



Universidad Autónoma Chapingo

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

F
2114

**ATMÓSFERAS MODIFICADAS Y
REFRIGERACIÓN EN POSTCOSECHA DE
HONGOS COMESTIBLES *Pleurotus ostreatus*.**

TESIS

**Que como Requisito Parcial
para obtener el Grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS

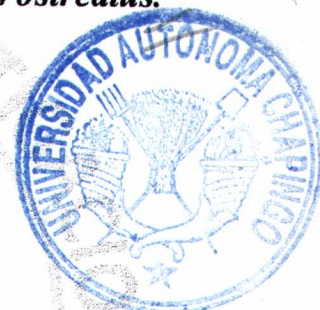
EN

HORTICULTURA

PRESENTA:

ROSARIO ÁLVAREZ ARMENTA

Chapingo, Méx., febrero del 2000.



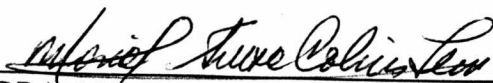
DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
CERCA DE EXAMENES PROFESIONALES



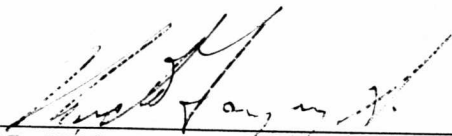
ATMÓSFERAS MODIFICADAS Y REFRIGERACIÓN EN POSTCOSECHA DE HONGOS COMESTIBLES.

Tesis realizada por **Rosario Álvarez Armenta** bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA.

DIRECTOR: 
DRA. MA. TERESA COLINAS LEÓN

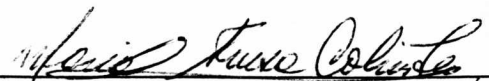
ASESOR: 
M.C. LUIS EMILIO CASTILLO MARQUEZ

ASESOR: 
DR. HÉCTOR LOZOYA SALDAÑA

ATMÓSFERAS MODIFICADAS Y REFRIGERACIÓN EN POSTCOSECHA DE HONGOS COMESTIBLES.

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de Rosario Álvarez Armenta autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en **Horticultura** estuvo constituido por:

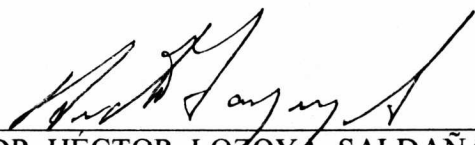
PRESIDENTE:


DRA. MA. TERESA COLINAS LEÓN

ASESOR:


M.C. LUIS EMILIO CASTILLO MARQUEZ

ASESOR:


DR. HÉCTOR LOZOYA SALDAÑA

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora es egresada de la Universidad Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-Cuautitlán).

Trabajó en la Secretaría y Recursos Hidráulicos en lo que anteriormente fue el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas INIA.

En la Comisión Nacional de Zonas Áridas como evaluadora de Proyectos.

En la UNAM Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán como profesora en la Asignatura de Zonas Áridas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por proporcionarme el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de dar un paso mas en mi formación profesional.

Al laboratorio de Fisiología Postcosecha del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la UACH por las facilidades prestadas para la realización de una parte de esta tesis.

A la Dra. Ma. Teresa Colinas León por su interés, conducción en el desarrollo del Presente trabajo por las enseñanzas recibidas y por su constante e invaluable apoyo.

Al M.C. Luis Emilio Castillo Márquez por la claridad y sencillez con que hace posible la transmisión del conocimiento y por el apoyo brindado para la presentación de este trabajo.

Al Dr. Héctor Lozoya Saldaña por la revisión de este trabajo de tesis.

Al M.C. Wilberth Magaña Benitez por su asesoría y apoyo en el uso del cromatógrafo de gases.

A mis maestros por las enseñanzas recibidas.

DEDICATORIAS

Con todo cariño y profunda gratitud a mis padres Ángel y Elvia, de quienes siempre he recibido toda clase de apoyo.

Con amor a mi esposo Miguel Ángel a quien siempre caracteriza el compañerismo, perseverancia en el trabajo y anhelo de superación.

A mis hijos Elvia y Cristóbal Alejandro por poseer entre otras cualidades nobleza y paciencia.

A mis hermanos María de los Angeles, Ángel Aníbal y David por el apoyo que siempre me brindan.

A la Ing. Consuelo Paniagua Cruz por sus constantes muestras de amistad.

A todos mis compañeros y amigos.

CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCION	1
Objetivos e Hipótesis	5
II. REVISION DE LITERATURA	6
Manejo poscosecha de los hongos comestibles y los principales factores en el control de su calidad.	6
Nutrición	8
Indice de cosecha	9
Temperatura	10
Aspectos fisiológicos	11
Contenido hídrico	11
Pérdidas de Peso	12
Empaque y conservación del producto	12
Respiración	16
Etileno	17
Aspectos bioquímicos	19
Fenoles	19
Polifenol oxidasa	21
Aspectos biofísicos: color	26
Interacción entre temperatura, actividad PPO, contenido de fenoles en color	26
III. MATERIALES Y METODOS	29
Origen y características del Material Experimental	29
Manejo del experimento	30
Metodología	31
Variables fisiológicas	31
Pérdidas de peso	31

Respiración y Producción de etileno	31
Determinación de la Concentración de CO ₂ y de C ₂ H ₄	35
Elaboración de la curva estándar para C ₂ H ₄	37
Variables bioquímicas	38
Contenido de fenoles totales	38
Extracción y prueba de la Polifenoloxidasasa	41
Determinaciones biofísicas: Color	41
Análisis Estadístico de los resultados	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
Determinaciones fisiológicas.	44
Pérdidas de peso	44
Producción de etileno durante el almacenamiento	50
Determinación de etileno en muestras almacenadas a medio ambiente	51
Determinación de etileno en muestras almacenadas a 3°C	52
Patrón Respiratorio	57
Patrón respiratorio en muestras almacenadas a medio ambiente	59
Patrón respiratorio en muestras almacenadas a 3°C	60
Relación entre temperatura de almacenamiento 3°C, respiración y perdidas de peso	65
Determinaciones Bioquímicas	68
fenoles totales.	68
Determinación de la actividad de la polifenol oxidasa	72
Determinación Biofísica: Color	77
V. CONCLUSIONES	85
VI. LITERATURA CITADA	86

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Mezcla de gases para la elaboración de la curva estándar	36
Cuadro 2. Prueba de Tukey para las concentraciones de C_2H_4 .	55
Cuadro 3. Relación entre respiración y pérdidas de peso.	67
Cuadro 4. Diferencias en fenoles totales y polifenol oxidasas en hongos comestibles almacenados a 3°C y a temperatura ambiente durante 11 días.	79
Cuadro 5. Diferencias en color de los hongos comestibles después de 11 días de almacenamiento a 3°C y a temperatura ambiente.	82

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Cromatograma y reporte de la muestra estándar de CO_2 .	33
Figura 2. Cromatograma y reporte de la muestra estándar de C_2H_4 .	34
Figura 3. Curva estándar para CO_2	37
Figura 4. Curva de calibración para C_2H_4 .	38
Figura 5. Curva estándar de fenoles totales.	40
Figuras 6 y 7. Porcentaje de pérdidas de peso	49
Figuras 8-11. Producción de etileno en los diferentes tratamientos	54
Figuras 12-15. Respiración en los diferentes tratamientos	62
Figuras 16-19. Cambios en el contenido de fenoles totales en los diferentes tratamientos.	70
Figuras 20-23. Cambios en el contenido de polifenol oxidasas en los diferentes tratamientos.	74
Figuras 24 y 25. Cambios en el color en hongos comestibles almacenados a temperatura ambiente y a 3°C .	84

RESUMEN

Los hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* presentan alta perecibilidad en postcosecha, a pesar de ello no se conocen técnicas de manejo adecuadas para esta etapa. El objetivo de este trabajo fue evaluar tratamientos para prolongar la vida de anaquel de estos productos como son: temperatura de almacenamiento, grado de maduración del producto así como tres películas plásticas, además un tratamiento testigo sin película plástica.

Las variables respuesta analizadas en este trabajo fueron: color, pérdidas de peso, respiración, producción de etileno, fenoles y actividad de polifenol oxidasa.

Después de 11 días de almacenamiento los tratamientos con mejor apariencia fueron en los que se combinó temperatura de almacenamiento 3°C, cosechados un día antes de madurez comercial, con película de polipropileno, polietileno y en menor grado los de charola de unicel cubierta con "kleen pack"

Palabras clave: películas plásticas, maduración, respiración, etileno

ABSTRACT

ROSARIO ÁLVAREZ ARMENTA

Atmósferas modificadas y refrigeración en postcosecha de hongos comestibles

Pleurotus ostreatus.

Febrero del 2000

(Under the direction of Dra. Ma. Teresa Colinas L.)

The edible fungi *Pleurotus ostreatus* are highly perishable however there are not yet adequate postharvest techniques to manage them. In the purpose of this researde was to evaluate several treatments to increase the shelf life of these fungi: temperatures, maturity and plastic covers were evaluated during storage and compared with a control in which no plastic cover was used. The parameters considered were: color weight, loss, respiration, ethylene production, phenol content and poliphenol oxidasa activity.

After 11 days of storage the better treatments were the ones where 3°C temperatures was combined with fungi harvested one day before comercial maturity with polypropilene or polyethylene cover the kleen – pack cover was less convenient.

Key words: plastic cover, maturity, respiration, ethylene, phenols.

I. INTRODUCCIÓN

En relación con la producción agropecuaria, frecuentemente se ha mencionado que la diferencia entre un país desarrollado y uno subdesarrollado radica en la capacidad y la eficiencia para manejar su abastecimiento alimentario. Con los productos de baja perecibilidad quizá esto pueda, hasta cierto punto, pasar desapercibido, pero la gran magnitud de las pérdidas que se presentan en los productos perecederos y que son causadas fundamentalmente por un deficiente manejo poscosecha, nos muestra la importancia de estudiar y determinar los procesos físicos y fisiológicos que se llevan a cabo y así poder controlarlos para prolongar la calidad y el tiempo de vida de anaquel de esos productos.

Una de las características del sistema de manejo poscosecha en México es su heterogeneidad, la cual se justifica debido a la diversidad socioeconómica y geográfica; esta heterogeneidad constituye un elemento determinante en las diferencias técnicas tanto en conservación, almacenamiento, transporte, así como en el ámbito de uno y entre varios microclimas, pues obstaculizan la preservación de las cosechas con niveles adecuados de eficiencia. De esta manera se propicia una agudización de las pérdidas al final de cada ciclo agrícola, las cuales se extienden desde la fase de acopio hasta la comercialización (Torres, 1995).

El sistema poscosecha es el conjunto de procesos técnicos y operativos que engloban desde el acopio del producto hasta su comercialización y cuyo funcionamiento permite garantizar la conservación adecuada de los productos agrícolas para satisfacer así la

demanda de los consumidores; el funcionamiento de este sistema debe ser integral, es decir, debe equilibrar cada una de las fases que lo conforman y así atender eficientemente el abasto oportuno, la regulación del mercado interno y la disponibilidad de una reserva lógica y estratégica que asegure la correcta distribución del producto. Los hongos del género *Pleurotus*, por su eficiencia en la transformación de residuos agrícolas y agroindustriales, tienen potencial para la producción de alimentos de bajo costo y de rápida producción que permitan el acceso de la población a mejores niveles de nutrición (Diwakar *et al.*, 1989). Sin embargo, su alta perecebilidad ha sido uno de los obstáculos que han impedido hasta cierto punto, su difusión y aceptación masiva en la mayoría de las familias mexicanas asentadas en las ciudades, a pesar de que entre las poblaciones rurales, su consumo está ligado a la cultura y la tradición alimentaria estacional.

Por otra parte, la industria de los hongos comestibles en México es reciente, por lo tanto los vínculos entre productores y centros de investigación apenas empiezan a establecerse, de ahí que sólo hasta hace algunos años se hayan comenzado a realizar estudios para la producción intensiva de los hongos comestibles, pero en los cuales se han dejado de lado uno de los aspectos más importantes de este producto tan perecedero: la prolongación de su vida en anaquel en condiciones de alta calidad, pues actualmente para acceder al mercado, en condiciones que permitan a los productores no sólo competir ventajosamente, sino ofrecer un producto de alta calidad, el hongo debe satisfacer algunos requisitos tales como tamaño, frescura, integridad, color, estado de madurez, apariencia y homogeneidad.

El factor fisiológico más importante que condiciona el grado de perecebilidad de la mayoría de los productos en poscosecha es la respiración, debido a que durante

este proceso se degradan azúcares, ácidos orgánicos, proteínas, etc., lo que reduce tanto las características físicas del producto, como su calidad nutritiva. Por esta razón, la vida comercial de los productos hortofrutícolas varía en razón inversa a su tasa respiratoria (Hardenburg *et al.*, 1988).

Los hongos comestibles no escapan a estas condiciones, pero su almacenamiento es poco económico debido a su corto período de vida (normalmente de unas cuantas horas a temperatura y atmósfera ambientales), lo cual se debe a que presentan muy altas tasas respiratorias en comparación con las hortalizas: su tasa promedio de respiración en condiciones de aire normal es de 600 mg de producción de CO₂ por kilogramo por hora a una temperatura de 18°C, mientras que la del espárrago, por ejemplo, es de 127mg a 20°C (Burton, 1991).

Ante esto, es importante establecer las bases que nos permitan proporcionar las mejores condiciones posibles para el manejo poscosecha de este producto, así como para mejorar la eficacia de las técnicas de conservación, lo cual exige a su vez, el conocimiento de las bases fisiológicas que hagan posible precisar las causas de pérdidas en esta etapa, pues no obstante el auge que está teniendo actualmente la producción de hongos comestibles, existen muy pocos trabajos de investigación sobre el manejo poscosecha de este producto. Además, puesto que la mayor parte de los hongos que se comercializan se demandan en estado fresco y los pequeños productores no cuentan con tecnología, para prolongar su vida de anaquel, la conservación del producto se vuelve un problema que es necesario resolver, debido a que buena parte de la producción se pierde si, como sucede frecuentemente, se carece de un mercado que absorba con prontitud la totalidad del producto. Por las razones antes mencionadas, en este trabajo se pretendió encontrar

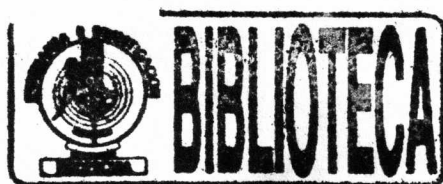
un método sencillo y económico que combinando el grado de madurez del hongo y un empaque con película plástica protectora, permita (a los productores) prolongar la vida de anaquel del producto en las mejores condiciones, durante su manejo y comercialización. Asimismo, se estudiaron los cambios y el comportamiento de los factores físicos (color), fisiológicos (pérdidas de peso, respiración, producción de etileno, y bioquímicos (fenoles totales y polifenol oxidasas) que prevalecen durante la etapa de manejo, las condiciones de cosecha, su relación con el tiempo y temperatura de almacenamiento y el tipo de película plástica empleada en el empaque, para así determinar el tratamiento óptimo que prolongue el tiempo de almacenamiento y permita conservar al mismo tiempo la calidad del producto.

Objetivos

- a) Evaluar el comportamiento poscosecha de los hongos *Pleurotus ostreatus* almacenados a dos temperaturas: ambiente y a 3°C, cosechados en dos etapas diferentes de maduración y empacados usando diferentes cubiertas plásticas.
- b) Analizar algunos cambios físicos, fisiológicos y bioquímicos que se presentan, de acuerdo a las diferentes condiciones de almacenamiento.
- c) Determinar el tratamiento que nos permitirá obtener el mayor tiempo de almacenamiento, así como la preservación de las mejores condiciones de calidad del producto y el menor costo posible.

Hipótesis

La cosecha de los hongos en su madurez fisiológica, un día antes de su madurez comercial, así como la combinación de una temperatura de almacenamiento a 3°C y un empaque utilizando una cubierta plástica sencilla (atmósfera modificada), nos permitirán prolongar, durante un mayor lapso el tiempo de vida de anaquel del producto, así como conservar su calidad y presentación ante el consumidor.



II. REVISIÓN DE LITERATURA

Manejo poscosecha de los hongos comestibles y los principales factores que intervienen en el control de su calidad

Desde el punto de vista de la tecnología poscosecha, el manejo de productos hortofrutícolas presenta un contraste bien marcado en cuanto a su desarrollo. Por un lado están los productos destinados a la exportación en donde se aplican avanzadas técnicas poscosecha para mantener la calidad del producto y cumplir con las normas establecidas por los países importadores, lo cual se traduce en productos cosechados con el grado de madurez adecuado, se evitan los daños mecánicos y se aplican las operaciones de selección, clasificación y empaque, entre otras. Por otro lado, se tienen los productos para el mercado nacional, en donde generalmente sólo se aplican las operaciones básicas para efectuar la comercialización del producto.

La principal forma de consumo de los hongos seta en México es en estado fresco; sin embargo, el consumo está limitado principalmente por su corto período de vida poscosecha, pues en las condiciones de manejo tradicionales sólo duran unas cuantas horas, por lo que su comercialización se reduce a este breve período de tiempo.

El manejo que se da a los cuerpos fructíferos después de cosechados, durante el transporte y la casi nula aplicación de técnicas poscosecha adecuadas para la conservación del fruto, impiden que en la mayoría de los casos se presenten períodos aprovechables de 12 horas después de que se ha realizado el corte; además, esto implica

pérdidas de frutos y de calidad, lo cual ocasiona una disminución en el precio de venta y por lo tanto, una reducción en los ingresos de la ya menguada economía de la mayor parte de los productores.

Las cadenas comerciales de tiendas de autoservicio empacan los hongos en charolas de unicel cubiertas con película plástica, las cuales tienen tamaños y pesos diferentes, pero que fluctúan entre 200 y 500g. y las conservan en refrigeración a temperaturas de alrededor de, 4°C durante 48 horas como máximo, pues mayores tiempos en refrigeración no detienen los cambios degradativos visibles en el hongo. Cabe aclarar que este tipo de manejo se hace como respuesta al cambio de actitud de algunos consumidores, quienes demandan productos de alta calidad y además, por la tendencia poco a poco más generalizada de cierto tipo de clientela a comprar semanalmente.

Por otro lado resulta común la venta de productos con calidad variable y diferentes tipos de daños, lo que se traduce en un alto porcentaje de pérdidas poscosecha, que es del 15 a 60% en países en vías de desarrollo (Bourne, citado por Pelayo, 1992), lo cual se suma a la problemática causada por la falta de estándares de calidad y sistemas de inspección, al uso frecuente de empaques inadecuados (en cuanto a capacidad, tipo de material e higiene) o incluso el manejo a granel de muchos productos; por otra parte, el uso de *trailers* con sistemas refrigerantes está limitado a ciertos productos que son altamente rentables y se utilizan principalmente para productos destinados a la exportación.

Ante estas condiciones, es necesario subrayar la importancia de emplear las técnicas de manejo poscosecha adecuadas para cada producto; de esta manera, tenemos que el uso de CO₂ aunados a la refrigeración, son útiles para prolongar la vida de almacenamiento de hongos comestibles, ya que permite alcanzar un efecto

adicional, en comparación con sólo el almacenamiento en frío (Henze, 1989). Esto es así, porque los principales factores que condicionan el grado de perecibilidad de estos productos son su gran contenido hídrico (90%), la alta relación superficie con respecto a masa (cuerpos delgados y muy extendidos), y sobre todo por sus altas tasas respiratorias, las cuales ocasionan grandes pérdidas de agua.

En vista de lo anterior, el problema principal que dificulta la conservación de *Pleurotus spp.* durante un mayor período, son las altas tasas respiratorias que presenta, por lo que es necesario estudiar el comportamiento de este factor a diferentes grados de maduración, pues como lo indican algunos trabajos de investigación, los cuerpos fructíferos de estos organismos presentan máximos respiratorios de tipo climatérico, como en el caso de algunas frutas.

En condiciones de atmósferas controladas se consideran para *Pleurotus*, valores mínimos de 1% para O_2 y de 15% para CO_2 como máximo, puesto que a éstas proporciones se presentan las mínimas tasas respiratorias, además de que en estas condiciones teóricamente se producen muy bajas cantidades de etileno (lo que retarda la senescencia) y, aunado a esto, los hongos se caracterizan porque pueden soportar niveles muy bajos de O_2 sin llegar a la anaerobiosis, además de que durante algunas horas toleran concentraciones hasta de 50% de CO_2 , conservando aún buenas características organolépticas (Kader *et al*, 1989).

Nutrición

La composición química de los cuerpos fructíferos se ve influenciada por la especie del hongo, pero principalmente por el sustrato en que se cultiva, pero aunque esta condición aparentemente no la percibe el consumidor (es el aspecto el atributo de la calidad

que más influye en el gusto del consumidor), asociando una determinada calidad con un cierto aspecto, lo cual nos conduce a poner mayor énfasis en la calidad de los hongos que en este caso está dada por la frescura, blancura, limpieza, uniformidad y compacidad del píleo, pues son las cualidades de las que dependen las ventas y el precio (Burton y Noble, 1993).

Aunque no se tienen estudios específicos sobre los requerimientos nutritivos particulares para los hongos del género *Pleurotus*, se sabe que un buen desarrollo del cultivo y el contenido de proteína cruda de los cuerpos fructíferos depende en buena medida del tipo de sustrato en que se desarrolle, además del carbono y nitrógeno es importante añadir suplementos minerales a base de K, Ca, Na, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn, se aumentan los rendimientos, se mejora su apariencia contenido nutrimental y sabor; Sin embargo, en términos generales se puede decir que los hongos asimilan casi todos los compuestos de bajo peso molecular que contienen carbono y nitrógeno del sustrato en el que son cultivados, alcanzando eficiencias biológicas mayores al 100%, por lo que ocupan el primer lugar entre los hongos cultivados (Chang y Miles, 1989).

Índice de cosecha

Los índices de cosecha para las frutas son arbitrarios y subjetivos (Pantastico, 1975); en el caso de los hongos, tenemos que generalmente su cosecha se realiza tomando en consideración su tamaño y cierta convexidad del píleo, es decir, antes de que sus bordes se encuentren planos, pues cuando el cuerpo fructífero deja de ser convexo y queda completamente extendido se vuelve más correoso (García, 1985).

Por esto, el factor interno de mayor importancia a considerar al momento del corte es la etapa de desarrollo en la que se debe encontrar el cuerpo fructífero, lo cual significa

que la cosecha se debe realizar antes del pico climatérico, ya que los cuerpos fructíferos son basidiocarpos muy efímeros que se presentan al final de la fase reproductiva de los hongos y cuya única finalidad es la liberación de las esporas; así, el hecho de seleccionar cuerpos que no presenten madurez avanzada nos permitirá lograr mantener bajas esporulaciones y menores tasas respiratorias, lo que se traducirá en la obtención de productos frescos y de óptima calidad durante un mayor tiempo, puesto que los hongos jóvenes se conservan más tiempo después de cosechados con relación a los más viejos, ya que una vez que las esporas se han desarrollado sobre la superficie de las laminillas se acelera su perecibilidad (Stamets, 1993).

Temperatura

La prolongación de la vida comercial de los cultivos es posible mediante varios tratamientos aplicados en la etapa poscosecha. El más importante de éstos es el manejo de la temperatura de almacenamiento, pues es muy importante hacer descender lo más rápidamente posible la temperatura de campo del producto después de la cosecha, para lograr su estabilización y reducir su actividad metabólica.

En términos generales, sobre el rango de temperatura ambiental hasta la temperatura en que el producto se congela, cuanto más baja es la temperatura mayor la vida de almacenamiento; la temperatura más apropiada es aquella exactamente arriba de la que causará daños por congelación.

La temperatura poscosecha puede también afectar el metabolismo de los carbohidratos, la brotación y los niveles de pigmentos (Thompson, 1996); además, es importante no someter al producto empacado a fluctuaciones en las temperaturas de almacenamiento, ya que esto provoca la condensación del agua, con el posterior

desarrollo de microorganismos, y pérdidas de peso (Burton y Twynning, 1989).

Por otra parte, el retraso de la introducción del producto cosechado en los almacenes frigoríficos, así como su almacenamiento excesivamente prolongado y las condiciones ambientales inapropiadas provocan un rápido descenso de la calidad. Por ello, un buen manejo de la temperatura demanda el cuidadoso uso de prácticas agrotécnicas como son: cosecha en la madurez apropiada, el control preciso de la temperatura, la humedad y la composición atmosférica durante el almacenamiento (Klein y Lurie, 1992)

Aspectos fisiológicos

Contenido hídrico

Las pérdidas de agua de solo un 5% marchitan y arrugan numerosos productos, lo que en ambientes secos y cálidos puede ocurrir en unas cuantas horas; además son una de las causas más importantes del deterioro de las cosechas durante el almacenamiento. La pérdida de agua no únicamente trae como consecuencia una disminución considerable del peso, sino también la formación de productos poco atractivos, de textura pobre y de calidad inferior (Hardenburg, 1988); pero solo una pequeña parte de las pérdidas de peso se debe al proceso respiratorio debido a pérdidas de carbono.

Pérdidas de peso

La pérdida de peso depende de la diferencia de presiones de vapor entre el interior del producto y el medio ambiente (también llamada déficit de presión de vapor), de la superficie total de transpiración y de la resistencia de la superficie a la transpiración. Los métodos que se han utilizado para reducir la pérdida de peso de las hortalizas son: el aumento de la presión de vapor en la atmósfera, el encerado o el empleo de películas plásticas (Ben- Yohoshua, 1987).

Los hongos contienen entre el 85 y 90% de agua, parte de la cual, en condiciones naturales, se pierde por transpiración debido a la gran cantidad de área por unidad de volumen que mantienen expuesta, así como a la delgada capa protectora que cubre estos cuerpos; por ello la transpiración debe reducirse al mínimo para evitar éstas pérdidas, el encogimiento y el marchitamiento del producto disponible para la venta. Estos efectos adversos para la vida poscosecha de los hongos comestibles se pueden controlar disminuyendo la temperatura de almacenamiento, proporcionando la humedad relativa óptima y usando envolturas protectoras para el producto, las cuales modifican la atmósfera al interior del producto y reducen las pérdidas por deshidratación, pues al aumentar la humedad relativa del aire dentro del empaque reducen las diferencias de presión de vapor entre el producto y el aire.

Empaque y conservación del producto

Si bien, una de las finalidades de la utilización de empaques es la de contener y proteger al producto contra posibles daños mecánicos y por lo tanto sería deseable diseñar un empaque específico en términos de los requerimientos de cantidad, presentación y manejo práctico para los clientes, sin embargo, cada vez es más imperativo, en términos de un manejo aceptable del producto, considerar la necesidad de combinar los requerimientos de la presentación al consumidor, con la prolongación del tiempo de vida de anaquel, en términos de una buena calidad nutritiva del producto (Thompson, 1996). Considerando la variabilidad en los niveles de actividad respiratoria, la tolerancia a oxígeno, bióxido de carbono, humedad relativa, daños por refrigeración y de acuerdo con las características propias de frutas y hortalizas, el material óptimo para el empaque podría hacerse a la medida del producto, sin embargo esto podía llegar a ser

impráctico, debido a la necesidad de emplear una gran cantidad de películas plásticas diferentes para empaçar esa amplitud de productos.

Los frutos y hortalizas, al ser organismos vivos, producen calor y gases, los cuales pueden ser perjudiciales si se permite su acumulación en el empaque, de modo que puede ser necesario ventilarlos. La capacidad de modificación de la atmósfera del empaque para prolongar la vida durante almacenamiento del producto fresco es bien conocida. El principio de la atmósfera modificada es que el equilibrio de las concentraciones de gas establecidas en el empaque del producto sobrecubierto, entre el consumo de oxígeno respiratorio y la producción de CO_2 , así como el ingreso de O_2 y la liberación de CO_2 , y el agua a través de la película del empaque, puede retardar la madurez comercial, el desarrollo y la senescencia; sin embargo, esto puede ocasionar sabores y olores desagradables, debido a la respiración anaeróbica. Una solución a este problema es el uso de un sistema de combinación de película mediante la inserción de pequeñas áreas de película microporosa permeable en la película de la sobrecubierta (Burton *et al.*, 1987). La atmósfera resultante, moderadamente modificada, ha demostrado que prolonga la vida de almacenamiento del hongo, ya que disminuye su desarrollo, los cambios de color y las pérdidas de peso.

Cuando los productos que respiran están a punto de ser empacados, la atmósfera gaseosa inicial puede estar compuesta de gases puros o de aire ordinario. Debido a que el producto empacado respirará activamente, la atmósfera gaseosa inicial cambiará durante el almacenamiento, el oxígeno será consumido y se producirán CO_2 y H_2O . De esta forma si en el empaque se utiliza una película impermeable, el O_2 será completamente consumido, el producto cambiará a respiración anaeróbica y perderá su calidad. Por esta razón los productos que respiran requieren de empaques con películas

semipermeables con especificaciones variables con respecto a su permeabilidad gaseosa para O_2 y para CO_2 .

Por lo tanto, la concentración gaseosa en el empaque variará de acuerdo con las características del producto: masa, madurez, temperatura, etc. pero principalmente por la permeabilidad de la película, la cual es afectada por sus propiedades químicas, espesor, temperatura, humedad (Thompson, 1996).

Por otra parte, debido a que el equilibrio de la composición gaseosa está determinado por la permeabilidad a los gases y algunas películas tienen una más baja permeabilidad al vapor de agua, esto puede ser un factor que complique la conservación del producto, puesto que en la mayoría de los casos la humedad relativa dentro de un empaque es muy alta (>95%) y cualquier pequeña fluctuación en la temperatura de almacenamiento puede traer como consecuencia la condensación, la cual podría incrementar en gran medida la proliferación y dispersión de microorganismos dañinos (Shirazi, y Cameron, 1992), así como también el desarrollo de micelios sobre los cuerpos fructíferos.

Cuando se almacena un producto en atmósfera modificada se busca el equilibrio con respecto al medio ambiente, es decir, la tasa de intercambio gaseoso deberá ser la misma en ambos sentidos, de modo que si la concentración de los gases de la respiración baja, se inhibe la respiración y la producción de etileno, lo que retrasa la senescencia de ese producto.

La observancia de las condiciones que permitan lograr un equilibrio óptimo en el intercambio gaseoso es indispensable para lograr mayor tiempo de almacenamiento y también conservar la calidad del producto, pues como se ha visto, el almacenamiento de hongos comestibles en empaques con atmósfera modificada a $10^{\circ}C$ y 85% de

humedad relativa, en un período de 8 días retardaron la maduración y redujeron las pérdidas de peso, en comparación con los hongos almacenados sin empaque (López-Briones, *et al.*, 1993). La perforación del empaque puede mantener una alta humedad alrededor del producto, pero puede ser menos efectiva para retardar la maduración comercial del fruto. Además los bajos niveles de oxígeno pueden interferir con la producción y/o acción del etileno. Cuando la permeabilidad es demasiado baja el cultivo puede ser dañado debido a la acumulación de agua o CO_2 y la reducción de O_2 .

Por estas razones el diseño del empaque requiere de la consideración y evaluación de los principales factores que condicionan la pérdida de calidad en el manejo poscosecha de los hongos comestibles que son el cambio de color, desarrollo de cuerpos fructíferos, pérdidas de peso y cambios en la textura, ya que la creciente producción y demanda de hongos frescos para el mercado, ha conducido a poner mayor énfasis sobre la calidad principalmente (frescura, blancura, limpieza, uniformidad y compacidad del píleo), puesto que ésta es la principal determinante de las ventas y el precio (Burton y Noble, 1993).

Para el caso de los hongos se acostumbra almacenar el producto en unidades de peso pequeñas en charolas cubiertas con película plástica autoadherible "Kleen pack", lo cual resulta en una tecnología de almacenamiento costosa, pero puede justificarse en este caso debido a que el valor del producto es alto y el costo de mejoramiento efectivo, puesto que la vida de anaquel - almacenamiento puede prolongarse (Burton, 1991).

Actualmente existen películas microperforadas de ultra alta permeabilidad al aire de alrededor de $60,000 \text{ l/m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atmósfera}$, probablemente bien adaptadas para el empaque de productos con tasas de respiración extremadamente altas como espárrago, brócoli, hongos comestibles y vegetales en trozos (Gorris y Peppelenbos, 1992),

pero estos materiales son muy costosos y difíciles de encontrar en México.

Así, la principal fuente de deterioro de los hongos comestibles, *Pleurotus ostreatus*, son sus altas tasas respiratorias y su elevada transpiración, lo que da como resultado una rápida pérdida de peso de 50% en sólo 24 horas, además del bronceamiento que resulta en los cuerpos fructíferos. Por ello se debe tomar precaución, ya que las películas de empaque con baja transmisión de agua fomentan el desarrollo de esporas sobre los píleos, además de que la respiración del producto y la permeabilidad de la película son influenciadas por la temperatura (Geeson, 1989), lo cual en conjunto puede acelerar los procesos de desarrollo y senescencia.

Por otra parte, la combinación de empaque en atmósferas modificadas y la temperatura de refrigeración permiten prolongar el tiempo de vida de los hongos en almacenamiento y al mismo tiempo conservar la calidad del producto para su comercialización, pues se alcanza un efecto adicional en comparación con el simple almacenamiento en frío.

Respiración

El crecimiento y la maduración de los cuerpos fructíferos depende de la absorción de agua y sales minerales por el micelio. Sin embargo, una vez que estos han sido cortados del micelio se vuelven unidades independientes en las cuales los procesos respiratorios juegan un papel muy importante; esto significa que los frutos sufren una reducción gradual en la calidad, debido a la interacción de los procesos de respiración, transpiración y otros fenómenos bioquímicos y fisiológicos; aunque eventualmente también la infestación por microorganismos puede causar deterioro en dichos cuerpos fructíferos. En comparación con otros alimentos, los hongos poseen una alta tasa de respiración y consecuentemente, menor tiempo de conservación, o en términos de mercado menor vida de anaquel (Guzmán *et al.*, 1993).

El factor externo más importante que se relaciona con la respiración es la temperatura de almacenamiento, la cual de acuerdo con diversos estudios se ubica en el rango a 5°C (sin fluctuaciones fuertes). La tasa de respiración de los hongos comestibles se incrementa aceleradamente a medida que se aumenta la temperatura: desde 28.44 mg.Kg a 0°C; 100 mg.Kg a 10°C y aumenta hasta 264-326 mg.Kg, cuando está entre 20 y 21°C Hardenburg (1988).

Cuando las frutas y hortalizas se almacenan en empaque sellado, la atmósfera interna se modifica, se reduce el oxígeno en cambio se incrementa el CO₂ y el vapor de agua. La concentración de estos gases depende del peso, tipo de tejido y su tasa respiratoria, así como del área superficial y permeabilidad gaseosa del material de empaque. La respiración del producto y la permeabilidad dependen de la temperatura.

Cuando se empacan correctamente tomates parcialmente maduros. La atmósfera se equilibra de 4 a 6% en O₂, de 4 a 6% en CO₂ y 90% de humedad relativa. En este caso la maduración se retarda y la vida en anaquel puede prolongarse mas de siete días sin deteriorar la calidad comestible, en cambio con películas menos permeables se inhibe completamente la correcta maduración, la cual no se reanuda cuando se abren los empaques, el fruto se mancha y además la excesiva humedad estimula la pudrición (Geeson, 1989).

Etileno

El etileno es una hormona vegetal que regula diversos procesos fisiológicos del crecimiento y desarrollo de las plantas, que van desde la germinación hasta la senescencia.

Cuando se utilizan empaques para el almacenamiento y comercialización de productos altamente perecederos es importante considerar a la fitohormona etileno (ya que está implicada en la maduración y su acumulación promueve la senescencia) pues la permeabilidad de la mayoría de las películas es para etileno de alrededor de la mitad de aquella para el CO_2 y el O_2 (Peppelenbos, 1992). La producción de etileno tanto en hongos como en plantas es muy baja, por lo que es difícil determinar los porcentajes de producción de dicho gas. Además, en términos generales puede decirse que existe poca información tanto sobre la concentración de etileno requerido, como en la velocidad de producción asociada a condiciones comunes de manejo en postcosecha (Dover, 1985). Burg y Burg (1967) fueron los primeros en proporcionar la evidencia experimental, mostrando que para que el etileno ejerza su influencia biológica se requiere de oxígeno, pues si consideramos al compuesto precursor en la formación de este gas es el ácido 1-aminociclopropano 1- carboxílico (ACC), entonces el oxígeno es necesario en la transformación de ACC a etileno, aunque los bajos niveles de oxígeno pueden interferir con la producción y/o acción del etileno.

El etileno puede tener efectos profundos tanto negativos como positivos sobre los productos que se almacenan. Aunque el este gas puede ser necesario para que ciertas frutas maduren adecuadamente, después de su almacenamiento, casi siempre se trata de minimizar la exposición al etileno de frutas almacenadas, ya que concentraciones tan bajas como 0.1 ppm, son suficientes para iniciar la maduración o los procesos de senescencia a temperatura de 20°C y normalmente a 0°C , las concentraciones de aproximadamente 1 ppm de etileno tienen el mismo efecto que concentraciones de 0.1 ppm a 20°C .

Por lo tanto es muy importante que se mantengan bajas temperaturas no sólo para disminuir la velocidad de respiración, sino también para reducir la síntesis de etileno y los efectos de su exposición (Richardson, 1992).

Se sabe que algunos productos químicos y daños mecánicos, modifican la estructura de la membrana reduciendo la capacidad de síntesis de etileno en tejidos vegetales. Esta información sugiere que el sistema formador de este gas es altamente estructural y requiere de la membrana intacta (Lieberman 1979), lo cual es particularmente significativo en el caso de los hongos comestibles, pues debido a su frágil estructura y a su alto contenido de humedad, cualquier leve daño o alteración en la membrana podría ocasionar la síntesis de etileno y consecuentemente una aceleración en la senescencia de los cuerpos fructíferos.

Por otra parte, los micelios de los hongos comestibles producen grandes cantidades de etileno y aunque su efecto en la senescencia de los cuerpos fructíferos no se ha estudiado, se sabe que está presente desde los 16 días de desarrollo del micelio; es decir, se encuentra presente desde antes de la aparición de los cuerpos fructíferos y se correlaciona directamente con la producción de hongos frescos de *Pleurotus ostreatus*: a mayor producción de cuerpos fructíferos existe un aumento en la concentración de etileno. (Sobal 1992).

Aspectos bioquímicos

Fenoles

El oscurecimiento enzimático ocurre en la mayoría de frutos y vegetales sobre todo cuando los tejidos de éstos son dañados, cortados, atacados por microorganismos o

expuestos a condiciones anormales. Estos tejidos dañados se obscurecen rápidamente cuando son expuestos al aire debido a la conversión de compuestos fenólicos o melaninas, en presencia de alguna enzima del tipo de las fenolasas. La fenolasa (tirosinasa, polifenol oxidasa, catecol oxidasa) es una enzima que contiene cobre de alta especificidad y es capaz de convertir a los monofenoles u o-difenoles en o-quinonas.

La acumulación de compuestos fenólicos (la vacuola es muy importante en esta acumulación y contiene casi todos los compuestos fenólicos solubles, mientras que algunas ligninas se acumulan en la pared celular) varía en función al estado fisiológico del fruto y es resultado de un equilibrio entre la biosíntesis y el resto del metabolismo. Hay una muy activa síntesis en los frutos muy jóvenes, para reducirse durante el período de crecimiento mas activo; así, el balance entre la proporción de acumulación y la velocidad de crecimiento son las condiciones para la evolución de las concentraciones de estos compuestos. De esta manera; el metabolismo fenólico está perfectamente integrado en el desarrollo de las fases de la vida del fruto, hasta el punto de ser considerado como un posible indicador de la maduración, pues la producción de ciertos compuestos fenólicos conduce, ya sea a la formación de otras moléculas fenólicas, o de su más o menos degradación en particular por la vía oxidativa, la cual conduce al bronceamiento que es común en los frutos (Macheix y Fleuriet, 1990).

Fisiológicamente, el mecanismo de control más importante en el metabolismo fenólico implica, el control de la cantidad de la enzima; la regulación de la actividad enzimática; la compartimentación de las enzimas, la disponibilidad de precursores e intermediarios; así como la integración en la diferenciación y el desarrollo de programas del organismo productor. Sin embargo, este mecanismo de control está sujeto a variaciones que son inherentes al proceso de desarrollo y maduración del fruto, aunque también

pueden responder a las influencias de factores externos como la luz, temperatura, humedad, etc. De esta manera, las más altas concentraciones de compuestos fenólicos se presentan en los frutos jóvenes y alcanzan su máxima concentración durante las fases tempranas de desarrollo, la cual está asociada con una extensa división celular, en contraposición al subsecuente período de dilatación celular, a partir del cual las concentraciones se reducen hasta la maduración para estabilizarse o disminuir durante la fase final del crecimiento y a pesar de que algunos factores externos pueden modificar estas evoluciones, el control genético parece ser el factor primario.

La maduración postcosecha de hongos es estimulada por un aumento en la disponibilidad de compuestos nitrogenados de bajo peso molecular los cuales, a su vez, son producidos por el incremento en la actividad proteolítica, que es una adaptación fisiológica a las condiciones de inanición causadas por la eliminación de la fuente de sustrato, a través de la cosecha del hongo (Dennis y Morris, 1975).

Polifenol oxidasa

Las fenoloxidasas comprenden esencialmente dos tipos de enzimas, o difenol oxidasa (catecol oxidasa, tirosinasa, fenolasa y polifenol oxidasa) y *p*-difenol oxidasa o lacasa. Ambas enzimas son fenol-oxígeno oxidoreductasas. Estas enzimas presentan dos actividades secuenciales: oxidación de un monofenol a un difenol y la subsecuente oxidación del último, pero las reacciones son diferentes en sus propiedades, sustratos potenciales, condiciones bajo las cuales toman lugar y las propiedades moleculares de las enzimas que las catalizan.

Además, los productos inmediatos de la oxidación de fenoles, en ambas enzimas, son quinonas, las cuales por su gran actividad sufren usualmente reacciones

secundarias, ya sea entre moléculas de quinonas o con otras sustancias que se presentan en la vecindad inmediata y por consecuencia, se forma una variedad de compuestos coloreados, frecuentemente cafés o negros, los cuales no son resultado directo de la oxidación primaria (Mayer y Harel, 1991).

La amplia ocurrencia de estas enzimas, de acuerdo con diversos reportes, indica la aparición casi universal de la catecol oxidasa en la mayoría de los organismos y, aunque la catecol oxidasa no es aparentemente ubicua en las plantas hay pocos frutos y hortalizas en los cuales no ha sido encontrada (Mayer y Harel, 1979). En los hongos, la ocurrencia de catecol oxidasa parece estar correlacionada con la aparición de los cuerpos fructíferos en un número de basidiomicetos, aunque no parece haber una relación causal (Ceruti-Securti *et al.*, citados por Mayer, 1987) y en los hongos micorrízicos se ha señalado la presencia bastante general de catecol oxidasa. Por otra parte, mediante la localización histoquímica de tirosinasa, se mostró que la enzima está presente en todo el tejido de hongos comestibles, aunque su mayor proporción se localiza en el estípite (tallo), laminillas y epidermis del pileo (Moore, *et al.*, 1988).

Con relación a la lacasa, esta se encuentra (extra o intracelular) en casi todos los basidiomicetos estudiados al menos en alguna etapa de su desarrollo. La lacasa extracelular parece estar presente en muchos hongos micorrízicos, la mayoría de los cuales no produce catecol oxidasa, lo que es quizás significativo. El problema de lacasa está estrechamente relacionado con la cuestión de su función durante el desarrollo y no es claro si se forma específicamente durante la fructificación de diversos hongos. En *Agaricus* se produce una lacasa extracelular, la cual durante el desarrollo del cuerpo fructífero reduce su nivel debido a inactivación y proteólisis, por lo que su función en la formación del cuerpo fructífero parece improbable (Wood, citado por Mayer,

1987). Además, en *Podospora anserina*, la lacasa se formó realmente durante la lisis de la célula y se mostró que esto fue un proceso regulado del desarrollo el cual implicó una síntesis *de novo* y por lo tanto, la formación extracelular de la enzima se correlaciona con la lisis y su control (Boucherie *et al.*, 1981).

La catecol oxidasa en hongos y plantas superiores actúa sobre un rango de mono y difenoles, por lo que la especificidad para isómeros ópticos es menos evidente. No obstante, la típica reacción PPO catalizada por catecol oxidasa parece ser una reacción de dos pasos, comenzando con un monofenol o una reacción de un paso, en la cual es oxidado un dihidroxifenol; pero mientras que esta última reacción es común y se ha estudiado con gran detalle, la capacidad para oxidar monofenoles, frecuentemente se ha reportado como ausente en preparaciones de enzimas de tejidos vegetales, lo cual se debe probablemente a que i) esta reacción se detecta menos rápidamente, ii) está usualmente asociada con un período de retardo y, iii) aparentemente la capacidad de la enzima para hidroxilar monofenoles se pierde fácilmente, debido quizás a cambios en la conformación de la enzima.

La catecol oxidasa en hongos, parece ser una enzima soluble que no está ligada a las membranas, exceptuando algunos casos en donde se ha reportado la excreción de tirosinasa al interior del medio (Bruches *et al.*, citados por Mayer y Harel, 1979). La catecol oxidasa es una enzima intracelular, por lo que la carencia de su actividad en un tejido particular o en cierta etapa de desarrollo, no puede ser tomada como prueba de la ausencia de gene(s) codificado para catecol oxidasa o aún la ausencia de la proteína misma (Mayer y Harel, 1991).

De esta manera, aunque el nivel de actividad de catecol oxidasa, no está confinado a una fase específica, cambia durante el desarrollo del fruto, la maduración y el

almacenamiento y puede disminuir hasta niveles despreciables en algunos casos (Mayer y Harel, 1981), frecuentemente su formación se correlaciona con la conformación de los cuerpos fructíferos en los hongos, como en el caso de *Hypomyces*, *Agaricus* y *Schyzophyllum*.

En la determinación de la función fisiológica de la lacasa se ha prestado considerable atención en la descomposición de la lignina, mediante el estudio del posible mecanismo por el cual causa la descomposición y mediante intentos para inhibir su acción o reducir su nivel en hongos de madera descompuesta. Por otra parte, aunada a la conocida actividad oxidativa de la lacasa, ahora es claro que puede también demetilar los grupos methoxi, lo que es importante en la degradación de la lignina, pues esta actividad degradativa está estrechamente asociada con la capacidad de la lacasa por afectar el grado de polimerización del sustrato, lo cual muestra una aparente acción múltiple de esta enzima, puesto que puede tanto oxidar o demetilar, como polimerizar o despolimerizar, por lo que es posible que su importancia no se encuentre en la oxidación de la lignina *per se*, sino en su capacidad para polimerizar compuestos que surgen durante la oxidación de la lignina (Mayer, 1987).

Así pues, en Fungi muy frecuentemente se encuentran presentes ambos tipos de fenoloxidasas, catecol oxidasa (tirosinasa) y lacasa pero su aparición simultánea o secuencial, catalizando aparentemente las reacciones resultantes en el mismo producto final -quinonas-, hacen la cuestión de su función biológica aún más desconcertante, por lo que parece extremadamente probable que diferentes funciones deben ser atribuidas a la misma enzima, presente en diferentes tejidos, en diferentes etapas de desarrollo y en diferente ubicación dentro de la célula (Mayer y Harel, 1991). La mayoría de las observaciones realizadas apoyan la idea de que la senescencia y los niveles más

altos de la enzima oxidativa son fenómenos relacionados estrechamente, aunque también existen reportes contradictorios. Por esta razón las polifenol oxidasas, son un grupo de enzimas de vital importancia, para el hombre, puesto que las propiedades, palatabilidad, resistencia y utilidad de la mayoría de los productos derivados de las plantas, puede modificarse por la presencia de la catecol oxidasa y la lacasa, así los cambios conformacionales que se presentan durante el procesamiento de los productos alimenticios, pueden tener considerables implicaciones prácticas desde el punto de vista de la calidad en las frutas, hortalizas o sus productos (Mayer y Harel, 1979).

A pesar de que la función fisiológica de las fenol oxidasas en tejidos vegetales y fungos es poco clara, sus funciones más probables son: i) funcionan como oxidoreguladores. ii) proporcionar algún grado de protección contra patógenos, debido a la gran reactividad de sus productos de reacción, iii) disuasión de predadores, haciendo no palatables los tejidos debido a la interacción de productos de la oxidación de fenoles con los componentes celulares. iv) señalización mediante la reducción en la actividad, una vez que el fruto a alcanzado una etapa de maduración, de modo que las semillas, pueden ser distribuidas, incrementando la palatabilidad (Mayer y Harel, 1991).

Desde el punto de vista de su importancia real en el procesamiento o utilización de los tejidos para un eventual consumo humano, debe recalcarse primero que la actividad fenol oxidasas no es siempre perjudicial, pues en numerosos productos alimenticios juega un importante papel en la determinación de su calidad.

La actividad polifenol oxidasa, por ejemplo, en el grano de cacao, es esencial en su calidad y color, así como en el café y en la vinificación. Sin embargo, desde el punto de vista del consumidor son significativos dos aspectos que se traducen en efectos adversos. El primero es el aspecto visual, pues como en el caso de los hongos

comestibles, éstos se broncean rápidamente luego de ser cosechados o magullados ligeramente, con lo que son simplemente desagradables a la vista y por lo tanto poco atractivos; pero a aunque estas reacciones de bronceamiento no son necesariamente perjudiciales para el producto final, es necesario que no alteren su calidad, su valor nutritivo, su vida de anaquel o su sabor. En consecuencia, el segundo aspecto radica en la preservación de estas cualidades; no obstante, debido a que los productos de la actividad fenol oxidasas (quinonas) son compuestos altamente reactivos, ellos sufren una variedad de reacciones con otros constituyentes del fruto durante su cosecha, procesamiento y preservación; tales reacciones incluyen aquellas de las quinonas con el grupo tiol, aminoácidos, fenólicos, coumarinas, con azúcares y con componentes del sabor y del color, lo cual puede tener efectos adversos sobre los productos y manifestarse produciendo desaborizantes, reduciendo su digestibilidad o su valor nutritivo (Mayer y Harel, 1991).

Aspectos físicos: Color

Interacción entre temperatura, actividad PPO, contenido de fenoles sobre color y textura.

Uno de los factores que contribuyen a la pérdida de calidad es el cambio de color, que es causado principalmente por la acción de la enzima tirosinasa (la cual se activa como resultado del envejecimiento poscosecha, por el daño mecánico, magulladuras y infección bacterial) que cataliza la oxidación de fenoles (Burton y Noble, 1993). Asimismo, las características físicas como textura y decoloración parecen estar relacionadas a la maduración y la velocidad a la que ocurren estos cambios son afectadas por la temperatura, pues el almacenamiento a baja temperatura ha

mostrado ser un método eficiente para retardar el deterioro y la senescencia en hongos cosechados.

El cambio de color en los hongos resulta de la acción de la *o*-difenol oxidasa (polifenol oxidasa, tirosinasa) y de la temperatura de almacenamiento, sobre los compuestos fenólicos, la *o*-DPO activa se incrementa gradualmente durante el almacenamiento de 10 a 20°C, en cambio a 0° presenta al inicio un leve decremento durante los primeros cuatro días de almacenamiento y después permanece relativamente constante. De esta forma, la pérdida de compuestos fenólicos pareció estar negativamente correlacionada con el cambio de color y directamente correlacionada con el incremento en la actividad *o*-DPO. Sin embargo, esta correlación aparentemente solo se mantuvo por alrededor de la primera mitad del período de almacenamiento, ya que después de eso hubo un ascenso en los compuestos fenólicos a 10 y a 20°C, que pudo haber sido resultado de una pérdida de la actividad enzimática, puesto que posteriormente la actividad *o*-DPO continuo en ascenso (Murr y Morris, 1975).

Por otra parte, cuando los hongos ostra son almacenados a 15°C sufren daños después de siete días, pues el píleo y las laminillas se tornan oscuras, se pierde la turgencia de los receptáculos y los pileos se tornan pastosos, además de que ocurre un fenómeno conspicuo, que es el desarrollo de hifas sobre la superficie del píleo y laminillas. En cambio, después del almacenamiento durante una semana a 8°C, la calidad de los hongos es aún aceptable, aunque aún se presentan alteraciones principalmente en el color y la firmeza, en comparación con los hongos almacenados a 1 y 3.5°C (Bohling y Hansen, 1989).

En relación a las características físicas, el cambio de color es el principal factor que contribuye a la pérdida de calidad de los hongos una vez cosechados y resulta de la

acción de la oDPO (óxido difenol oxidasa) sobre los compuestos fenólicos; Esta enzima es comercialmente importante puesto que cataliza los primeros dos pasos en la formación de pigmentos asociados con el bronceado (Dennis y Morris, 1975).

Los hongos comestibles son productos altamente perecederos (pueden compararse con el pescado, pues una vez cosechados se descomponen rápidamente a menos que se refriegeren) y la blancura es un requisito esencial para su comercialización. Por ello el manejo poscosecha debe considerar tanto la etapa de cosecha apropiada, como su almacenamiento en condiciones idóneas.

Como se sabe los hongos jóvenes se conservan durante mayor tiempo después de cosechados que los hongos más viejos, ya que una vez que las esporas se han desarrollado sobre la superficie de las laminillas, se acelera su condición de perecedero (Stamets, 1993). Esto les da una apariencia desagradable, por esta razón, los ejemplares destinados a la venta deben cosecharse cuando son jóvenes, pues luego su carne se vuelve correosa y el borde del píleo deja de ser convexo, lo cual disminuye su calidad comercial (García, 1985).

Asimismo, el almacenamiento de los hongos en atmósferas modificadas, en combinación con la reducción de la temperatura, regula el intercambio gaseoso y paralelamente permite conservar por un mayor tiempo su color.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Origen y características del Material Experimental

Los hongos utilizados fueron los que se conocen como hongos ostra o setas, *Pleurotus ostreatus* var. California, los cuales se cultivan a escala comercial en la Ciudad de Texcoco. El sustrato en el que se desarrollaron estos hongos consistió en una mezcla de paja de trigo y de cebada en proporciones de 2:1, a la que no se le adicionó ningún suplemento nutritivo. Los hongos se cosecharon en forma tradicional, es decir en racimos u oleadas en las que es común la presencia de individuos que, por efecto de la competencia, presentan mayor desarrollo, mientras que otros no llegan a desarrollarse plenamente. Así pues, se cosecharon dos lotes de hongos; uno compuesto por racimos de cuerpos fructíferos que habían alcanzado su madurez comercial y el otro, formado por racimos que se encontraban en una fase más juvenil, o sea un día antes de maduración comercial. A partir de aquí para los fines del experimento se procedió a separar, de ambos lotes, a los individuos homogéneamente uniformes, desechando los individuos extremadamente grandes o muy pequeños, así como los maltratados o manchados. De esta manera las submuestras se conformaron con cuerpos fructíferos con un diámetro de píleo de 6 a 8 cm y con un estípite de alrededor de 2 cm, sin evidencias aparentes de daños físicos u otras anomalías. El almacenamiento y las mediciones se realizaron en el laboratorio de Fisiología Postcosecha del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo.

Manejo del experimento

El diseño experimental utilizado fue el de parcelas divididas, distribuyendo los tratamientos de la manera siguiente:

- a) Dos bloques: Almacenamiento a temperatura ambiente y almacenamiento a 3°C.
- b) Parcela grande (grado de madurez); hongos cosechados en su madurez comercial y cosechados un día antes de su madurez comercial.
- c) Parcela Chica (empaques con tres tipos de cubierta plástica): Charolas de unicel con cubierta protectora "kleen pack", en bolsas de polietileno y en bolsas de polipropileno (atmósferas modificadas) y un testigo en charola de unicel sin cubierta plástica protectora.

De esta manera, mediante la combinación de estas variables quedaron conformados 16 subtratamientos con 5 repeticiones cada uno, en los que cada unidad experimental estuvo compuesta por empaques conteniendo 14 frutos con las características ya mencionadas.

Los 16 subtratamientos, con sus respectivas repeticiones, se distribuyeron aleatoriamente de tal forma que 8 subtratamientos (un bloque) se almacenó en condiciones ambientales, a temperaturas entre 18 y 24°C y una humedad relativa de 55%. Y el otro bloque de 8 subtratamientos, se almacenó en cámara de refrigeración a 3°C, y una humedad relativa de 75%.

Una vez empacados y almacenados los subtratamientos se procedió a efectuar las siguientes determinaciones:

Fisiológicas: Se efectuaron 4 horas después del corte, el segundo, séptimo y onceavo día (final del experimento) y se determinaron pérdidas de peso, producción de etileno y patrón de respiración.

Bioquímicas: producción de fenoles totales y polifenol oxidasas, las cuales se llevaron a cabo el día de cosecha, a los 7 días y al día 11.

Físicas: Éstas se realizaron considerando la variación en la coloración superficial de los cuerpos frutíferos, al inicio y al final del experimento, así como por los cambios en su apariencia mediante fotografías tomadas 2 horas después del corte, a los 7 y 11 días de postcosecha.

Metodología

Variables fisiológicas

Pérdidas de Peso

Las pérdidas de peso se midieron para cada una de las unidades experimentales. Se cuantificaron en base a porcentaje según la siguiente fórmula:

$$\% PP = \frac{Pi - Pf}{Pf} \times 100$$

Donde: % PP= Porcentaje de pérdida de peso

Pi = Peso inicial del fruto en gramos

Pf = Peso del fruto al final del período de almacenamiento

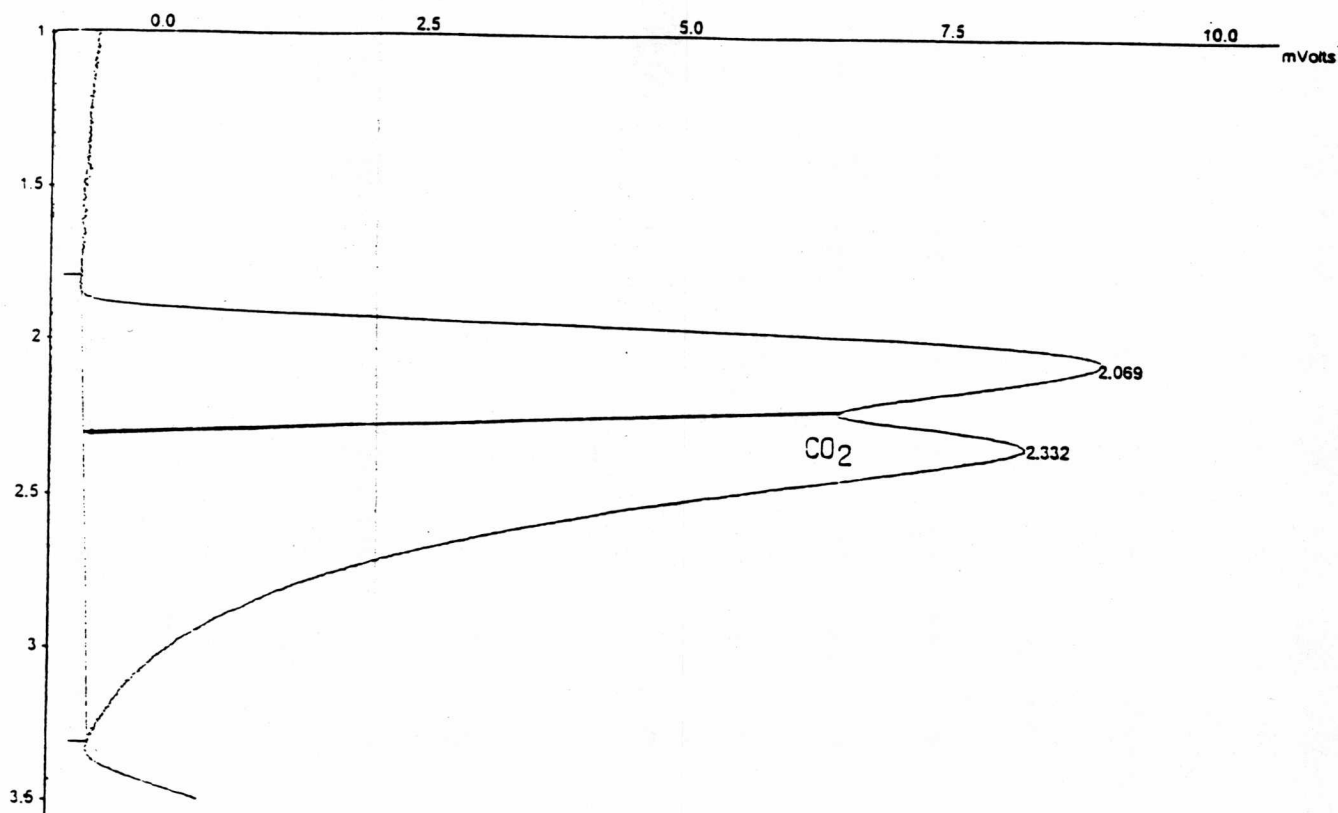
Respiración y Producción de etileno.

Los patrones de respiración y producción de etileno de los hongos se obtuvieron simultáneamente siguiendo un método indirecto, la muestra se tomó de cámara o sistema cerrado. El CO₂ y el C₂H₄ se cuantificaron por cromatografía de gases,

utilizando para CO_2 el detector de conductividad térmica (TCD) y para C_2H_4 el detector de ionización de flama (FID).

Se tomó una repetición de cada subtratamiento para depositarla en las cámaras (recipientes de plástico sellados herméticamente, durante una hora), al término del cual se procedió a extraer con una jeringa, una pequeña cantidad de muestra gaseosa (0.1 ml) inyectándola inmediatamente en el cromatógrafo para su determinación y registro en el programa del software (Star Chromatography Workstation Version 4.5) Varian 1996. Posteriormente se destaparon las cámaras y se pesó cada una de las repeticiones. Se midió el volumen de las cámaras para calcular la tasa de respiración.

Para este fin se utilizó un cromatógrafo de gases marca Varian Modelo 3400, con una columna capilar Chrompack con capa porosa sílica fundida (PLOT) y fase estacionaria poraplot Q, con una columna de 27.5 m de largo, 0.32 mm de diámetro interno y 0.45 mm de diámetro externo. El flujo en la columna capilar fue de 3.2 ml min^{-1} . Los gases usados y sus flujos en el detector fueron: Nitrógeno de arrastre ($30 \pm 1 \text{ ml min}^{-1}$), Hidrógeno ($30 \pm 1 \text{ ml min}^{-1}$) y aire ($30 \pm 15 \text{ ml min}^{-1}$), con una presión de 34 libras por pulgada cuadrada (psi) en la cabeza de la columna. La columna del cromatógrafo se calentó a 80°C y 150°C en el inyector, a 170°C en los detectores y a 200°C en el filamento. El tiempo de corrida fue de 3.5 min, bajo las condiciones cromatográficas establecidas, el tiempo de retención para CO_2 fue de 2.33 minutos (Figura 1) y 2.61 minutos para C_2H_4 (Figura 2).

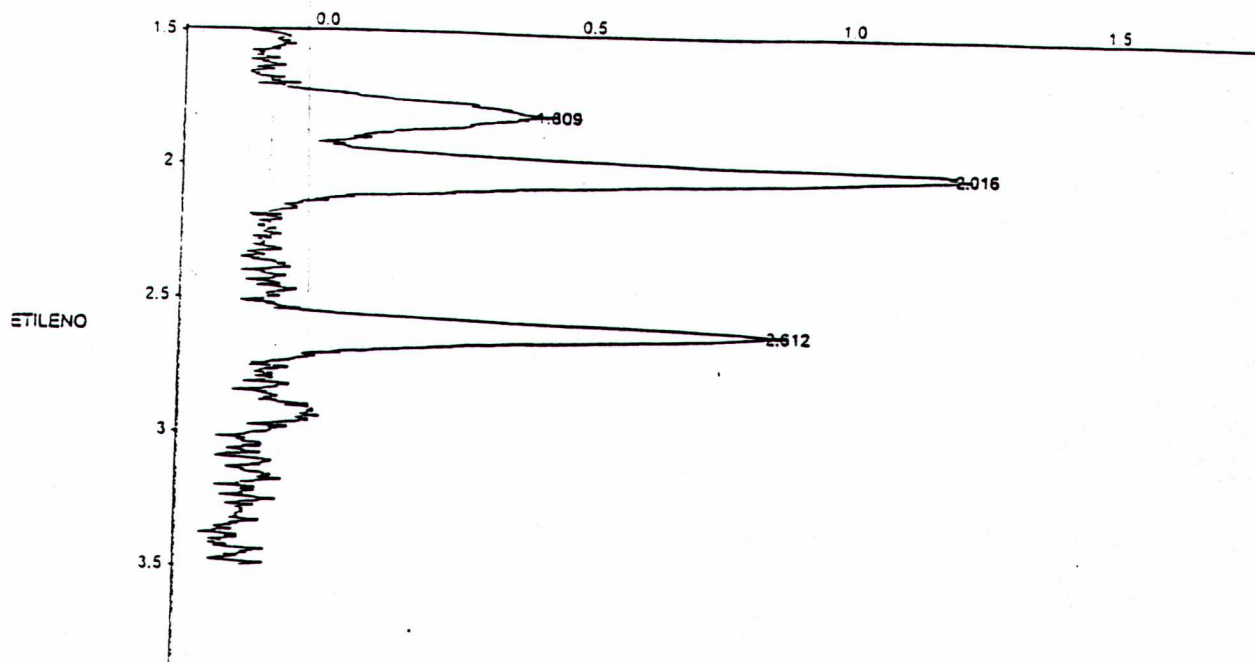


***** Star Chromatography Workstation ***** Version 4.5 *****

Run Mode : Analysis
 Peak Measurement: Peak Area
 Calculation Type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes
1		37.8963	2.069	0.000	14221	BV	14.3	
2	CO ₂	58.3863	2.332	0.000	21910	VP	31.7	
3		3.7172	3.772	0.000	1395	PS	0.0	
Totals:		100.0000		0.000	37526			

Figura 1. Cromatograma y reporte de la muestra estándar de CO₂ (20,000 ppm).



***** Star Chromatography Workstation ***** Version 4.5 *****

Run Mode : Analysis
 Peak Measurement: Peak Area
 Calculation Type: External Standard

Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes
1		0.0000	1.809	0.000	364	BV	5.9	
2		0.0000	2.016	0.000	620	VB	5.5	
3	ETILENO	0.4281	2.612	0.019	464	BE	4.3	
Totals:		0.4281		0.019	1643			

Figura 2. Cromatograma y reporte de la muestra estándar de C_2H_4 (103 ppm).

Determinación de la Concentración de CO₂ y C₂H₄

La determinación de la concentración de CO₂ y C₂H₄, se hizo mediante la ecuación de las curvas estándar.

Para el cálculo de la tasa de respiración de los frutos se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Respiración en ml de CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1} = \frac{[\text{CO}_2](V)}{(T)(P)F}$$

Donde:

[CO₂] = Concentración de CO₂ de la muestra en partes por millón (ppm) determinada por el cromatógrafo.

V = Volumen de la cámara o recipiente en mililitros (ml).

F = factor de equivalencias (1000000)

T = tiempo de acumulación de CO₂ emitido por el fruto en horas (h)

P = peso de los frutos en kilogramos (Kg)

En el cálculo de etileno de los frutos se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Producción de etileno en } \mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1} = \frac{[\text{C}_2\text{H}_4](V)}{(T)(P)(F)}$$

Donde:

[C₂H₄] = Concentración de C₂H₄ de la muestra en partes por millón determinada por el cromatógrafo.

V = Volumen de la cámara o recipiente en mililitros (ml)

F = factor de equivalencias 1000

T = tiempo de acumulación de CO₂ emitido por el fruto en horas (hr)

P = peso de los frutos en kilogramos (Kg)

Para elaborar esta curva se usaron dos tableros mezcladores de gases, alimentados con una fuente de CO₂ gaseoso presurizado (estándar certificado con 4015 ppm de concentración de CO₂, balance de N₂) y N₂ proveniente de un tanque presurizado estándar certificado de alta pureza de N₂ al 100% (Cuadro 1).

Se seleccionaron una serie de diluciones (combinaciones de estos dos gases en diferentes proporciones con base en diferentes velocidades de flujo) teniéndose como límite para la suma de ambos, un flujo máximo total de alrededor de 7.5 l h⁻¹. Así, el CO₂ originalmente con 4015 ppm, balance N₂, fue diluido consecutivamente con un flujo complementario de N₂, disminuyendo el flujo de CO₂ y aumentando proporcionalmente el de N₂. De esta forma fueron preparadas 5 mezclas de flujo continuo y de concentración teórica conocida, cada mezcla fue inyectada por triplicado en el cromatógrafo. Las condiciones del cromatógrafo fueron las mismas a las descritas anteriormente.

Flujo de CO ₂ . l h ⁻¹	Flujo de N ₂ . l h ⁻¹	Flujo Total l h ⁻¹	Concentración teórica Resultante de CO ₂ (ppm).	Área bajo la curva
7.5	0	7.50	4015.00	897.00
5.66	1.81	7.47	3029.98	680.00
3.38	4.16	7.54	1809.42	346.00
1.09	6.39	7.40	583.51	127.00
0	7.50	7.50	0	0.00

Cuadro 1. Mezcla de gases para la elaboración de la curva estándar

Graficando posteriormente los datos de las concentraciones teóricas que fueron resultado de cada dilución, contra el área integrada bajo la curva (pico), curva estándar de

CO₂ (Figura 3). correspondiente a cada mezcla obteniendo así, mediante un programa de regresión simple, la curva estándar, cuya ecuación es la siguiente:

$$\text{CO}_2 (\text{ppm}) = 70.38 + 4.4322 (X)$$

Donde:

CO₂(ppm) = Concentración de CO₂ en partes por millón (ppm).

X = Área obtenida para la curva para cada muestra inyectada.

Los flujos parciales de CO₂, N₂ total, así como la concentración teórica de CO₂ (ppm) resultante y área bajo la curva correspondiente, se determinó en el cromatógrafo de gases para obtener la curva estándar de CO₂.

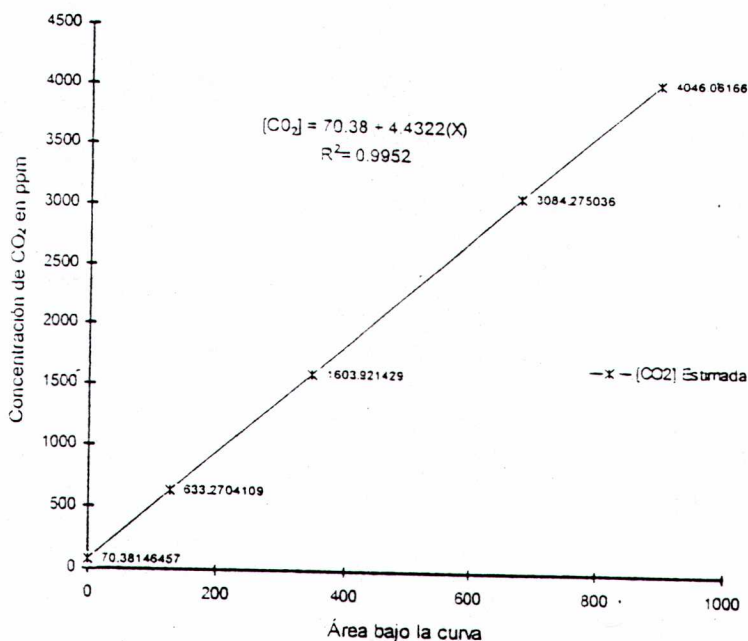


Figura 3. Curva estándar para CO₂.

Elaboración de la curva estándar para C₂H₄.

En la elaboración de la curva de calibración se utilizaron dos diferentes concentraciones de etileno (mezclas certificadas de 10 y 103 ppm de C₂H₄; balance N₂); cada

concentración fue inyectada tres veces en el cromatógrafo, y usando las condiciones descritas anteriormente. Posteriormente graficamos los datos de las concentraciones, contra el área integrada bajo la curva (pico), dada por el cromatógrafo correspondiente a cada mezcla para obtener así la curva de calibración, curva estándar de C_2H_4 , (figura 4) y cuya ecuación es la siguiente:

$$C_2H_4 \text{ (ppm)} = 2.0768 + 0.0649(X)$$

Donde : C_2H_4 (ppm) = Concentración de C_2H_4 en partes por millón.

X = Área obtenida bajo la curva, para cada muestra inyectada.

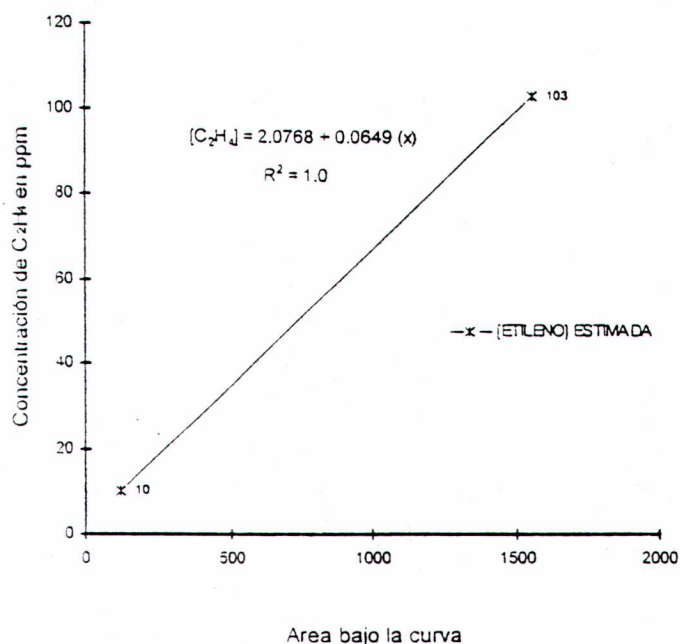


Figura 4. Curva de calibración para etileno (C_2H_4).

Variables bioquímicas

Contenido de fenoles totales

La determinación del contenido de fenoles totales se realizó mediante una adaptación de la técnica descrita por Litwack (1967). Para la preparación de la solución madre se pesaron 10 mg de reactivo de folin los cuales se disolvieron en 10 ml de agua y

aforaron hasta 100 ml. La solución de folin se colocó en tubos de ensayo a los que se les adicionó el agua necesaria para alcanzar un volumen de 1ml, con las concentraciones siguientes: 0.0, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 y 1.0 ml; a cada tubo se le agregaron 5ml de Na_2CO_3 al 10% y luego se incubaron a 38°C durante 15 minutos. Después de esto, se tomó 1 ml de cada muestra y se le adicionaron 3ml de agua más 1ml de reactivo de folin (1:1 en agua), se mezclaron y se mantuvieron en reposo durante 15 min; acto seguido se tomó la lectura del espectrofotómetro a 660 nm empleando como blanco el tubo con 0 ml de fenol y se obtuvo la curva estándar (Figura 5).

Para la determinación de fenoles en cuerpos fructíferos de hongos seta *Pleurotus ostreatus*, se tomaron 0.5 g de muestra congelada del hongo, la cual se maceró en un mortero congelado. Una vez que la muestra estuvo finamente picada, se le agregaron 5ml de solución Metanol: Cloroformo: Agua en proporción 2:1:1. Esta solución se centrifugó a 2000 xg durante 15 minutos y luego se decantó. Al sobrenadante se le agregaron 5ml de Na_2CO_3 al 10% y se mezclaron en seguida la muestra se incubó a 38°C por 15 minutos. Se tomó 1ml al cual se le agregaron 3ml de agua y 1ml de reactivo de folin (1:1 en agua), se mezclaron y dejaron reposar 15 minutos para leer la absorbancia en el espectrofotómetro a 660 nm.

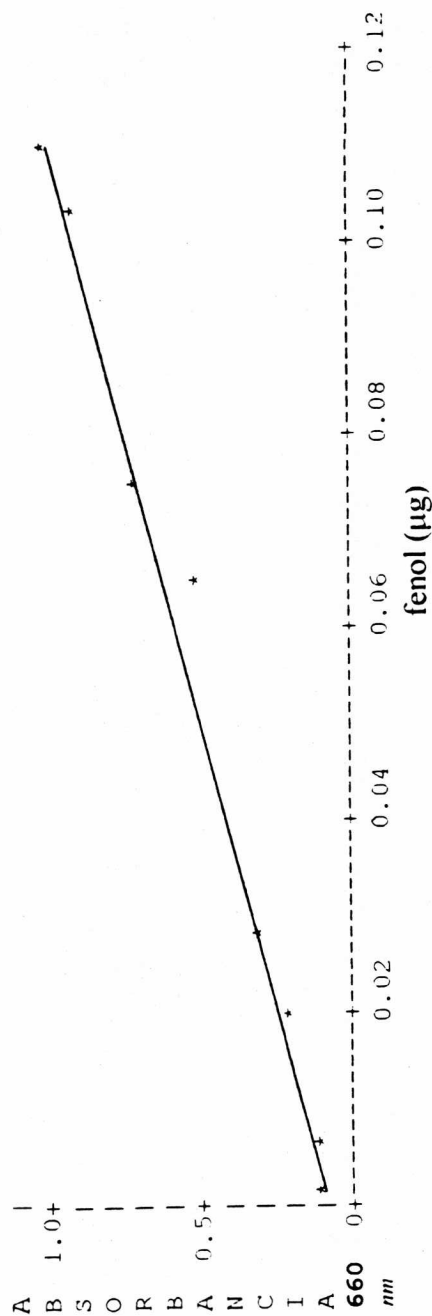


Figura 5 Curva estándar de fenoles totales

Extracción y Prueba de Polifenoloxidasa

En la realización de esta prueba adaptamos la metodología propuesta por Jingwei y Paull (1997). Se toma una muestra de hongos congelados y se macera en un mortero congelado, para después añadir 2 ml de buffer, el cual contiene 100 ml de TRIS, 10 ml de glicerina, 0.176 g de ácido ascórbico y 1 g de polivinil pirridolina (PVP), hasta alcanzar un pH de 6.8. El extracto se centrifuga a 10 000 xg durante 10 minutos a 4°C y una vez obtenido el sobrenadante, se toma una alícuota de 80 µl (extracto de la enzima) y se le adicionan 2ml 60 mM de catecol (sustrato). Las muestras que servirán como testigo se hierven durante 5 minutos y después se les agrega catecol. El cambio de absorbancia a 490 nm se registró en 1 minuto. Una unidad de actividad de la enzima se definió como el cambio de absorbancia, por minuto.

Determinaciones físicas: Color

Este parámetro se determinó al inicio y al final del experimento, usando el colorímetro Hunter Lab, modelo Mini Scan XE Plus No. 45/0-L. Con él se obtuvieron las dimensiones de "L", "a" y "b". "L" indica la brillantez y sus valores varían desde cero que representa colores oscuros, hasta 100 que representa colores de máxima brillantez; "a" identifica la coloración la cual va desde de verde (-) hasta rojo (+) y "b" indica desde el color azul (-) hasta el amarillo (+). Con estos valores se calculó el cambio de color (ΔE), como se describe a continuación:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Donde:

ΔL = Valor "L Hunter" final- Valor "L Hunter" inicial

Δa =Valor "a Hunter" final – valor "a Hunter" inicial

Δb =Valor "b Hunter" final – valor "b Hunter" inicial

Análisis Estadístico de los resultados

El punto medular sobre las evaluaciones de la preservación de la calidad postcosecha, está dado por la respuesta a factores tales como: respiración, producción de etileno, producción de fenoles, y oxidación de los mismos, lo cuales se manifiestan como efectos indeseables en el cuerpo fructífero, pérdidas de peso, reacciones oxidativas (bronceado de los frutos) y altas tasas respiratorias. Del comportamiento de éstos factores y su interrelación con el empaque en atmósferas modificadas, depende lograr un producto de alta calidad que pueda competir exitosamente en el mercado.

Para realizar el análisis de la información se empleo un Diseño Experimental Parcelas divididas

Modelo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + \varepsilon_{ij} + S_k + (TS)_{jk} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Respuesta observada para el j-ésimo tratamiento y el k-ésimo subtratamiento en el i-ésimo bloque.

μ = Efecto medio general

β_i = Efecto del i-ésimo bloque

T_j = Efecto del j-ésimo tratamiento (parcela grande)

ε_{ij} = Error aleatorio en la parcela grande

S_k = Efecto del k-ésimo subtratamiento (parcela chica)

$(TS)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento y el k-ésimo subtratamiento.

e_{ijk} = Error aleatorio en la parcela chica.

El Diseño de tratamientos fue parcelas divididas, planteando dos bloques que en este caso son dos temperaturas de almacenamiento: B_1 = ambiente y B_2 = 3°C.

En el tratamiento o parcela grande se probaron dos grados de madurez de los cuerpos fructíferos que fueron: T_1 = completamente maduros (bordes del píleo planos) y T_2 =1 día antes de la completa maduración (los bordes del píleo presentan cierta convexidad).

La Parcela chica consistió en probar tres películas plásticas y un subtratamiento sin película plástica que servirá como testigo, quedando de la manera siguiente: S_1 = hongos almacenados sin película plástica, S_2 =hongos almacenados en charola de unicel y cubierta protectora "kleen pack", S_3 =hongos almacenados con polietileno de baja densidad, S_4 = hongos almacenados con polipropileno.

$8 \times 5 \times 2 = 8$ interacciones $\times 5$ repeticiones $\times 2$ bloques.

Para la interpretación de los resultados se empleó un análisis de varianza para el diseño descrito con ayuda de el paquete Statical Analysis System (SAS). Con un $\alpha=0.05$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinaciones fisiológicas

Pérdidas de Peso

Una de las causas más importantes del deterioro de las cosechas durante el almacenamiento es la pérdida de agua. Además es claro que este deterioro se agrava cuando se trata de hongos comestibles que son productos altamente perecederos, cuya comercialización exige que se ofrezca al consumidor un alimento que no únicamente sea atractivo, sino también un producto de óptima calidad nutritiva.

Ante estas condiciones y en una primera visión, podría decirse que la alternativa para el productor de hongos es cosechar y comercializar los hongos en sus etapas juveniles, es decir en botón, cuando se tiene un sabor más acentuado y mejor, además de que su almacenamiento y manejo no presentarán las limitaciones originadas por un alto contenido de humedad. Sin embargo, si todo el producto se cosechara en botones, ocurriría una pérdida sustancial en el rendimiento potencial de los hongos y para compensar esto, su precio de comercialización forzosamente tendería a elevarse para solventar así los costos de producción. Como contraparte de esto, cuando los hongos se cosechan en su óptima madurez, proporcionan al productor un máximo rendimiento, pues justo antes de la madurez los rasgos de los hongos se transforman debido al redimensionamiento de sus células, aunque sin un incremento sustancial en el contenido de materia seca de cada hongo, pero sí con un aumento en el contenido de humedad (Stamets, 1993). De esta manera, es precisamente en este punto donde se encuentra

el aspecto medular del manejo poscosecha de los hongos y las dificultades que acarrearán su manejo y almacenamiento, pues si bien el productor obtiene el mayor rendimiento potencial de su cultivo, por otra parte, también obtiene un producto con un muy corto período de vida y limitada comercialización.

De la misma forma, es aquí donde se debe hallar una combinación que conjugue el máximo rendimiento potencial de los hongos, las condiciones que hagan posible reducir al máximo las pérdidas de peso del producto durante su manejo y la prolongación de su período de comercialización. Asimismo, es necesario que tal combinación tenga como base una forma económica y práctica de manejar el producto, pero también que permita hacer llegar al consumidor un producto de buena calidad.

Sabemos que en condiciones naturales la pérdida de humedad por transpiración en los hongos se ve acentuada por la relación existente entre la unidad de área expuesta y unidad de volumen y como ésta no la podemos modificar, entonces debemos reducir la transpiración para evitar pérdidas de peso, el encogimiento y el marchitamiento; durante el almacenamiento se deberá considerar la temperatura y la humedad relativa como los principales factores cuya modificación influirá decisivamente en la calidad del producto.

No obstante esto no es todo, pues si bien la temperatura y la humedad relativa las podemos manejar mediante la combinación de las temperaturas de almacenamiento y la utilización de empaques con cubiertas plásticas microporosas, para producir atmósferas modificadas al interior de los empaques con el producto, además es necesario encontrar un punto en el que los hongos, al mismo tiempo que alcanzan su madurez y por lo tanto su mayor rendimiento potencial expresado en peso, también permitan reducir las pérdidas de peso causadas principalmente por deshidratación.

Hongos almacenados a temperatura ambiente

En la figura 6 se muestran los dos tratamientos utilizados, hongos cosechados 1 día antes de maduración y hongos cosechados en su madurez. En ambos lotes se observó que, en términos generales, los dos tratamientos tienen una respuesta similar a la pérdida de peso, no obstante, es en los subtratamientos donde se observan diferencias cuantitativas. En el caso del subtratamiento testigo, los hongos cosechados un día antes de su madurez perdieron 89.39% de su peso inicial, mientras que los cosechados a madurez comercial perdieron el 91.43% de su peso, durante los tres primeros días de almacenamiento. De esta manera, si consideramos que el contenido de humedad de los hongos fluctúa entre el 90 y 95%, entonces es claro que después de los tres primeros días de almacenamiento pierden toda posibilidad de ser comercializados, lo que hace indispensable el uso de un empaque que al modificar la atmósfera al interior del producto reduzca la deshidratación y permita prolongar su período de vida útil de anaquel.

En las submuestras empacadas en charolas de unicel con cubierta "kleen pack" (figura 6) se observó que los hongos cosechados en madurez comercial perdieron el 34 % de su peso al onceavo día mientras que los hongos cosechados 1 día antes de su madurez perdieron solo el 3.42% de su peso inicial al onceavo día.

En relación con los hongos empacados en bolsas de polipropileno tenemos que, cuando se cosecharon en su madurez comercial, las pérdidas de peso fueron de 7.45%, en tanto que para los hongos cosechados 1 día antes de su madurez, las pérdidas fueron del 2.22% de su peso inicial al onceavo día.

Por otra parte, las submuestras empacadas en bolsas de polietileno mostraron que, los hongos cosechados maduros tuvieron pérdidas de peso del 3.9% y los hongos

cosechados 1 día antes de su madurez comercial perdieron sólo el 1.04% de su peso inicial al final del experimento (día 11).

Con estos datos podemos concluir que las menores pérdidas se presentaron cuando los hongos se cosecharon 1 día antes de su madurez comercial, mientras que el mejor subtratamiento resultó ser el empaque en bolsas de polietileno. Sin embargo, es necesario aclarar que aunque se hizo evidente la conveniencia de la utilización de empaques con cobertura plástica, pues estos regulan el intercambio de gases y vapor de agua, como se verá mas adelante, cuando este tipo de empaques se usan en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente, no es posible evitar la descomposición del producto pues, como sucedió en esta fase del experimento, todos los subtratamientos presentaban una avanzada pudrición y por esta razón se vuelve imperativo combinar el empaque en atmósfera modificada al momento de la cosecha y la temperatura de almacenamiento.

Hongos almacenados a 3°C

La figura 7 nos indica las pérdidas de peso después de 11 días de almacenamiento en tratamientos cosechados 1 día antes de madurez comercial y en su madurez comercial. Aquí se observa que aunque cuantitativamente los resultados fueron similares a los observados cuando los hongos se almacenaron a temperatura ambiente, en términos cualitativos, no obstante, los resultados fueron muy diferentes.

Los subtratamientos testigo (Figura 7) cosechados 1 día antes de la madurez, mostraron pérdidas del 80% de su peso inicial y los hongos cosechados en la madurez perdieron el 81% después de 11 días de almacenamiento a 3°C; además, es interesante mencionar que no perdieron más peso debido a que la humedad relativa de la cámara de refrigeración osciló entre el 75 y el 80%.

En cuanto a los subtratamientos en charola de unicel con película de PVC, que comercialmente se llama "kleen pack", tenemos que perdieron 1.75 y 3.37% de su peso inicial cuando se cosecharon 1 día antes de su madurez y a madurez comercial respectivamente; esto se debió a que a una temperatura de 3°C la deshidratación de los hongos es menor ya que las películas saturadas de humedad son menos permeables en estas condiciones. Mientras tanto, las muestras de los subtratamientos con bolsas de polipropileno perdieron muy poco peso 0.30% y 0.20% en los hongos cosechados 1 día antes de su madurez y en la madurez comercial, respectivamente. Finalmente, las muestras de los subtratamientos que fueron cubiertas con bolsas de polietileno mostraron menores pérdidas de peso 0.22% y 0.17% respectivamente, durante los 11 días de almacenamiento.

Con estos datos podemos afirmar que el mejor subtratamiento fue el empaque de los hongos en bolsas de polietileno y que la mejor combinación fue la de los hongos cosechados 1 día antes de su madurez comercial, almacenados a 3°C y conservados en bolsas de polietileno. Como corolario podemos decir también que, para prolongar el tiempo de vida útil de los hongos, se vuelve imprescindible almacenarlos a temperatura de 3°C puesto que así se logran preservar las características cuantitativas y cualitativas de este producto para su consumo en fresco.

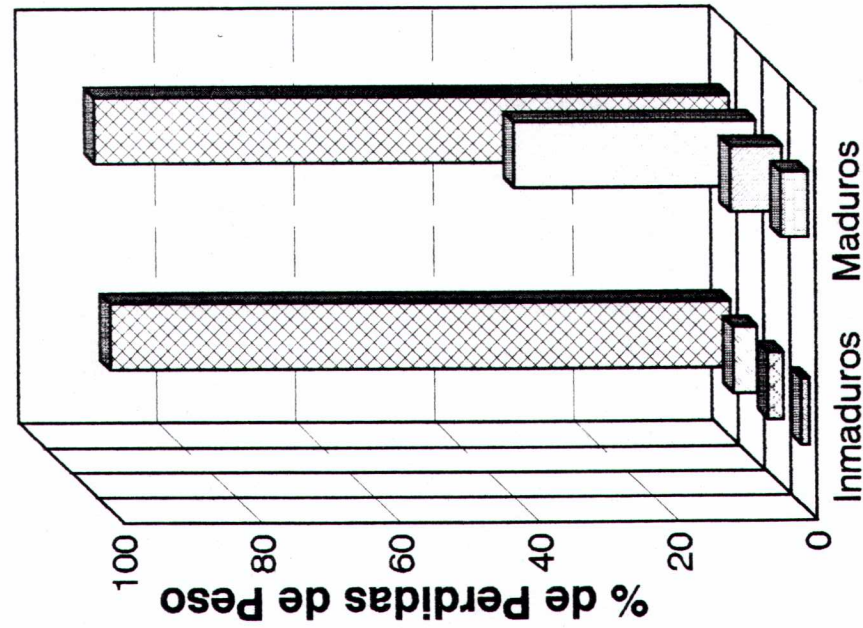


Figura 6. Perdidas de Peso en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente, cosechados maduros e inmaduros.

Tuckey alpha= 0.05

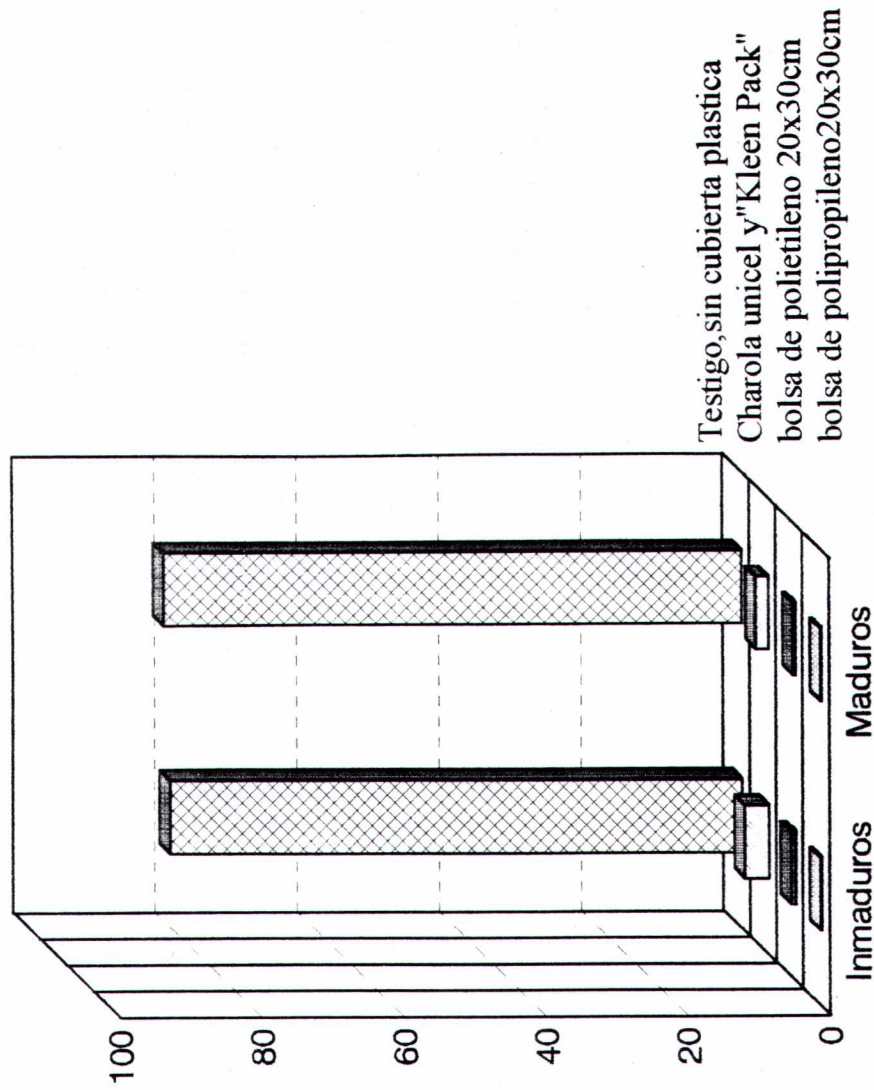


Figura 7. Perdidas de peso en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a 3°C, cosechados maduros e inmaduros.

Tuckey alpha= 0.05

De la misma forma y de acuerdo con los resultados anteriores, podemos decir que en los subtratamientos con películas plásticas las pérdidas de peso disminuyeron porque al mismo tiempo que se regula el intercambio gaseoso y se protege al producto de infecciones, se evita su deshidratación, puesto que en concordancia con la literatura sobre el tema, las pérdidas de peso por respiración disminuyen cuando se reduce el oxígeno y se aumenta la concentración de dióxido de carbono (lo cual se ampliará al abordar los aspectos de respiración).

Así pues, los tratamientos que estuvieron en refrigeración mostraron muy bajas pérdidas de peso debido a que con el empleo de polímeros plásticos se crea una microatmósfera semisaturada alrededor del fruto, la cual evita pérdidas de agua, en comparación con las considerables pérdidas que presenta el fruto cuando se almacena en condiciones ambientales y que resulta acorde con la afirmación de Hardenburg (citado por Pantastico (1979) en el sentido de que el empaque puede reducir las pérdidas de humedad y así impedir la deshidratación (pérdidas de peso), en especial cuando se emplean materiales que forman barreras para el vapor de humedad.

Producción de etileno durante el almacenamiento

En condiciones ambientales naturales, el contenido de O_2 (21%) y CO_2 (0.03%), inducen la producción "normal" de etileno en los frutos climatéricos; sin embargo, si el contenido de O_2 en la atmósfera es bajo, alrededor del 2%, mientras que la concentración de CO_2 es alta, entonces se inhibe la biosíntesis y la acción del etileno, lo cual es conveniente para retardar la senescencia.

En el caso de los hongos *Pleurotus spp.*, como se mostró en el apartado anterior, la combinación de temperatura, atmósfera modificada y madurez de cosecha es

determinante en la prolongación de la calidad y período de vida en anaquel del producto. De esta manera, observamos que la introducción de una simple práctica consistente en cosechar el hongo un día antes de su madurez comercial, junto con la utilización de empaques en atmósferas modificadas y el almacenamiento a 3°C, nos permitió reducir considerablemente las pérdidas de peso.

Determinación de etileno en muestras almacenadas a medio ambiente.

Considerando los subtratamientos testigo, cosechados 1 día antes de su madurez comercial, vemos que se presentaron altas concentraciones en la producción de etileno, las cuales ascendieron hasta 861.8 $\mu\text{l.g}^{-1}$ (Figura 8), mientras que en los hongos cosechados en su madurez, las concentraciones se elevaron a 407.5 $\mu\text{l.g}^{-1}$, hasta el onceavo día de almacenamiento (Figura 9). Sin embargo, aunque en términos absolutos, la menor concentración de etileno se presentó en los hongos cosechados en madurez comercial, tenemos que en los hongos cosechados un día antes de su madurez, el incremento en la producción de etileno fue más pausado hasta el séptimo día, a partir del cual, su concentración se elevó drásticamente hasta alcanzar su máximo al onceavo día. Por otra parte, en los hongos maduros la producción de etileno mostró un incremento drástico y continuo desde el momento de su cosecha y casi hasta el final del período de evaluación. Es interesante añadir que, debido a la deshidratación que presentaron ambos lotes de submuestras en los cuales se observó una reducción de alrededor del 90% de su peso inicial, hubo mayor concentración de etileno por kg de muestra, en comparación con los lotes de submuestras almacenadas con atmósferas modificadas.

En relación a los subtratamientos almacenados con película protectora, se observa que tanto los hongos cosechados un día antes de su madurez (Figura 8), como los que se cosecharon a madurez comercial (Figura 9), produjeron concentraciones mucho menores de etileno y aunque su producción fue progresiva, ésta se ubicó en un rango de 25.46 a 65.21 $\mu\text{l.g}^{-1}$. Las menores concentraciones hasta el onceavo día, correspondieron a las submuestras cosechadas en su madurez comercial y almacenadas en bolsas de polietileno; enseguida las submuestras almacenadas en charola de unicel con cubierta protectora "kleen pack" y al último las almacenadas en bolsas de polipropileno, las cuales mostraron mayores oscilaciones en la concentración de etileno. Además, aunque el patrón en la producción de etileno en las submuestras cosechadas un día antes de madurez comercial fue esencialmente el mismo, no obstante, es necesario recalcar que el almacenamiento en condiciones ambientales, aun cuando se usen diferentes empaques en atmósferas modificadas, invariablemente conducen a la descomposición del producto y a un incremento inútil en los costos de producción.

Determinación de etileno en muestras almacenadas a 3°C.

De acuerdo con lo anterior, es claro que el uso de empaques que generan una atmósfera modificada es imprescindible para regular el intercambio gaseoso cuando se trata del manejo postcosecha de productos que se consumen en fresco. Si sabemos que aún a temperaturas de 21.1°C el etileno no puede inducir la maduración cuando el nivel de oxígeno es muy bajo (Pantastico, 1979) y si en el caso de los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*), cuando estos se almacenan a temperatura ambiental observamos que este tipo de empaque, aun cuando regula la producción de etileno no puede dar

las condiciones para que el producto se conserve en buen estado, entonces es patente la necesidad de introducir otro factor que con su acción nos permita prolongar el tiempo de conservación; este factor es la temperatura de almacenamiento en un rango de 0 a 5°C.

Cuando se combinó una temperatura de almacenamiento de 3°C y los empaques que modifican la atmósfera que circunda al producto, se observó que la producción de etileno se mantiene en niveles muy bajos, tanto en los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial como en los que se cosechan maduros, aunque se observaron diferencias de acuerdo con el tipo de empaque utilizado durante su almacenamiento (Figuras 10 y 11).

En los subtratamientos testigo (sin cubierta protectora) los hongos que se cosecharon un día antes de su madurez comercial mostraron una producción de etileno casi uniforme en niveles bajos que fluctuaron entre 23.1 y 27.06 $\mu\text{l.g}^{-1}$ de PF (Figura 10), mientras que en los subtratamientos almacenados después de ser cosechados en la etapa de madurez comercial, la producción de etileno mostró un progresivo y pronunciado incremento en, el cual alcanzó niveles de 137.2 $\mu\text{l.g}^{-1}$ de PF al onceavo día de almacenados (Figura 11).

Para los subtratamientos almacenados con cubierta protectora, tenemos que la producción de etileno se mantuvo en niveles muy bajos fluctuando entre 2.5 y 43.9 $\mu\text{l.g}^{-1}$ de PF, desde el inicio hasta el final del experimento, respectivamente, para todos los subtratamientos. Si consideramos el tipo de empaque y la época de cosecha, vemos que los hongos cosechados un día antes de su madurez mostraron, tanto relativamente mayores niveles como una mayor variabilidad en la producción de etileno (Figura 10).

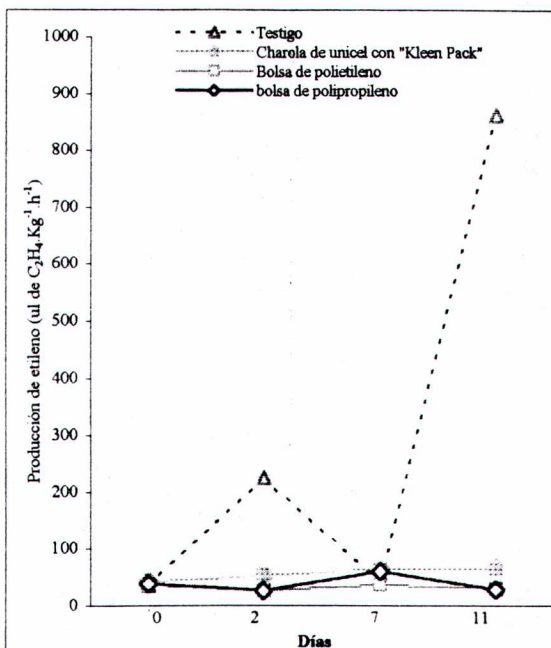


Figura 8. Producción de etileno en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente, cosechados 1 día antes de madurez comercial.

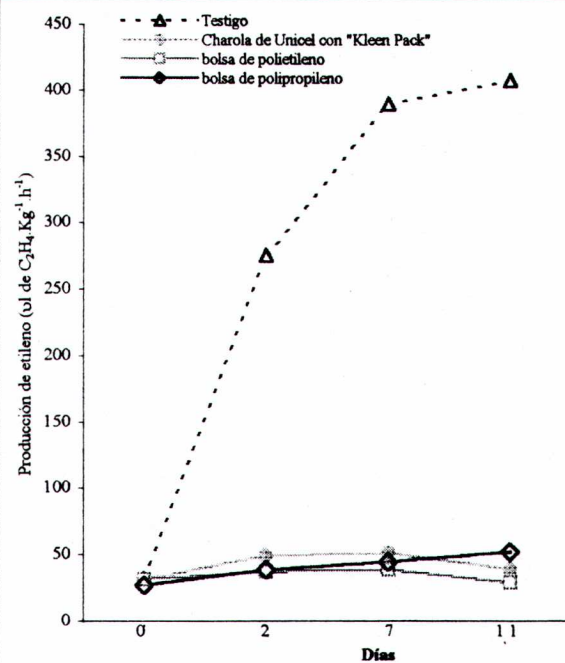


Figura 9. Producción de etileno en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente, cosechados a madurez comercial.

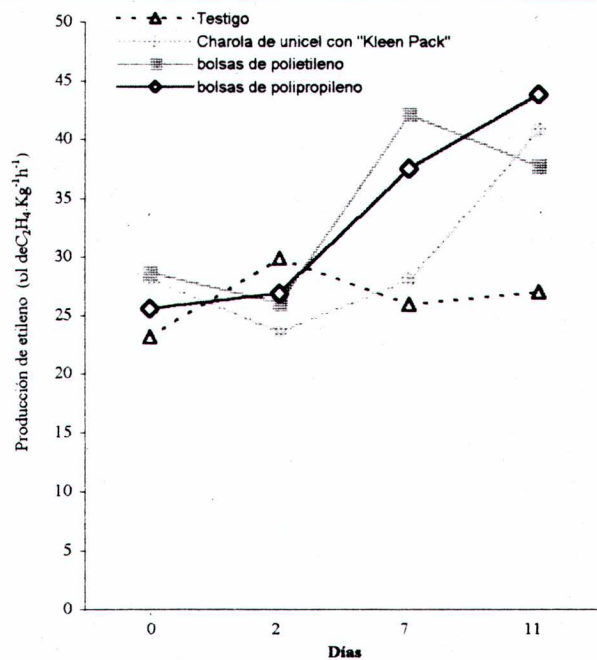


Figura 10. Producción de etileno en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a 3°C, cosechados 1 día antes de madurez comercial.

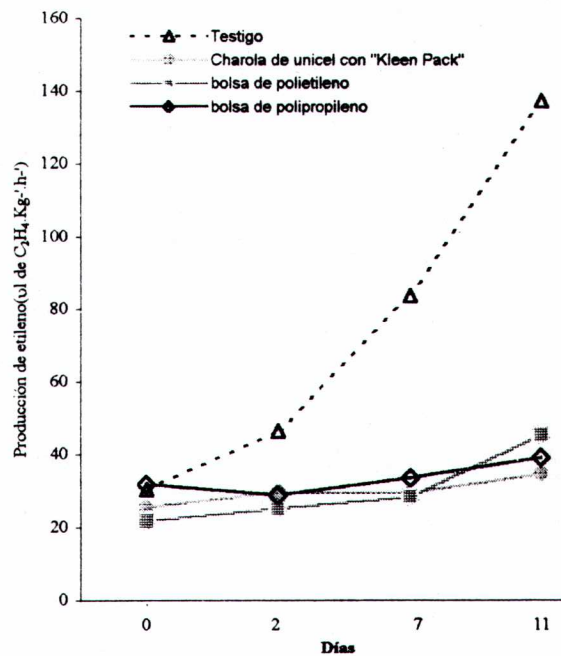


Figura 11. Producción de etileno en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a 3°C, cosechados a madurez comercial.

Así, mientras que los niveles de etileno fueron muy similares hasta el segundo día de almacenamiento, a partir de ahí se incrementaron diferencialmente; en el caso de las submuestras con cubierta “kleen pack”, llegaron a $40.8 \mu\text{l.g}^{-1}$ de PF al onceavo día y en las submuestras empacadas en bolsas de polipropileno los niveles ascendieron hasta $43.9 \mu\text{l.g}^{-1}$ de PF en el mismo período, en tanto que las submuestras empacadas en bolsas de polietileno presentaron un punto máximo al séptimo día, para descender y llegar a un nivel de $37.7 \mu\text{l.g}^{-1}$ de PF al onceavo día. Este pico se presentó debido a la permeabilidad del polietileno, ya que a esta temperatura permite con mayor facilidad la entrada y salida de O_2 y CO_2 respectivamente, lo que combinado con la fase de madurez de los hongos, no mostró efecto inhibitorio para la producción y acción de este gas, tal como se observó con los otros subtratamientos, que mostraron menores niveles de etileno (Cuadro 2).

Cuadro 2. Prueba de Tuckey para las concentraciones de etileno en hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* almacenados durante 11 días a 3°C .

VARIABLE	Índice de cosecha	SUBTRATAMIENTOS	DÍAS POSTCOSECHA Φ			
			0	1	7	11
ETILENO	Maduro	Testigo	25.55a	46.43a	49.43a	137.19a
		Charola unicel con “kleen pack”	30.31a	29.67b	29.18b	34.50b
		Bolsa de polietileno	25.31a	25.03b	28.16b	45.20b
		Bolsa de polipropileno	21.64a	28.68b	33.47b	39.10b
	Inmaduro	Testigo	26.71a	25.98a	29.91a	27.06a
		Charola unicel con “kleen pack”	23.25a	28.06b	23.62a	40.84b
		Bolsa de polietileno	28.07a	68.18b	26.09a	37.74b
		Bolsa de polipropileno	28.66a	37.53b	26.87a	43.89b

Φ Letras iguales en el sentido de las columnas indican igualdad estadística $\alpha = 0.05$

Por otro lado, los hongos cosechados en su madurez comercial mostraron niveles muy uniformes en la producción de etileno (Figura 11). Bajo estas condiciones, los niveles de biosíntesis de etileno se mantuvieron sin marcadas oscilaciones, aunque los valores alcanzados al final del experimento (onceavo día) revelaron algunas variaciones de acuerdo con el subtratamiento utilizado. Las submuestras empacadas con cubierta "kleen pack" alcanzaron un nivel de $34.5 \mu\text{l.g}^{-1}$ de PF, las almacenadas en bolsas de polipropileno $39.1 \mu\text{l.g}^{-1}$ PF y las empacadas en bolsas de polietileno alcanzaron un nivel de etileno de $45.2 \mu\text{l.g}^{-1}$ de PF, al final del experimento (onceavo día).

La razón de este comportamiento es que mientras los hongos que se muestran en la figura 10 alcanzan su madurez cuando se encuentran en su fase final de cultivo y por lo tanto han alcanzado su mayor desarrollo en términos de peso, entonces al momento de ser empacados y almacenados, la síntesis de etileno es menor y su incidencia se muestra en la aceleración de la senescencia. En contraposición con esto, los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial, precisamente por tratarse de organismos en una fase anterior a la madurez, en la cual no han alcanzado su máximo desarrollo, después del empaque experimentan los efectos de una relativa mayor producción de etileno, pero en el sentido de una aceleración de la madurez, lo que en términos cualitativos significa que constituyen un producto con mejor calidad para el consumidor.

Así pues, podemos concluir que aunque los tejidos inmaduros convierten la ACC más lentamente que los tejidos maduros y a pesar de que, como ya se señaló anteriormente, los niveles en la producción de etileno fueron mayores en los hongos más jóvenes, no obstante el efecto del etileno induce una maduración pausada que permite prolongar la vida de anaquel del producto. Además si consideramos la necesidad de combinar la

cosecha de hongos mas jóvenes (1 día antes de su madurez) con la tecnología de atmósfera modificada (que en éste trabajo demostró ser el simple y fácil empaque de los hongos en bolsas de polietileno, como mejor subtratamiento) entonces obtendremos productos de buena apariencia y sabor aun después de once días de almacenamiento.

Patrón respiratorio

En relación con otros alimentos de origen vegetal, los hongos representan una alta tasa de respiración y por consecuencia menor tiempo de conservación, lo que en términos de comercialización significa menor vida de anaquel (Guzmán, *et al.*, 1993). Por esto consideramos de importancia fundamental el manejo adecuado de los factores internos y externos que se relacionan con el proceso respiratorio.

Uno de los factores externos es la temperatura de almacenamiento, la cual debe oscilar entre 0 y 5°C, pues se ha encontrado que dentro de este rango se puede prolongar la vida de anaquel de *Pleurotus ostreatus*, conservando su calidad hasta por siete días. Otro de los factores que simultáneamente se debe considerar es la proporción de O₂ - CO₂, ya que se ha encontrado que, bajo condiciones de atmósferas controladas, algunas especies de *Pleurotus* toleran niveles mínimos de 1% para oxígeno y 15% CO₂, (Kader *et al.*, 1989) rango en el que presentan las mínimas tasas respiratorias aeróbicas, además de que en estas condiciones teóricamente se producen cantidades muy bajas de etileno (lo cual retarda la senescencia). Asimismo, los hongos se caracterizan porque pueden soportar niveles muy bajos de O₂ sin llegar a la anaerobiosis y por pocas horas niveles de hasta 50% de CO₂, conservando buenas características organolépticas.

Por otra parte uno de los factores internos de mayor consideración de acuerdo con las características morfológicas y fisiológicas de los hongos, es la etapa de

desarrollo más adecuada en la que se debe encontrar el cuerpo fructífero al momento de su cosecha, pues esto nos permitirá no sólo preservar la calidad del producto, sino también obtener hongos antes de que alcancen su máximo climatérico, puesto que los hongos en su madurez constituyen cuerpos fructíferos, basidiocarpos muy efímeros, que se presentan al final de la fase reproductiva y cuya única finalidad es la liberación de esporas, pero que para los fines de almacenamiento y comercialización son indeseables ya que demeritan la calidad del producto ante el consumidor. De esta manera, la selección de hongos un día antes de que alcancen su madurez comercial nos permitirá mantener bajas las esporulaciones y la tasa de respiración.

Como ya hemos visto, el manejo poscosecha de los hongos comestibles requiere de la combinación de la temperatura de almacenamiento y el uso de empaques en atmósferas modificadas. Desde el punto de vista del proceso respiratorio, el uso de empaque en atmósfera modificada para frutas y hortalizas frescas se refiere a su almacenamiento en empaques con cubiertas plásticas que restringen la transmisión de los gases respiratorios, lo cual resulta en la acumulación de CO_2 y la reducción de O_2 alrededor del producto. De esta forma si un producto está en equilibrio con su medio ambiente la tasa de intercambio gaseoso será la misma en ambos sentidos, de modo que si la concentración de los gases de la respiración que rodea la parte externa del producto es alterada con una película plástica circundante, esto cambiará la concentración de los gases al interior del empaque. Así, es importante decir además que la concentración de los gases variará entonces de acuerdo con las características inherentes al producto, a la masa, madurez, temperatura, etc. pero principalmente por la permeabilidad de la película, la cual a su vez es afectada por sus propiedades químicas, su espesor, la temperatura y la humedad (Thompson, 1996).

En el caso de los hongos comestibles esto es de singular relevancia, pues la tolerancia de éstos a los bajos niveles de O_2 (1%) y altos niveles de CO_2 (15%) a temperatura de almacenamiento de entre 0° y $3^\circ C$ (Kader *et al.*, 1989), hace necesaria la selección de películas que permitan mantener estos niveles de intercambio gaseoso, pues como se ha demostrado, la tasa de respiración de los hongos comestibles se incrementa aceleradamente a medida que se aumenta la temperatura: desde 28 y 44 mg de $CO_2.kg^{-1}$ a $0^\circ C$, hasta 100 mg de $CO_2.kg^{-1}$ a $10^\circ C$ y aún se presentan tasas respiratorias de 264 y 316 mg de $CO_2.kg^{-1}$, cuando la temperatura está entre 20 y $21^\circ C$ (Hardenburg, *et al.*, 1988).

Con estos antecedentes la combinación de una temperatura de almacenamiento de $3^\circ C$, el empleo de empaques en atmósferas modificadas y un producto cosechado un día antes de su madurez comercial, nos permitirá reducir las tasas de respiración.

Patrón respiratorio de los hongos almacenados a temperatura ambiente.

Como se ha mostrado en los apartados anteriores, cuando los hongos son almacenados en condiciones de temperatura ambiente, independientemente de su grado de madurez, estos invariablemente sufren de un deterioro acelerado el cual se manifiesta en una deshidratación cuando las submuestras se almacenan sin película protectora y en una descomposición cuando se almacenan en empaques con películas plásticas.

De la misma manera, las evaluaciones del patrón respiratorio se ven alteradas ante estas condiciones y tanto las muestras cosechadas un día antes de su madurez como las que se cosecharon en su madurez comercial, almacenadas a temperatura ambiente, mostraron un comportamiento similar. En las figuras 12 y 13 se presenta la evolución del patrón respiratorio en el que, enseguida de la primera evaluación (4 horas después

de cosechadas las muestras) se alcanzan los puntos máximos en la tasa respiratoria y se observan drásticos decrementos que sólo se estabilizan hacia el final del experimento, es decir, al onceavo día. En los subtratamientos testigo (sin cubierta plástica) tanto los hongos cosechados un día antes de su madurez como los maduros mostraron una reducción constante en la tasa respiratoria, la cual a partir de ahí se estabiliza hasta el onceavo día; esto se debió a que al séptimo día los hongos estaban casi completamente deshidratados, y por esta razón presentaron una tasa de respiración más alta en relación al peso de la muestra.

Por otra parte en los subtratamientos con película plástica, se observó un constante decremento en la tasa de respiración hasta el séptimo día en el cual presentaron un ascenso, que puede ser atribuido a que para esas fechas la acción de los microorganismos bacterianos alcanza su mayor actividad en la colonización del sustrato; a partir de ahí se observó un descenso que tiende a lograr la estabilización al onceavo día. Además, a pesar de que el comportamiento de las submuestras almacenadas en empaque con película plástica fue parecido las submuestras con película "kleen pack", mostraron que esta cubierta es bastante permeable cuando se utiliza en condiciones de alta humedad relativa y temperatura ambiental.

Patrón respiratorio de los hongos almacenados a 3°C.

El almacenamiento en condiciones de baja temperatura ha mostrado ser un excelente método para retardar el deterioro y senescencia de los hongos después de cosechados (Sueine *et al*, 1967). Así el período de vida de anaquel de los hongos comestibles se reduce y la tasa de respiración aumenta en relación con el incremento en la temperatura de almacenamiento, es decir existe una relación inversa entre el

período de vida en anaquel y la respiración, así como entre el período de vida de anaquel y la temperatura (Lutz y Hardenburg, 1968).

En las condiciones del presente trabajo, podemos decir que el patrón de respiración, en relación con el tiempo de almacenamiento, fue similar al mostrado por la mayoría de los frutos carnosos durante la maduración. En el caso de los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial (Figura 14) se observó que luego de un punto máximo alcanzado cuatro horas después de la cosecha, en todos los subtratamientos se presentó un descenso en la proporción de respiración. El subtratamiento testigo mostró una declinación casi uniforme desde el inicio hasta el final del experimento, mientras que los subtratamientos con película de "kleen pack" y bolsa de polietileno presentaron un descenso muy marcado hasta el segundo día (117.9 y 130.2 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ respectivamente) y de ahí en adelante, aunque hubo un continuo descenso en la tasa de respiración, este fue más gradual hasta el onceavo día en que alcanzó niveles de 100.7 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ en los empaques con cubierta "kleen pack" y 88.2 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ en las submuestras empacadas en bolsas de polietileno. En el caso de los hongos empacados en bolsas de polipropileno, la declinación en la tasa de respiración fue muy marcada hasta el séptimo día (32.8 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), con un ligero incremento hasta el onceavo día que se ubicó en niveles de (55.6 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

En relación a los hongos cosechados en su madurez comercial, el patrón respiratorio tuvo un comportamiento semejante (figura 15). La submuestra testigo presentó una declinación uniforme hasta el séptimo día en que alcanzó un nivel de 24.52 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, pero después de ese día, se elevó marcadamente hasta alcanzar una tasa de respiración de 205.2 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ al onceavo día.

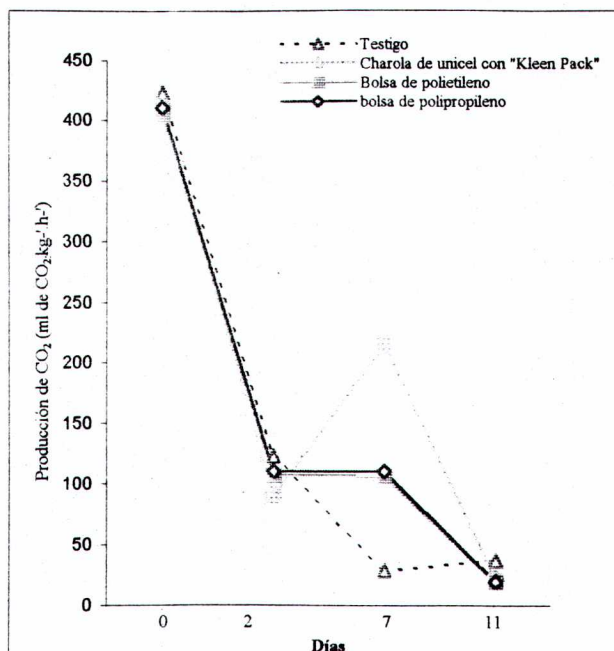


Figura 12. Respiración de *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente, cosechados 1 día antes de madurez comercial.

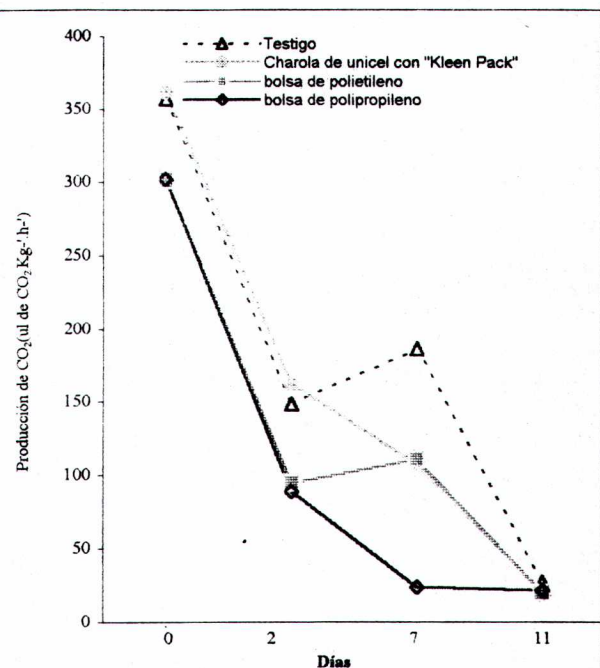


Figura 13. Respiración en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente, cosechados a madurez comercial.

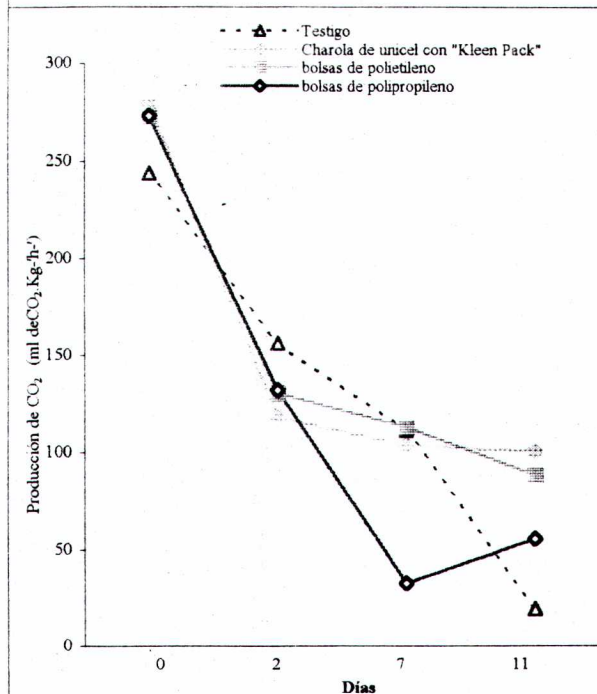


Figura 14. Respiración en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a 30°C, cosechados 1 día antes de madurez comercial.

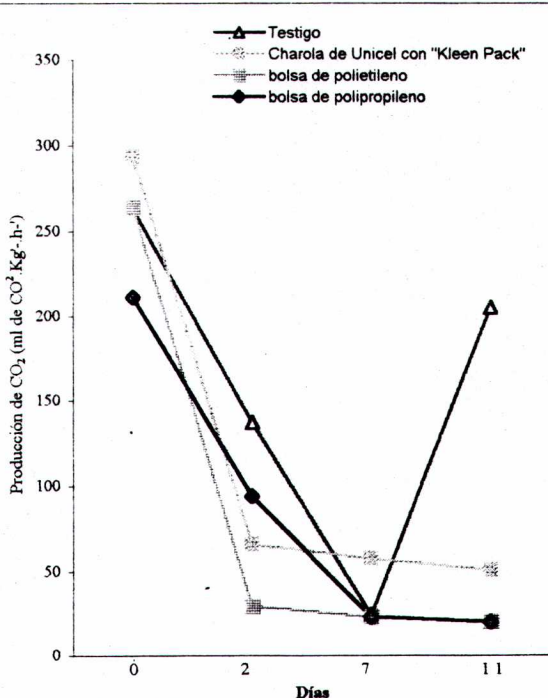


Figura 15. Respiración en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a 3°C, cosechados a madurez comercial.

Las submuestras empacadas con película "kleen pack" redujeron su tasa de respiración hasta 65.9 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ al segundo día y a partir de ese día su declinación fue gradual hasta llegar a 50.7 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ al onceavo día; las submuestras empacadas en bolsas de polietileno disminuyeron abruptamente su tasa de respiración hasta 29.6 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ al segundo día y a partir de ahí el descenso fue gradual hasta el onceavo día en que alcanzó una tasa de 20.7 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; entre tanto, las submuestras almacenadas en bolsas de polipropileno mostraron una declinación bien marcada hasta el séptimo día en que se ubicó en 23.4 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ y a partir de ahí su disminución fue uniforme para ubicarse en 20.3 ml de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ al onceavo día.

Si observamos conjuntamente las figuras 14 y 15 nos damos cuenta de que en los hongos cosechados 1 día antes de su madurez, los niveles en el patrón de respiración son mayores que los alcanzados en los hongos cosechados a madurez comercial, lo cual indica que mientras en los primeros se desarrolla una actividad fisiológica tendente a la prosecución de la última fase de maduración de los frutos, en los segundos, la actividad fisiológica se desarrolla en el sentido de alcanzar la última etapa de la vida de los hongos, la senescencia.

De esta manera, la continuación de la maduración en los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial sugiere que se presenta, de acuerdo con Murr y Morris (1975), una elaboración de metabolitos que son necesarios para que los hongos logren un crecimiento continuo, puesto que estos al ser cosechados ya no son sostenidos por un sustrato exógeno que contenga carbono y nitrógeno, lo cual puede constituir una adaptación fisiológica a las nuevas condiciones y un cambio a sistemas metabólicos

que se abastecen de un sustrato endógeno para apoyar el desarrollo poscosecha, mediante el abastecimiento de compuestos nitrogenados de bajo peso molecular que son producidos por un aumento en la actividad proteolítica y que en suma constituyen una adaptación fisiológica a las condiciones de inanición causadas por la eliminación del sustrato fuente, una vez que el hongo es cosechado.

En síntesis podemos decir que los resultados obtenidos indican que la combinación de una baja temperatura, el empleo de empaques con película plástica y el almacenamiento de hongos cosechados un día antes de su madurez comercial, retarda significativamente los cambios fisiológicos que están asociados a senescencia en los hongos después de la cosecha y por lo tanto, permite conservar las características cualitativas que están relacionadas con la aceptación por parte del consumidor de hongos frescos.

Relación entre temperatura de almacenamiento 3°C, respiración y pérdidas de peso

En condiciones de almacenamiento de alrededor de 25°C, los hongos ostra registran pérdidas de agua de un 30% en un período de 24 horas, lo cual limita su período de vida, en condiciones de calidad aceptable, a 12 horas (Rajarathnam *et al.*, 1983).

Si a esto aunamos que la producción de calor asociada con la respiración es casi tan alta como la producción de calor en base a la conversión de azúcares, en consecuencia, la generación de calor producto de la actividad respiratoria, muestra la necesidad de una rápida refrigeración y almacenamiento en frío del producto, lo cual se ha comprobado, pues el almacenamiento de hongos a temperaturas de 1-3.5°C, permitió una buena preservación de la calidad durante una semana (Bohling y Hansen, 1989).

De esta manera, puede decirse que el período de vida de anaquel de los hongos decrece y la tasa de respiración aumenta con el incremento en la temperatura de almacenamiento; es decir, existe una relación inversa entre el período de vida de anaquel y la respiración y entre el período de vida de anaquel y la temperatura (Murr y Morris, 1975). Además, si se considera que los hongos pueden responder a la influencia de un empaque en atmósfera modificada -en que los niveles de equilibrio gaseoso llegan a estabilizarse cuando la “respiración del producto” iguala a la penetración gaseosa a través de la película plástica- y a la temperatura, puesto que el almacenamiento a bajas temperaturas reduce la modificación gaseosa dentro del empaque, entonces el resultado será un retraso en la senescencia (Burton, 1991).

En este estudio se comprobaron los efectos benéficos de la combinación de una temperatura de almacenamiento de 3°C y el uso de empaques plásticos en el manejo de hongos ostra *Pleurotus ostreatus*, ya que se observó una disminución en

la proporción de respiración, medida por la concentración de CO₂ y en la reducción de las pérdidas de peso después de un período de once días de almacenamiento, al final del cual se lograron preservar las características de calidad del producto. De acuerdo con los resultados obtenidos (Cuadro 3) hubo una reducción en los niveles de CO₂ tanto en los hongos que se cosecharon un día antes de su madurez, como en los que se cosecharon en su etapa de madurez comercial. Sin embargo, los niveles significativamente menores de acumulación de CO₂, correspondieron a los hongos maduros, en tanto que las menores concentraciones se alcanzaron cuando los hongos fueron empacados en bolsas de polietileno y polipropileno, entre los cuales no hubo diferencia significativa. En los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial, aunque el patrón de acumulación de CO₂ mostró una considerable disminución, no obstante, los niveles mínimos mostrados al final del experimento, fueron significativamente mayores que los alcanzados por los hongos maduros. La razón de este comportamiento, como ya se explicó anteriormente, podría deberse a que los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial, continúan desarrollando su actividad metabólica por un mayor tiempo que los hongos completamente maduros, los cuales ya están en el inicio de la senescencia.

Del mismo modo, la combinación de la temperatura de almacenamiento de 3°C y el empaque con cubiertas plásticas, resultó en un efecto favorable para la conservación del producto, pues las pérdidas de peso se redujeron en gran proporción (Cuadro 3).

Cuadro 3. Prueba de Tukey para respiración y pérdidas de peso en hongos comestibles
Pleurotus ostreatus almacenados a 3°C durante 11 días.

VARIABLE	Índice de cosecha	SUBTRATAMIENTOS	DÍAS POSTCOSECHA Φ				
			0	1	7	11	
PÉRDIDAS DE PESO	Maduro	Testigo				83.44 a	
		Charola de unisel con "kleen pack"				1.75 b	
		Bolsa de polietileno				0.17 b	
		Bolsa de polipropileno				0.30 b	
	Inmaduro	Testigo				80.53 a	
		Charola de unisel con "kleen pack"				3.37 b	
		Bolsa de polietileno				0.22c	
		Bolsa de polipropileno				0.62 c	
RESPIRACIÓN	Maduro	Testigo	263.55a	137.46a	24.54a	205.19a	
		Charola de unisel con "kleen pack"	293.61a	65.96 b	57.69a	50.67b	
		Bolsa de polietileno	263.77a	29.60 b	23.46a	94.28ab	
		Bolsa de polipropileno	211.31a	94.03 ab	23.38a	20.30b	
	Inmaduro	Testigo	244.05a	155.97a	111.28a	19.57a	
		Charola de unisel con "kleen pack"	279.59a	117.96a	103.24a	100.66a	
		Bolsa de polietileno	273.26a	130.23a	112.82 a	88.18a	
		Bolsa de polipropileno	273.30a	131.91a	32.76 b	55.63a	

Φ Letras iguales en el sentido de las columnas indican igualdad estadística con $\alpha = 0.05$

Las menores pérdidas de peso se observaron en los subtratamientos empacados en bolsa de polietileno y polipropileno, los cuales además no mostraron diferencias significativas entre sí, aunque sí con las submuestras empacadas en charolas de unicel cubiertas con "kleen pack", puesto que presentaron tanto la mayor concentración de CO₂, como la mayor pérdida peso. Aunado a esto, la tasa de respiración más baja, asociada con la temperatura de almacenamiento a 3°C, tuvo quizá un mayor efecto sobre los niveles gaseosos, que algún posible cambio gaseoso causado por la permeabilidad de la película. Puesto que la combinación de empaques en atmósfera modificada y la refrigeración retarda la velocidad de desarrollo, más de lo que es posible aplicando sólo alguna de estas tecnologías, entonces esto es porque las tecnologías afectan el desarrollo del hongo de diferentes maneras; el CO₂ actúa como un regulador metabólico específico, mientras que la refrigeración reduce la velocidad de toda actividad metabólica (Burton y Noble, citados por Burton y Twyning, 1989).

Determinaciones bioquímicas

Fenoles totales

La cosecha estimula enzimas involucradas en el metabolismo de fenoles en la mayoría de los frutos dando como resultado el indeseable color café. La expresión del contenido de fenoles por unidad de peso fresco, para este caso de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*), reveló que las concentraciones fueron más altas en los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial (Figura 16 y 18), en comparación a los hongos cosechados en su madurez comercial (Figuras 17 y 19), independientemente de su almacenamiento a temperatura ambiente o a temperatura de 3°C.

Cuando los hongos se almacenaron a temperatura ambiente, aunque hubo diferencias significativas en los niveles de acumulación de compuestos fenólicos totales, de acuerdo con el tipo de empaque utilizado (Figuras 16 y 17), se observó que, en términos generales, el nivel asciende hasta alcanzar un máximo, el cual coincide con la acelerada senescencia de los hongos, para de ahí descender hasta el onceavo día. Como ya se mencionó anteriormente el almacenamiento de los hongos a temperatura ambiente, no proporciona las condiciones necesarias para prolongar el período de vida del producto, pues a partir del segundo día, la humedad retenida por la acción de las atmósferas de los empaques y la incidencia de microorganismos, inducen su rápida descomposición.

En contraste con lo anterior, cuando se combinó una temperatura de almacenamiento de 3°C y los empaques con atmósfera modificada, aunque el patrón de acumulación de fenoles se comportó de manera similar, la conservación del producto fue mucho mejor (como se verá más adelante mediante el análisis de algunas características físicas) durante el período estudiado. Los hongos cosechados en su madurez comercial alcanzaron niveles máximos en el contenido de fenoles totales de entre 0.45 y 0.65 $\mu\text{g. g PF}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 19), mientras que los cosechados un día antes de su madurez acumularon niveles de entre 1.45 y 1.8 $\mu\text{g. g PF}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 18).

En los hongos cosechados en su etapa de madurez comercial, el subtratamiento testigo (sin cubierta protectora) mostró la mayor concentración de fenoles totales 0.85 $\mu\text{g. g PF}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, la cual se alcanzó al séptimo día de almacenados, y a partir de ahí descendió notablemente; los subtratamientos con cubierta "kleen pack" y bolsa de polietileno alcanzaron su máximo en alrededor 0.5 y 0.6 $\mu\text{g. g PF}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, respectivamente al séptimo día, para luego descender también de manera bien marcada. Mientras, el subtratamiento

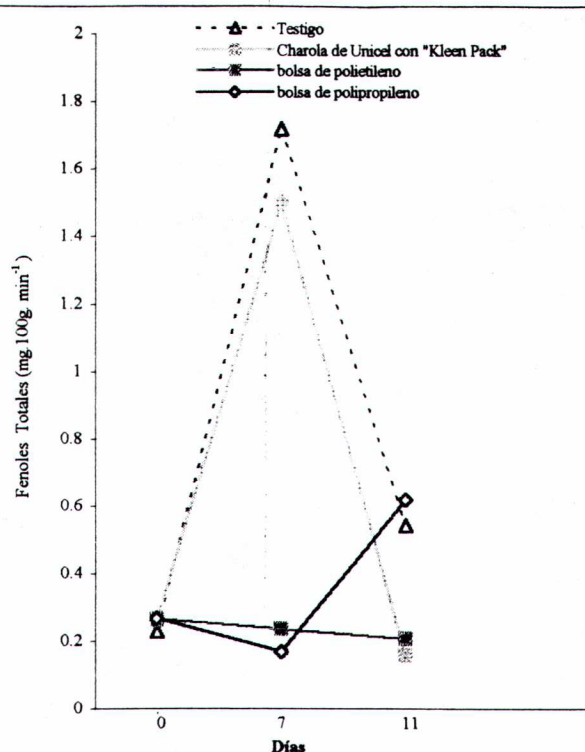
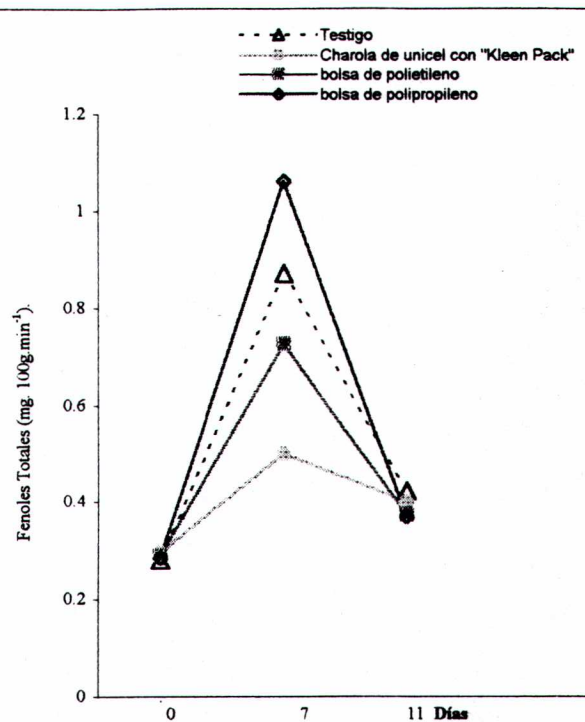


Figura 16. Cambios en el contenido de fenoles totales en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente, cosechados a 1 día de madurez comercial.



Figural 7. Cambios en el contenido de fenoles totales en *Pleurotus ostreatus* durante 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente, cosechados a madurez comercial.

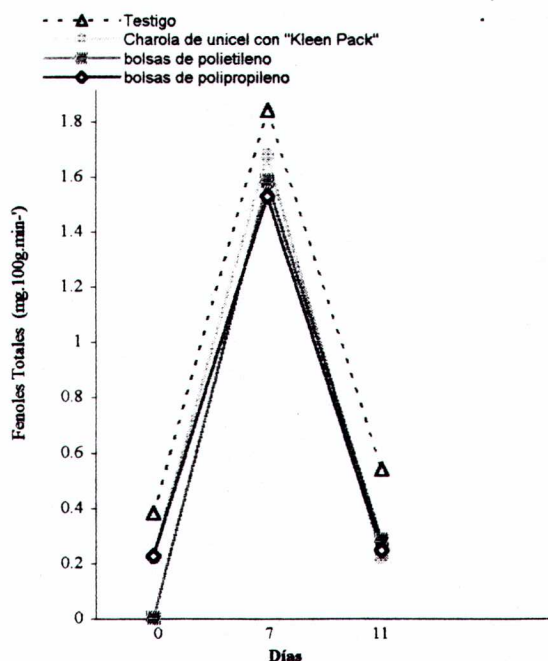
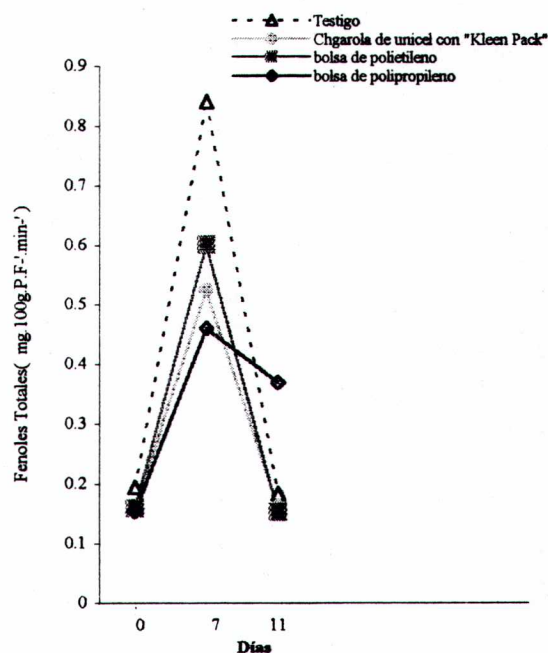


Figura 18. Cambios en el contenido de fenoles totales en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento, a 3°C cosechados 1 día antes de madurez comercial.



Figural 19. Cambios en el contenido de fenoles totales en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento, a 3°C cosechados a madurez comercial.

con bolsa de polipropileno alcanzó un valor máximo de $0.45 \mu\text{g. g PF}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, al séptimo día y sólo mostró un ligero descenso hasta el onceavo día (Figura 19).

Con relación a los hongos cosechados un día antes de su madurez, tenemos que el patrón de acumulación de fenoles totales fue similar, puesto que las máximas concentraciones se obtuvieron al séptimo día del período de almacenamiento, para a partir de ahí descender progresivamente hasta el onceavo día. Sin embargo, las concentraciones, independientemente del empaque fueron de más del doble (Figura 18) de aquellas alcanzadas cuando los hongos se cosecharon en su madurez comercial.

De acuerdo con el comportamiento en los niveles de acumulación de compuestos fenólicos y las variaciones que se observaron (quizás fundamentalmente debido a las diferencias en la etapa de cosecha de los hongos) si consideramos que cuando éstos se cosecharon en su fase de madurez, en la cual habían sufrido ya el incremento extraordinario en el volumen celular, -producto principalmente de la entrada de agua- entonces el compartimento vacuolar, que es particularmente importante en el fruto maduro, pues contiene casi todos los compuestos fenólicos solubles, mostró el contenido de fenoles, presentes en la vacuola, que es característico de los frutos ya maduros.

Como sabemos, existen dos fases sucesivas en la acumulación de compuestos fenólicos, que corresponden respectivamente a una acumulación que va seguida por su disolución en la vacuola. Así, cuando se determinó el contenido de fenoles totales en los hongos almacenados en su fase de madurez, sólo se observó esta segunda fase. En cambio, cuando los hongos se cosecharon y almacenaron en una fase mas temprana (un día antes de su madurez comercial), la expansión celular era menor y además el fruto continuaba con el proceso de crecimiento hacia la maduración y por tanto, continuaba también

en ascenso la producción de compuestos fenólicos. Posiblemente esta sea la razón, de que el contenido de fenoles totales haya sido mayor en los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial. Por otra parte, es de interés observar el efecto combinado de la temperatura con la cosecha un día antes de la madurez completa de los hongos y las atmósferas de los empaques, pues quizá como un efecto colateral, la temperatura retarda el metabolismo de la síntesis de compuestos fenólicos y por lo tanto la maduración, puesto que si los hongos una vez cosechados ya no son sostenidos por un sustrato exógeno que les proporcione carbono y nitrógeno.

Entonces, este período de retardo pudo constituir una adaptación fisiológica a las nuevas condiciones, y un cambio a sistemas metabólicos que se abastecen de un sustrato endógeno (compuestos nitrogenados de bajo peso molecular), para apoyar el desarrollo poscosecha, como sucede en algunas especies de *Agaricus* estudiadas.

Determinación de los niveles de Polifenol oxidasas (PPO)

La presencia de las fenol oxidasas puede afectar considerablemente la calidad de un producto, máxime cuando se trata de un alimento altamente perecedero, no sólo por los cambios en la coloración, la textura o la apariencia del producto, lo cual causa directamente una influencia adversa sobre el consumidor, o porque reduce su período de vida de anaquel, sino además porque el valor nutritivo del alimento puede ser alterado.

Aunque las observaciones realizadas sobre la presencia de las enzimas oxidativas en hongos comestibles sugiere que sus niveles y ocurrencia, durante las diferentes etapas de desarrollo, son considerablemente variables e incluso no llegan a manifestarse, sin embargo, puede considerarse que los niveles más altos de estas enzimas se correlacionan con los procesos de maduración y senescencia. Hasta la fecha no se cuenta con observaciones derivadas de estudios relacionados con la presencia de las enzimas

oxidativas durante la etapa de manejo poscosecha de los hongos *Pleurotus ostreatus*, en condiciones de almacenamiento y empaque. De esta manera, es interesante determinar el nivel de las polifenol oxidasas y su patrón de comportamiento en estos hongos durante el almacenamiento en empaques con atmósferas modificadas, así como su relación con la temperatura bajo la cual son conservados y el tiempo durante el cual se logran preservar como un producto de buena calidad.

De acuerdo con los resultados experimentales, cuando se combinan la cosecha de hongos un día antes de su maduración o cuando se cosechan en la etapa de madurez comercial y se almacenan, con diferentes empaques plásticos, a temperatura ambiente (Figuras 20 y 21) los niveles de PPO aumentan constantemente desde el inicio hasta el final del periodo de almacenamiento. Sin embargo, si consideramos que bajo estas condiciones a partir del segundo día los hongos alcanzan la fase de esporulación y a partir de ahí comienza una fase de descomposición, independientemente del empaque utilizado (excepto el subtratamiento testigo, el cual esporula y se deshidrata rápidamente), entonces si el nivel en la concentración de PPO continúa en ascenso, esto se debe quizás a que la enzima continúa produciéndose como una forma de protección contra patógenos que es ocasionada por la gran actividad de sus productos de reacción, o porque su formación continua es resultado de la lisis de las células.

Por otra parte, en los hongos cosechados a madurez comercial y almacenados a 3°C, se observó (Figura 23) que en el subtratamiento testigo el nivel de PPO aumentó hasta el séptimo día y luego descendió drásticamente hasta niveles cercanos a cero y en los subtratamientos con cubierta "kleen pack" y bolsa de polietileno el descenso fue bien marcado y constante hasta el séptimo día y luego continuó descendiendo gradualmente hasta el onceavo día.

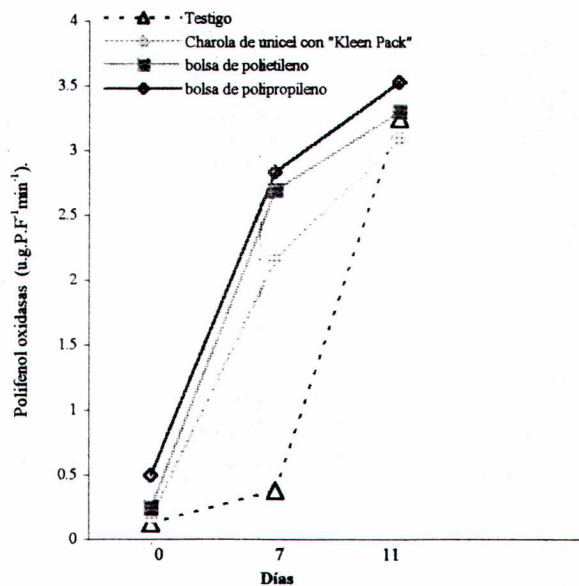


Figura 20. Cambios en el contenido de Polifenol oxidasas en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente, cosechados 1 día antes de madurez comercial.

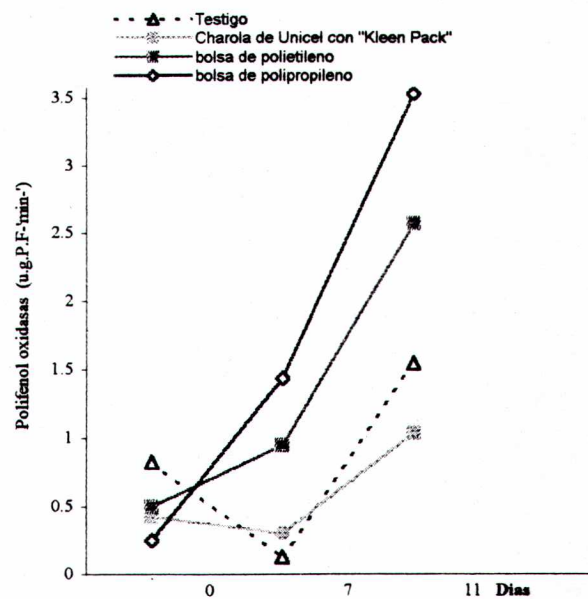


Figura 21. Cambios en el contenido de Polifenol oxidasas en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente, cosechados a madurez comercial.

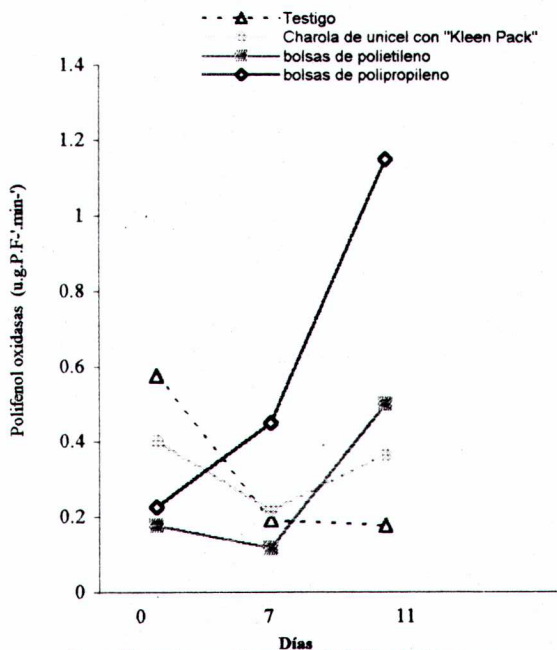


Figura 22. Cambios en el contenido de Polifenol oxidasas en *Pleurotus ostreatus*, a 3°C durante 11 días de almacenamiento, cosechados 1 día antes de madurez comercial.

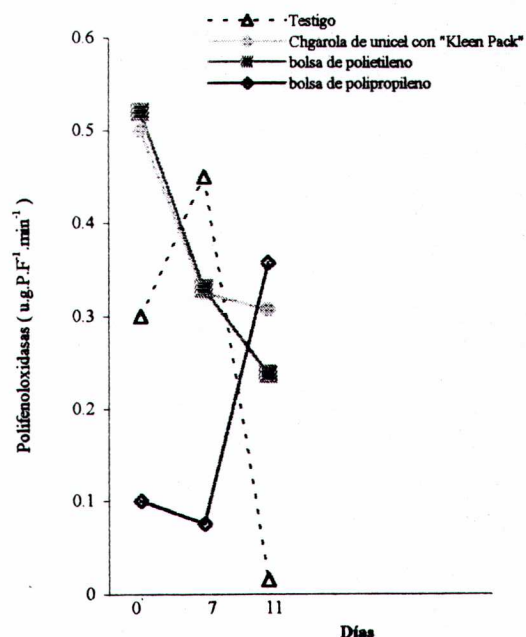


Figura 23. Cambios en el contenido de Polifenol oxidasas en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento, 3°C cosechados a madurez comercial.

En contraste con esto, el subtratamiento almacenado en bolsas de polipropileno presentó al inicio el nivel más bajo en el contenido de PPO ($0.1 \mu\text{g.g PF}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) el cual descendió ligeramente hasta el séptimo día, pero a partir de ese momento se incrementó hasta el onceavo día en que alcanzó niveles cercanos a $0.4 \mu\text{g.g PF}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Si observamos que para las mismas condiciones de almacenamiento y cosecha, los niveles en el contenido de fenoles totales (Figura 19) alcanzan su máximo al séptimo día y a partir de ahí decrecen significativamente, parecería contradictorio que al reducirse el nivel del contenido fenólico, el nivel de actividad PPO aumente. No obstante, si tomamos en cuenta que los hongos se cosecharon en su madurez comercial, entonces tal reducción en la actividad PPO, posiblemente podría deberse a que los hongos fisiológicamente alcanzaron rápidamente la senescencia y en el caso del subtratamiento en bolsa de polipropileno, el aumento constante en los niveles de producción de la enzima, probablemente es el resultado del efecto combinado de la atmósfera del empaque y la etapa de cosecha (madurez comercial) de los hongos, en los cuales el proceso de la maduración a la senescencia se extiende durante un mayor tiempo, lo que permite una acción más prolongada y en mayores niveles de la actividad enzimática, los cuales se ha observado que se relacionan directamente con la senescencia.

Cuando los hongos se cosecharon un día antes de su madurez comercial y se almacenaron a 3°C y en empaques con atmósfera modificada, el patrón en la actividad de la PPO mostró un comportamiento diferente (Figura 22). El subtratamiento testigo mostró una reducción pronunciada en el contenido de PPO hasta el séptimo día, luego del cual la actividad se mantuvo con un ligero descenso hasta el onceavo día. Los subtratamientos con cubierta de "kleen pack" y bolsa de polietileno mostraron que

el nivel de PPO desciende ligeramente hasta el séptimo día y a partir de ahí se eleva constantemente hasta alcanzar niveles de alrededor de $0.4 \mu\text{g.g P.F.}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, al onceavo día de almacenamiento. Contrariamente al comportamiento mostrado por la actividad PPO en los empaques con "kleen pack" y bolsa de polietileno, hasta el séptimo de almacenamiento, las submuestras empacadas en bolsas de polipropileno mostraron un incremento constante durante los once días de almacenamiento, hasta alcanzar niveles de $1.2 \mu\text{g.g P.F.}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Así, en contraste con el patrón de comportamiento mostrado por la actividad de PPO en hongos cosechados en su madurez comercial (Figura 23) en el que a excepción de los empaques en bolsa de polipropileno, que a partir del séptimo día mostraron un incremento en la actividad PPO, en donde la reducción en la actividad de la enzima es constante, en los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial, la presencia de la enzima mostró un incremento en su actividad (Figura 22), particularmente después del séptimo día.

Ante estas condiciones podemos decir en primera instancia, que la época de cosecha es determinante cuando se relaciona con el nivel de actividad PPO; además, puesto que en los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial se observó un ascenso bien marcado en la actividad de la enzima, tal incremento podría indicar que cuanto más temprana es la etapa de madurez del hongo, la actividad de la enzima tiende a prolongarse en razón de que existe un mayor lapso de tiempo durante el cual el hongo alcanza las etapas subsecuentes de la maduración, reproducción y senescencia.

Por otro lado, si observamos que para las mismas condiciones de almacenamiento y etapa de cosecha (Figura 19) los niveles en el contenido de fenoles totales aumentan hasta el séptimo día, para luego descender marcadamente hasta el onceavo día,

entonces probablemente el continuo incremento en la actividad PPO a partir del séptimo día se deba a que durante la maduración del hongo, la formación de la enzima es producto de un proceso regulado del desarrollo que implica síntesis *de novo* y que está relacionada con la lisis de las células y su control (Bouchiere, *et al.*, 1981), o en la capacidad de las fenol oxidasas para polimerizar productos que surgen durante la oxidación de la lignina (Mayer, 1987).

Como hemos visto, el patrón en los niveles de actividad de polifenol oxidasa es bastante variable; el control, tanto del nivel como de su actividad en los hongos nos conduce a establecer las dificultades y limitaciones que existen para evaluar su papel simplemente mediante las pruebas de su actividad en extractos. Por estas razones es necesario mencionar que quizás la única constante de la actividad de la PPO sea su variabilidad, la que de acuerdo con (Mayer y Harel (1981), puede sintetizarse así: i) Las enzimas y sustratos cambian, frecuentemente en forma dramática, durante el desarrollo del fruto. ii) Existen diferencias en el patrón entre especies y aún entre variedades del fruto; las diferencias observadas con la misma variedad en diferentes años; en respuesta a fertilizantes, o como resultado del *stress*, reflejan probablemente los complejos efectos de los factores ambientales sobre el nivel de PPO y sus sustratos. iii) La actividad de la enzima y el contenido fenólico son generalmente altos durante las primeras etapas del desarrollo y decrece mas tarde. iv) A medida que envejece el fruto, más enzimas llegan a ser solubles. La solubilización y a veces también la activación, pueden ocurrir durante la maduración poscosecha de ciertos frutos.

Determinación Biofísica: Color

El color en esta variedad es blanco puro a un blanco perla y por esto la característica más importante para determinar calidad en este material, esta cualidad

está dada tanto por oxidaciones no enzimáticas como enzimáticas, pero principalmente por la interacción fenoles con las polifenol oxidasas.

Efecto de temperatura a 3°C, actividad PPO y fenoles totales sobre el cambio de color

Cuando los hongos se almacenaron a 3°C durante 11 días, en diferentes empaques con cubierta plástica, el comportamiento en el patrón de acumulación de compuestos fenólicos totales fue similar tanto en los hongos cosechados en su madurez comercial, como en los que se cosecharon un día antes de su madurez, ya que después de un período de acumulación hasta el séptimo día, a partir de ahí se observó un descenso que llegó a niveles similares a los iniciales, los cuales se determinaron alrededor de 4 horas después de la cosecha; pero, no obstante que hubo diferencias de acuerdo al empaque utilizado durante el almacenamiento, las diferencias significativas en la acumulación de compuestos fenólicos totales, hasta el séptimo día, se observaron de acuerdo con el índice de cosecha, pues éstos fueron alrededor de tres veces mayores en los hongos cosechados un día antes de su madurez, que en los hongos cosechados en su fase de madurez comercial (Cuadro 4).

Con relación a la presencia de PPO, se observó que los hongos cosechados y almacenados en su fase de madurez comercial, mostraron un descenso en los niveles de PPO hasta el séptimo día, a partir del cual se mantuvieron relativamente constantes, aunque en los hongos empacados en bolsas de polipropileno se observó el menor contenido inicial y un descenso al séptimo día, para luego incrementarse hasta niveles similares a los de los empaques en bolsas de polietileno y cubierta "kleen pack" (Cuadro 4).

En los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial, se observó también un descenso en los niveles de PPO hasta el séptimo día, los cuales

Cuadro 4. Diferencias entre fenoles totales y polifenol oxidasas en hongos comestibles *pleurotus ostreatus* almacenados a 3° c durante 11 días.

VARIABLE	ÍNDICE DE COSECHA	SUBTRATAMIENTOS	DÍAS POSTCOSECHA (X)		
			0	7	11
FENOLES TOTALES	Maduro	Testigo	0.194	0.841	0.184
		Charola de unisel con "Kleen Pack"	0.158	0.524	0.162
		Bolsa de polietileno	0.158	0.601	0.153
		Bolsa de polipropileno	0.154	0.46	0.369
	Inmaduro	Testigo	0.382	1.841	0.541
		Charola de unisel con "Kleen Pack"	0.224	1.68	0.22
		Bolsa de polietileno	0.233	1.587	0.283
		Bolsa de polipropileno	0.229	1.531	0.248
POLIFENOL OXIDASAS (PPO)	Maduro	Testigo	0.30	0.45	0.015
		Charola de unisel con "Kleen Pack"	0.50	0.325	0.307
		Bolsa de polietileno	0.52	0.33	0.237
		Bolsa de polipropileno	0.10	0.075	0.357
	Inmaduro	Testigo	0.575	0.19	0.17
		Charola de unisel con "Kleen Pack"	0.400	0.21	0.36
		Bolsa de polietileno	0.175	0.11	0.50
		Bolsa de polipropileno	0.225	0.45	0.15

fueron marcadamente menores que en los hongos maduros, pero a partir de ese día presentaron un incremento pronunciado hasta alcanzar niveles casi iguales o superiores en relación al contenido inicial; en este caso también los hongos empacados en bolsas de polipropileno mostraron un comportamiento diferente, ya que los niveles de PPO continuaron un significativo incremento hasta el onceavo día de almacenamiento (Cuadro 4).

De acuerdo con lo anterior, cuando los hongos se cosecharon en su etapa de madurez comercial, el aumento en el contenido de fenoles totales hasta el séptimo día de almacenamiento, estuvo asociado con una reducción en el nivel de Polifenol oxidasa, lo cual puede deberse a una supresión de la actividad enzimática, sin embargo, a partir de ese momento, la proporción de pérdida de fenoles totales, estuvo relacionada solo con un ligero descenso en los niveles de PPO, hasta el onceavo día, lo que sugiere que la actividad de la enzima continuó sobre los sustratos fenólicos.

En los hongos cosechados un día antes de su madurez comercial, el mayor incremento en el contenido de fenoles totales hasta el séptimo día, estuvo asociado con una mayor reducción en el nivel de polifenol oxidasa, pero aunque a partir de ese día y hasta el final del experimento (onceavo día) también se observó una reducción en el contenido de compuestos fenólicos, esta disminución estuvo acompañada por un fuerte incremento en el nivel de PPO.

Ahora bien, si estas diferencias cuantitativas indican, en términos generales, que el efecto de la temperatura de almacenamiento de 3°C sobre la actividad PPO, se debió aparentemente a una supresión del proceso de maduración, es necesario decir que probablemente existen algunas diferencias cualitativas, pues mientras que en los hongos maduros la estabilización en los niveles de PPO hasta el final del

experimento, indican que los cuerpos fructíferos quizás se encuentran en el umbral de la senescencia, los hongos cosechados un día antes de su madurez, precisamente por encontrarse en una fase de desarrollo más temprana, lo cual se muestra por el fuerte incremento en los niveles de PPO hasta el final del experimento, posiblemente se encuentran en pleno desarrollo de la madurez, lo cual también indicaría que su tiempo de vida comercial podría prolongarse mas allá del período estudiado.

Por otra parte, si la proporción de acumulación de PPO (que en los hongos maduros se mantiene casi constante y en los hongos inmaduros muestran un fuerte incremento, a partir del séptimo día) y la disminución en el nivel de fenoles totales, indican que la acción enzimática sobre el sustrato fenólico, prosigue activamente con el proceso de maduración y como esta es retardada por la temperatura de almacenamiento de 3°C, entonces, los cambios en la coloración son los que experimentan los hongos del séptimo al onceavo día y por tanto se muestran en valores muy bajos. Los cambios en la coloración externa mostraron solo ligeras variaciones, tanto respecto a la etapa de cosecha como en función del tipo de empaque plástico utilizado durante el almacenamiento, pero no son estadísticamente significativas, excepto en relación con los subtratamientos testigo, ya que éstos mostraron las mayores variaciones en el color (Cuadro 5). Finalmente, aunque es difícil evaluar el papel que juegan los diversos empaques utilizados, sobre los patrones de acumulación de PPO y compuestos fenólicos, podemos decir que como resultado de la interacción de la temperatura de almacenamiento (3°C) con las cubiertas plásticas, es posible retardar la velocidad de los procesos metabólicos asociados con la maduración de los hongos después de cosechados y la combinación del almacenamiento de hongos cosechados un día antes de su madurez comercial y el empaque en atmósferas modificadas, utilizando materiales

económicos y de fácil adquisición, son una práctica sencilla que permite prolongar por mayor tiempo las características cualitativas de los hongos.

En los hongos cosechados a un día de su madurez comercial, se observó también un descenso en los niveles de (PPO) hasta el séptimo día, los cuales no se incrementaron notablemente, pero a partir de este día sí ocurre esto.

Cuadro 5. diferencias en color de hongos comestibles después de 11 días de almacenamiento.

VARIABLE	ÍNDICE DE COSECHA	SUBTRATAMIENTOS	
COLOR (Cambios)	Maduro	Testigo	21.15 a
		Charola de unicel con "Kleen Pack"	5.73 b
		Bolsa de polietileno	6.57 b
		Bolsa de polipropileno	6.61 b
	Inmaduro	Testigo	15.26 a
		Charola de unicel con "Kleen Pack"	7.71 bc
		Bolsa de polietileno	5.35 c
		Bolsa de polipropileno	11.56ab

Φ Letras iguales en el sentido de las columnas indican igualdad estadística $\alpha=0.05$

Cambios de color

Hongos almacenados a temperatura ambiente

En el lote de los hongos inmaduros no cuantificaron cambios en color por medio del Hunter-Lab entre ninguno de los subtratamientos que mostraron valores de aproximadamente 6 unidades (Figura 24); esto se debe al grado de podredumbre de todos los tratamientos almacenados en Atmósfera modificada.

En los subtratamientos de hongos maduros hay dos de ellos que si presentaron cambios drásticos de color el testigo y el empacado en bolsa de polietileno (16 unidades). No así en los subtratamientos cubiertos con "kleen pack" y bolsa de propileno donde los cambios ocurridos fueron de 5 y 7 unidades respectivamente.

Hongos almacenados a temperatura de 3°C.

En el lote de los hongos inmaduros, se presentaron cambios que varían desde 15 unidades en el testigo, después 11 en el subtratamiento de bolsa de polipropileno y de 7.7 en los cubiertos con "kleen pack" y el mas recomendable en este caso fue el empaque de polietileno que solo presenta un cambio de 5 unidades (Figura 25).

El tratamiento de hongos maduros presentaron los siguientes resultados el testigo (21 unidades) valor muy diferente a los tratamientos con atmósfera modificada donde los cambios presentaron valores de 5.7 en el caso de los envueltos con película "kleen pack" y de 6.5 en polietileno y 6.6 con bolsa de polipropileno.

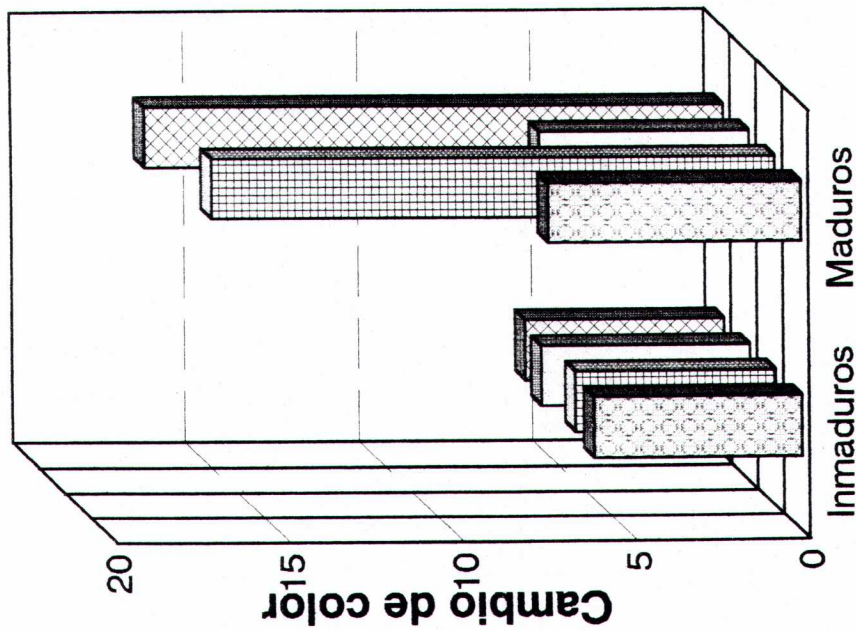


Figura 24. Cambios de color en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a temperatura ambiente, cosechados maduros e inmaduros. tuckey alpha= 0.05

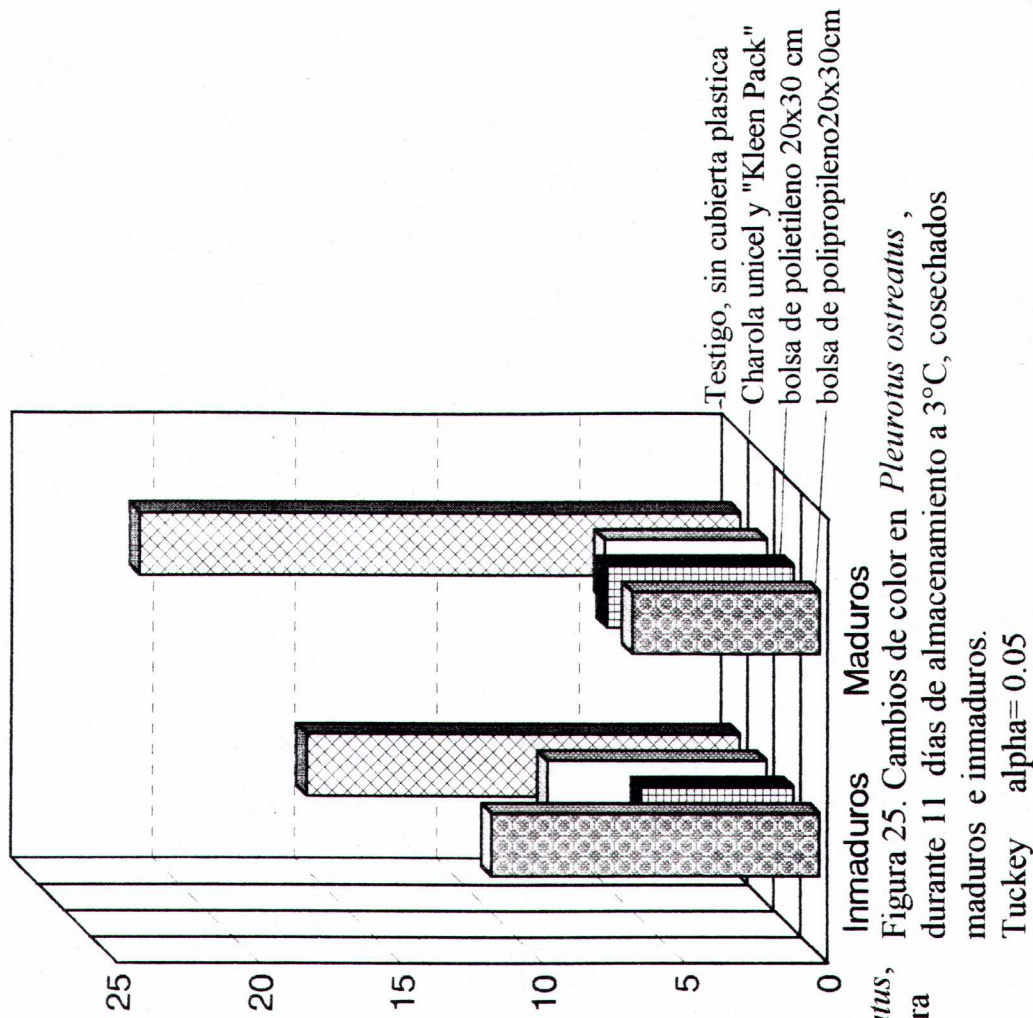


Figura 25. Cambios de color en *Pleurotus ostreatus*, durante 11 días de almacenamiento a 3°C, cosechados maduros e inmaduros. Tuckey alpha= 0.05

V. CONCLUSIONES

- 1- La práctica que consistió en cosechar los hongos un día antes de su madurez comercial, cuando los cuerpos fructíferos aún no alcanzan su expansión total en términos de peso final, en base a los parámetros evaluados resultó ser mejor con relación a la práctica tradicional, en la cual los hongos se cosechan en su fase de madurez comercial.
- 2- La combinación de hongos cosechados un día antes de su madurez, con el almacenamiento a 3°C y la utilización de cubiertas plásticas que modifican la atmósfera al interior del empaque con el producto, resultó en una operación práctica y económica que se tradujo en la preservación de las características de calidad de los cuerpos fructíferos, durante los once días de almacenamiento y con posibilidades de prolongar aún más su tiempo de vida de anaquel.
- 3- Las mejores condiciones para la preservación de los hongos empacados y almacenados se obtuvieron cuando al utilizar bolsas de polietileno y polipropileno, lo cual se reflejó en menores pérdidas de peso, menores fluctuaciones en la coloración de los cuerpos fructíferos, así como entre las interrelaciones existentes entre los patrones de respiración, biosíntesis de etileno, contenido de fenoles totales y actividad de la polifenol oxidasa.
- 4- Para el productor la cosecha de hongos un día antes de su madurez comercial, a pesar de que esta práctica le signifique una reducción en el peso del producto al momento de la comercialización, sin embargo, en términos de competencia, le permitirán tener acceso a las cadenas de autoservicio e incluso para su venta en mercados lejanos.

VI. LITERATURA CITADA

- Ben-Yohoshua, S. 1987. Transpiration, Water Stress and Gas Exchange. En Postharvest Physiology of vegetables. J. Weichmann (Ed.) Marcel Dekker, Inc. New York.
- Bohling, H. and H. Hansen 1989. Studies on the metabolic Activity of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* Jack. Acta Horticulturae 258, 1989. Postharvest 88, pp. 573-578.
- Boucherie, H. ; Dupont C.H. and J. Bernet, 1981. Biochemical Biophysical. Acta 653, p.1800
- Burg, P.S.; and A.E. Burg. 1967. Molecular requirements for the biological activity of ethylene. Plant physiol. 42: 144-152.
- Burton, K.S., Frost, C.E., and R. Nichols, R. 1987. A combination plastic permeable film system for controlling postharvest mushrooms quality. Biotechnol. Lett. 9: 529-534.
- Burton, K.S. and R.V. Twynning. 1989. Extending mushroom storage-life by combining modified atmosphere packaging and cooling. Acta Horticulturae 258: 565-569.
- Burton, K.S. 1991. Modified atmosphere packaging of mushrooms-Review and recent developments. Pp 683-688 En: Science and Cultivation of Edible Fungi. Proceeding of 13 th. International Congress on the Science and Cultivation of Edible Fungi Vol. 2. Printed in the Netherlands. Bakema, Rotterdam, Holanda.
- Burton, K.S and R. Noble 1993. The influence of flushnumber, bruising and storage temperature on mushroom quality. Postharvest, Biology and Technology 3(1993). pp.39-47.
- Chang, S.T. and P.G. Miles 1989. Edible mushrooms and their cultivation. CRC. Press, Inc. Boca Raton, Florid. 345 pp.

Dennis, P. M. and L. Morris 1974. Effect of storage temperature on postharvest changes in mushrooms J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100(1): 16-19. 1975.

Diwakar, B.; Munjal, R. L.; and D. Baukhandi 1992. Cultivation of *Pleurotus* species on different agricultural residues Indian Phytopathology. pp. 492-495.

Dover, C.J., 1989. The principles of effective low ethylene storage Acta Horticulturae 258: 25-36.

García R.M. 1985. Cultivo industrial de *Pleurotus ostreatus* Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación, Hoja divulgadora # 8. Madrid España pp.7-10.

Geeson, J.D. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. En Acta Horticultura 258. Pp. 143-150.

Gorris L.G.M. and H.W. Peppelenbos. 1992. Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products. Hort. Technology. jul-sept. 1992 2 (3). Pp. 303-309.

Guzmán, G.; Mata G.; Salomones D.; Soto-Velazco C. y L. Guzmán Dávalos. 1993. El cultivo de hongos comestibles. Instituto Politécnico Nacional México, D.F. 245pp.

Hardenburg R.E.; Watada A.E. And Ch. Y. Wang 1988. Almacenamiento Comercial de Frutas, legumbres y existencias de floristerías y viveros. Traducción del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 150 pp

Henze, J. 1989 Storage and transport of *Pleurotus* mushrooms in atmospheres with high CO₂ concentrations En: Acta Horticultura 258, 1989.

Jingwei, D and R.E. Paull: 1997. Comparison of leaf susceptibility to enzymatic blackening in *Protea neriifolia* R.Br. and *Leucospermum* "Rachel" Postharvest, Biology and Technology (11). pp. 101-106.

Kader, A.A., 1989. En: Gorris, L.G.M. and H.W. Peppelenbos 1992 Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring. Food Products. Hort Technology, July-Sept. 2(3): pp. 303-309.

Klein, D.J. and S. Lurie 1992. Heat treatments for improved postharvest quality of Horticultural Crops. HortTechnology 2(3): 31-319.

Litwack, G. 1967. Bioquímica Experimental. Ediciones Omega S.A. Barcelona España. pp. 216-217.

López-Briones, G., Varoquaux P, Bareau, G, and B. Psacat. 1993. Modified Atmosphere Packaging of Common Mushrooms. International Journal of Food Science and Technology 28: 57-68.

Lieberman, M., 1979. Biosynthesis and action of ethylene. Ann. Rev. Plant Physiol. 30: 533-591.

Lutz, J.M. and R.E. Hardenburg. 1968. The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stock. USDA Handbook.

Macheix, J.J., Fleuriet, A. and J. Billot. 1990. Fruit Phenolics. Ed. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. USA

Mayer A.M. and E. Harel. 1979. Polyphenol oxidases in plants. Phytochemistry. Vol 18. pp. 193-215.

Mayer A.M. and E. Harel. 1981. Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables. Edic. J. Friend y M.J.C. Rhodes. Academic Press, London, U.K. pp. 159-180.

Mayer A.M. Polyphenol oxidases in plants-Recent Progress. 1987. Phytochemistry. Vol 26. pp. 11-20.

Mayer A.M. and E. Harel. 1991. Phenoloxidasas and their significance in fruit and vegetables in Food enzymology Volumen 1 Edited by Elsevier applied Science London and New York. Elsevier Science Publisher LTD.

Moore, B.M. ;Kang B. and W.H. Flurkey, 1988. Histochemical and Immuochemical Localization of tyrosinase in whole tissue sections of Mushrooms. Biochemistry, 1988. Vol 27. No. 12, pp. 3735-3737.

Murr, D.P. and L. Morris 1975. Effect of storage temperature on postharvest changes in Mushrooms. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100 (1): 16-19.

Pantastico E.R.B. 1979. Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Ed. Continental. México 663 p.

Pelayo, Z.C. 1992. Pérdidas Postcosecha: Significancia, estimación y Control. En: Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo LIMUSA 1992. Editorial Noriega 1ª Edición 1992. p. 28.

Peppelenbos, H.W. 1992. A Systematic approach of MAP research. Proc. Intl Wrkshp. Modified Atmosphere Packaging, Istanbul Turkey.

Rajarithnam, S.; Bianco, Z. and M.V. Patward 1983. Postharvest physiology and storage of the white oyster mushroom *Pleurotus flabellatus*. J. Food Technol. 18: 153-162.

Richardson, D.G. 1992. Etileno en la biología Postcosecha. En: Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas. (Eds. Yahia E. M.E. y C.I. Higuera) Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo LIMUSA 1992. Editorial Noriega 1ª Edición. Hermosillo, Sonora. pp. 59- 64.

Shirazi, A. and A.C. Cameron. 1992. Controlling relative humidity in Modified Atmosphere Packages of tomato fruit. HortScience 27(4) 33-339.

Sobal, C.M. 1992 Reguladores del Crecimiento XI. Estudio del etileno en *Pleurotus ostreatus*. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialista en Botánica. Colegio de Postgraduados.

Sueine, E. K., Klougart, A. . and C. R. Rasmussen 1967. Ways of prolonging the shelf-life of fresh mushroom. Mushroom Sci. 6: 463-474.

Stamets, P. 1993.: Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms. Ten Speed Press. Berkeley , California, Estados Unidos de América., pp.551.

Thompson , A.K. 1996. Postharvest Technology of Fruit and Vegetables. Blackwell Science Londres. p.158.

Torres,T.F, 1995. El sistema poscosecha y la alimentación nacional. En: El sistema poscosecha de granos en el nivel rural: Problemática y propuestas. UNAM, FAO, BORUCONSA, PUAL. México 414 pp