. La bacteria es incapaz de penetrar las células vivas, pero produce sustancias que terminan matándolas y desintegrándolas (liquefacción de los tejidos); estas condiciones les sirven de alimento y un medio adecuado para su reproducción (Hammerschmidt, 2004[b]; Hammerschmidt, 2003).

Microorganismos Fitopatógenos en Litchi

El fruto de la litchi es receptor de varias enfermedades poscosecha asociadas con algunas especies de levaduras, hongos filamentosos y bacterias patógenas. La infección de estos patógenos podría ocurrir antes de cosechar en los huertos o después de cosechar en las empacadoras o durante su almacenamiento o transito (Tandon y Tandon, 1975). En el empaque es el punto central donde se aplican los tratamientos poscosecha, algunas levaduras han sido aisladas de empacadoras donde se incluyen algunas del género *Aurobasidium,Candida, Cryptococcus, Kluyveromices, Rhodotorula, Sporobolomyces, Torulopsis y Thrichosposony*. Se sabe que las levaduras del género *Candida* , *Rhodotorula y Saccharomyces* son microorganismos patógenos de litchi , y se puede incluir otras levaduras patógenas asociadas con la litchi como *Debaryomicetes, Endomycopsis, Kloeckera, Lipomyces,* y *Schizosaccaromyces* (Lemmer y Kruger, 2002).

Las enfermedades poscosecha pueden causar serias pérdidas de los frutos de litchi cuando se encuentran en mercadeo. Un amplio rango de enfermedades poscosecha atacan este fruto (Cuadro 1), y muchas de estas son comúnmente encontradas también en otros frutos tropicales y sub tropicales.

Cuadro 1. Reporte de hongos fitopatógenos asociados con el decaimiento poscosecha de los frutos de litchi.

Hongo	Referencia
Alternaria sp.	Scott *et al.* (1982); Coates *et al.* (1994)
Agrostalamus sp.	Roth (1963)
Aspergillus sp.	Roth (1963); Prasad y Bilgrami (1973); Scott *et al.* (1982)
Cladosporium sp.	Scott *et al.* (1982)
Colletotrichum spp.	Prasad y Bilgrami (1973); Scott *et al.* (1982); Coates *et al.* (1994)
Curvularia sp.	Roth (1963); Coates *et al.* (1994)
Cylindrocarpon tonkinense	Prasad y Bilgrami (1973)
Dothiorella sp.	Coates *et al.* (1994)
Fusarium sp.	Roth (1963); Prasad y Bilgrami (1973); Scott *et al.* (1982);
Geotrichum candidum	Tandon y Tandon (1975)
Lasidiplodia theobromae	Roth (1963); Prasad y Bilgrami (1973); Coates *et al.* (1994)
Monilia sp.	Roth (1963)
Mucor sp.	Roth (1963)
Nigrospora sp.	Roth (1963)
Neurospora sp.	Roth (1963)
Penicillium sp.	Prasad y Bilgrami (1973); Scott *et al.* (1982)
Pestalotiopsis sp.	Prasad y Bilgrami (1973)
Phomopsis sp.	Coates *et al.* (1994)
Phoma sp.	Scott *et al.* (1982); Coates *et al.* (1994)
Rhizopus sp.	Roth (1963); Scott *et al.* (1982)
Stemphylium sp.	Roth (1963); Coates *et al.* (1994)
Trichoderma sp.	Scott *et al.* (1982);
Algunas levaduras	Roth (1963)

Underhill *et al.* (1997)

Aunque poco se sabe del modo de infección de los patógenos que atacan a la litchi, se conoce que en otras frutas tropicales comúnmente son invadidas por los hogos *Aspergillus, Penicillium* y *Rhizopus* durante y después de la cosecha y que *Colletotrichum y Phomopsis* infectan a la fruta antes de ser cosechada. Sin embargo, independientemente del tiempo e infección es importante tener buenos tratamientos poscosecha que ayuden a controlar estos daños (Underhill *et al.*, 1997).

Control de Enfermedades Poscosecha de Litchi

Para controlar las enfermedades en el fruto existen varios tratamientos poscosecha, por ejemplo, en Australia se recomienda como control fungicida en poscosecha una inmersión por 2 min en 500 ppm de benomil a 50°C (Huang y Scott, 1985; Sandhu y Randhawa, 1992; Coates *et al.*, 1993)

Sin embargo Scott *et al.* (1982); Wong *et al.* (1991) y Wara *et al.* (1990), reportan haber tenido efecto negativo en la apariencia general del fruto. Diversos investigadores, trataron los frutos de litchi con una solución de 1% de tiabendazol (TBZ) obtendiendo control sobre los microorganismos patógenos de lichi, pero los frutos desarrollaron obscurecimiento del pericarpio del fruto (Jiang y Chen, 1995; Zhang y Quantick, 1997). Por otro lado Zauberman *et al.* (1991), mencionan que trataron los frutos de litchi con procloraz después del almacenmiento, pero no reporta la apariencia final del fruto.

Jiang[e] *et al.* (2001), proponen otra alternativa, para el control de enfermedad en litchi, ellos trabajaron con distintos antagonistas como lo fueron: B*acillus thuringensis, Bacillus polymyxa, Bacillus subtilis, Pseudomonas aureofaciens, Pseudomonas maltophilia* y *Streptomyces noursei*, con el fin de controlar al principal patógeno de litchi en Asia (*Peronophythora litchi*), obteniendo que *Bacillus subtilis* mostró el mejor control, manteniendo el fruto durante 30 días a 5°C en términos comestibles.

Por otro lado, McLauchlan *et al.* (1992), irradiaron los frutos de litchi a 0, 75 y 300 Gy reduciendo la incidencia de la enfermedad causada por *Colletotrichum* sp., concluyendo que la irradacion gamma puede ser usada a 75 y 300 Gy con propósitos de desinfección ya que no muestra efectos adversos en la calidad del fruto.

El dióxido de azufre utilizado en algunos lugares como prevención del obscurecimiento del pericarpio de las litchis también tiene efecto fungicida (Goodman y Markakis, 1965, Holcroft y Mitcham, 1996); sin embargo, este tratamiento puede dejar al fruto susceptible a ser colonizado por *Penicillium* spp. (Underhill *et al.*, 1997)

MATERIALES Y MÉTODOS

<u>Diagrama de la Metologia Seguida en este Experimento</u>

Cosecha

↓

Aplicación de tratamientos químicos

↓

Empaque (Caja, bolsa papel y platico)

↓

Evaluaciones 2°C (Color y Pérdida de peso)

↓

Evaluaciones 20°C (Pérdida de peso y respiración)

↓

Incidencia de Fitopatógenos

↓

Aislar, Purificar, Identificar Microorganismos

↓

Evaluaciones *in vitro* (Tratamientos Químicos/fitopatógenos)

Cosecha

La cosecha de la litchi cv. Brewster se realizó de manera manual en el huerto comercial de un agricultor cooperante ubicado en el municipio de Eldorado, Sinaloa y posteriormente trasladados al laboratorio de fitopatología del CIAD, AC. Unidad Culiacán. Los frutos se homogenizaron considerando tamaño, color y ausencia de enfermedades; los cuales fueron separados es seis lotes de 225 frutos cada uno.

Tratamientos Químicos y Biológico

Bióxido de Azufre (SO_2)

Se utilizó SO_2 a una concentración de 1g de azufre por cada 5 kg de muestra. Los frutos fueron colocados en jabas y tapados con una lona. Enseguida se colocó la cantidad de azufre a utilizar en un plato que se puso debajo de la lona, posteriormente el azufre fue encendido y quemado, y finalmente se selló la parte inferior de la lona para evitar la fuga del bióxido de azufre. En esta iúltima fase el fruto permaneció por 40 minutos.

Captan 480®

Se utilizo Captan 480® a una concentración de 3 ml por cada litro de agua. Los frutos fueron sumergidos en esta solución durante 2 min., y posteriormente se colocaron en papel dextrosa para eliminar el exceso de solución.

Cuaternario de Amonio

Se aplico Quatz IV® al 8% a una concentración de 320 ppm de producto activo por litro de agua. Los frutos fueron inmersos en esta solución durante 2 min, eliminando el exceso de solución.

Bióxido de Azufre- Ácido Cítrico- Captan 480®

Los tratamientos de SO_2 y Captan 480® se utilizaron como se indicó anteriormente. Para el ácido cítrico se utilizó una solución al 15% en agua mas Captan 480®. Los frutos fueron inmersos en esta solución durante 2 min y posteriormente se eliminó el exceso de solución como en los tratamientos anteriores.

Bacillus stearothermophilus

Se preparo una solución con 10 mL de *Bacillus* (1.2×10^{11} ufc/mL) en 5 litros de agua. Los frutos fueron inmersos en esta solución durante de 2 min., y posteriormente secados como en tratamientos anteriores.

Testigo

Los frutos fueron sumergidos en agua destilada durante dos minutos y secados como en los tratamientos anteriores.

Empacado

Después de aplicar los seis tratamientos, los frutos fueron empacados utilizando tres distintos materiales: bolsa de papel de dextrosa, Morisan® No. 8 con una area de ventilación de 470.4 mm^2 distribuida en la superficie de la bolsa por 24 hoyos de 7 mm de diemetro cada uno, bolsa de polietileno baja densidad, calibre 75 de 25 x 35cm con un área de ventilación de 784 mm^2 distribuida en la superficie de la bolsa por 24 orificios de 7 mm de diemetro cada uno y caja de polipropileno Platusa®. De los 225 frutos que se utilizaron por tratamiento, se tomaron 75 frutos para cada tipo de empaque. La muestra se subdividió en 5 repeticiones con 15 frutos en cada una de ellas.

Almacenamiento. Los frutos fueron colocados a 2°C durante siete días simulando condiciones de almacenamiento y transporte. Posteriormente, fueron transferidos a 20°C y una humedad relativa del 90% durante seis días, con el fin de simular condiciones de mercadeo.

Evaluaciones en Temperatura de Almacenamiento a 2°C

Pérdida de Peso

Para la determinación de este parámetro, se tomaron 15 frutos por empaque (caja de polipropileno, bolsa de polietileno, bolsa de papel) dando un total de 45 frutos por tratamiento químico y biológico, el peso de los frutos se registró en una balanza digital Mettler toledo PR802

Los resultados se reportaron en porcentajes de pérdida de peso según Díaz-Pérez (1998), mediante la siguiente formula:

% de pérdida de peso = [(Pi – Pd)/Pi]X 100

Donde:

Pi = Peso inicial de los frutos

Pd = Peso del día de muestreo

Color

La medición del color se realizó a diario en 15 frutos por empaque que corresponden a 45 por tratamiento. Se tomaron lecturas en dos secciones del fruto, uno cercano al pedúnculo y el otro al ápice del fruto.

Se utilizó un colorímetro Minolta CR-300, así como el disco de color publicado (Figura 3) en el manual de operación del mismo para la interpretación. Se analizaron las variables de luminosidad (L), color a y b, reportando luminosidad (L) y ángulo de matiz (°Hue), donde la luminosidad se expresa de 0 a 100, que representa lo luminoso de un color, la cromaticidad con valores de 0 a 60 que indica la saturación o pureza del color y ángulo de matiz (°Hue) o color verdadero se representa de 0 a 360 ° (0 - 360° = rojo, 90° = amarillo, 180° = verde y 270° = azúl) el cual se calcula como °Hue= arc tg b/a (McGuire, 1992).

Evaluaciones en Condiciones de Mercadeo 20°C

Pérdida de Peso y Color

En esta etapa las mediciones de pérdida de peso y color, se realizaron de la misma manera antes señalada solo que a 20°C, las mediciones fueron realizadas a los mismos frutos de cada tratamiento y se mantuvieron bajo condiciones de mercadeo hasta la aparición de microorganismos fitopatógenos.

Respiración

Para medir la producción de bióxido de carbono se realizó siguiendo la técnica reportada por Báez *et al.* (1997). Para ello, se utilizó un cromatógrafo de gases Varian 3300, adaptado con dos detectores conectados en serie, uno de conductividad térmica para medir el CO_2 y otro de ionización de flama para cuantificar el etileno. Los tiempos de retención fueron 1.1 minutos para CO_2.

Para llevar acabo este experimento, se colocaron 15 frutos de litchi en un frasco de 3.7 L de capacidad. Un frasco por cada empaque de cada tratamiento (químico, biológico y testigo), a temperatura de 20°C. Cada frasco estaba equipado con mangueras para entrada y salida de aire con flujo constante y conectados a un tren de respiración. Se tomaron muestras de aire de la manguera de salida con una jeringa hipodérmica de 1 mL y se inyectaron al cromatógrafo de gases.

Los resultados se obtuvieron cuantificando el área bajo la curva de los picos de interés y comparándolas con curvas de calibración de estándares conocidos. El resultado se reportó como mL CO_2/Kg-h considerando el peso inicial de los frutos y la velocidad del flujo del aire. Como estandar de CO_2 se utilizó bióxido de carbono al 0.52% (AGA®)

Incidencia de Fitopatógenos

Se evaluó la presencia de microorganismos fitopatógenos en cada uno de los tratamientos; así como, se realizó el aislamiento y purificación de cada uno de ellos. Los patógenos aislados fueron identificados en base a su morfología, utilizando como apoyo las claves de Barnett y Hunter (1998). Para levaduras se utilizó un sistema de identificación API 20 C AUX, en donde la identificación es a base de un catálogo analítico donde se codifica el conjunto de las reacciones obtenidas en un perfil numérico.

Bioensayo

Una vez identificados los microorganismos fitopatógenos, se realizaron estudios de efectividad biológica "*in vitro*", que consistieron en someter a cada uno de los microorganismos identificados en diferentes tratamientos químicos y el biológico, preparados de igual forma que el utilizado en los frutos de litchi.

Preparación del Medio de Cultivo

Se preparó papa dextrosa agar (PDA) como medio de cultivo para el testigo, y a este mismo medio se le agregaran las concentraciones de los químicos antes indicadas. Para cada tratamiento se realizaron 5 cajas petri, considerando cada una de ella como una réplica.

Siembra y Medición

Se tomaron discos de 5 mm de diámetro del microorganismo a evaluar, previamente purificado. Un disco fue colocado en el centro de cada una de las cajas petri con su respectivo tratamiento y se almaceno a 28 °C. Posteriormente, se midió cada 24 horas el crecimiento micelial hasta el momento que el testigo lleno la caja petri esto siguiendo la metodología de French y Herbet (1980).

Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico de la pérdida de peso se utilizó un diseño de tres factores con efectos fijos, donde los factores fueron el tiempo, tratamiento y empaque, con arreglo factorial de 4*6*3. Para el análisis del porcentaje de inhibición micelial se utilizó un diseño de dos factores con medidas repetidas en el tiempo por cada microorganismo analizado, donde los factores fueron el tiempo en días y tratamiento, con un arreglo factorial 8*6. El efecto de los tratamientos se determinó mediante un análisis de varianza, utilizando el paquete estadístico Minitab 14.0 (Minitab, 2004). En caso de encontrar diferencias significativas en el ANOVA se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey $p < 0.05$ Estas diferencias son representadas por letras del alfabeto, donde las medias que no tienen diferencias entre ellas se les coloca en una misma letra, las medias de las interacciones se acomodan de manera descendente y la letra (a) se le asignó a la media mayor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los resultados obtenidos en este estudio, se describe el comportamiento de frutos de litchi bajo el efecto de los tratamientos a base bióxido de azufre (SO_2), captan 480®, cuaternario de amonio, ácido cítrico, bióxido de azufre - ácido cítrico- captan 480® y un biocontrolador (*Bacillus stearothermophilus)* en combinación de tres diferentes empaques (caja de polipropileno, bolsa de polietileno y bolsas de papel) a 2 temperaturas (2 y 20°C). En estos tratamientos se determinó la fisiología del fruto (tasa respiratoria) y análisis físicos (pérdida de peso, color del pericarpio), así como el efecto de los mismos tratamientos (químicos y biológico) *in vitro,* sobre los microorganismos patógenos del fruto de litchi

Análisis Físicos

Pérdida de Peso

Los resultados obtenidos para pérdida de peso a 2°C (Cuadro 2) y a 20°C (Cuadro 3) muestran diferencias significativas en las interacciones dobles ($p \leq 0.05$) empaque*tiempo, tratamiento*tiempo y tratamiento*empaque, no así para la interacción triple (tratamiento*empaque*tiempo) ($p > 0.05$) tal como se indica en el ANOVA del Cuadro 1 y 2 de los anexos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los resultados obtenidos en este estudio, se describe el comportamiento de frutos de litchi bajo el efecto de los tratamientos a base bióxido de azufre (SO_2), captan 480®, cuaternario de amonio, ácido cítrico, bióxido de azufre - ácido cítrico- captan 480® y un biocontrolador (*Bacillus stearothermophilus)* en combinación de tres diferentes empaques (caja de polipropileno, bolsa de polietileno y bolsas de papel) a 2 temperaturas (2 y 20°C). En estos tratamientos se determinó la fisiología del fruto (tasa respiratoria) y análisis físicos (pérdida de peso, color del pericarpio), así como el efecto de los mismos tratamientos (químicos y biológico) *in vitro,* sobre los microorganismos patógenos del fruto de litchi

Análisis Físicos

Pérdida de Peso

Los resultados obtenidos para pérdida de peso a 2°C (Cuadro 2) y a 20°C (Cuadro 3) muestran diferencias significativas en las interacciones dobles ($p \leq 0.05$) empaque*tiempo, tratamiento*tiempo y tratamiento*empaque, no así para la interacción triple (tratamiento*empaque*tiempo) ($p > 0.05$) tal como se indica en el ANOVA del Cuadro 1 y 2 de los anexos.

Cuadro 2. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de litchi almacenados a 2°C durante 7 días.

Tratamiento	Empaque	% Pérdida de peso (2°C)
Testigo	Caja polipropileno	2.77bcd*
	Bolsa de papel	5.37a
	Bolsa de plástico	1.37e
Bióxido de azufre	Caja polipropileno	3.80b
	Bolsa de papel	5.75a
	Bolsa de plástico	1.95e
Captan 480®	Caja polipropileno	3.63b
	Bolsa de papel	6.34a
	Bolsa de plástico	2.60cd
Bióxido de azufre – captan 480® - ác. cítrico	Caja polipropileno	3.26bc
	Bolsa de papel	6.25a
	Bolsa de plástico	2.13e
Cuaternario de amonio (Quatz IV)	Caja polipropileno	3.26bc
	Bolsa de papel	6.34a
	Bolsa de plástico	2.53cde
Biológico (*Bacillus stearothermophilus*)	Caja polipropileno	4.07b
	Bolsa de papel	5.38a
	Bolsa de plástico	2.53cde

* Misma letra indica que no hay diferencia significativa ($p>0.05$)

Cuadro 3. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de litchi almacenados a 20°C durante 4 días.

Tratamiento	Empaque	% Pérdida de peso (20°C)
Testigo	Caja polipropileno	2.54bc*
	Bolsa de papel	4.45a
	Bolsa de plástico	1.97c
Bióxido de azufre	Caja polipropileno	2.31c
	Bolsa de papel	3.97ab
	Bolsa de plástico	1.90c
Captan 480®	Caja polipropileno	1.92c
	Bolsa de papel	3.05abc
	Bolsa de plástico	1.59c
Bióxido de azufre - captan 480®- ác. cítrico	Caja polipropileno	3.00bc
	Bolsa de papel	4.39ab
	Bolsa de plástico	2.04c
Cuaternario de amonio (Quatz IV)	Caja polipropileno	2.81bc
	Bolsa de papel	4.07ab
	Bolsa de plástico	2.22c
Biológico (*Bacillus stearothermophilus*)	Caja polipropileno	2.33bc
	Bolsa de papel	3.77ab
	Bolsa de plástico	2.27c

* Misma letra indica que no hay diferencia significativa ($p>0.05$)

En los Cuadros 2 y 3 se muestran las diferencias estadísticas entre las medias de las interacciones tratamiento*empaque, obtenidos de la prueba de Tukey.

En este estudio la pérdida de peso promedio en los frutos de litchi almacenados a 2°C a los 7 días después del tratamiento es menor en los frutos que fueron empacados en bolsas de polietileno, en este tipo de empaque la pérdida de peso se encuentra en un rango de 1.37-2.59%. No obstante, es importante señalar que en bolsas de polietileno, la menor pérdida se obtuvo en el testigo con un valor de 1.37%, seguida por el tratamiento de bióxido de azufre con 1.95%.

Entre los tratamientos de bióxido de azufre, testigo y el tratamiento triple de bióxido de azufre-captan 480®-ácido cítrico, no existió diferencia estadística significativa, sin embargo, en este último tratamiento la pérdida de peso fue mayor. En estas condiciones de almacenamiento (2°C), los tratamientos en bolsa de polietileno mas cuaternario de amonio, biológico y captan480® fueron los que presentaron la mayor pérdida de peso (Cuadro 2).

La pérdida de peso en los frutos empacados en caja de polipropileno fluctuó en un rango de 2.77-4.07%. De nuevo, el tratamiento testigo empacado en caja de polipropileno fue donde se presentó la menor pérdida de peso (2.77%), seguida por el tratamiento triple (bióxido de azufre-ácido cítrico-captan 480®) y cuaternario de amonio con 3.26%. En este tipo de empaque, el tratamiento en el que los frutos perdieron más peso fue en el

biológico, en el cual la diferencia en relación al testigo fue de 1.37% mas de pérdida de peso (Cuadro 2).

También, es importante señalar que entre el empaque en bolsa de polietileno y la caja de polipropileno se presenta una marcada pérdida de peso, la cual en el tratamiento testigo fue el que menos peso perdió, se observa un 100% mas de pérdida en los frutos empacados en las cajas de polipropileno que en los empacados en bolsa. Un comportamiento de mayor pérdida de peso se observó en las cajas de polipropileno en comparación con las bolsas de polietileno en los demás tratamientos.

Los frutos empacados en bolsas de papel presentaron una pérdida de peso que fluctuó entre un 5.37% a 6.34%. En este caso, los frutos del tratamiento testigo fueron los que registraron la menor pérdida de peso (Cuadro 2) y los frutos tratados con captan 480® y cuaternario de amonio fueron los que mas peso perdieron (6.34%). Estos resultados nos indican la magnitud de pérdida económica por este factor. En este caso, para los productores de litchi cuando la fruta es empacada en cajas de cartón, este puede absorber la humedad de los frutos, y con ello, causar cuantiosas pérdidas (de 100-200%) en comparación con la utilización de bolsas de polietileno.

Esta diferencia pudo deberse a que los empaques con material de polietileno y polipropileno, mantienen a los frutos en una atmósfera de alta humedad relativa dentro del mismo, evitando así la excesiva deshidratación del fruto, lo cual no se observó en los

empacados en bolsas de papel ya que este material absorbe la humedad, manteniendo una deshidratación constante del producto. De esta forma, se puede observar que la diferencia en la pérdida de peso depende del material en que están empacados los frutos y no tanto por el tratamiento al que hayan sido sometidos (Figura 1a).

Wara *et a.*, (1990), reportan que el almacenar frutos a 5°C durante 7 días sin protección, se pierde un 8% de peso, mientras que la utilización de bolsas de polietileno y caja de polipropileno se puede reducir en más del 100% esta pérdida. Por otro lado, lo resultados obtenidos en este estudio en los frutos empacados con bolsas de polietileno difieren un 50% menos con los obtenidos por Sánchez (1998), quien reporta una pérdida de peso de 5% en frutos almacenados a las mismas condiciones.

Después del almacenamiento de los frutos a 2 °C durante 7 días, estos fueron transferidos a 20°C durante 4 días (Cuadro 3). En estas condiciones se observó que la pérdida de peso en las interacciones se minimizó (Figura 1b). Sin embargo, en los frutos empacados en bolsas de papel la pérdida de peso fue mayor, presentándose en un rango de 3.05-4.5% en condiciones de 20°C y el empaque de bolsa de papel, los frutos que perdieron menor peso fueron los correspondientes al tratamiento con captan 480® (3.05%), en contraste, a los frutos testigo donde se observó la mayor pérdida con 4.45%.

Es importante señalar que en el tratamiento triple (bióxido de azufre-captan 480®-ácido cítrico) fue la que más peso perdió (4.39%); sin embargo, estos frutos fueron los mas

sanos y de mejor calidad visual comparados con el resto de los tratamientos. En general, al conjuntar la pérdida de peso de las dos diferentes condiciones de almacenamiento, en las bolsas de papel la pérdida de peso de los frutos, en los diferentes tratamientos fue de 9.15 a 10.64%, lo cual da una idea de la magnitud de pérdidas económicas que el empaque de cartón o papel puede inducir en tan solo 11 días después de la cosecha.

En las cajas de polipropileno (Cuadro 3) los frutos de los diferentes tratamientos presentaron una pérdida de peso en un rango de 1.92 a 3.0%, en este caso el tratamiento triple fue el que presentó la mayor pérdida de peso (3.0%) y el tratamiento de captan480® fue el que menor pérdida presentó.

En condiciones de 20°C, de nuevo en las bolsas de polietileno de los diferentes tratamientos perdieron menor peso con un rango de 1.59 a 2.27% (Cuadro 3). La menor pérdida de peso se observó en el tratamiento con captan 480® (1.59%) y la mayor en el tratamiento biológico (2.27%). En el tratamiento triple (bioxidote azufre- ácido cítrico-captan 480®), la pérdida de peso fue de un 2.04%. La pérdida de peso acumulada en el empaque de plástico fue menor en el tratamiento testigo con 3.34%, en el tratamiento triple fue de 4.17% y la máxima pérdida de peso se presentó en el tratamiento biológico con 4.8%.

En el tratamiento con bióxido de azufre-ácido cítrico-captan 480®, que es que es el que mantuvo la calidad total del fruto durante más tiempo, la diferencia total en pérdida de peso fue de 10.64% en bolsa de papel, 6.26% en caja de propileno y 4.17% en bolsa de polietileno, esto nos indica que las bolsas de polietileno puede ayudar a conservar hasta 60 kilos mas de fruta por cada tonelada, en comparación con el empaque de papel y más de 20 kilos por tonelada en relación a la caja de polipropileno.

Jiang y Fu (1999), almacenaron frutos de litchi sin empaque durante 3 días a 20°C en humedad relativa mayor al 90% obteniendo una pérdida de peso de 19%, por lo que colocar los frutos de litchi en cualquiera de los distintos empaques reduce 4 veces mas el porcentaje de pérdida de peso que si estuvieran almacenados directamente como se cosechan.

Los resultados de pérdida de peso de los frutos en las dos temperaturas, al décimo primer día de almacenamiento (Cuadro 4) representada gráficamente en la Figura 2. Se puede observar como los frutos que fueron empacados en bolsas de papel tuvieron mayor pérdida de peso durante el almacenamiento en las dos temperaturas. Siendo los frutos tratados con el producto químico cuaternario de amonio en bolsa de papel los que presentaron mayor pérdida de peso con un 11.33% y los frutos tratados con el producto biológico empacados en el mismo material los que menos perdieron 9.42%, encontrando en esa diferencia de 1.91% los frutos expuestos con los demás tratamientos y empacados con bolsa de papel.

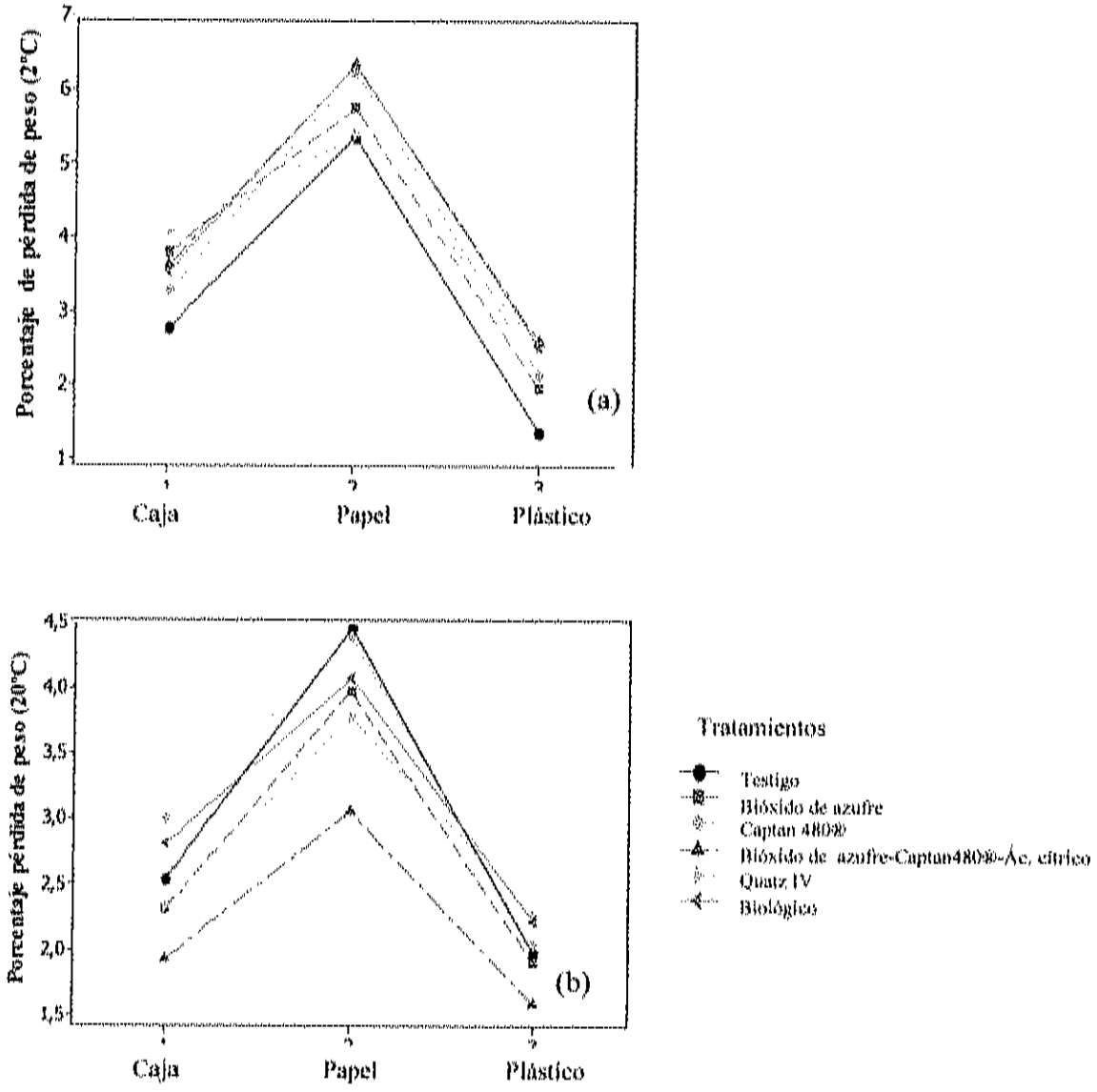


Figura 1. Porcentaje de pérdida de peso en la interacción tratamiento*empaque de los frutos almacenados a 2°C (a) - 20°C (b).

almacenados a 17°C durante 15 días, sólo que las bolsas de polietileno estaban selladas completamente, e indican que por dicho motivo tuvieron una excesiva condensación de agua, lo que propició condiciones adecuadas para la aparición de enfermedades fúngicas. Para evitar la condensación de agua y rápida presencia de patógenos, se recomienda perforar las bolsas de polietileno (Singh, 1957) como se realizó en este estudio.

El empacado de la fruta en bolsa de papel representó un porcentaje de pérdida de peso promedio de 10.52% sin importar el tratamiento aplicado (químico o biológico), en cajas de polipropileno se registró un porcentaje de pérdida de peso de 6.45% y en bolsas de polietileno se registró 4.8% de pérdida de peso al día once de almacenamiento.

Para la temporada de litchi del 2005, el costo por kilo de este fruto se estableció entre los productores en 30 pesos, por lo que perder un 11% de peso por tonelada de fruto, puesto a la venta por el productor representaría una pérdida 3,300 pesos. Por otro lado, perder un 6.5% al empacar en caja de polipropileno ó un 4% en bolsas de polietileno representaría tan solo perder $1,950.00 y 1,200.00 pesos respectivamente, lo cual además de disminuir la pérdida económica ocasionada por la pérdida de peso el producto adquiere una mejor presentación que cuando se maneja a granel.

Cuadro 4. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de litchi almacenados durante 11 días (7 días a 2 °C+ 4 días a 20°C)

Tratamiento	Empaque	% Pérdida de peso total
Testigo	Caja polipropileno	5.46
	Bolsa de papel	9.82
	Bolsa de plástico	3.46
Bióxido de azufre	Caja polipropileno	6.46
	Bolsa de papel	10.43
	Bolsa de plástico	3.93
Captan®	Caja polipropileno	6.88
	Bolsa de papel	11.00
	Bolsa de plástico	6.83
Bióxido de azufre – Captan® - ác. Cítrico	Caja polipropileno	6.68
	Bolsa de papel	11.12
	Bolsa de plástico	4.24
Cuaternario de amonio (Quatz IV)	Caja polipropileno	6.74
	Bolsa de papel	11.33
	Bolsa de plástico	5.59
Biológico (*Bacillus stearothermophilus*)	Caja polipropileno	6.53
	Bolsa de papel	9.42
	Bolsa de plástico	5.12

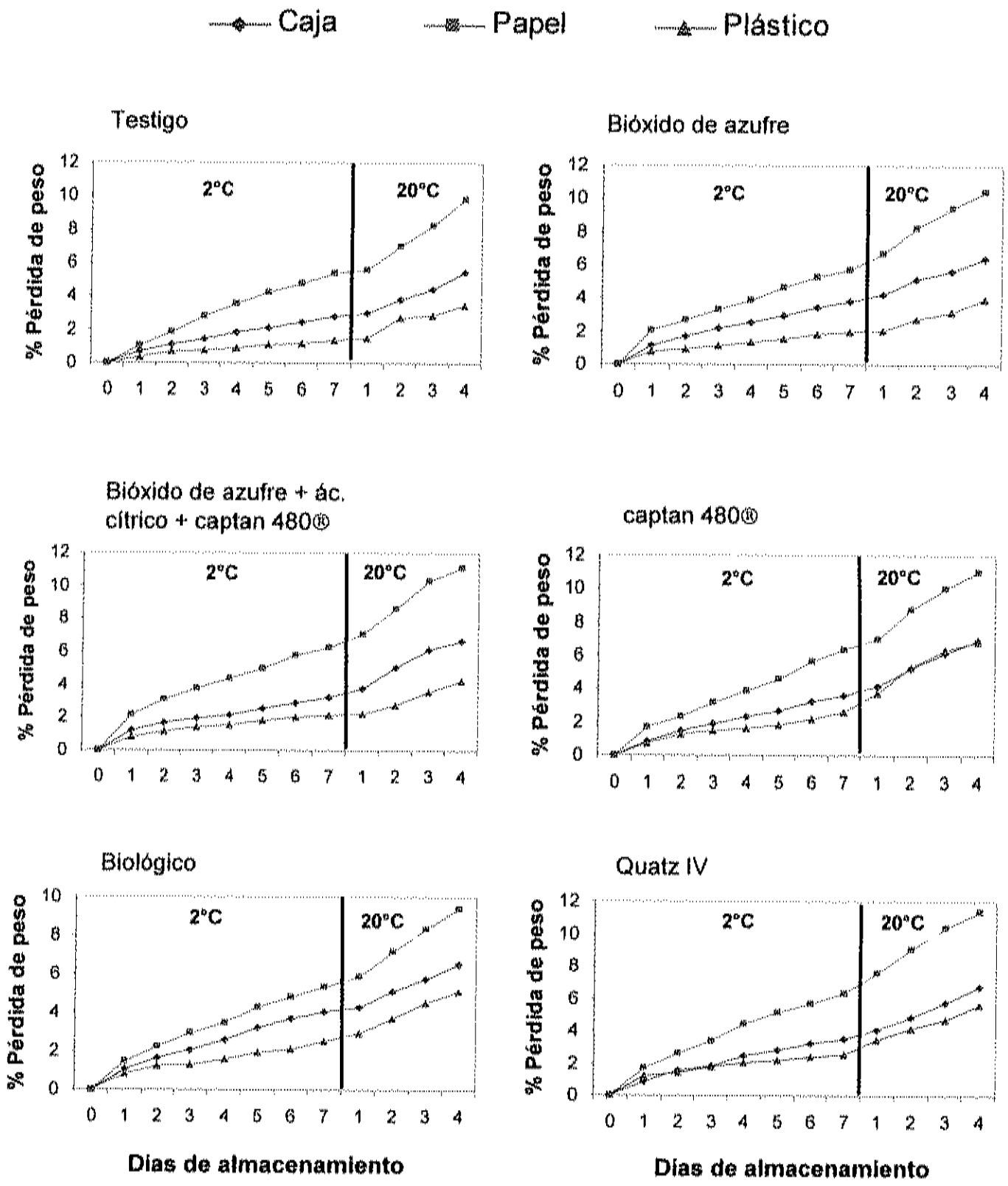


Figura 2. Relación entre porcentaje de pérdida de peso y los días de almacenamiento a 2 -20°C para cada uno de los tratamientos y empaques utilizados.

Color en el Pericarpio de Fruto de Litchi

En el ANOVA del Cuadro 3, 4, 5 y 6 de los anexos, se muestra el análisis de varianza realizado en ángulo de matiz (°Hue), luminosidad "L", "a" y "b" respectivamente, en ellos se puede observar que la interacción triple (tratamiento*empaque*tiempo) no es estadísticamente significativa ($p>0.05$), no así en los factores principales ni en las interacciones dobles (empaque*tiempo), (tratamiento*tiempo) y (tratamiento*empaque) ($p\leq0.05$).

En el Cuadro 5 , se presentan los resultados de color del día inicial del experimento en L, "a", "b" y °Hue, para cada uno de los tratamientos y el testigo, donde se observa que los frutos a los que se les aplicó captan 480®, cuaternario de amonio, *Bacillus stearothermophilus*, no mostraron efecto en la variación del color al momento de aplicar los tratamientos, con respecto al testigo.

Los frutos testigo y los sometidos al captan 480®, cuaternario de amonio, *Bacillus stearothermophilus*, mantuvieron valores promedio de °Hue= 28, un 33 de valor "a" y 18 de "b" y luminosidad de 35, lo que corresponde a un fruto con color rojo y opaco, según la ubicación de las variables en el circulo de color de la Figura 3.

En la figura 3, los puntos de color rojo representan el comportamiento de los fruto testigo, donde se muestra que al inicio del experimento los frutos ya presentaban un rojo brillante característico de la litchi a aun color rojo opaco o marrón.

Cuadro 5. Datos de color de L, "a", "b" y °Hue para el día inicial en la cáscara de la litchi

Tratamiento	Empaque	L	"a"	"b"	°Hue
Testigo	Caja polipropileno	35.5c	36.4a	19.3b	27.9b
	Bolsa de papel	36.1c	36.4a	19.4b	28.0b
	Bolsa de plástico	36.3c	36.9a	20.3b	28.8b
Bióxido de azufre	Caja polipropileno	58.7a	17.7c	28.9a	59.1a
	Bolsa de papel	55.1ab	20.5c	27.9a	54.2a
	Bolsa de plástico	56.6ab	21.0c	27.0a	53.0a
Captan 480®	Caja polipropileno	37.4c	33.1ab	18.7b	29.4b
	Bolsa de papel	37.3c	32.3b	18.1b	29.1b
	Bolsa de plástico	38.0c	33.1ab	18.6b	29.2b
Bióxido de azufre – captan 480®- ác. cítrico	Caja polipropileno	58.4a	18.7c	28.8a	57.6a
	Bolsa de papel	58.7a	19.2c	27.9a	56.0a
	Bolsa de plástico	53.6b	24.1c	26.0a	47.8a
Cuaternario de amonio (Quatz IV)	Caja polipropileno	35.3c	32.6b	18.8b	30.1b
	Bolsa de papel	35.6c	31.1b	18.7b	31.1b
	Bolsa de plástico	35.0c	30.9b	18.2b	30.7b
(*Bacillus stearothermophilus*)	Caja polipropileno	34.7c	34.0ab	18.1b	28.0b
	Bolsa de papel	34.9c	33.0ab	18.2b	29.0b
	Bolsa de plástico	34.6c	33.5ab	17.5b	27.8b

El punto verde en el círculo de color representa los frutos tratados con captan 48000, cuaternario de amonio y el producto biológico, que al inicio del experimento mostraban un rojo poco mas oscuro que el testigo y que al día once de almacenamiento estos frutos mostraban un color marrón que caen en el área del segundo punto del testigo

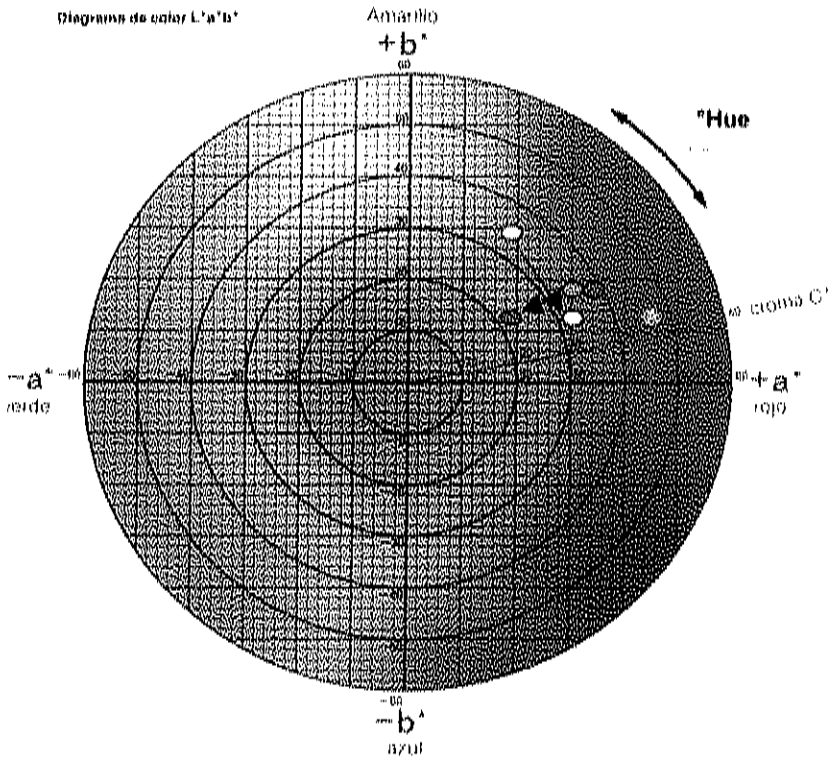


Figura 3. Círculo de color

Por otro lado, los frutos tratados con bióxido de azufre y la interacción bióxido de azufre-ácido cítrico-captan 480® tienen un comportamiento similar entre ellos, ya que no hay una variación de color en su pericarpio. Estos frutos en comparación al testigo, captan 480®, cuaternario de amonio, *Bacillus stearothermophilus* muestran valores más bajos de "a" y más altos para L, "b" y °Hue, valores promedio que van de 20, 57, 18 y 55, respectivamente, al inicio del experimento, estos frutos no muestran el color rojo brillante característico de la litchi. Esto es debido a que estos tratamientos causan un blanqueamiento del pericarpio por la inhibición de algunas reacciones enzimáticas (Litcher *et al.*, 2000). Sin embargo, después de un tiempo el color se restableció progresivamente, por el efecto de la aplicación de ácido cítrico (Underhill *et al.*, 1992), como sucedió en este experimento.

Los resultados de color para L, "a", "b" y °Hue al octavo día, son presentados en el Cuadro 6. Representan el cambio de color por efecto de la temperatura de almacenamiento de 2°C a 20°C (mercadeo). El testigo muestra una disminución de 36 a 19 para los valores promedio de "a", de 19 a 11 para "b" y de 36 a 30 de luminosidad, así como un incremento de 28 a 32 en °Hue.

En menor medida pero al igual que en el testigo, los frutos tratados con captan 480®, cuaternario de amonio, *Bacillus stearothermophilus*, tuvieron una disminución de los valores promedio de "a", "b" y L, que van de 33 a 19, 18 a 14 y 35 a 33, respectivamente y un incremento de 30-36 en °Hue.

Cuadro 6. Datos de color de L, "a", "b" y °Hue, después de 7 días de almacenamiento a 2°C en el pericarpio de litchi

Tratamiento	Empaque	L	"a"	"b"	°Hue
Testigo	Caja polipropileno	30,59ef	19,45bc	11,61cd	31,08cd
	Bolsa de papel	28,58f	16,34cd	10,42d	32,53bc
	Bolsa de plástico	30,40ef	19,65bc	12,31cd	32,36bc
Bióxido de azufre	Caja polipropileno	44.64a	30.79a	13.88bc	24.74e
	Bolsa de papel	39.22bc	29.07a	12.68bc	24.27e
	Bolsa de plástico	42.56ab	29.27a	14.39abc	26.88de
Captan 480®	Caja polipropileno	34.40d	21.28b	14.36abc	34.39ab
	Bolsa de papel	32.71de	17.14bcd	13.01bc	37.88a
	Bolsa de plástico	34.64d	19.77b	14.51ab	36.86a
Bióxido de azufre – captan 480®- ác. cítrico	Caja polipropileno	41.23bc	29.37a	13.61bc	25.28e
	Bolsa de papel	38.10c	31.57a	13.34bc	23.48e
	Bolsa de plástico	40.91bc	31.75a	13.72abc	24.23e
Cuaternario de amonio (Quatz IV)	Caja polipropileno	34.70d	21.17b	14.99a	35.73ab
	Bolsa de papel	32.48de	14.98d	12.72bc	40.72a
	Bolsa de plástico	33.74d	20.67bc	14.59ab	35.88ab
(*Bacillus stearothermophilus*)	Caja polipropileno	32.96de	20.52bc	14.72ab	36.74ab
	Bolsa de papel	33.01de	16.48cd	14.29abc	41.25a
	Bolsa de plástico	33.79d	19.60bc	15.05a	38.57a

Este comportamiento concuerda con lo reportado por Huang y Wang (1990), que reportan una disminución de "a" y la luminosidad del fruto a través del tiempo y que los valores de "b" no muestra cambios considerables.

Por otro lado, los frutos tratados con bióxido de azufre y la interacción bióxido de azufre-ácido cítrico-captan 480®, tienen un comportamiento similar entre ellos, mostrando un incremento de 20 a 30 en "a", y una disminución en los valores de "b", L y °Hue, de 27 a 13, 57 a 40 y 56 a 25, respectivamente, dejando al fruto de litchi en un color rojo aceptable para ser comercializado. El efecto de los tratamientos sobre el comportamiento de L, "a", "b" y °Hue a través del tiempo son mostrados en la Figura 4 y 5. Es importante citar que el captan obscurece el pericarpio del fruto, restando calidad visual.

Sánchez (1998), reporta en su estudio que cuando los frutos mantienen valores de "a" mayores a 25 presentan una coloración rojo aceptable, en este estudio solo los tratamientos con bióxido de azufre y la interacción bióxido de azufre-ácido cítrico-captan 480®, lograron mantener valores de "a" por encima de 25, siendo la caja de polipropileno y las bolsas de polietileno las que dan mejor resultado en este sentido.

Al respecto, Ketsa y Leelewatana (1992), reportaron que las bolsas de polietileno retienen el color rojo aceptable en la superficie del fruto, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio, tal y como se muestra en la Figura 6 y 7.

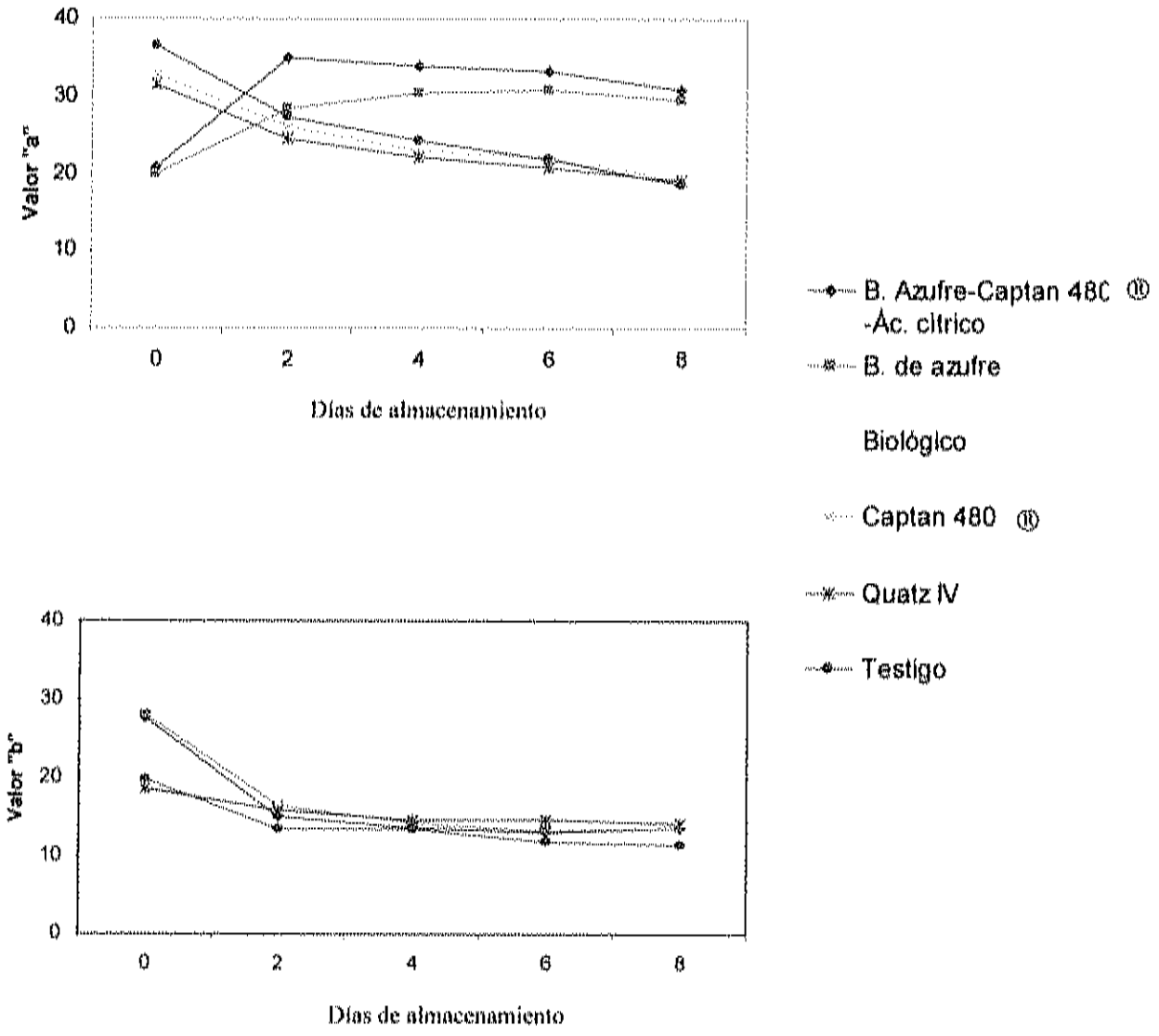


Figura 4. Interacción tratamiento-tiempo sobre el comportamiento del color en litchi de las variables "a", "b."

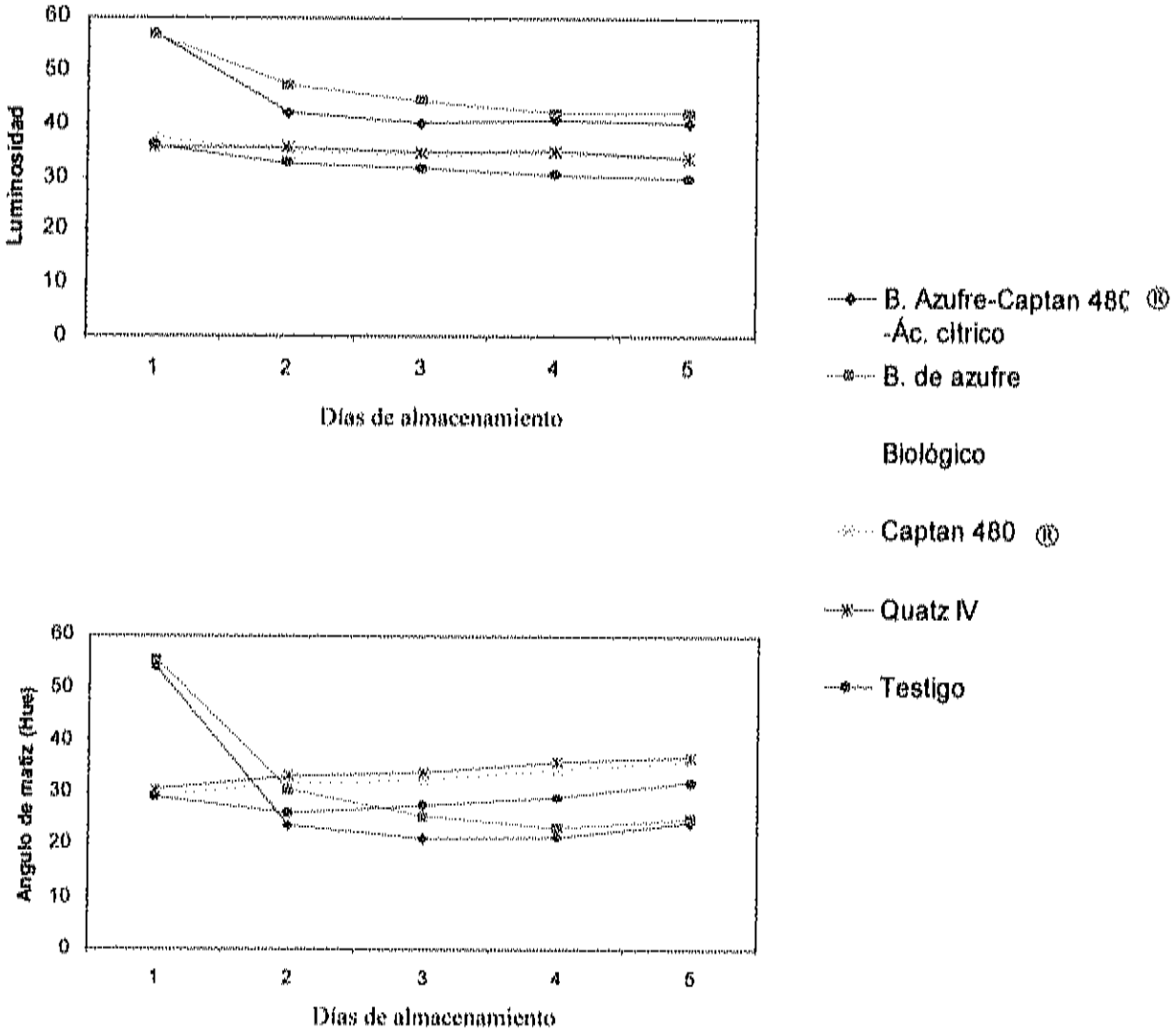


Figura 5. Interacción tratamiento-tiempo sobre el comportamiento del color en litchi de las variables de luminosidad y ángulo de matiz (°Hue) a 2°C.

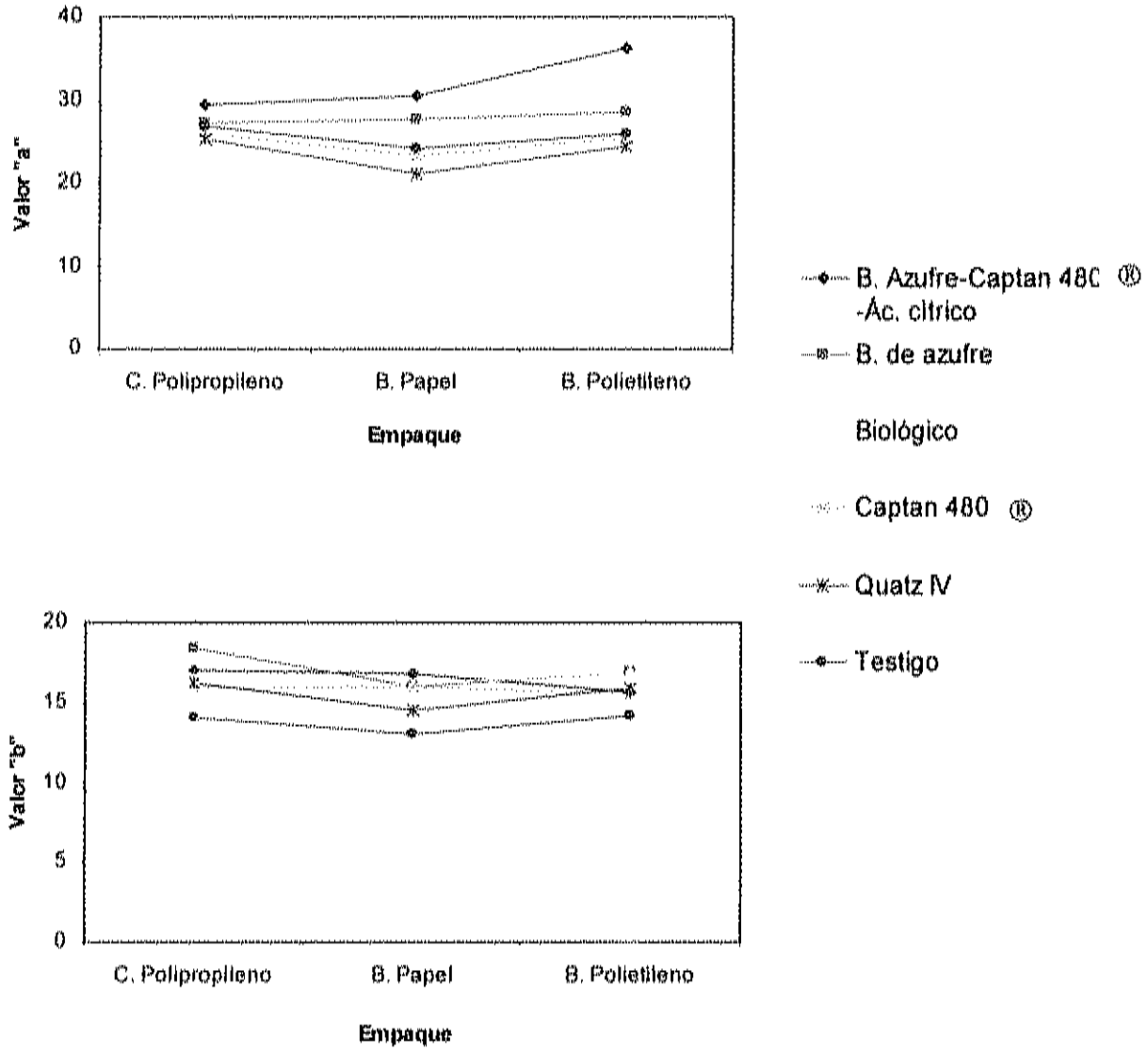


Figura 6. Interacción tratamiento-empaque sobre el comportamiento del color en litchi de las variables "a", "b" durante su almacenamiento a 2°C.

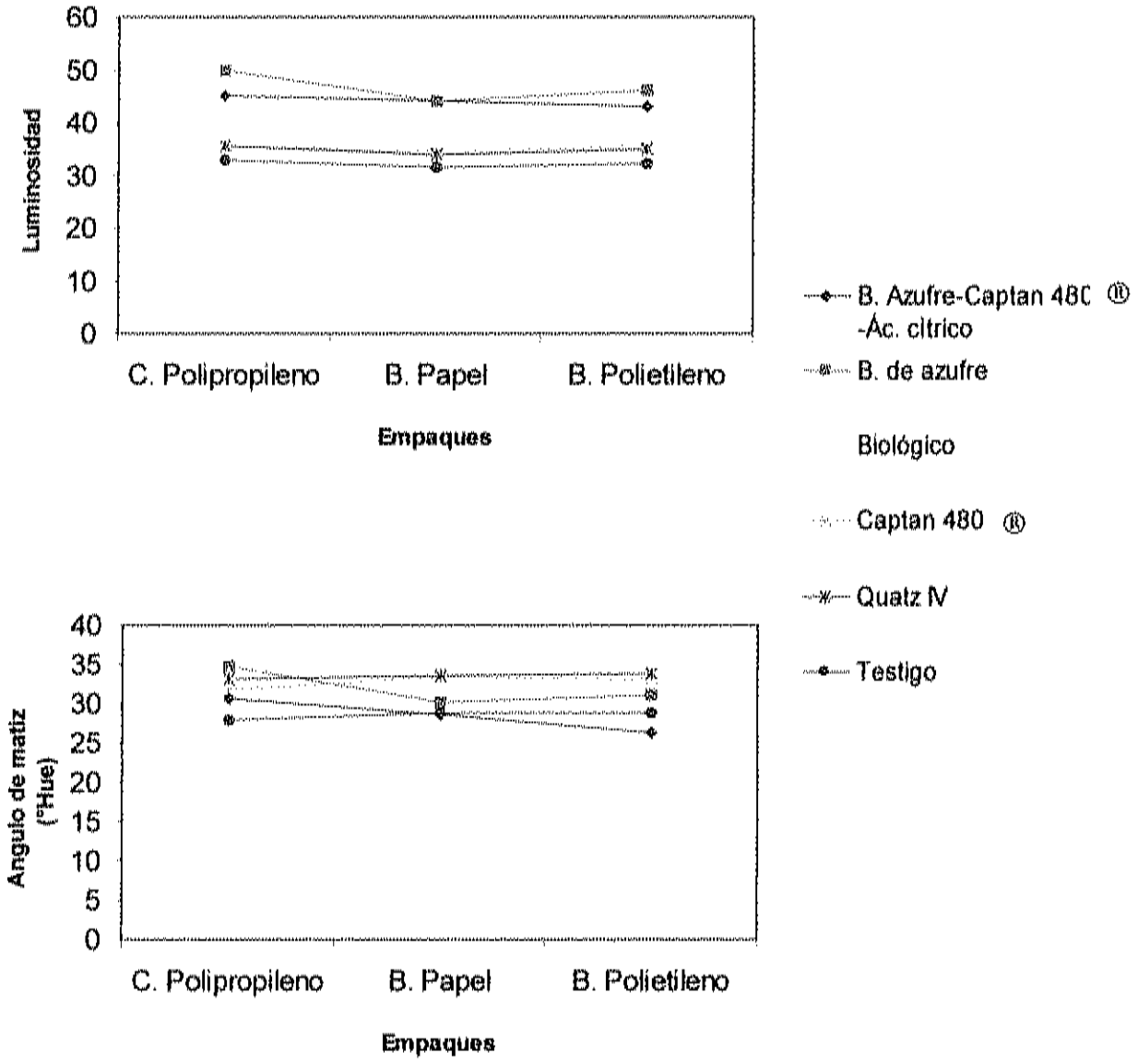


Figura 7. Interacción tratamiento-empaque sobre el comportamiento del color en litchi de las variables luminosidad y ángulo de matiz (°Hue) a 2°C.

Análisis Fisiológicos

Bióxido de Carbono (CO_2)

En el Cuadro 7 (Anexos), se encuentra el análisis de varianza de la evaluación estadística para la variable CO_2 en frutos de litchi, donde se observa que no existe diferencia significativa ($p>0.05$) en la interacción doble tratamiento*empaque. Sin embargo, los efectos principales (Figura 8) tratamiento y empaque si muestran diferencias significativas ($p\leq0.05$). En el Cuadro 7 se observa la producción de CO_2 de los frutos de litchi almacenados durante 5 días a 20°C.

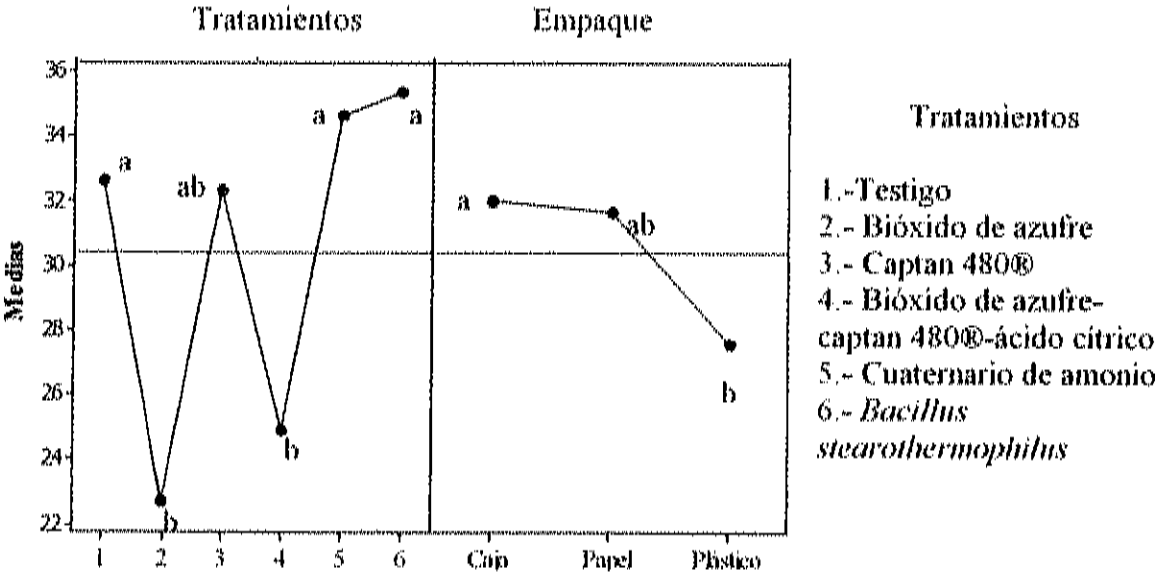


Figura 8. Medias de los efectos principales en la producción de CO_2 de frutos de litchi sometidos a diferentes tratamientos almacenados a 20°C.

Cuadro 7. Tasa respiratoria en mL CO_2/ Kg·h de los frutos de litchi a 20°C.

	Días					
Tratamiento	1	2	3	4	5	Promedios
Testigo	15	34	35	36	43.1	32.63a
Bióxido de azufre	13	24.9	24.4	25	26.9	22.82b
Captan 480®	24	27.5	33.6	30	36.6	30.34ab
Triple*	27	25.7	25.2	20	26.5	24.88b
Cuaternario de amonio	37	32.2	31.2	33	40.5	34.72a
Biológico**	36	29.4	31.7	35	45	34.42a

*Bioxido de azufre-ác. cítrico-captan 480®

** *Bacillus stearothermophilus*

En el Cuadro 7, se muestra una tasa respiratoria alta producción de CO_2 para los frutos testigo con 43.1 mL CO_2/ Kg·h, 40.5 mL CO_2/ Kg·h para el producto tratado con cuaternario de amonio y de 45 mL CO_2/ Kg·h para los expuestos a el *Bacillus stearothermophilus*, esto al quinto día de almacenamiento a 20°C. Por otro lado, los frutos tratados con bióxido de azufre, captan 480® y la combinación bióxido de azufre-ácido cítrico-captan 480® se mantuvieron dentro del rango de respiración de menos de 40 mL CO_2/ Kg·h, en este caso con valores de 26.9, 36.6 y 26.5 mL CO_2/ Kg·h, respectivamente. Paull *et al.* (2004) reportan que una tasa de respiración normal para frutos de litchi va de 25 a 40 mL CO_2/ Kg·h, por lo que el comportamiento de la producción de CO_2 para los frutos expuestos al tratamiento triple y con bióxido de azufre se mantuvo dentro de esta tasa respiratoria.

Al iniciar este análisis, se esperaba una alta producción de CO_2 para los frutos tratados *Bacillus stearothermophilus*, por ser un producto biológico; sin embargo, en este tratamiento la producción de CO_2 disminuyó para el segundo y tercer día de muestreo y se incrementó nuevamente al quinto día. Este aumento de CO_2 se debió probablemente a la presencia de fitopatógenos en el fruto.

Al igual que el producto biológico, los frutos testigo y los tratados con cuaternario de amonio en los frascos de respiración, mostraron una alta incidencia de microorganismos fitópatogenos, manteniendo un comportamiento en la tasa respiratoria estable hasta el cuarto día y después que los patógenos poscosecha se incrementaron de manera significativa también se incrementó la producción de CO_2.

Sin embargo, la tasa de respiración de los frutos expuestos al cuaternario de amonio y de los frutos testigo fueron mas altas con respecto a los frutos tratados con bióxido de azufre y bióxido de azufre-ác. cítrico y captan 480®, ya que estos tratamientos presentaron baja incidencia de infección por hongos.

El incremento de la producción CO_2 en los frutos testigo y los tratados con cuaternario de amonio y el *Bacillus stearothermophilus*, se pudiera asociar con la aparición de patógenos en los frutos de litchi, por lo que se asume que el producto testigo era producto infectado desde el inicio del muestreo y los tratamientos a base de cuaternario de amonio y el producto biológico no son aptos para prevenir la presencia y colonización de microorganismos fitopatógenos en litchi.

Incidencia de Microorganismos Fitopatógenos

Los frutos de litchi manifestaron la enfermedad al quinto día de almacenamiento a 20°C; sin embargo, el monitoreo siguió dos días más, hasta que la enfermedad se presentó en todos los frutos. La incidencia de microorganismos fitopatógenos de litchi y la severidad de las enfermedades ocasionadas, no fue la misma entre los tratamientos, ni empaques (Cuadro 8).

En este sentido Singh (1957), reporta que el utilizar bolsas de polietileno selladas permite la acumulación de humedad dentro de la misma y esto da condiciones adecuadas para el crecimiento de microorganismos fitopatógenos. Sin embargo, en este estudio la mayor presencia de enfermedades se encontró en los frutos empacados en bolsas de papel, esto debido a que cuando los frutos estuvieron almacenados a bajas temperaturas la humedad fue absorbida por la bolsa creando un ambiente óptimo de crecimiento para los microorganismos.

La combinación de bióxido de azufre- captan-ác. cítrico, fue el tratamiento químico que mejor resultado mostró, permitiendo no más de un 13 % de proliferación de microorganismos en el total de los frutos, esta eficacia puede ser atribuida a la falta de oxigeno producida al mantener al fruto durante 40 minutos en una atmósfera de SO_2 mas la utilización de un producto químico y la inmersión a una solución de bajo pH, todo

esto son condiciones adversas para la infección de microorganismos en el fruto por ello la baja incidencia y severidad en los tres tipos de empaque (Cuadro 8).

Cuadro 8. Evaluación de la severidad de enfermedades de frutos de litchi en la interacción tratamiento-empaque.

		Severidad de la enfermedad			
Tratamiento	Empaque	100%	50%	25%	0%
Testigo	Caja polipropileno	6*	4	4	1
	Bolsa de papel	11	4	0	0
	Bolsa de plástico	5	2	5	3
Bióxido de azufre	Caja polipropileno	0	0	8	7
	Bolsa de papel	0	0	5	10
	Bolsa de plástico	0	0	5	10
Captan 480®	Caja polipropileno	0	0	4	11
	Bolsa de papel	0	0	7	8
	Bolsa de plástico	0	0	3	12
Bióxido de azufre – captan 480® - ác. cítrico	Caja polipropileno	0	0	1	14
	Bolsa de papel	0	0	2	13
	Bolsa de plástico	0	0	1	14
Cuaternario de amonio (Quatz IV)	Caja polipropileno	0	3	3	9
	Bolsa de papel	4	3	3	5
	Bolsa de plástico	0	4	3	8
Biológico (*Bacillus stearothermophilus*)	Caja polipropileno	8	3	2	2
	Bolsa de papel	11	1	2	1
	Bolsa de plástico	3	5	5	2

*número de frutos de un total de 15

Seguido de la combinación de bióxido de azufre- captan-ác. cítrico, está el producto químico comercial captan 480® con 33 % de proliferación y el bióxido de azufre 40 %. Underhill *et al.* (1997), reportan el efecto fungicida del bióxido de azufre; sin embargo, este tratamiento puede dejar al fruto susceptible a ser colonizado por *Penicillium* spp.

En el caso de captan 480® es importante señalar que obscurece el pericarpio del fruto restando calidad visual. Así mismo, el tratamiento con *Bacillus stearothermophilus* mostró menor efectividad en el control del patógenos, en relación a todos los tratamientos incluyendo al testigo, como se muestra en el Cuadro 9.

Los resultados mostrados en el Cuadro 8, indican que los frutos testigo y los tratados con *Bacillus stearothermophilus* fueron en su mayoría invadidos por patógenos, además de ser frutos de baja calidad visual debido a su coloración café del pericarpio, los frutos tratados con bióxido de azufre y tratamiento triple (bióxido de azufre-captan®- ácido cítrico) terminaron el estudio en su mayoría con calidad comestibles con una coloración roja característica del fruto de litchi y baja presencia de enfermedades. Los frutos tratados con captan 480® al igual que los tratados con bióxido obtuvieron una baja presencia de enfermedad; sin embargo, mantienen una coloración obscura en su pericarpio igual al testigo, de acuerdo, a los resultados de color mostrado anteriormente en este estudio, los frutos que se les aplicó cuaternario de amonio mostraron una severidad de la enfermedad por encima del 50% y fueron frutos con baja calidad visual al presentar oxidación en toda la superficie del pericarpio.

Cuadro 9. Incidencia de microorganismos fitopatógenos *in vivo* en frutos de litchi a los 14 días de almacenamiento.

Tratamiento	Empaque	% frutos enfermos	Efectividad del tratamiento (%)
Testigo	Caja polipropileno	100	0
	Bolsa de papel	100	0
	Bolsa de plástico	100	0
Bióxido de azufre	Caja polipropileno	53	47
	Bolsa de papel	33	67
	Bolsa de plástico	33	67
Captan 480®	Caja polipropileno	26	74
	Bolsa de papel	46	54
	Bolsa de plástico	20	80
Bióxido de azufre – captan 480® - ác. citrico	Caja polipropileno	6	94
	Bolsa de papel	13	87
	Bolsa de plástico	6	94
Quatz	Caja polipropileno	40	60
	Bolsa de papel	66	34
	Bolsa de plástico	46	54
Biológico (*Bacillus stearothermophilus*)	Caja polipropileno	86	14
	Bolsa de papel	86	14
	Bolsa de plástico	93	7

Identificación y Bioensayo

En los frutos de litchi de la presente investigación se logró aislar e identificar por morfología seis hongos y dos levaduras, entre ellos:

***Penicillium* sp.**

El género *Penicillium* (Figura 9-d) es un hongo de color azul verdoso según la especie, presenta conidióforos erectos largos, septados, simples hasta su tercera parte superior, donde se ramifican una, dos o más veces, adquiriendo en conjunto al aspecto de una escoba, con fiálides (células fértiles) encargadas de producir conidios. Estos tienen forma globosa, oval o baciliforme; son equinulados y de color variable, según la especie (Alexopulos y Mims, 1985).

Fusarium oxysporum

Es un microorganismo genero-forma *fusarium* (Figura 9-e) es el mayor de la familia-forma Tuberculariáceas. Produce dos tipos de conidios, que reciben la denominación de macroconidios y microconidios, debido a sus respectivo tamaño y número de células. Ambos tipos son producidos a partir de fiálides. Los macroconidios son estructuras largas, multiseptadas, en forma de media luna o de canoa, que por lo general están ubicadas en los esporodoquios. Los microconidios son pequeños, suelen ser unicelulares y de forma esférica u ovaladas. Es también frecuente encontrar conidios que parecen intermedios entre macroconidios y microconidios (Alexopulos y Mims, 1985).

Fusarium oxysporum: Se aisló principalmente de los frutos testigo empacados en bolsas de polietileno y caja de polipropileno, así como en frutos tratados con cuaternario de amonio empacados en papel, y en los sometidos al producto biológico empacados en bolsas de polietileno.

Phomopsis vexan

Género y especie perteneciente a la clase-forma deutoromicete. Este hongo se caracterizó por picnidios pequeños y ostiolados, hundidos en el substrato, fiálides muy cortas y conidios hialinos, esféricos y ovalados (Figura 9-f), estas características concuerdan con lo señalado por Alexopulos y Mims (1985).

Colletotrichum gloesporioides

El género-forma que se encuentran con mayor frecuencia en las Melanconiales. *Colletotrichum* (Figura 9-a) produce conidios típicamente alargados, hialinos, con extremos redondeados. Los conidios, que son alargados mas estrechos en la parte central que en los estrechos, se producen a partir de fiálides. A menudo se encuentran setas oscuras, en los acervulos de *Colletotrichum*, aunque esta característica es variable, sobre todo en condiciones de cultivo (Alexopulos y Mims, 1985). Este hongo al igual que *Pestalotia* sp. fue uno de los microorganismos con mayor incidencia en los frutos aislado de los frutos tratados con bióxido de azufre empacado en papel, frutos tratados con cuaternario de amonio y empacados en bolsas de plástico y papel, así como en frutos tratados con captan y empacados en bolsas de plástico.

Underhill *et al.* (1997), reportan que *Colletotrichum* y *Phomopsis* infectan a la fruta antes de ser cosechada, sin embargo, independientemente del tiempo e infección es importante tener buenos tratamientos poscosecha que ayuden a controlar estos daños.

Alternaria alternata

Los miembros del género-forma *Alternaria* (Figura 9-b) producen conidios, denominados dictióspora. Los conidios son bastante grandes, pluricelulares, típicamente, con septos transversales y longitudinales. Los conidios se forman de una forma blástica y suelen estar dispuestos de forma acrópeta en cadenas, pero con frecuencia se forman en solitario, en el ápice de los conidióforos que son virtualmente indistinguibles de las hifas somáticas (Alexopulos y Mims, 1985).

Alternaria alternata fue el que mayor incidencia tuvo en este estudio, el cual se encontró en los frutos tratados con bióxido de azufre-ác. cítrico-captan 480® empacados en bolsa de polietileno y papel. Así como, en los tratados con bióxido azufre empacados en caja de polipropileno y bolsa de plástico, en el tratamiento biológico empacado en bolsa de papel y caja de polipropileno, en los tratados con cuaternario de amonio empacados en caja y los frutos testigo igualmente empacados en caja de polipropileno.

Scott *et al.* (1982), reportan que el bióxido de azufre o el captan son desinfectantes inefectivos en la prevención poscosecha de *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, y *Fusarium* además que después de tratar los frutos de litchi recolectados en Sydney, Australia, con benomil al 0.05% a 52°C durante 2 minutos encontró *Alternaria* spp.

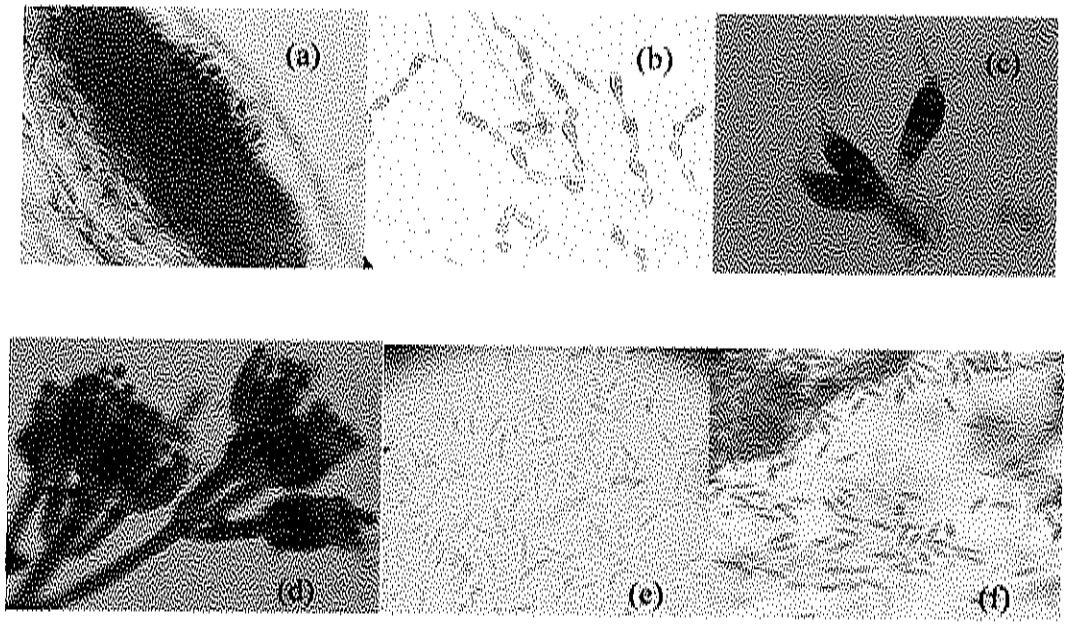


Figura 9. Esporas de *Colletotrichum* (a), *Alternaria alternata* (b), *Pestalotia* sp. (c), *Penicillium* sp. (d), *Fusarium oxysporum* (e) y *Phomopsis vexans* (f), aisladas de frutos de litchi.

***Pestalotia* sp.**

Después de *Alternaria alternata* y junto a *Colletotrichum gloesporioides* este fue el hongo con mayor importancia en este estudio. Esto debido a su incidencia en los frutos de litchi tratados con cuaternario de amonio y producto biológico ambos empacados en caja de polipropileno y en bolsas de polietileno. Este hongo genero-forma incluido en la orden-forma de los Melanconiales (Figura 9-c) presenta conidios pluricelulares obscuros, con ápices hialinos y agudos. Sobre cada espora se encuentran dos o mas apéndices apicales hialinos (Alexopulos y Mims, 1985). Así como, las levaduras identificadas con el kit comercial API 20 AUX, *Rhodotorula rubra* y *Candida Guillermondii*.

Los análisis de varianza del porcentaje de inhibición micelial *in vitro* para los hongos: *Pestalotia* sp, *Alternaria alternata, Fusarium oxysporum, Penicillium* sp. y *Colletotrichum gloesporioides* son reportados en el Cuadro 8, 9, 10, 11 y 12 respectivamente en los Anexos. Los efectos principales y la interacciones doble (tratamiento*tiempo) presentan diferencia significativa ($p \leq 0.05$), encontrando para cada uno de los hongos diferencias no significativas entre los tratamientos de bióxido con azufre, ácido cítrico y la interacción bióxido de azufre-ácido cítrico y captan 480 ®.

A nivel laboratorio en todos los bioensayos se observó una inhibición micelial del 100 % en todas las especies de hongos con los tratamientos de bióxido de azufre, ácido cítrico y la interacción bióxido de azufre-captan 480®-ácido cítrico, mientras que los tratamientos de Quatz y el captan 480®, se mantuvieron por arriba del 70 % de inhibición micelial. Estos resultados entran al porcentaje de inhibición que marca Dooley (1978), como aceptable para cualquier fungicida. Sin embargo, el captan 480® y el cuaternario de amonio obscurecen el pericarpio del fruto de litchi, con lo cual se reduce la calidad visual del mismo. Caso contrario se observó para *Bacillus stearothermophilus,* con un porcentaje de inhibición bajo (Cuadro 10), lo cual coincide con los resultados obtenidos en la evaluación de los tratamientos *in vivo*, donde el tratamiento *Bacillus stearothermophilus* obtuvo un 90 % de incidencia de enfermedad en la totalidad de los frutos tratados (Cuadro 9). Los análisis de varianza para estos microorganismos muestran diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos así como en su interacción con el tiempo.

Cuadro 10. Porcentaje de inhibición micelial de cada hongo durante el tiempo de exposición de distintos tratamientos.

Tratamiento	*Pestalotia* sp.	*Alternaria alternata*	*Fusarium oxysporum*	*Penicillium* sp.	*Colletotrichum gloeosporoides*
Testigo	42e	17.56e	26d	0d	0.89d
Bióxido de azufre	100a	100a	100a	100a	100a
Ác. Cítrico	100a	100a	100a	100a	100a
Triple	100a	100a	100a	100a	100a
Captan	77.33c	85.56c	83.78b	76.4 b	85.11b
Quatz	88.67b	88.22b	85.33b	67.33c	79.56b
Biológico	68.44d	67.11d	64.22c	0d	56.78c

Los hongos identificados en este estudio coinciden con los reportados en Underhill *et al.* (1997). En México no hay reporte poscosecha alguno de microorganismos patógenos de litchi. Sin embargo, en precosecha, *Fusarium* spp. está reportado como causante de la muerte en plantas de huertas recién establecidas, provoca la pudrición de la raíz y en algunos casos el desprendimiento de la planta desde el acodo. *Pestalotia* spp. es un hongo que causa manchas café en el fruto, inicia aproximadamente 30 días antes de la cosecha, la presencia de esta enfermedad se agudiza cuando los niveles de humedad en el suelo y en el ambiente son bajos, otro patógeno reportado es *Phomopsis* sp. el cual se caracteriza por atacar específicamente en la floración (Garza y Cruz, 2001).

CONCLUSIONES

Los patógenos identificados en los frutos de litchi en poscosecha fueron: *Pestalotia* sp, *Alternaria alternata, Fusarium oxysporum, Penicillium* sp., y *Colletotrichum gloeosporioides, Phomopsis vexans, Rhodotorula rubra* y *Candida guillermondii.*

El tratamiento a base de bióxido de azufre-ácido cítrico y captan 480®, logró un 94% de efectividad en el control de los patógenos poscosecha de frutos de litchi, sucediendo lo contrario con el tratamiento biológico (*Bacillus stearothermophilus*).

El bióxido de azufre y ácido cítrico en condiciones *in vitro* inhibieron el 100% del crecimiento micelial de todos los patógenos aislados de los frutos de litchi, lo que hace evidente que no es necesario el uso de captan 480®.

Se observó una relación entre el incremento de la actividad metabólica del fruto con la presencia de fitopatógenos.

Se redujo hasta un 50% la pérdida de peso del fruto empacado en bolsa de polietileno y caja de polipropileno.

La calidad visual de los frutos de litchi se mantuvo por mayor tiempo al usar las cajas de polipropileno para su almacenamiento.

LITERATURA CONSULTADA

Aradhya, M. K., Zee F.T., and Manshardt R.M. 1995. Isozyme variation in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). Scientia Horticulturae 64:21-35.

Alexopoulos, C.J., and Mims, W. 1985. Introducción a la Micología, Ed. Omega, S.A., Barcelona . pag. 304, 568, 570, 577, 579

Agrios, G. N. 1997; Plant Pathology, 4th Edition, Academia Press.Pag 20, 21

Bácz, M.A., Siller, J., Heredia, B., Portillo, T., Araiza, E., García R. y Muy, M. 1997. Fisiología poscosecha de frutos de chicozapote (*Achras sapota* L.) durante condiciones de mercadeo. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. Vol. 41:209-214.

Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. Journal of Food Engineering 61:471–475.

Bachmann, J., and Earles, R. 2000. Postharvest handling of fruits and vegetables. Horticulture Theenical note. www.attra.org/attra-pub/postharvest.html

Besra, S.E., Sharma, R.M., and Gomes, A. 1996. Antiflamatory effect of petroleum ether extract of leaves of *Litchi chinensis* Gartn. (Sapindaceae). Journal of Ethno Pharmacology 54:1-6

Boyette, M.D., Ritchie, D.F., Carballo, S.J., Blankenship, S. M., and Sanders, D.C. 1993. Chlorination and postharvest disease control. Hort. Technol. 3, 395-400.

Brecht, J. K., Chau K. V., Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R. Silva, F. M., Nunes, M. C. N., and Bender, R. J. 2003. Maintaining optimal atmosphere conditions for fruits and vegetables throughout the postharvest handling chain. Postharvest Biology and Technology. 27:87-/101.

Businessline, 1999. Guangdong expects record harvest of litchi this year China. Business Information Network New York:. p. 1

Campbell, C. W. 1959. Storage behavior of fresh brewster and bengal lychees. Florida State Horticultural Society. 72: 356-360.

Chan, H.Y., Know, S.C.M., and Lee, C.W.Q. 1975. Sugar composition and invertase activity in lychee. Journal of Food Science 40: 772-774

Chyau, C.C., Ko, P.T. Cang ,C.H., and Mau, J.L. 2003. Free and glycosidically boun aroma compounds in litchee (*Litchi Chinensis* Sonn.). Food Chemestry. 80:387-392.

De Bie, C.A.J.M. 2004. The yield gap of mango in Phrao, Thailand, as investigated through comparative performance evaluation. Scientia Horticulturae. 102:37-52.

De Villiers, E.A. 2002. The cultivation of litchi. ARC-Institute for tropical and subtropical crops. South Africa. Pag 4-5.

Díaz-Pérez, J. C. 1998. Transpiration rates in eggplant fruit as a affected by fruit and calyx size. Postharvest Biology and Tecnology. 13:45-49.

Dooley, H.L. 1978. Greenhouse methodfor screening protective fungisides for apple powdery mildew. In: E.I. Zeher *et. al.* (Eds) Methods for evaluating plant fungicides, nematicides and bactericides. The American psychopathological society. St paul Minnesota 32-33 p

Dong, H., Cheng, L., Tan, J., Zheng, K., and Jiang, Y. 2003. Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. Journal of Engineering 64:355-358.

Duan, X., Jiang, Y., Su, X., Liu H., Li,Y., Zhang, Z., Zheng, Y., and Jiang W. 2004. Role of pure oxigen treatment in browning of litchi fruit after harvest. Plant Science. 167:665-668.

Einbond, L.S., Reynertson, K. A., Lu, X.D., Basile, M.J., and Kennelly, E.J. 2004. Anthocyanin antoxidants from edible fruits. Food Chemistry. 84: 23-28.

French, E.R., and Herbet, T.T. 1980. Métodos de investigación fitopatologíca. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Ed. IICA, San José Costa Rica.

Folino, K., and Mee, B. 2004. Brewster variety cultivar of lychee. www.lycheesonline.com

García, E.R.S., Cruz, O.J.E. y Allende, M.R. 1998. Enfermedades de poscosecha en hortalizas. Enfermedades de las hortalizas. Facultad de Agronomia. Primera Ed. UAS. Pag. 228-229.

García, A.F., y Fraile, A. 1995. La patología vegetal: ciencia y tecnología. Patología vegetal. 2ª Ed. Phytoma, Sociedad España de Fitopatologia. Grupo Mundi. Pag. 25-33.

Goodman, L.P., and Markis, P. 1965. Sulfur dioxide inhibition of anthocyanin degradation by phenolase. Journal of Food Since 30:135-137.

Hammerschmidt, R. 2003. Dealing whit infection: the plant respond in multiple ways. Physiological and Molecular Plant Pathology. 62:191-192.

Hammerschmidt, R. 2004[a]. Tolerance: a mechanism for survival for both host and pathogen. Physiological and molecular Plant Pathology. 64:281-282.

Hammerschmidt, R. 2004[b]. Turning a pathogenicity factor against the pathogen. Physiological and molecular Plant Pathology. 65:57-58.

Huang, H., and Xu, J. 1983. The Developmental patterns of fruit tissues and their correlative relationships in *Litchi chinensis* Sonn. Scientia Horticulturae. 19:335-345.

Huang, P.Y., and Scott, K.J. 1985. Control of rotting and browning of litchi fruit after harvest at ambient temperatures in China. Tropical Agriculture. 62 2-4.

Huang, C.C., and Wang, Y. T. 1990. Effect of storage temperature on the color and quality of litchi fruit. Acta Horticulturae. 269, 307.

Huang, X.M., Wang, H.C., Gao, F.F., and Huang, H.B. 1999. A comparative study of the pericarp of litchi cultivars susceptible and resistant to fruit cracking. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 74(3) 351-354.

Joubert, A.J., and Van, L.L.J. 1975. An investigation of pre-harvest browning of litchi peel. Phytophylactica. 7:9-14.

Jiang, Y. M., and Chen, F. 1995. A study on polyamine change and browning of fruit during cold storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) Postharvest Biology and Technology. 5: 245-250.

Jiang, Y.M., Zauberman, G., and Fuchs, Y. 1997. Partial purification and some propiertes of polyphenol oxidase extracted from litchi fruit pericarp. Postharvest Biology and Technology 10:221-228.

Jiang, Y.M., and Fu, J.R. 1999[a]. Biochemical and physiological changes involved in browning of litchi fruit caused by water loss. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 74(1):43-46.

Jiang, Y.M., and Fu, J.R. 1999[b]. Postharvest browning of litchi fruit by water loss and its prevention by controlled atmosphere storage at high relative humidity. Lebensm.-Wiss.u.-Thechnology. 32:278-283.

Jiang, Y. 2000. Role of anthocyanins, polyphenol oxidase and phenols in lichee pericarp browning. Journal of Science of Food and Agriculture. 80:305-310.

Jiang, Y.M., Zhu, X.R., and Li, Y.B. 2001. Postharvest control of litchi fruit rot by *Bacillus subtilis*. Lebensm-Wiss. u-Technol. 34: 430-436.

Jiang, Y., Li, Y., and Li, J. 2004[b]. Browning control, shelf life extension and quality maintenance of frozen litchi fruit by hydrolchloric acid. Journal of Food Engineering. 63:147-151.

Jiang, Y., Duan, X., Joyce, D., Zhang, Z., and Li, J., 2004[a]. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit. Food Chemistry. 88:443-446.

Jiang, Y., Su, X., Duan, X., Li, W., and Li, Y. 2004[c]. Anoxia treatment for delaying skin browning inhibiting disease development and maintaining the quality of litchi fruit. Food Technology Biotechnology. 42 (2)131-134.

Kays, S.J. 1999. Preharvest factors affecting appearance. Postharvest Biology and Technology. 15: 233-247.

Kader, A. A. 2001. Quality of Horticultural Products, ISHS Acta Horticulturae 517.

Kader, A.A. 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops; Third Edition; University of California Agriculture and Natural Resources, publication 3311. Pág. 129-139.

Ketsa, S., and Leelawatana, K. 1992. Effect of precooling and polyethylene film liner in corrugated boxes on quality of lychee fruits. Acta Horticulturae. 321:742-746.

Lee, H.S., and Wicker, L. 1991. Anthocyanin pigment in the skin of lychee fruit. Journal of Food Science. 56:466-468, 483.

Lemmer, D., and Kruger, F.J. 2002. Packhouse sanitation. IN: The cultivation of litchi, De Villiers E.A. (Eds). . ARC-Institute for Tropical and Subtropical Crops. South Africa. Pag. 169-170.

Litcher, A., Dvir, O., Roy, I., Akerman, M., Regev, R., Wiesblum, A., Fallik, E., Zauberman, G., and Fuch, Y. 2000. Hot water brushing: an alternative method to SO_2 fumigation for color retention of litchi fruits. Postharvest Biology and Technology. 18:235-234.

Mahajan, P.V., and Goswami, T.K. 2004. Extended storage life of litchi fruit using controlled atmosphere and low temperature. Journal of Food Processing and Preservation. 28: 388-403.

McLauchlan, R.L., Mitchell, G.E., Johnson, G.I., and Nottingham, S.M. 1992. Effects of disinfestation-dose irradiation on the physiology of Tai So lychee. Postharvest Biology and Technology. 1:273-281.

McGuire, and Raymond, G. 1992. Reporting of objetive color measurements. HortScience. 27(12):1254-1255.

Mentzel, C.M., Watson, B.J., and Simpson, D.R. 1988. The lychee in Australia. Queensland Agricultural Journal. (Jan-Feb). 19-25.

MINITAB, 2004. Statiscal software. Release number 14.1. www.minitab.com.

Nip, W.K. 1988. Handling andpreservation of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) whit emphasis on colour retention. Tropical Science. 28, 5-11.

Paull, E.R., and Chen, N.J. 1987. Effect of storage temperature and wrapping on quality characteristic of litchi fruit. Scientia Horticulturae. 33: 223-236.

Paull, R.E., Reyes, M.E.Q., and Reyes, M.U. 1995. Litchi rambutan insect disinfestations:treatments to minimize induced pericarp browning. Postharvest Biology and Technology. 6:139-148.

Paull, R.E., Reyes, M.E.Q., and Reyes, M.U. 1998. Sulfite residues on litchi fruit treated with dioxide. Postharvest Biology and Technology. 14:229-233.

Paull, R.E. 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. Postharvest Biology and Technology. 15:263-277.

Paull, E.R., Cheng, C.C., and Jung, C.N. 2004. The commercial storage of fruit (Litchi). Departament of Tropical Plant and Soil Sciences. Univ. of Hawaii at Manoa, Honolulu, HI. (www.aleb.org)

Peppelenbos, H. 2003. How to control the atmosphere?. Postharvest Biology and Technology. 27:1-2.

Pesis, E., Dvir, O., Feygenberg, O., Arie, R.B., Ackerman, M., and Litcher, A. 2002. Production of acetaldehyde and ethanol during maduration and modified atmosphere storage of litchi fruit. Postharvest Biology and Technology. 26:157-165.

Rivera- López, J., Ordorica-Falomir, C., and Wesche-Ebeling, P. 1999. Changes in anthocyanin concentration in lytchee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp during maturation. Food Chemestry. 65:195-200.

Robinson S.P., Lovelys B.R., and Chacko, E.K. 1993. Polyphenol oxidase enzymes in the sap and skin of mango fruit. Aust. J. Plant Physiology. 20: 99-107.

Saltveit, M., E. 2003. Is it possible to find an optimal controlled atmosphere?. Postharvest Biology and Technology. 27:3-13.

Salisbuury, F.B., y Ross, C.W. 1992. Respiración. En: Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. Pag. 293.

Sánchez, V.E. 1998. Calidad de frutos de litchi *(Litchi chinensis* Sonn.) empacados en bolsas de polietileno y tratados con dióxido de azufre, Tesis de Maestría, CIAD, Culiacán Sinaloa.

Sandhu, S.S., and Randhawa, J.S. 1992. Effect of post-harvest application of methyl-2-benzimidazole carbamate and in- pack fumigant on the cold storage life of litchi cultivars. Acta Horticulturae. 296:185-189.

Scott, K.J., Brown, B.I., Chaplin, G.R., Wilcox, M.E., and Bain, J.M. 1982. The control of rotting and browning of litchi fruit by hot benomyl and plastic film. Scientia Horticulturae. 16:253-262.

Schwentesius, R. R. y Gomez, C.M.A. 1997. El litchi. La fruta mas fina del mundo. 2ª Ed, Mundi prensa México, S.A de C.V.

Singh, R. 1957. Improvement of packing and storage of litchi at room temperature. Indian Journal of Horticulture. 16:253-262.

Sivakumar, D., Regnier, T., Demoz, B., and Korsten, L. 2005. Effect of diferent post-harvest treatment on overall quality retention in litchi frut during low temperatura storage. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 80 (1): 32-38.

Shewfelt, R., L. 1999. What is quality?. Postharvest Biology and Technology. 15:197–200.

Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2003. www.siap.sagarpa.gob.mx

Tandon, J.M.P., and Tandon, R.N. 1975. Rot of fruit litchi (*Litchi chinensis* Sonn) in marketing processes. Indian Phytopathology. 28: 530-531.

Terdbaramee, U., Ratanakhanokchai, K., and Kanlayanarat, S. 2003. Effect of citric acid on the control of postharvest browning of lychee fruit under cold storage. Acta Horticulturae. 628: 527-532.

Thompson, J., F., Mitchell, F., G., Rumsey, T., R., Kasmire, R., F., and Critosto, C., H. 2002. Commercial cooling of fruits vegetable and flowers. University of California. Agriculture and Natural Resources. Publication 21567.

Tian, S.P., Li, B.Q., and Xu, Y. 2005. Effect of O_2 and CO_2 concentrations on physiology and quality of litchi fruit in storage. Food Chemestry. 91:659- 663.

Underhill, S.J.R., and Wong, L.S. 1990. Amaturity standard for lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) Acta Horticulturae. 269:181-187.

Underhill, S.J.R., Bagshaw, J., Prasad, A., Zauberman, G., Ronen, R., and Fuchs, Y. 1992. The control of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) postharvest skin browning using sulphur dioxide and low pH. Acta Horticulturae. 321:732-741.

Underhill, S.J.R., and Critcheley, C. 1993. Physiological, biochemical and anatomical changes in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) perocarp during storage. Journal of Horticultural Science. 68(3): 327-335.

Underhill, S.J.R., and Critchley, C. 1993[b]. Lychee pericarp browning caused by heat injury. Hortscience. 28:721-722.

Underhill, S.J.R., Coates, L.M., and Saks, Y. 1997. Litchi In: Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits. Ed. S.K Mitra. Cap.8 pag. 191-203.

Vinci, G., Botre, F., Mele, G., and Ruggieri, G. 1995. Ascorbic acid in exotic fruit: a liquid choromatographic investigation. Food Chemistry. 53:211-214.

Wara, A.O., Sornsrivichai, J., Uthaibutra, J., and Oogari, C. 1990. Effect of seal packaging by different plastic films on storage life and quality of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) Fruit storage at three diferent temperatures. Japan J. Trop. Agr. 34 (2):68-77.

Wong, L.S., Jacobi, K.K., and Giles, J.E. 1991. The influence of benomyl dips on the appearance of cool stored lychhe (*Litchi chinensis* Sonn.). Scientia Horticulturae. 46:245-251.

Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., and Joyce, D. 1998. Postharvest An Introduction to the Physiology & Handling Of fruit, vegetables & ornamentals, 4th edition, CAB INTERNATIONAL.

Yommi, A., y Godoy, C. 2002. Arandanos. En: Fisiología y Tecnologías Poscosecha, Unidad Integrada Balcarce. Artículos de Divulgación Técnica.

Zauberman, G., Ronen, R., Akerman, M., and Duch, Y. 1990. Low pH treatment protects litchi fruit color. Acta horticulturae. 269: 309-314.

Zauberman, G., Ronen, R., Akerman, M., Weksler, A., Rot, I. and Fuchs, Y. 1991. Post-harvest retention of the red colour of litchi fruit pericarp. Scientia Horticulturae. 47:89-97.

Zhang, D., and Quantick, P.C. 1997. Effect of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. Postharvest Biology and Technology. 12: 195-202.

Zhang, D., Quantick, P.C., and Griogor, J.M. 2000. Changes in phenolic compounds in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology. 19: 165-172.

Zhang, Z., Pang, X., Ji Z., and Jiang, Y. 2001 Role of anthocyanin degradation in litchi pericarp browning. Food Chemistry. 75:217–221.

Zhang, Z., Xuequn, P., Yang, C., Ji, Z., and Jiang, Y. 2004. Purification and structuralanalysis of antocyanins from litchi pericarp. Food Chemistry. 84:601-604.

Zhang, Z., Pang, X., Xuewu, D., and Ji, Z., Jiang, Y. 2005 Role of peroxidase in anthocyanin degradation in litchi fruit pericarp. Food Chemistry. 90: 47–52.

Zheng, X., and Tian, S. 2005. Effect of oxalic acid on control of postharvest browning of litchi fruit. Food Chemistry. (árticulo en impresión).

ANEXOS

Cuadro 1. Análisis de varianza para pérdida de peso en frutos de litchi almacenados a 2°C

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	6	771.054	771.054	128.509	670.90	0.000
Tratamiento	5	28,786	28,786	5,757	30,06	0.000
Empaque	2	352,527	352,527	176,264	920,21	0.000
Tiemp*tratamiento	30	12,613	12,613	0,420	2,19	0.000
Tiemp*empaque	12	133,512	133,512	11,126	58,09	0.000
Tratam*empaque	10	14,342	14,342	1,434	7,49	0.000
Tiemp*Tratam*emp	60	10,703	10,703	0,178	0,93	0.623
Error	504	96,539	96,539			
Total	629	1420.075				

Cuadro 2. Análisis de varianza para pérdida de peso en frutos de litchi almacenados a 20°C

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	3	313.0783	313.0783	104.3594	715.85	0.000
Tratamiento	5	5.6531	5.6531	1.1306	7.76	0.000
Empaque	2	58.4993	58.4993	29.2497	200.64	0.000
Tiemp*tratamiento	15	5.6768	5.6768	0.3785	2.60	0.001
Tiemp*empaque	6	28.3248	28.3248	4.7208	32.38	0.000
Tratam*empaque	10	3.8473	3.8473	0.3847	2.64	0.005
Tiemp*Tratam*emp	30	3.6465	3.6465	0.1215	0.83	0.717
Error	216	31.4892	31.4892	0.1458		
Total	287	450.2152				

Cuadro 3. Análisis de varianza en ángulo de matiz (°Hue), externo en frutos de litchi.

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	4	25515.7	25515.7	6378.9	137.12	0.000
Tratamiento	5	14856.9	14856.9	2971.4	63.87	0.000
Empaque	2	510.1	510.1	255.0	5.48	0.004
Tiemp*tratamiento	20	121627.5	121627.5	6081.4	130.72	0.000
Tiemp*empaque	8	1032.4	1032.4	129.1	2.77	0.005
Tratam*empaque	10	3807.1	3807.1	380.7	8.18	0.000
Tiemp*Tratam*emp	40	2056.9	2056.9	51.4	1.11	0.300
Error	2610	121422.3	121422.3	46.5		
Total	2699	290829.0				

Cuadro 4. Análisis de varianza en luminosidad externa en frutos de litchi.

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	4	19564.3	19564.3	4891.1	277.52	0.000
Tratamiento	5	81076.3	81076.3	16215.3	920.04	0.000
Empaque	2	1448.9	1448.9	724.5	41.11	0.000
Tiemp*tratamiento	20	16018.9	16018.9	800.9	45.44	0.000
Tiemp*empaque	8	633.8	633.8	79.2	4.49	0.000
Tratam*empaque	10	1861.9	1861.9	18.2	10.56	0.000
Tiemp*Tratam*emp	40	769.4	769.4	19.2	1.09	0.321
Error	2610	45999.9	45999.9	17.6		
Total	2699	167373.3				

Cuadro 5. Análisis de varianza en "a" de frutos de litchi.

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	4	13476.69	13476.69	3369.17	114.39	0.000
Tratamiento	5	15436.15	1543.15	3087.23	104.82	0.000
Empaque	8	1970.94	1970.94	985.47	33.46	0.000
Tiemp*tratamiento	20	52437.18	52437.18	2621.86	89.02	0.000
Tiemp*empaque	8	800.90	800.90	100.11	3.40	0.001
Tratam*empaque	10	1959.87	1959.87	195.99	6.65	0.000
Tiemp*Tratam*emp	40	1132.96	1132.96	28.32	0.96	0.540
Error	2610	76872.83	76872.83	29.45		
Total	2699	164087.51				

Cuadro 6. Análisis de varianza en "b" de frutos de litchi.

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	4	25218.77	25218.77	6304.69	762.46	0.000
Tratamiento	5	3041.70	3041.70	608.34	73.57	0.000
Empaque	2	541.62	541.62	270.81	32.75	0.000
Tiemp*tratamiento	20	9919.99	9919.99	496.00	59.98	0.000
Tiemp*empaque	8	276.77	276.77	34.60	4.18	0.000
Tratam*empaque	10	522.61	522.61	52.26	6.32	0.000
Tiemp*Tratam*emp	40	305.86	305.86	7.65	0.92	0.606
Error	2610	2610	21581.69	21581.69	8.27	
Total	2699					

Cuadro 7. Análisis de varianza de CO_2 de frutos de litchi.

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tratamiento	5	2123.37	2123.37	424.67	8.26	0.000
Empaque	2	363.27	363.27	181.63	3.53	0.034
Tratam*empaque	10	555.92	555.92	55.59	1.08	0.388
Error	72	3703.09	3703.09	51.43		
Total	89	6745.66				

Cuadro 8. Análisis de varianza de bioensayo *in vitro* con *Pestalotia* sp., aislado de frutos de litchi.

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	7	4949.82	4949.82	707.12	373.98	0.000
Tratamiento	6	29572.19	29572.19	4928.70	2606.69	0.000
Tiempo*Tratam	42	8579.80	8579.80	204.28	108.04	0.000
Error	224	423.54	423.54	1.89		
Total	279	43525.34				

Cuadro 9. Análisis de varianza de bioensayo *in vitro* con *Alternaria alternata*, aislado de frutos de litchi.

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	7	6713.8	6713.8	959.1	1370.46	0.000
Tratamiento	6	55897.2	55897.2	9316.2	13311.61	0.000
Tiempo*Tratam	42	19000.4	19000.4	452.4	646.40	0.000
Error	224	156.8	156.8	0.7		
Total	279	81768.2				

Cuadro 10. Análisis de varianza de bioensayo *in vitro* con *Fusarium oxysporum*, aislado de frutos de litchi.

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	7	5665.6	5665.6	809.4	111.03	0.000
Tratamiento	6	67600.4	67600.4	11266.7	1545.54	0.000
Tiempo*Tratam	42	11434.2	11434.2	272.2	37.35	0.000
Error	224	1632.9	1632.9	7.3		
Total	279	86333.1				

Cuadro 11. Análisis de varianza de bioensayo *in vitro* con *Penicillium* sp., aislado de frutos de litchi.

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	7	30498.2	30498.2	4356.9	688.03	0.000
Tratamiento	6	142720.3	142720.3	23786.7	3756.33	0.000
Tiempo*Tratam	42	47211.2	47211.2	1124.1	177.51	0.000
Error	224	1418.5	1418.5	6.3		
Total	279	221848.2				

Cuadro 12. Análisis de varianza de bioensayo *in vitro* con *Colletotrichum gloesporoides*, aislado de frutos de litchi.

Fuente	G.L.	Seq S.S.	Adj SS	Adj MS	F	P
Tiempo	7	12710.2	12710.2	1815.7	259.32	0.000
Tratamiento	6	77524.3	77524.3	12920.7	1845.28	0.000
Tiempo*Tratam	42	24420.3	24420.3	581.4	83.04	0.000
Error	224	1568.5	1568.5	7.0		
Total	279	116223.2				