



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**" ATMOSFERAS MODIFICADAS UNA
ALTERNATIVA PARA LA CONSERVACION DE
FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS "**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :

AIDE ARACELI SAN ROMAN SANCHEZ

ASESOR:

M. en C. MARIA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES



Departamento de
Exámenes Profesionales

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FEB-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E .

AT:NI Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Atmósfera modificada una alternativa para la conservación
de frutas y hortalizas frescas.

que presenta la pasante: Aidé Araceli San Román Sánchez.
con número de cuentas 9256434-7 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniera en Alimentos.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautillán Izcalli, Edo. de Méx., a 5 de Mayo de 1997

PRESIDENTE	<u>I. Q. Fernando Maya Servín.</u>	
VOCAL	<u>I. A. Alfredo Alvarez Cárdenas.</u>	
SECRETARIO	<u>M. er C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>M. en C. Ma. Elena Vargas Ugalde.</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I. A. Laura M. Cortazar Figueroa.</u>	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

TESIS:

**Atmósfera modificada una alternativa
de conservación para frutas y
hortalizas frescas.**

AIDE ARACELI SAN ROMAN SANCHEZ

ASESORA:

M. en C. MARIA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA

CUAUTITLAN IZCALLI: EDO. DE MEXICO

INDICE

Introducción	I
Objetivos	III
1. Generalidades del sistema postcosecha de frutas y hortalizas mínimamente procesadas	1
1.1 Definición de frutas y hortalizas mínimamente procesadas	2
1.2 Respuestas fisiológicas	2
1.3 Preparación	4
1.4 Calidad	5
1.5 Operaciones previas	7
1.5.1 Recepción	8
1.5.2 Preenfriamiento	9
1.5.3 Limpieza	11
1.5.4 Selección	12
1.5.5 Clasificación	13
1.6 Operaciones especiales	14
1.6.1 Desverdecimiento	15
1.6.2 Tratamientos cuarentenarios	15
1.6.3 Encerado	17
1.6.4 Maduración controlada	17
1.6.5 Curado	18
1.6.6 Envasado.	18
1.6.7 Almacenamiento	25
2. Atmósfera modificada dentro del envase.	32
2.1 Definición y terminología.	33
2.2 Gases empleados en el envasado con atmósfera modificada.	35
2.3 Efectos del envasado con atmósfera modificada	37
2.4 Factores que afectan a los envases con atmósfera modificada	38
2.4.1 Factores que afectan la vida de anaquel	40
2.5 Métodos de creación de condiciones de atmósfera modificada.	54

2.5.1	Atmósfera modificada via pasiva o generada por el producto.	54
2.5.2	Atmósfera modificada activa.	54
2.5.3	Equilibrio óptimo en los niveles de gases.	56
2.6	Estudios realizados en el envasado con atmósfera modificada	58
2.6.1	Desarrollo de modelos predictivos	61
2.6.2	Modelos de permeación al gas	70
2.7	Requerimientos basicos de un sistema de envasado con atmósfera modificada	74
2.7.1	Concentraciones de O ₂	74
2.7.2	Concentraciones de CO ₂	75
2.7.3	Transporte con atmósfera modificada.	77
2.8	Efectos del envasado con atmosfera modificada	77
2.8.1	Beneficios potenciales	77
2.8.2	Efectos dañinos	78
3.	Características de permeabilidad y movimiento de gases y vapor de agua	80
3.1	Transferencia de masa y permeabilidad	81
3.2	Coefficientes de transferencia de masa	83
3.3	Flujo de gases y líquidos	84
3.4	Estudio de algunos factores que afectan la permeabilidad	85
3.4.1	Factores que afectan la permeabilidad	87
3.5	Medición de la permeabilidad de las películas	92
3.6	Estimación de los requerimientos de permeabilidad	93
3.7	Requerimientos para el envasado con atmosfera modificada	95
3.8	Control de la humedad relativa	96
3.9	Efectos de la permeabilidad sobre la vida de almacén de las frutas y hortalizas envasadas con atmósfera modificada	99
3.10	Propiedades de barrera de las películas comestibles bicapa	103
	Conclusiones	115
	Anexo.	a
	Bibliografía.	

INDICE DE CUADROS

1.1	Temperaturas y humedades relativas adecuadas para el preenfriamiento de frutas y hortalizas	10
1.2	Características principales de calidad para realizar una clasificación.	13
1.3	Tratamientos cuarentenarios postcosecha	16
2.1	Clasificación de frutas y hortalizas de acuerdo a su velocidad de respiración y grado de perecibilidad	42
2.2	Condiciones óptimas de almacenamiento para aguacates y frutas cítricas	51
2.3	Velocidad de transmisión de vapor de agua y de O_2 en materiales seleccionados para envasar frutas y hortalizas	52
2.4	Cambios en la composición de la atmósfera en los envases de brócoli	59
2.5	Efecto del tipo de película y de la temperatura al tiempo de envasado	60
2.6	Ecuaciones usadas para describir la influencia de la temperatura sobre el O_2 consumido y la permeación a través de las barreras de polímeros	70
2.7	Ecuaciones predictivas para $[O_2]_{i,t}$, $[O_2]_{i,\infty}$, $[CO_2]_{i,t}$ y HR, basadas en las ecuaciones de estado estacionario	73
2.8	Frutas y hortalizas clasificadas de acuerdo a su tolerancia a las bajas concentraciones de O_2	76
2.9	Frutas y hortalizas clasificadas de acuerdo a su tolerancia a las altas concentraciones de CO_2	76
3.1	Composición gaseosa del aire seco a nivel del mar	80
3.2	Efecto de los grupos funcionales sobre la permeabilidad al O_2	88
3.3	Efecto del grado de cristalinidad del polímero sobre la permeabilidad	89
3.4	Ecuaciones de estado estacionario para el O_2 y el flux de O_2 , a través de la piel del producto, el polímero y la piel y el polímero juntos	94
3.5	Descripción de símbolos y unidades	95

3 6 Películas, propiedades y fumigantes probados	102
3 7 Terminología de las películas	104
3 8 Composición de soluciones usadas para preparar películas	105
3 9 Permeabilidades al vapor de agua de películas bicapa como una función de los gradientes de la HR	107
3 10 Permeabilidad al vapor de agua de películas comestibles y no comestibles	108
3 11 Permeabilidad y resistencia al O ₂ de las películas hidrocoloides bicapa	109
3 12 Permeabilidad al O ₂ de películas comestibles y no comestibles	109

INDICE DE FIGURAS

1 1 Sistema de termoformado	23
1 2 Máquina convencional horizontal Forma - Llenado - Sellado	24
1 3 Máquina vertical Forma - Llenado - Sellado	25
1 4 Sistema de manejo postcosecha para aguacates	26
1 5 Sistema de manejo postcosecha para piñas	27
1 6 Sistema de manejo postcosecha para plátanos	28
1 7 Sistema de manejo postcosecha para espárragos	29
2 1 Vida relativa postcosecha	33
2 2 Actividad de microorganismos aerobios	36
2 3 Representación esquemática de los productos envasados con atmósfera modificada	39
2 4 Tipos de barreras que pueden ser usadas para estabilizar una atmósfera modificada	55
2 5 Cambios relativos en las concentraciones de O ₂ y CO ₂ durante la modificación activa y pasiva	57
2 6 Mapa de contorno	58
2 7 Relación aproximada entre Q ₁₀ y Ea	71

INTRODUCCION:

La función original de un envase era la de contener, cargar y distribuir productos. Sin embargo, el uso de las películas plásticas y comestibles como materiales de envase ha traído mucha variedad y versatilidad para proteger, preservar, almacenar, medir, comunicar y exhibir productos. El término envase tradicionalmente se empleaba para referirse a un contenedor de líquidos exclusivamente y el término empaque se refería a un contenedor de sólidos, en la actualidad se desalienta el uso de esta palabra con el fin de homogeneizar la forma de hablar de los países de habla hispana, empleando solamente la palabra envase indistintamente como contenedor de materiales líquidos, sólidos o gaseosos ¹¹

Los avances en la tecnología del envasado han tenido una gran contribución a un mercado más eficiente de frutas y hortalizas frescas. Los consumidores ahora reciben productos en condiciones frescas y sanitarias y menos dañados, con una vida de anaquel mayor. Entendiendo como vida de anaquel o tiempo de vida útil el periodo durante el cual el alimento se conserva apto para su consumo desde el punto de vista sanitario y mantiene sus características sensoriales y funcionales por encima de un grado límite de calidad, previamente establecido como aceptable. El envasado moderno ha coadyuvado a mejorar el manejo de alimentos de origen hortofrutícola entre productores y consumidores.

Por varios siglos, no existieron o eran inadecuadas las formas de transporte, refrigeración y envasado, impidiendo una amplia distribución de alimentos perecederos, como frutas y hortalizas. Los productos se consumían localmente y solo en la estación de producción, los consumidores recibían productos con una calidad sanitaria mínima o nula y sin protección ^{38 54}

Antes de enumerar los beneficios del envasado se debe mencionar que éste no proporciona calidad, por lo que la única forma de obtener un producto de alta calidad es realizando una selección y clasificación adecuadas antes de llevarlo a cabo. La

descomposición o posible daño en el producto puede impedir su venta en el mercado o traer consigo una fuente de contaminación y producir una enfermedad y consecuentemente grandes pérdidas económicas. Tampoco los envases pueden sustituir a la refrigeración, el mantenimiento de la calidad será mejor cuando un buen envase es combinado con un almacenamiento y un transporte refrigerados.

Las ventajas del envasado son muchas ya que sirve como una unidad eficiente de manejo, protege la calidad y reduce gastos, disminuye daños mecánicos, protege contra pérdidas de humedad, proporciona una atmósfera modificada muy beneficiosa, provee productos limpios y sanitarios. Los envases con películas plásticas y comestibles pueden reducir las pérdidas de humedad y por lo tanto de peso, previniendo así la deshidratación y el marchitamiento lo cual es importante para evitar la pérdida de vitamina C y caroteno " "

En este trabajo se habla del envasado con atmósfera modificada (MAP, por sus siglas en inglés) como uno de los métodos de conservación para frutas y hortalizas mínimamente procesadas. El sistema de envasado con atmósfera modificada consiste en "encerrar" al producto en un ambiente con niveles de humedad relativa, oxígeno y dióxido de carbono que se encuentran modificados con respecto a los del aire normal. Tal modificación se lleva a cabo inyectando dentro del envase una mezcla de gases (O_2 , CO_2 y N_2) específica para la conservación del producto, siendo los valores generalmente utilizados 2 - 5% de O_2 , 3 - 8% de CO_2 y el resto de N_2 . La humedad relativa se controla mediante una adecuada dirección de la temperatura del producto a lo largo de todo el proceso. Las películas empleadas en el envasado deben tener la capacidad de conservar los niveles de los gases durante toda la cadena de comercialización, siendo seleccionadas por sus valores de permeabilidad a los gases mencionados.

Al someter a las frutas y hortalizas a una atmósfera modificada (MA, por sus siglas en inglés), se logra disminuir su metabolismo con lo que se obtiene una reducción en la velocidad de respiración, un retraso en la maduración que a su vez está asociada a cambios bioquímicos y fisiológicos que repercuten en cambios composicionales, dando como resultado un tiempo de vida anaquel mayor.

OBJETIVO GENERAL:

Realizar un análisis de la bibliografía que existe acerca de los beneficios del uso de películas plásticas y comestibles como material de envase para frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Considerando la atmósfera modificada que se crea dentro del envase y todos los factores ambientales que influyen, para lograr una vida comercial mayor, como material de apoyo para estudiantes e investigadores de la carrera de Ingeniería en Alimentos

OBJETIVO PARTICULAR I:

Elaborar un estudio bibliográfico sobre las generalidades de frutas y hortalizas que se van a someter a un envasado dentro de películas plásticas, para precisar las operaciones mínimamente necesarias antes de generar una atmósfera modificada

OBJETIVO PARTICULAR II:

Realizar un estudio de la bibliografía existente acerca de las características de permeabilidad de las películas disponibles para el envasado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas, para comprender cómo se conserva una atmósfera modificada en equilibrio y alargar la vida comercial del producto

OBJETIVO PARTICULAR III:

Investigar mediante la información bibliográfica actual como influye en la extensión de la vida de anaquel de las frutas y hortalizas envasadas con atmósfera modificada la refrigeración para obtener un beneficio del uso combinado de ambos métodos de conservación.

1 GENERALIDADES DEL SISTEMA POSTCOSECHA PARA FRUTAS Y HORTALIZAS

El incremento de la producción y las mejoras en el manejo de frutas y hortalizas tiene un gran potencial para aumentar el nivel de nutrición de la población de escasos recursos de los medios rural y urbano así como también incrementar sus rentas y proveer grandes oportunidades de empleo. Las tendencias económicas sugieren que las frutas y hortalizas aumentarán la contribución para mejorar la dieta de los países en desarrollo, la adopción de variedades mejoradas y los métodos eficientes de producción hortícola, tienen el potencial de elevar el capital y dar una mejor distribución, mientras se desarrollan las prácticas de cultivo se ayudará a proteger la calidad del ambiente y conservar los recursos naturales ²⁴

Las frutas y hortalizas son alimentos importantes y su producción, procesado y venta son contribuyentes importantes de las utilidades. El crecimiento de la población y la urbanización están creando un incremento de demandas de alimentos y a la su vez, están provocando una desnutrición especialmente en las áreas periféricas de las grandes ciudades tanto en países desarrollados como en los subdesarrollados ²⁴

En muchos países donde las frutas y hortalizas se procesan, las materias primas se producen por la propia industria, bajo un estricto control de calidad, esto ayuda a mejorar la producción de las materias primas con las que se va a laborar, para desarrollar mejores productos ²⁵ Actualmente, más consumidores buscan, por conveniencia, los productos precortados, preparados y envasados, y aun cuando realizan sus compras de manera tradicional, se puede asegurar que los productos de bajo peso, decolorados, golpeados o con cualquier otro tipo de daño no salen a la venta

Para los consumidores, las frutas y hortalizas frescas envasadas pueden parecer simples, pero sus envases deben ser hechos a la medida, científicamente a

conveniencia de las sutiles diferencias y necesidades de supervivencia de cada producto en particular ⁴⁴.

1.1 Definición de frutas y hortalizas mínimamente procesadas

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas son aquellas preparadas para consumo y distribución en estado fresco y donde el proceso es más corto que los procedimientos de preservación tradicional (esterilización, enlatado, congelado y deshidratado) pero con las ventajas de los productos totalmente procesados.

El proceso mínimo puede incluir algunos o todos de los siguientes pasos: lavado, cortado, rebanado, arreglado, descorazonado y pelado. Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, ahora se encuentran en el mercado incluyendo lechuga y col en envases ajustados, papas peladas y rebanadas, espinacas lavadas y arregladas, ensaladas mixtas empacadas, tallos de apio y zanahonas, cebollas y pimientos rebanados y en cubos, manzanas precortadas y enfriadas, mangos, melones, sandías, naranjas peladas, uvas, piñas descorazonadas y charolas de hortalizas listas para el usar en el horno de microondas ³⁰.

1.2 Respuestas Fisiológicas

Los cambios degradativos que ocurren durante la senescencia son inducidos e iniciados por las acciones fisiológicas de las heridas durante el procesamiento mínimo. Las operaciones de preparación como pelado y rebanado, deben hacerse con mucho cuidado para evitar lesiones u otro daño celular. Las posibles manifestaciones de ruptura celular (pérdida de integridad celular) incluyen el incremento de las velocidades

de respiración y la producción de etileno, pardeamiento enzimático, pérdida de textura, desarrollo de sabores desagradables, pérdida de calidad nutricional (pérdida de vitaminas), incremento de la susceptibilidad a la invasión microbiana y aceleración de la senescencia ³⁰

Se ha demostrado que las velocidades de respiración de fresas, peras, zanahonas, kiwis, plátanos, lechugas y otros cultivos incrementan apreciablemente después de cortar el tejido. También que hay un incremento en la velocidad de respiración, aumenta la velocidad de deterioro de los productos frescos. El incremento de la velocidad de respiración puede afectar la dulzura y acidez de los productos hortofrutícolas.

El pardeamiento enzimático es causado por la liberación de compuestos fenólicos de las vacuolas rotas en las superficies cortadas de frutas y hortalizas y en muchas ocasiones por la acción de la polifenoloxidasas sobre estos compuestos fenólicos en presencia de oxígeno para formar polímeros cafés. Los tratamientos antipardeamiento incluyen el uso de antioxidantes (ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido dihidroacético, cisteína y otros agentes reductores), CaCl_2 , ZnCl_2 , disminución de la concentración de oxígeno alrededor del tejido por debajo del 1 al 2% y uso de dióxido de carbono. Otros tipos de decoloración en el tejido de plantas que pueden ser inducidos como consecuencia del procesamiento incluyen el blanqueamiento de la piel de las zanahonas enteras baby que aparentemente resulta de la oxidación, deshidratación y lignificación, también el amarilleamiento de la lechuga, col, brocoli y espinaca envasados, debido al rompimiento de la clorofila y aumento en la producción de etileno ³⁰

Las pérdidas de textura también pueden aparecer cuando la pared y la membrana celulares son degradadas por enzimas como la poligalacturonasa, pectinmetilesterasa y galactosidasa al entrar en contacto con sustratos por ambas de la pérdida de la compartimentalización celular, el calcio puede ser usado para mantener la estructura e integridad celular. La pérdida de sabor puede resultar del menoscabo de compuestos volátiles que proporcionan un buen sabor o por la acumulación de compuestos que producen sabores extraños. Las condiciones anaeróbicas pueden ser producidas dentro del

envase de los productos minimamente procesados dando como resultado sabores y aromas extraños (causados por la acumulación de etanol y acetaldehído) ¹⁰.

1.3 Preparación

Las frutas y hortalizas minimamente procesadas son por definición muy perecederas, en muchos casos, más perecederas que la materia prima, de la cual son hechas, consecuentemente se deben tratar con un sistema similar al del manejo de las frutas y hortalizas frescas, más que con un sistema de manejo de los productos completamente procesados.

La preparación inicia en el campo, la materia prima se debe cosechar y transportar a la fábrica de procesamiento lo más rápido posible, sin ningún retardo (especialmente en días calidos) El tiempo transcurrido entre la recepción de la materia prima y el proceso debe de ser mínimo ¹⁹.

Es mejor si la materia prima se lava y se enfria antes de llegar a la empacadora, para remover la suciedad y el calor de campo, pues en los productos envasados con atmósfera modificada esto juega un papel muy importante desde el punto de vista microbiológico y cómo la velocidad de respiración se ve alterada por la temperatura. El proceso interrumpido y el almacenamiento de los productos antes de su transformación hasta su forma final pueden dar como resultado una reducción en la calidad y en la vida de anaquel, especialmente a temperaturas mayores de 3 °C ¹⁹.

El daño que ocurre a las células por el cortado, también puede reducir la calidad y la vida de anaquel, por ejemplo la estabilidad de la lechuga arreglada es afectada por la forma en que se corta. Boilin et al (1977) mostraron que el rebanado con un cuchillo bien afilado da como resultado una vida de anaquel del doble que cuando se taseja con una navaja sin filo. El pelado de las zanahorias enteras baby da como resultado una mayor reducción en el blanqueamiento de la superficie comparado con el pelado por abrasión.

Es importante que después del lavado e hidrogenfriamiento, la humedad libre se remueve completamente para evitar las condiciones propicias para el desarrollo de microorganismos ¹⁸.

1.4 Calidad.

Además de que la calidad de los productos minimamente procesados se conserva por el valor agregado de la selección, graduación y envasado, el potencial para maximizar la calidad de estos productos se realiza por la calidad inicial de las frutas y hortalizas de las cuales están hechos

La vida de anaquel de un producto es medida como el tiempo a partir de su producción hasta llegar a tener un nivel de calidad inaceptable para consumo sano y seguro, en las ensaladas mixtas, por ejemplo, la calidad del producto total esta basada en el ingrediente más perecedero. Para muchos productos envasados con atmósfera modificada un mínimo de vida de anaquel de 7 a 14 días es aceptable, aunque algunos requieren de 21 días ¹⁹

La temperatura es otro factor muy importante, que es necesario considerar para preservar la calidad de los productos minimamente procesados, ya que es indispensable mantener un control total de la misma para obtener todos los beneficios que ofrece un sistema de envasado con atmósfera modificada, por que la velocidad de deterioro de la calidad está directamente relacionada a la velocidad de respiración, la reducción de ésta a los niveles más bajos es muy deseable para prolongar la vida de anaquel de las frutas y hortalizas minimamente procesadas. Generalmente por cada 10 °C que se disminuye la temperatura las velocidades de respiración son reducidas de 2 a 4 veces. La temperatura más baja y segura debe de ser mantenida para cada tipo de producto hasta finalizar la cadena de comercialización ¹⁹

En el medio agrícola latinoamericano las etapas de producción de un fruto u hortaliza han incluido tradicionalmente las situaciones relacionadas con las prácticas de cultivo, sin considerar los aspectos relacionados con el tránsito entre la cosecha, la postcosecha y el consumidor, si se entiende que el consumidor es la meta en todos los procesos de producción ²⁷ Por lo general, en este tránsito es donde ocurren las pérdidas elevadas de calidad y cantidad, que son originadas por factores como los cambios fisiológicos del producto, el daño mecánico, el calor, la descomposición de tipo patológica producida por hongos y bacterias ¹⁶

Se debe de considerar incompleto cualquier sistema que no incluya en forma integral, además de la etapa de producción, el manejo del producto en cosecha y postcosecha. Es en el periodo de postcosecha, donde el producto fresco, se deteriora en forma rápida e irreversible, produciéndose la mayor pérdida de calidad. Se estima que la magnitud de las pérdidas postcosecha en frutas y hortalizas frescas llega hasta un 25% en países desarrollados y hasta un 60% en países en vías de desarrollo, dependiendo éstas del producto ¹³ Para reducir este detrimento, es necesario que los productores y empleados en primer lugar entiendan como influyen los factores biológicos y ambientales incluyendo el deterioro y que se emplee la tecnología postcosecha que retarda la senescencia y mantiene la mayor calidad posible.

Las frutas y hortalizas frescas, son tejidos vivos sujetos a continuos cambios aun después de cosechados. Mientras que algunos cambios son deseables otros no lo son, los cambios postcosecha en productos frescos no se pueden detener, pero si se pueden retardar dentro de ciertos límites. La senescencia es el estado final del desarrollo de los órganos de la planta, durante la cual una serie de eventos irreversibles conllevan al colapso y a la muerte de las células vegetales ¹⁹

Los cultivos hortofrutícolas frescos, son diversos en estructura morfológica (raíces, tallos, hojas, flores y frutos), en composición y en fisiología, además de que los requerimientos de cada uno, para extender al máximo la vida útil son muy diferentes. Todos los productos hortofrutícolas frescos tienen un alto contenido de agua y además están sujetos a deshidratación y a daños mecánicos, son susceptibles a ataques

microbianos dando como resultado un colapso patológico ²⁰.

Es evidente que las pérdidas postcosecha no significan solamente pérdidas del producto, sino que también significan un mal aprovechamiento de los esfuerzos realizados durante la producción y el manejo antes y después de la cosecha, menoscabo de energía y ganancias, dando como resultado un perjuicio económico enorme. En este sentido, se infiere que ante una demanda constante de productos puede resultar más beneficioso, económicamente disminuir las superficies sembradas y las pérdidas de los productos que aumentar simplemente la superficie cultivada y la producción ¹⁸.

En este contexto, el propósito principal de cualquier sistema de manejo postcosecha para frutas y hortalizas es proporcionar un producto al mercado con la máxima calidad, al menor costo posible y con la mínima cantidad de pérdidas ⁴. Entendiendo por calidad el conjunto de atributos de un fruto u hortaliza que le da su característica propia de alimento, palatabilidad y presentación, se entiende que la calidad es específica de cada producto, de cada cultivo dentro de una especie y sus características muy propias tendrán que ser definidas con exactitud para establecer sus condiciones de calidad ²².

Las principales áreas en las que se debe fijar la atención en el desarrollo de un sistema de manejo postcosecha son las operaciones previas y las operaciones especiales que van a preparar al producto para que pueda ser envasado con atmósfera modificada y almacenarlo en frío, en las mejores condiciones para conservar su calidad y extender su vida de anaquel.

1.5 Operaciones Previas

Las operaciones previas son aquellas, como su nombre lo indica, que se van a llevar a cabo antes de iniciar cualquier proceso, son tratamientos de preparación que se

le practican al producto para que vaya en las mejores condiciones sanitarias y de calidad para poder alargar su vida de anaquel. Entre las principales operaciones se encuentran las siguientes:

1.5.1 Recepción:

Una vez que las frutas y hortalizas llegan a la empacadora se vacían directamente a graduadores y bandas empacadoras. En operaciones a gran escala el vaciado de los costales y cajas es mecanizado para proporcionar un flujo uniforme de producto y así reducir los problemas de supervisión.

Muchas veces el producto se vacía en tambores secos o con agua. En los tambores secos la caja se cubre con un forro acojinado, entonces lentamente se invierte y el producto se libera paulatinamente a través de una abertura controlada en el forro acojinado. Un control electrónico en las bandas de liberación permite un flujo adecuado del producto a la línea de selección. Los tambores secos diseñados apropiadamente liberan un flujo uniforme de producto con el mínimo de daños.²³

Los tambores de agua son de varios tipos. En unos el producto se vacía directamente de la caja dentro del agua. Otros sumergen la caja y el producto flota libremente. Los tambores más comunes son los que sumergen la caja entera y el producto flota, la caja es transportada a través de una banda. Hay bombas que hacen circular el agua de los tanques de los tambores para mover el producto que flota libremente. Para la flotación de productos que son más pesados que el agua, se debe añadir una sal a ésta (muchas veces sulfato de sodio) para hacerla más densa y que el producto pueda flotar.

La sanitización es importante en los tambores con agua, pues acumulan rápidamente una alta concentración de esporas fúngicas que pueden infectar al producto. Los tanques de los tambores deben estar diseñados para un rápido drenado y llenado y para facilitar la limpieza. Se mantiene una concentración de cloro, generalmente de 50 a 200 ppm en los tanques de agua de los tambores, pero la

tolerancia al cloro de las diferentes especies y variedades de frutas y hortalizas se debe de conocer ²³

Después de la recepción del producto en la empacadora se procede al preenfriamiento para eliminar el calor de campo, con lo cual se logra disminuir la velocidad de respiración para evitar un posible deterioro del producto y poder alargar su vida útil

1.5.2 Preenfriamiento

La eliminación del calor de campo permite alargar el periodo de vida del producto fresco, debido a que disminuye el metabolismo del producto

Es importante realizar el preenfriamiento lo más rápido posible una vez que las frutas y hortalizas llegan a la empacadora, si no se puede llevar a cabo, el producto se debe de colocar en un lugar fresco, lejos de posibles fuentes de calor. Algunas veces se asperjea agua en forma de rocío sobre el producto que aun se encuentra en los contenedores, para proporcionar un preenfriamiento evaporativo e iniciar así la remoción del calor, este procedimiento no requiere de grandes instalaciones pero su uso está limitado a zonas geográficas con humedad relativa baja para evitar el desarrollo de microorganismos y/o putrefacción y sin problemas de abastecimiento de agua ⁸

Los métodos de preenfriamiento de mayor uso son ²¹

- Hidrorrefrigeración
- Enfriamiento por aire forzado
- Enfriamiento por vacío
- Enfriamiento con hielo

Las temperaturas que generalmente se usan durante el preenfriamiento para frutas de climas fríos o templados son de 5 °C y para frutas tropicales y subtropicales son de 10 a 13 °C para evitar posibles daños por frío, en el cuadro 1.1 se muestran con más detalle temperaturas y humedades relativas para cada tipo de fruta y hortaliza

CUADRO 1.1 Temperaturas y humedades relativas adecuadas para el preenfriamiento de frutas y hortalizas.

PRODUCTO	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
Cerezas, ciruelas, chabacanos, duraznos, frambuesas, fresas, granadas rojas, higos, manzanas, persimóns, zarzamoras, peras y uvas.	0 - 1.5	90 - 95
Limonas, naranjas, tangerinas, melones, arándanos.	2.5 - 5	90 - 95
Calabacitas, calabacinas, morrones, ejotes, sandias y jitomates.	4.5 - 7.5	95
Limonas, limas, berenjenas, calabacitas, papas, pepinos y sandias.	4.5 - 13	85 - 90
Aceitunas frescas, aguacates, berenjenas, guayabas, jitomates, mangos, melones gota de miel, papayas, piñas, sandias, toronjas.	13 - 18	85 - 95
Alcachofas, champiñones, chicharos, clotes, espárragos, espinacas, lechugas, perejil, zanahorias, berros, chirivias, endivias, apios, cebollas verdes, coliflores, colinabos.	0 - 1.5	95 - 100
Papas y camotes.	13 - 18	85 - 90
Ajos y cebollas secas.	0 - 1.5	65 - 75

FUENTE: SNA (1987) ⁵⁰

Es necesario limpiar las frutas y hortalizas que se van a conservar con atmósfera modificada, dentro de las operaciones previas, ya que con la limpieza se disminuye la carga bacteriana que se encuentra adherida a la superficie del producto, contribuyendo con esto a la conservación de la calidad del producto

1.5.3 Limpieza:

Los productos que se van a envasar con atmósfera modificada necesitan estar perfectamente limpios para evitar el desarrollo de los microorganismos que generalmente se encuentran en su superficie. La limpieza puede ser de dos tipos: húmeda o seca, cuando los productos están muy sucios se emplean los dos métodos, aunque también depende de la naturaleza de la fruta u hortaliza de que se trate. Por ejemplo, en los tubérculos, bulbos y raíces por su alto contenido de tierra pero por su intolerancia a la humedad solo se emplea la limpieza seca. Cuando se realiza la limpieza húmeda es necesario eliminar el exceso de agua libre que queda en la superficie de la fruta u hortaliza, haciéndola pasar por un túnel de aire a una temperatura de aproximadamente 35 °C para garantizar una HR del 85% para evitar una deshidratación. Por lo general al agua de lavado se le agregan fungicidas, antimicrobianos y/o desinfectantes ²³

Los principales tipos de limpieza son ²³

- 1 Limpieza Húmeda por aspersión. En este método se puede regular la velocidad de la banda por donde avanzan los productos, la distancia de los aspersores, la distancia entre éstos y el producto y el flujo del agua que pasa por los aspersores. Se emplea principalmente para aquellos frutos que crecen superficialmente o frutos de árbol como manzanas, peras, limones, con mayor frecuencia cuando se han cosechado en forma manual. Generalmente, se emplea en todas las hortalizas frondosas como la lechuga, col, espinaca, etc.
- 2 Limpieza Húmeda por inmersión. Este método consiste en verter las frutas en un tanque, dentro del cual se lavan o bien sumergir la caja completa dentro del tanque, el cual puede tener agitación o no. También se emplean fungicidas y periódicamente se cambia

el agua para evitar la acumulación de microorganismos y basuras

3. **Limpieza Seca con cepillos** Los cepillos que se emplean en este tipo de limpieza pueden ser concéntricos, con una dureza determinada para no dañar el producto, se puede regular la velocidad de giro y la velocidad de la banda por la cual van pasando las frutas y hortalizas
4. **Limpieza seca con rodillos** Este método es similar al de los cepillos, pero sólo se usa para frutos de baja resistencia que han sido cosechados mecánicamente

El producto ya limpio pasa a la línea de selección donde se realiza una eliminación de los productos que no cumplen con los requisitos mínimos de calidad o se encuentren en mal estado para ser aceptados de acuerdo del producto del que se trate

1.5.4 Selección:

Una selección eficiente demanda una atención cuidadosa por parte del trabajador, debido a que el producto debe pasar por una serie de equipos específicos donde se van a ir eliminando los productos que no cumplan con las normas establecidas de color, tamaño, peso, defectos, etc dependiendo del producto del que se trate. Los requerimientos de selección incluyen lo siguiente: ¹⁴

- A. **Espacio adecuado para la selección**, este no debe ser diseñado sólo en términos de envases por hora. Los requerimientos de espacio también dependen del porcentaje de subdivisiones del producto (subgraduada, grado alterno, etc.), el número de decisiones y separaciones requeridas (por color, forma y varios defectos) y el tamaño relativo del producto que ha sido seleccionado
- B. **Habilidad para ajustar el flujo del producto**, un supervisor debe tener el control instantáneo de la velocidad de la banda de selección para ajustarla a variaciones según la calidad de la fruta, defectos, tamaño, etc
- C. **Habilidad para ver el producto**, los trabajadores deben tener una visión completa sobre la superficie entera del producto para una selección eficiente. Evitar diseños en

los que parte de la banda quede oculta a la vista de los trabajadores. Considerar vanos sistemas para alterar la posición del producto conforme avanza a lo largo de la banda. La rotación lenta o el movimiento periódico son deseables.

D. Evitar lesiones en la fruta, una línea de selección que causa daños al producto es defectuosa en sí. Así que el sistema de liberación, la banda de selección y el sistema de distribución deben estar diseñados para evitar deterioro. Además la limpieza periódica facilita eliminar la suciedad acumulada, lo cual ayuda a reducir el daño de la fruta por contaminación. El flujo del producto a lo largo de la banda debe ir en una sola capa.

De la banda de selección el producto pasa a la banda de clasificación, donde se va a clasificar según el tamaño, color, peso etc.

1.5.5 Clasificación:

La clasificación consiste en diferenciar y agrupar a las frutas y hortalizas de acuerdo con sus características de calidad. Los objetivos de las normas de clasificación y su aplicación son proporcionar un medio de control de calidad para los productos hortofrutícolas, por esto en dichas normas se incluyen aquellas características más importantes del producto que contribuyen a su calidad (ver cuadro 1.2) ²⁷

CUADRO 1.2 Características principales de calidad para realizar una clasificación.

FACTORES	COMPONENTES
Apariencia Visual	a. Tamaño, dimensiones, peso, volumen. b. Forma y geometría: relación diámetro / profundidad, suavidad, solidez. c. Color: uniformidad, intensidad. d. Defectos: externos e internos. <ul style="list-style-type: none"> • Mecánicos. • Fisiológicos. • Patológicos. • Entomológicos.

FUENTE: KADER, A. A. (1992) ²⁷

Continúa...

Continuación del Cuadro 1.2

FACTORES	COMPONENTES
Textura	a. Firmeza, dureza, suavidad, b. Suculencia, jugosidad. c. Arenosidad, elasticidad. d. Dureza, fibrosidad.
Sabor	a. Dureza. b. acidez. c. Astringencia. d. Amargura. e. Aroma.
Seguridad	a. Sustancias tóxicas naturalmente presentes. b. Contaminantes (residuos químicos, metales pesados, etc.) c. Contaminación microbiana.
Valor nutritivo	a. Carbohidratos (incluyendo fibra dietética). b. Proteínas. c. Lípidos. d. Vitaminas. e. Minerales.

FUENTE: KADER, A. A. (1992) 27

1.6 Operaciones Especiales.

Las operaciones especiales se realizan dentro de la empacadora una vez que se han llevado a cabo las operaciones previas, sin embargo no son estrictamente

necesarias para la comercialización del producto. Generalmente, se realizan para mejorar la apariencia del producto, de tal manera que se obtenga una homogeneidad en cuanto al color, grado de madurez, cicatrización de heridas o para evitar el desarrollo de raíces en los bulbos. Cuando se realizan, el costo de los productos aumenta pues para cada operación especial es necesario un equipo específico.

1.6.1 Desverdecimiento:

Se aplica a aquellas frutas no climatéricas las cuales requieren una degradación uniforme de las clorofilas, para su comercialización. Durante esta operación se dan cambios en el grado de madurez, por lo general se aplica a frutas cítricas (mandarinas, toronjas, naranjas). Sin embargo, no se debe aplicar a frutas u hortalizas para alterar su apariencia cuando no han madurado adecuadamente.¹⁹

Esta operación requiere de cámaras con atmósferas modificadas, las cuales tienen que ser herméticas, de tal forma que no haya escape de etileno, el cual se puede aplicar en forma de gas o por impregnación líquida. Las cámaras deben de tener circulación de aire forzado para garantizar una distribución homogénea. La concentración de etileno es de 100 a 150 ppm y la humedad relativa no debe ser menor del 85%. Las concentraciones de etileno entre 400 y 800 ppm pueden causar un reblandecimiento de la cáscara de algunos productos.

El desverdecimiento puede ser lento o rápido, el primero dura de 72 h a una semana a 20 - 25 °C para que el producto no tenga pérdidas de peso y no aumente la humedad relativa. El otro tipo dura de 24 a 36 h a temperaturas de 25 a 30 °C.¹⁹

1.6.2 Tratamientos cuarentenarios:

Otras de las operaciones especiales son los tratamientos cuarentenarios, que se aplican con el propósito de que ciertas frutas y hortalizas que se producen en lugares contaminados queden libres de insectos y enfermedades como una medida preventiva para evitar su diseminación a otros estados, regiones o países.

CUADRO 1.3 Tratamientos cuarentenarios postcosecha.

TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fumigación con Bromuro de metilo	1.5 - 2.5 lb/ 1000 ft ³ 18 - 21°C/ 2 h. se aplica en cámaras certificadas y personal autorizado	Amplio espectro contra moscas de la fruta. Protección contra reinfestación.	Muy tóxico. Daño potencial al producto si hay presencia de humedad en su superficie.
Fumigante alternativo Fosfina (H ₂ P)	33 g/1000 ft ³ 1500 ft ³ Tiempo de aplicación 48 a 72 h a temp. amb.	(2)	Muy tóxico. Alto costo. Los productos deben de estar en refrigeración.
Hidrotermia	46°C/ 90 minutos	acelera la maduración y la senescencia	Aumenta la sensibilidad al daño por frío. Requiere de control de la madurez del producto. tamaño homogéneo.
Vapor	Proceso de 2 etapas: 1° 44°C, 43% HR/ 8 horas 2° 44°C, 100% HR/ 6 horas 3° Enfriamiento.	Se acelera la maduración y la senescencia.	Reducción de aromas. Tratamiento largo, seguro sólo contra huevecillos de mosca. Alto costo.
Vapor "quick run up"	1° 42°C, 1 h/40 - 60% HR. 2° 49°C, 1 h aire saturado de vapor.	Tratamiento corto. Atractivo como alternativa en papaya, efectivo contra huevecillos y estados larvares.	-
Alta temperatura. Aire forzado (HTFA).	Aire caliente forzado, 49°C, < 1 h, 40 - 60% HR.	Efícaz, garantiza seguridad cuarentenaria contra <i>C. capitata</i> , <i>D. cucurbitae</i> y <i>D. dorsalis</i> .	-
Bajas temperaturas.	Se aplican temperaturas bajas por un tiempo 10 días/32°F 11 días/33°F 12 días/34°F 14 días/35°F 16 días/36°F	Tratamiento aplicable durante la transportación.	Limitante solo en frutas que no sean sensibles al daño por frío.

Fuente: BOSQUEZ, M. E. (1992).

El encerado es otra operación especial que se lleva a cabo para evitar pérdidas de humedad del producto, además de proporcionar una mejor apariencia estética

1.6.3 Encerado:

Algunas frutas y hortalizas se enceran como parte de la operación de envasado. Las ceras se usan para reducir las pérdidas de agua para reemplazar las ceras naturales que se perdieron durante el lavado y la limpieza, para cubrir la heridas, como las que se producen durante el despeluzamiento de los duraznos, para actuar como portadores de fungicidas o para mejorar la apariencia estética de algunas frutas. Las ceras se deben obtener de materiales de grado alimenticio. No deben de alterar color o aspecto, no deben de tener colorantes⁷¹.

Las principales ceras que se usan en esta operación son:

- ◆ Cera de abeja
- ◆ Cera carnauba
- ◆ Parafina
- ◆ Cera candelilla

Entre las modalidades de encerado está el encerado por inmersión que se aplica a frutos sin rugosidades a aquellas hortalizas en las que por la forma de sus hojas no es posible otro método de aplicación, aunque no hay una distribución uniforme de la cera. A la cera líquida se le pueden agregar desinfectantes y/o antifúngicos. También se puede encerar por espuma, donde la cera se inyecta a cepillos giratorios, por debajo de los cuales pasa el producto en una banda transportadora. La ventaja de este método es que la cera restante no se contamina y se puede utilizar para una siguiente ocasión¹⁸.

1.6.4 Maduración controlada:

Presenta la ventaja de que provoca una maduración uniforme, lo que se traduce en: color uniforme y degradación de los diferentes compuestos, reblandecimiento de la pulpa, cambio de almidones, pectinas, componentes volátiles, ácidos orgánicos y

clorofilas. Sin embargo, no mejora la calidad del producto. Se emplea etileno a diferentes concentraciones, por ejemplo para mango se usan de 50 a 100 ppm con una temperatura de 30 a 35 °C y 90 a 95% de humedad relativa durante 36 h, para plátano 45 a 80 ppm a temperaturas menores de 20 °C con 90% de humedad relativa por un tiempo de 24 a 36 h ²³.

Otra operación especial que se les practican a algunos productos hortofrutícolas es el curado, que muchas veces se emplea para cerrar los poros de la epidermis y evitar pérdidas de agua, también es útil en frutas y hortalizas que se van conservar en envase con atmósfera modificada y se van a almacenar a temperaturas de refrigeración

1.6.5 Curado:

Los bulbos, raíces y tubérculos son los principales productos a los que se les practica el curado, con la finalidad de producir la cicatrización de las heridas, en los bulbos además forma la capa o película protectora (ajos y cebollas) de tal manera que ocasiona un letargo que evita el desarrollo. Para producir la cicatrización en raíces y tubérculos (zanahoras, papa, camote) se disminuye la humedad relativa entre 60 y 65% y se eleva la temperatura a 30 °C. La cicatrización consiste en una ligera deshidratación que provoca el cierre de las heridas, se realiza durante 24 a 36 horas y el producto se almacena a temperatura de refrigeración con humedad relativa del 95%. Para los tubérculos se hace pasar una corriente de aire caliente entre 40 y 50% con un 60 a 65% de humedad relativa por 2 ó 4 horas, para formar la película protectora ¹⁹.

Terminadas las operaciones previas y las especiales el siguiente paso es envasar las frutas u hortalizas pues ya están listas y en condiciones óptimas para ser colocadas en una atmósfera modificada

1.6.6 Envasado:

La función protectora del envase es recibir los daños mecánicos (raspaduras, rozaduras, cortaduras, rasguños, picaduras, etc.), los cuales son responsables de importantes pérdidas. Las funciones principales del envase son las de conservar el

contenido de humedad de las frutas y hortalizas que se encuentran en su interior y además conservar la microatmósfera creada dentro de él, estas funciones son benéficas para resguardar la calidad y prolongar la vida de anaquel del producto. Otra función importante del envase, desde el punto de vista comercial, es que presenta al producto de una manera más atractiva para el consumidor.²¹

Muchos materiales que se usan para el envasado, como las películas plásticas, están compuestos de dos o más tipos de materiales combinados dentro de una sola película. Pueden usarse aisladamente o como cubiertas sobre charolas termomoldeadas de poliestireno o pulpa. Las unidades del producto en un envase deben ser comparables en peso, tamaño, madurez y grado. Algunos envases contienen una sola unidad de producto, por ejemplo una lechuga, una cabeza de coliflor, mientras que en otros hay varias unidades del producto que se encierran en un solo envase como por ejemplo papas, rábanos, coles de Bruselas, zanahorias, etc.²¹

La línea de envasado se debe diseñar para minimizar las oportunidades de daño del producto. Las caídas y caídas se deben eliminar siempre que sea posible y los daños que sean imposibles de evitar (muchas veces por el movimiento de las bandas transportadoras o los chorros de aire) se pueden amortiguar acolchonando las bandas o el área de trabajo de riesgo. Todas las heridas se deben evitar con el fin de no incrementar la velocidad de respiración de la fruta o la hortaliza debido a que una velocidad de respiración elevada puede afectar la atmósfera modificada creada específicamente para el producto, haciendo con esto inválido o ineficiente al envase.²⁴

El envasado moderno para productos frescos debe cubrir una amplia gama de requerimientos que puede ser sintetizada como sigue.²¹

- Los envases deben tener la resistencia mecánica suficiente para proteger el contenido durante su manejo, transporte y estibamiento.
- El material de construcción no debe tener sustancias químicas que puedan reaccionar con el producto, ni ser tóxico para los humanos.

- El envase debe enfrentar los requerimientos de manejo y comercialización en términos de peso, tamaño y forma. La comente tiende a reducir la variedad de tamaños y formas de envases para lograr la estandarización
- Los envases deben permitir un rápido enfriamiento de su contenido. Además, la permeabilidad de las películas plásticas para el intercambio de gases es un factor primordial, que debe ser considerado para el envase con atmósfera modificada
- La resistencia mecánica debe ser inalterable por el contenido de humedad
- El envase debe identificar su contenido
- El envase debe estar diseñado para facilitar su eliminación, reuso o reciclaje
- El costo del envase en relación al volumen y la extensión de su requerimiento como protección del contenido debe ser lo más bajo posible

Entre los métodos de envasado se encuentran los siguientes ²¹

A. Envasado Manual: El producto se envasa a mano para crear un envase atractivo, muchas veces para cubrir un número fijo de unidades del producto en el envase, a veces para tener una selección más precisa por tamaño y siempre para inmovilizar al producto dentro del envase. Esto último precisa de un tamaño adecuado y uniforme de la fruta u hortaliza, debido a que va una sola capa en el envase. La inmovilización usualmente requiere que el envase quede ajustado por los lados. En charolas que se usan como envase, la presencia de una fruta mayor que las demás puede evitar el uso de almohadillas en la parte superior, lo que provocara el movimiento y posible daño de la fruta más pequeña dentro de ese mismo envase durante su manejo. Igualmente, una fruta menor a todas las demás no permite el ajustamiento lateral de la charola, permitiendo que la fruta adyacente se mueva y se dañe.

Los materiales de envasado, sirven para aislar e inmovilizar el producto, muchas veces son tan importantes como el sistema de envasado para prevenir del daño a las frutas y hortalizas en la creación y mantenimiento de la atmósfera modificada en su interior. Estos materiales pueden incluir charolas, envolturas, cuñas, líneas o almohadillas, etc.

B. Envasado mecánico. Este sistema libera cuidadosamente el producto a los envases en los llenadores automáticos. Una vez que se llenan los envases, pasan por la inspección estándar. Los sistemas de envasado mecánico usualmente manejan grandes volúmenes de producto a altas velocidades y no tienen la oportunidad de graduar el producto que llega por los ductos de llenado. Es obligatoria, por lo tanto, solo la llegada del producto que se ha seleccionado y clasificado adecuadamente para asegurar que conserva el grado correcto. Las envasadoras mecánicas suelen estar ajustadas para el llenado apropiado del volumen del paquete. Muchas llenadoras se diseñan para usar el peso como estimación del volumen. Algunos llenadores introducen una pequeña cantidad del peso deseado y el ajuste final se hace manualmente conforme los envases van pasando por una escala, otro tipo de llenadores se diseñan para ajustar el peso del producto aproximadamente, así que sólo chequean el peso del producto si es necesario, pero mantener este ajuste es difícil.

• Maquinaria de Envasado:

Un sistema exitoso de envasado con atmósfera modificada se debe de determinar por la interrelación entre el gas, el material de envoltura y la máquina de envasado. La selección del gas o la mezcla de gases usada para reemplazar el aire de la atmósfera depende enteramente de la naturaleza del producto.²¹

La selección del material de envoltura es una parte extremadamente importante de la operación de envasado con atmósfera modificada (MAP). Se han hecho investigaciones considerables y han sido retomadas por fabricantes para mejorar las laminaciones y estructuras. El costo efectivo del material debe tomar en cuenta las propiedades físicas esenciales de baja transmisión de vapor de agua, alta barrera al gas, resistencia mecánica durante su manejo y subsecuente almacenamiento y distribución en el formato de envase final, así como tener la capacidad de una alta integridad de sellado para asegurar la retención del gas dentro del envase hasta que sea abierto por el consumidor.

La maquinaria disponible para el MAP cae dentro de dos categorías principales - cámara y envoltura acojinada. Estas se pueden subdividir en máquinas de cámara que emplean la técnica de termoformado y los contenedores prefabricados. Las máquinas de envoltura acojinada pueden ser de la forma horizontal - llenado - sellado o de la forma vertical - llenado - sellado que se muestran en las figuras 11, 12 y 13. Esta maquinaria es la más usual en el MAP para frutas y hortalizas mínimamente procesadas y de ellas la más común es la de forma vertical - llenado - sellado ²¹.

Esta máquina (figura 11) normalmente opera por movimiento intermitente y es adaptable al tamaño individual de la charola que será producida dentro de un nivel de capacidades de tamaño de la máquina, un número determinado de charolas se produce por cada ciclo de la máquina. El material para formar las charolas se lleva hacia adelante del área de carga del producto. El llenado se puede realizar manualmente o por medios automáticos, dependiendo de la naturaleza del producto. En la siguiente sección, las charolas llenas entran en una cámara cercana, donde el aire se extrae y el gas modificado se inyecta, posteriormente las charolas se sellan ²¹.

La máquina de la figura 12 opera con una sola aspa de material flexible de empaquetado que se pasa a través de una herramienta formadora, conocida como caja de doblado, la cual le da forma de tubo al material, los dos lados del paquete formado se sellan juntos mediante dos rollos que se calientan a baja presión. El producto se pasa dentro de este tubo que tiene un diseño específico, según las características de manejo del producto en cuestión. Si el producto no es susceptible al daño por contusiones o está dentro de una charola, el diseño puede consistir de una serie de canales juntos a una cadena en una posición regular. Si el producto es de naturaleza delicada se puede llevar a lo largo de láminas transportadoras, una lanza empuja hacia el interior del tubo de material de empaque y la inyección de la mezcla de gases se hace, abriendo el tubo de aire mientras la máquina está en movimiento ²¹.

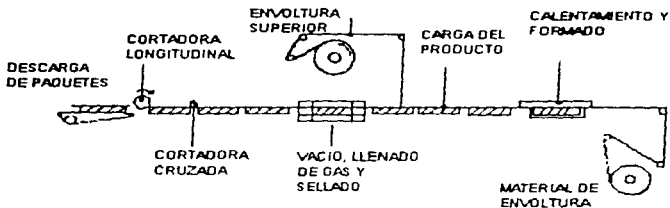


FIGURA 1.1 Sistema de Termoformado.
FUENTE HUSTINGS M J (1993) ²¹

El sistema de operación de la figura 1.3 incluye un sólo tejido de material envolvente que es jalado por un aspa, registrado si va impreso, y pasa por una saliente formadora y alrededor de un tubo de metal montado en el plano vertical. El tubo actúa como la caja formadora de las máquinas anteriores y las dos orillas de la película se guían para formar una aleta, que pasa a través de los rollos calentadores, o más comúnmente una costura se sobrepone y se sella por una barra caliente que ejerce presión al área de la costura

En la mayoría de los casos, las máquinas operan con movimientos intermitentes y la película se maneja por medio de cinturones enganchadores que la jalen por cualquiera de los lados del tubo formador. En algunos casos los cinturones se mueven continuamente y se enganchan sobre la película para manejarla por abajo como una señal de que un producto ha sido alimentado dentro del tubo ²¹

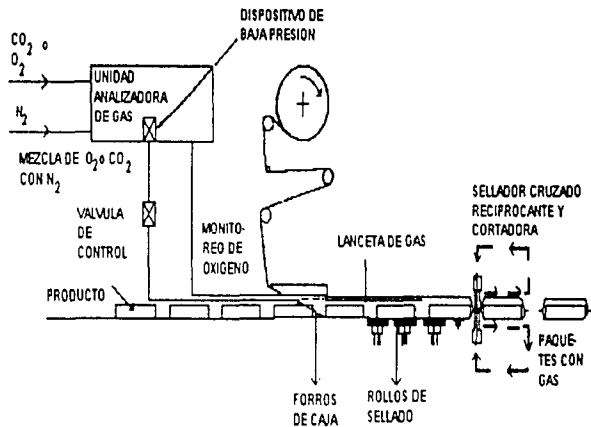


FIGURA 1.2 Máquina convencional horizontal Forma - Llenado - Sellado, con sellado por calor.

FUENTE HUSTINGS, M J (1993) ⁷

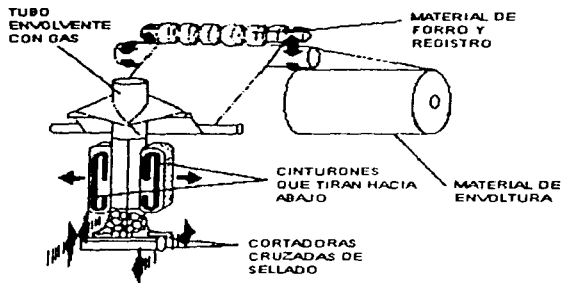


FIGURA 1.3 Máquina vertical Forma - Llenado - Sellado.
FUENTE MUSTINGS, M. J. (1993) ²¹

El último paso en el sistema de manejo postcosecha es el almacenamiento, que es la forma y condiciones en las que un producto es guardado por largos periodos de tiempo antes de su comercialización, sin que se afecten de manera perceptible sus propiedades

1.6.7 Almacenamiento:

Es aplicable a todos los productos, materias primas o no, que sean comercializables. La elección del método de almacenamiento dependerá de la factibilidad económica, de la inversión y del beneficio que se desea obtener.

En el caso particular de la comercialización de frutas y hortalizas lo que más eleva su valor, es su venta en fresco (principalmente si son considerados exóticos como es el caso de algunos productos tropicales) fuera de temporada. Por lo que es necesario incrementar su vida útil una vez que se han practicado de manera correcta las operaciones básicas y especiales. Para seleccionar el método de almacenamiento se deben tomar en cuenta los

siguientes factores:²³

1. Tiempo que se desea prolongar la vida útil del producto (en relación a su perecibilidad)
2. Factibilidad económica (tomando en cuenta la inversión y las operaciones necesarias).

Además, es necesario considerar las características particulares del producto como:

- Estado de madurez
- Tipo de órgano.
- Susceptibilidad al daño por frío
- Resistencia mecánica
- Coeficiente respiratorio
- Humedad relativa
- Producción o no de etileno

Dentro de los métodos de almacenamiento más utilizados se encuentran los siguientes:²³

- Almacenamiento a temperatura ambiente
- Almacenamiento refrigerado.
- Almacenamiento refrigerado con atmósferas modificadas.
- Almacenamiento refrigerado con atmósferas controladas.
- Almacenamiento hipobárico

En las figuras 1.4 a la 1.7 se ejemplifica el sistema de manejo postcosecha para algunos productos hortofrutícolas, donde se pueden observar algunas de las operaciones previas al almacenamiento y/o comercialización. Sin embargo las operaciones sólo están en función al preenfriamiento, desverdecimiento, encerado, para su transportación y comercialización inmediata.

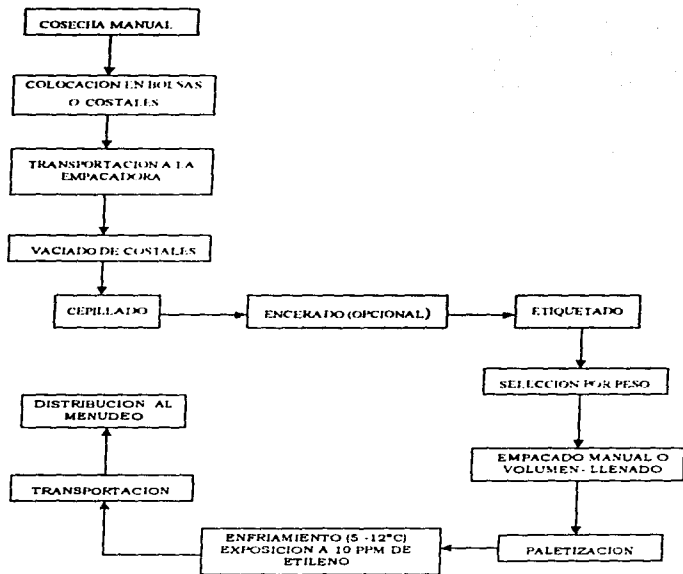


FIGURA 1.4 Sistema de manejo postcosecha para aguacates.

FUENTE: GORDON, M. F. (1992)¹⁴

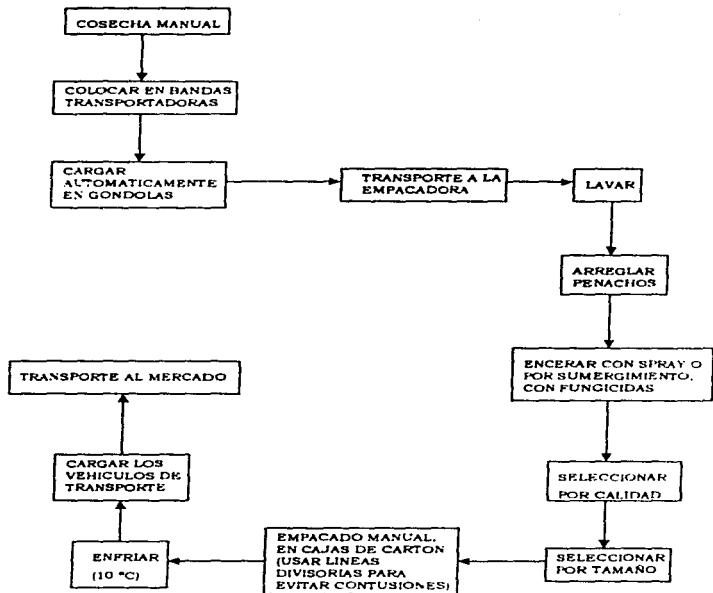


FIGURA 1.5 Sistema de manejo postcosecha para piñas.
 FUENTE SOMMER, F. N. Y M. L. ARPAIA (1992) *

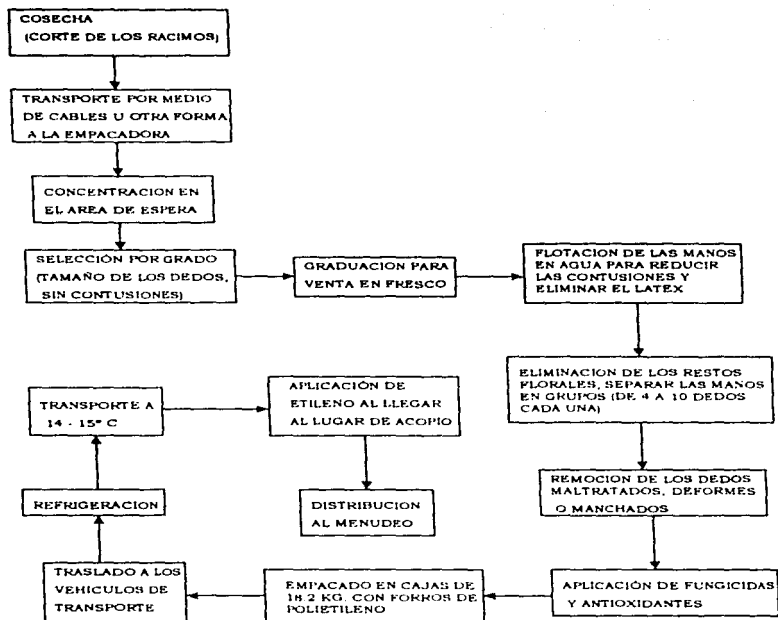


FIGURA 1.6 Sistema de manejo postcosecha para plátanos.

FUENTE SOMMER, F. N. Y M. L. ARPAJA (1992) ⁴²

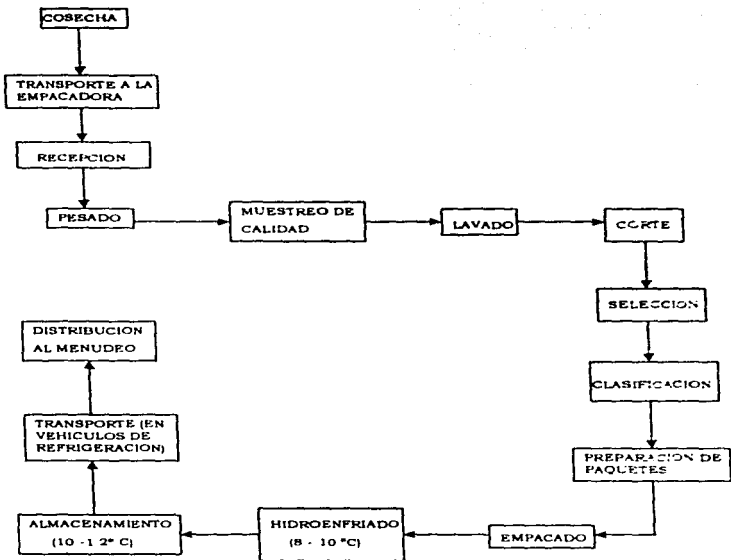


FIGURA 1.7 Sistema de manejo postcosecha para espárragos.
FUENTE TOLEDO, J (1992) **

Desgraciadamente en la mayoría de los casos, como se comentó al inicio del capítulo, no se lleva a cabo un sistema de manejo postcosecha completo, por lo cual las pérdidas en la producción de frutas y hortalizas se incrementan. Además de que la realización de un buen sistema postcosecha conlleva muchos problemas que deben ser superados, entre los principales se tienen los siguientes ¹⁷

1. Insuficiente enseñanza y supervisión de los trabajadores.
2. Ignorancia de los trabajadores a cerca de la importancia de su papel en el mantenimiento de la calidad del producto y de que sus decisiones influyen en la misma.
3. Comunicación inadecuada entre supervisores y trabajadores de la comercialización y distribución.
4. Manejo rudo cuando las operaciones se realizan también rápidamente en el orden de reducir los costos laborales.
5. Equipos y materiales de trabajo insatisfactorios, inadecuados e inapropiados.

Una vez descritos, en este capítulo, todos los pasos que deben incluirse en un sistema de manejo postcosecha para frutas y hortalizas que se van a envasar con atmósfera modificada, en el siguiente capítulo se describe ampliamente en que consiste un sistema de envasado con atmósfera modificada, los factores intrínsecos y extrínsecos que influyen en la formación y mantenimiento de dicha atmósfera y los principales puntos que es necesario controlar.

2 ATMOSFERA MODIFICADA DENTRO DEL ENVASE

A lo largo de este trabajo se ha señalado que la calidad de los productos mínimamente procesados depende primeramente de la selección y del manejo cuidadoso de la materia prima (frutas y hortalizas). Las medidas como la cosecha durante la madurez óptima, la disminución de los daños durante el manejo, la reducción de infecciones microbianas con una sanitización adecuada y un mantenimiento óptimo de la temperatura y de la humedad relativa, son importantes para preservar la calidad postcosecha. Una vez que estos requerimientos primarios se han realizado para mantener la calidad del producto se puede llevar a cabo la modificación de la atmósfera que lo rodea para extender su vida de anaquel, esto se puede observar en la figura 2.1 donde un producto es expuesto a una atmósfera modificada y a una atmósfera normal, el producto que permanece en la atmósfera modificada extendiendo por más tiempo su vida útil.³⁴

La modificación de la atmósfera, por la disminución de la concentración de O_2 y/o incremento de la concentración de CO_2 , ha demostrado que mantiene la calidad y extiende la vida de anaquel de los productos frescos envasados.¹⁴ En el desarrollo de un envase con atmósfera modificada (MAP), el objetivo es igualar la respiración del producto a la permeabilidad del paquete al gas y establecer un equilibrio en la composición gaseosa que deberá ser benéfico para el producto.³⁴ Estos factores son influenciados por la temperatura, concentraciones de O_2 y CO_2 en la atmósfera y por la humedad relativa. Si estos factores ambientales permanecen constantes, la atmósfera modificada interna del envase permanecerá si éste es sellado rápidamente. Una propiedad del diseño del envase es que pueda mantener la atmósfera deseada durante el almacenamiento y la comercialización del producto.³⁴

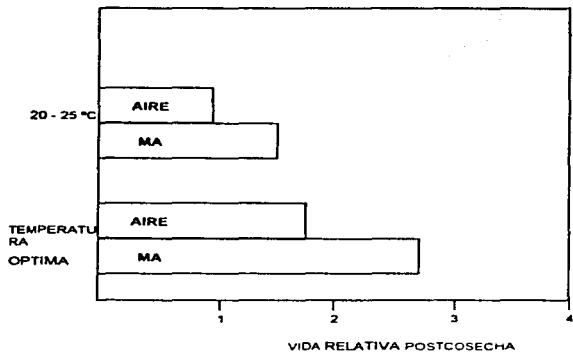


FIGURA 2.1 Vida relativa postcosecha

Producto fresco almacenado al aire o en una atmósfera modificada óptima especialmente para él a temperatura de cuarto (20 - 25 °C) o a su temperatura óptima (cerca a los 0 °C si no es sensible al daño por frío o entre 5 y 14 °C si es sensible)

FUENTE: ZAGORY, D (1988). 47

2.1 DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA

Históricamente las atmósferas que rodean al producto se han alterado en el almacenamiento con atmósfera controlada (CA, por sus siglas en inglés), donde los niveles de gases se monitorean y ajustan continuamente para mantener las concentraciones óptimas. Este alto grado de regulación atmosférica relacionado con la CA es muy caro para operar, por lo que es más conveniente para productos que son tratados por periodos largos de almacenamiento como manzanas, kiwis, coles y peras. En el almacenamiento con atmósferas modificadas el grado de control en la concentración del gas es menor. Generalmente las condiciones de la atmósfera inicial se establecen por un periodo transitorio y el intercambio fisiológico del producto y el ambiente físico manteniendo así las condiciones dentro de amplios límites. Las ventajas en el diseño y manufactura de películas poliméricas con una amplia variedad de permeabilidades a los gases tienen un interés estimulante en crear y mantener atmósferas modificadas dentro de los envases flexibles de películas. La habilidad de absorber y adsorber el CO₂ y el O₂, el etileno y el agua proporciona una herramienta adicional para mantener una atmósfera deseada dentro de un empaque.³⁶

* **Envasado con atmósfera modificada (MAP):** Es una forma de envasado que incluye la extracción del aire del paquete y lo reemplaza con un solo gas o una mezcla de gases. La mezcla de gases a usar es dependiente del tipo del producto envasado. Los cambios que pueden ocurrir en la atmósfera gaseosa durante el periodo de almacenamiento se deben a factores como la respiración del producto envasado, cambios bioquímicos y disminución de la permeación de los gases a través del envase.⁴¹

» **Envasado con atmósfera controlada (CAP):** Es un término muchas veces usado como sinónimo de MAP, su uso es sin embargo, incorrecto ya que no es posible controlar la atmósfera dentro del envase una vez que ya se ha sellado.⁴¹

» **Invasado con gas** : Un término alternativo comúnmente usado para describir al MAP. Este es un nombre inadecuado ya que la modificación de la atmósfera puede llevarse a cabo por el simple vacío o evacuación del aire⁴¹

» **Invasado al vacío (VP)**: Es el medio más simple y común de modificar la atmósfera gaseosa interna en un envase. El producto es puesto en un envase hecho con una película de baja permeabilidad al O₂, el aire es evacuado y el envase sellado⁴¹

2.2 Gases empleados en el Invasado con Atmósfera Modificada

El concepto básico del envasado con atmósfera modificada de productos frescos se refiere a la sustitución del aire que rodea al producto en el interior del envase por una mezcla de gases atmosféricos en una proporción diferente a la del aire. Las características principales de cada uno de los gases atmosféricos dentro de un MAP se mencionan a continuación

a) **Oxígeno (O₂)**: Este gas es probablemente, el más importante, debido a que es aprovechado metabólicamente por los microorganismos de putrefacción y los tejidos de las plantas, además de que toma parte en algunas reacciones enzimáticas en los alimentos, por estas razones, en el MAP el O₂ se debe excluir o mantener a niveles muy bajos ya que las frutas y hortalizas lo requieren para llevar a cabo la respiración, evitando con ello la respiración anaeróbica. En la figura 2.2 se muestra como las condiciones aerobias influyen en la vida de los microorganismos que atacan los alimentos, pues se observa una mayor actividad de los microorganismos cuando el contenido de O₂ está en proporciones relativamente altas, a concentraciones de O₂ aun mayores la actividad disminuye pero tales niveles de O₂ en la atmósfera normal no existen³

b) **Dióxido de carbono (CO₂)**: Es un potente inhibidor del crecimiento bacteriano, es particularmente efectivo contra bacterias Gram⁽⁻⁾, microorganismos de putrefacción como las *Pseudomonas sp*. Sin embargo, el CO₂ no retarda el crecimiento de todo tipo de

microorganismos.⁴¹

c) Nitrógeno (N_2): Es un gas inerte con baja solubilidad en el agua y la grasa. Se emplea en el MAP principalmente para desplazar al oxígeno así como para frenar la oxidación. También puede tener cierta influencia indirecta retardando el crecimiento de los microorganismos.⁴¹

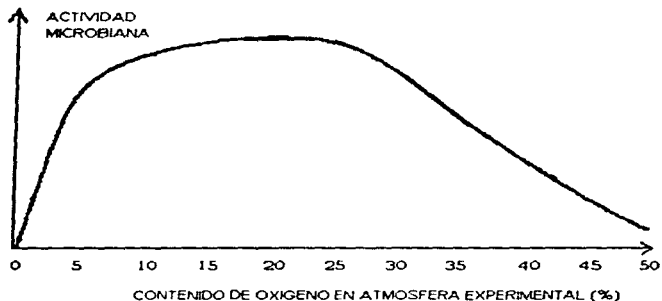


FIGURA 2.2 La actividad de los microorganismos aeróbicos esta influenciada por la cantidad de oxígeno presente en la atmosfera.
FUENTE DAY, B P F (1993).¹⁰

2.3 Efectos del Envasado con Atmósfera Modificada

La reducción del oxígeno o el aumento del dióxido de carbono puede retardar la maduración de los productos hortofrutícolas, reducir la respiración y velocidades de producción de etileno, la reducción de etileno retarda sensiblemente la maduración, el ablandamiento y disminuye varios cambios composicionales asociados con la madurez. Los efectos de reducir el oxígeno y elevar el dióxido de carbono, en forma conjunta, sobre la respiración y la maduración son complementarios y pueden ser más beneficios que emplearlos de manera aislada. Sin embargo, la exposición de los productos frescos a niveles superiores a su límite de tolerancia de CO_2 puede causar daño fisiológico y exponerlos a niveles más bajos de su tolerancia límite de O_2 puede incrementar la respiración anaeróbica y el desarrollo de sabores desagradables debidos a la acumulación de etanol y acetaldehído. Niveles bajos de O_2 y/o altos de CO_2 pueden reducir la incidencia de algunos desórdenes fisiológicos inducidos por el etileno tal como el escaldado de manzanas y peras, manchas rosas en la lechuga. La sensibilidad al frío de algunos productos (aguacate, cítricos y chiles) puede ser reducida por el uso de atmósferas modificadas. Otros desórdenes fisiológicos como manchas café en las lechugas, oscurecimiento interno y superficie con picaduras en frutas como manzanas y corazón negro en papas, pueden ser inducidos por atmósferas modificadas inadecuadas.⁵⁶

En revisiones de los efectos de las atmósferas modificadas sobre los patógenos de las frutas y vegetales se ha notado que el retardo de la senescencia de estos productos - por atmósfera modificada y otros medios - reduce la susceptibilidad a los patógenos. Inversamente, la atmósfera modificada inadecuada puede impedir que sea curativa, apurando la senescencia o induciendo al colapso fisiológico, volviendo a los productos más sensibles al ataque de patógenos postcosecha. Los niveles de O_2 por debajo del 1% o los niveles de CO_2 por arriba del 10% son necesarios para suprimir significativamente el crecimiento fungico. Los niveles de CO_2 por arriba del 10% se pueden usar para controlar a los patógenos, sólo en productos que pueden tolerar tales niveles. El CO_2 (5 - 10%) combinado con un poco de O_2 (< 5%) tiene un efecto

fungiestático, pero es muy tóxico para los humanos y se debe usar con extremo cuidado.¹²

2.4 Factores que afectan los Sistemas de Envasado con Atmósfera Modificada

Las frutas y hortalizas frescas continúan respirando después de la cosecha y por consiguiente el envasado subsecuente debe tomar en cuenta esta actividad. La respiración es un fenómeno bioquímico muy complejo donde los carbohidratos, polisacáridos, los ácidos orgánicos y otras fuentes de energía se metabolizan en moléculas más simples con la producción de calor. Los productos de la respiración aeróbica son, el dióxido de carbono y el vapor de agua, mientras que los productos de la fermentación como el etanol, el acetaldehído y los ácidos orgánicos se producen durante la respiración anaeróbica. La respiración es afectada por numerosas propiedades intrínsecas del producto fresco así como también por varios factores extrínsecos.¹³ El agotamiento de oxígeno y el enriquecimiento de dióxido de carbono son consecuencias naturales del progreso de la respiración cuando las frutas y hortalizas frescas se almacenan en un envase sellado herméticamente. Tal modificación de la composición atmosférica da como resultado un descenso en la velocidad de respiración del producto.

Si el producto se encierra en una película impermeable, los niveles de O₂ en el paquete pronto llegarán a concentraciones muy bajas donde la respiración anaeróbica dará inicio. En la figura 2.3 se muestra esquemáticamente cómo la anaerobiosis con su acumulación de etanol, acetaldehído y ácidos orgánicos, está usualmente asociada con olores y sabores indeseables y un deterioro marcado en la calidad del producto. Además, se corre el riesgo de que crezcan los microorganismos anaeróbicos como el *Clostridium botulinum*.¹³ Inversamente, si las frutas y hortalizas se encierran en una película de permeabilidad excesiva, una pequeña o ninguna modificación podrá resultar dentro del envase. Además de que las pérdidas de humedad causarán un marchitamiento y encogimiento indeseables, estos efectos se observan esquemáticamente en la figura 2.3.

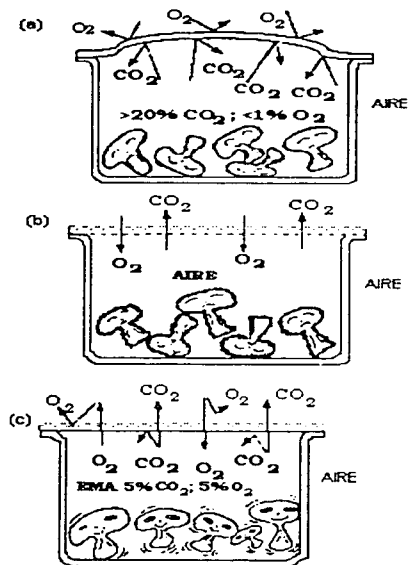


FIGURA 2.3 Representación esquemática de los productos empacados con atmósfera modificada.

(a) Película impermeable Se crean condiciones anaeróbicas indeseables (b) Película totalmente permeable La modificación atmosférica no es adecuada (c) Película con permeabilidad intermedia Se crea una atmósfera modificada en equilibrio (EMA) que es adecuada para el producto

FUENTE DAY, M J (1993) ¹³

Sin embargo, si una película con permeabilidad intermedia se selecciona, un equilibrio deseado en la atmósfera modificada se establecerá cuando las velocidades de transmisión de O_2 y CO_2 , a través del envase igualen la velocidad de respiración del producto, esto se observa claramente en la figura 2.3. La atmósfera modificada en equilibrio (EMA, por sus siglas en inglés), que se obtenga será obviamente de la velocidad de respiración del producto, así como también estará considerablemente influenciada por varios factores extrínsecos. Estos factores necesitan ser optimizados para cada producto para obtener todos los beneficios del envasado con atmósfera modificada.¹³

2.4.1. Factores que afectan la Vida de Anaquel

En primer lugar la vida de anaquel se debe definir como el periodo de tiempo transcurrido a partir de la cosecha o fabricación hasta el momento de consumo que un producto alimenticio permanezca seguro y sano bajo condiciones y recomendaciones de producción y almacenamiento. Con respecto a las frutas y hortalizas empacadas con atmósfera modificada la vida de anaquel está influenciada por numerosas propiedades intrínsecas propias del producto así como también por factores extrínsecos.

A) Factores intrínsecos del producto fresco

1. Velocidad de respiración. La respiración en los vegetales se traduce en la descomposición oxidativa del almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos a moléculas más simples incluyendo CO_2 y H_2O , con una producción de energía. Parte de esta energía se libera como calor y otra parte como energía metabólica, uno de los primeros efectos de la atmósfera modificada es disminuir la velocidad de respiración, la cual a su vez, reduce la velocidad de agotamiento de sustrato, producción de CO_2 , consumo de O_2 y liberación de calor. Obteniendo como resultado una disminución del metabolismo y una vida de anaquel potencialmente más larga. La velocidad de respiración y la ruta metabólica de respiración están sujetas a influencias externas e internas, los cambios en la velocidad de respiración ocurren durante el proceso natural de maduración de un

producto y su senescencia. La relación entre CO_2 producido y O_2 consumido, conocida como coeficiente respiratorio (RQ, por sus siglas en inglés), normalmente se supone igual a 1 pero puede variar de 0.7 a 1.3 dependiendo de la cantidad de sustrato metabólico disponible. A partir de esto han surgido algunas recomendaciones, que las condiciones de la atmósfera modificadas pueden alterar el RQ que a su vez puede afectar el equilibrio de la atmósfera generada pasivamente por el producto dentro del envase sellado.⁴⁶

La actividad respiratoria, como medida de la producción de CO_2 , es un proceso bioquímico complejo que se puede modificar por diversos factores como el tamaño del producto y el grado de preparación, variedad, madurez y tipo de tejido. Por ejemplo, una papa pequeña tiene una velocidad de respiración más alta que una papa más grande de la misma variedad. Este fenómeno se debe probablemente a que el área de superficie expuesta a la atmósfera es mayor en la papa pequeña, permitiendo una mayor difusión del O_2 dentro de los tejidos.

Por una razón similar, los productos dañados o cortados tienen velocidades de respiración mayores que los productos enteros sin preparar. Por ejemplo, las zanahorias cortadas tipo Juliana tienen una velocidad de respiración 5 veces más alta que las zanahorias enteras peladas de la misma variedad (ver cuadro 2.1). Otro factor que afecta la velocidad de respiración es el estado de madurez; los tejidos jóvenes son metabólicamente más activos y exhiben una actividad respiratoria más alta que los tejidos más maduros. También diferentes variedades del mismo producto, como las lechugas Kloeg y Kordaat o las coles Primo o Ducrema, exhiben velocidades de respiración muy diferentes (ver cuadro 2.1). La actividad respiratoria también puede variar entre las diferentes partes del producto; por ejemplo, la piel, la pulpa y la semilla del mango muestran diferentes velocidades de respiración (ver cuadro 2.1).¹³

2. Resistencia a la difusión de O_2 , CO_2 , C_2H_4 y H_2O : Muchas frutas y hortalizas son tolerantes a niveles de O_2 por abajo del 5 al 1% y niveles de CO_2 por arriba del 5 al 10%. La diferencia entre la concentración externa de O_2 (o CO_2 externo) y la cantidad de O_2 disponible (o CO_2) dentro de la célula se determina en gran parte por la resistencia del órgano de la planta a la difusión de gas. La resistencia a la difusión de gas varía entre las

CUADRO 2.1 Clasificación de frutas y hortalizas seleccionadas de acuerdo a su velocidad de respiración y grado de perecibilidad en aire y 3% de O₂.

PRODUCTO	VELOCIDAD DE RESPIRACION - PRODUCCION DE CO ₂ EN AIRE			VELOCIDAD DE RESPIRACION - PRODUCCION DE CO ₂ ^A EN 3% DE O ₂			VELOCIDAD DE RESPIRACION RELATIVA A 10°C EN AIRE
	0°C	10°C	20°C	0°C	10°C	20°C	
Cebolla	2	4	5	1	2	2	
Col	2	4	11	1	3	6	
Berros	2	6	11	3	4	6	Por abajo de 10
Apio	4	6	19	3	5	12	
Pepino	3	7	8	3	4	6	
Jitomate	3	8	17	2	3	7	
Lechuga (Korlaant)	5	9	21	4	6	14	
Chiles verdes	4	11	20	5	7	9	
Zanahorias (enteras y peladas)	-	12	26	-	-	-	
Papas (enteras y peladas)	-	14	33	-	-	-	Media
Mango	-	15	61	-	-	-	10 - 20
Col (Primo)	6	16	23	4	8	17	
Lechuga (Kloek)	8	17	42	8	13	25	
Coliflor	10	24	71	7	24	34	
Coles de Bruselas	9	27	51	7	19	40	
Fresas	8	28	72	6	24	49	Alta 20 - 40
Zarzamora	11	33	88	8	27	71	
Espárrago	14	34	72	13	24	42	
Espinaca	25	43	85	26	46	77	
Mais dulce	16	48	119	14	32	68	Muy alta 40 - 60
Frambuesa	12	49	113	11	30	73	
Zanahoria (cortada tipo Juliana)	-	65	145	-	-	-	
Champiñón (rebandedo)	-	67	191	-	-	-	Extremadamente alta > 60
Brócoli	39	91	240	33	61	121	

FUENTE: DAY, B. P. P. (1993).¹⁰

^A (ml/kg h)

diversas plantas, cultivos, órganos y estado de madurez. Las diferencias anatómicas responsables de la variación en la resistencia a la difusión, más que las diferencias bioquímicas entre las diversas frutas y hortalizas frescas, afectan más la tolerancia a las bajas concentraciones de O_2 y de CO_2 en la atmósfera modificada.⁵⁶

3. Etileno, producción y sensibilidad: La exposición de frutas climatéricas al etileno, adelanta el inicio de un incremento irreversible en la velocidad de respiración y rápida maduración. El envasado con atmósfera modificada puede retardar el inicio del climatérico y prolongar la vida de anaquel de los productos hortofrutícolas reduciendo la producción de etileno y la sensibilidad de respuesta a este. Aun las frutas no climatéricas y las hortalizas pueden beneficiarse sensiblemente de la reducción de la concentración de etileno y disminuir su velocidad de respiración bajo condiciones de MA. La reducción de etileno puede llevarse a cabo por la disminución en la concentración de O_2 , elevación en la concentración de CO_2 o ambas y los efectos son aditivos.⁵⁶

4. Acidez (pH): El pH individual de las frutas y hortalizas influye en el tipo de microorganismos de putrefacción y patógenos que pueden crecer durante la vida de anaquel del producto. Muchas frutas como las naranjas, limones, piñas, manzanas y duraznos tienen valores de pH por abajo de 4.5. En tales condiciones de acidez, el *Clostridium botulinum* no puede crecer ni producir su toxina potencialmente mortal. Consecuentemente, las frutas ácidas pueden ser envasadas con toda seguridad al vacío o en películas de baja permeabilidad selladas herméticamente para que las condiciones anaeróbicas sean generadas pasivamente. Aunque las reacciones indeseables de fermentación pueden tomar lugar con concentraciones tan bajas de O_2 , la elevada acidez de las frutas asegura que el consumidor está protegido del daño potencial de la toxina del botulismo.⁵⁶

Inversamente, muchas hortalizas como lechuga, zanahorias, papas, champiñones, brócoli y ejotes tienen valores de pH por arriba de 4.5 y consecuentemente el *Clostridium botulinum* es capaz de crecer cuando los productos se almacenan en

condiciones anaeróbicas. La única forma de impedir el crecimiento del *Clostridium botulinum* es mantener temperaturas menores a 3 °C durante todo el almacenamiento. Si no se pueden garantizar estas temperaturas no es recomendable que se envase al vacío o en películas de permeabilidad insuficiente.¹³

5. Temperatura óptima: El proceso metabólico incluyendo la respiración y la velocidad de maduración, es sensible a la temperatura. Las reacciones biológicas, generalmente incrementan de 2 a 3 veces por cada 10 °C que asciende la temperatura. Por lo tanto, las frutas y hortalizas durarán más tiempo a bajas temperaturas, sin embargo cada producto tiene un límite de baja temperatura, debajo de este nivel, el daño por frío puede ocurrir, provocando un incremento en la velocidad de respiración, apresurando la senescencia y disminuyendo el valor comercial del producto. La temperatura óptima es aquella a la cual la senescencia se retarda y mantiene la calidad del producto sin causar daño por frío, congelamiento o algún otro tipo de daño. Algunas frutas tropicales (aguacate, mango, papaya, etc.) son muy sensibles a los daños por frío por lo que se deben almacenar a temperaturas entre 10 y 13 °C. Los productos que no son tan sensibles al daño por frío (manzanas, brócoli, peras, etc.) se pueden almacenar casi a 0 °C sin sufrir efectos secundarios.¹⁴

La temperatura óptima puede variar dependiendo de otras condiciones, por ejemplo, la reducción de O₂ o el incremento de CO₂ puede amortiguar el impacto del daño por frío que provocan las bajas temperaturas sobre el proceso de maduración. La reducción de los daños por frío se ha asociado con el aumento de las concentraciones de CO₂ en algunos productos, el manejo adecuado de productos frescos es una de las partes, quizá más importantes de un buen manejo postcosecha y aunque los límites de tolerancia de temperatura se pueden extender ligeramente por el MAP, la importancia de mantener la temperatura óptima durante la cadena de comercialización no puede ser ignorada.¹⁴

6. Humedad relativa (HR) óptima: La baja HR incrementa el daño por transpiración y conduce a la desecación, incrementa la transpiración y hace a un producto incompetente. Uno de los beneficios del MAP es que mantiene los niveles

apropiados de la HR dentro del envase. Aunque también puede causar daño, provocando la condensación de la humedad y las condiciones favorables para el crecimiento microbiano, dando como resultado la descomposición del producto. La condensación sobre la superficie de las películas del envase puede afectar adversamente las propiedades de la película de permeabilidad al gas, conduciendo a la evolución de una atmósfera desfavorable ⁵⁶

7. Concentraciones óptimas de O₂ y CO₂: Una atmósfera óptima puede minimizar la velocidad de respiración sin causar daño metabólico al producto. Las diferentes frutas y hortalizas varían ampliamente en sus tolerancias a las diversas atmósferas. Los límites de resistencia a niveles bajos de O₂ y altos de CO₂ más allá de que provoquen daños por sí mismos, están sujetos a diferentes variables tales como la temperatura, condición fisiológica, madurez, y tratamientos previos ⁵⁴

8. Concentraciones elevadas de CO₂: El mecanismo de acción del CO₂ sobre los tejidos vegetales aun no se conoce bien, aunque se sabe que desempeña un papel clave en relación con el metabolismo y la acción del etileno, el principal regulador hormonal de la maduración de frutas. Por ejemplo, a concentraciones reducidas (alrededor del 1%) puede estimular la síntesis del etileno, por activación de la ACC-oxidasa, mientras que a concentraciones elevadas (del 15 al 20%) provoca un efecto opuesto. De hecho el CO₂ puede reducir, promover o no tener efecto sobre la producción del etileno en los frutos, dependiendo de la especie, variedad, estado fisiológico, calidad inicial, concentración de CO₂, temperatura y duración de la exposición de los frutos a condiciones de aplicación del CO₂ ⁵⁶

El efecto de las concentraciones elevadas de CO₂ como inhibidor y antagonista del etileno, persiste después del tratamiento, con lo que retarda ciertas acciones de la maduración o la senescencia estimuladas por mismo etileno, como se ha comprobado con peras, manzanas, tomate y brócoli. La respuesta del fruto a concentraciones de CO₂ por encima del límite tolerado se manifiesta en alteraciones de la maduración, aparición

o intensificación de alteraciones fisiológicas, desarrollo de sabores y olores desagradables y aumento en la sensibilidad a los ataques fúngicos.³

9. Concentraciones reducidas de O₂: Es conocido que la ausencia de O₂ frena drásticamente el metabolismo general del fruto y favorece su supervivencia. Además de hacer persistente la reducción de la tasa respiratoria, el estrés de O₂ contribuye a frenar la biosíntesis del etileno, pues su presencia es imprescindible como activador del acoplamiento en la acción del etileno. Los límites de tolerancia de los productos hortofrutícolas a las bajas concentraciones de O₂ aumentan al incrementar la concentración de CO₂ en la atmósfera y dependen de la temperatura, estado fisiológico y tiempo del envasado, los efectos de las concentraciones de O₂ por debajo del límite tolerado son similares a las descritas para el exceso de CO₂.³

B) Propiedades extrínsecas

1. Cosecha: La cosecha de frutas y hortalizas durante su madurez óptima es uno de los factores básicos que influyen en la calidad y la subsecuente vida de anaquel del producto terminado. Si las frutas se cosechan antes de tiempo, se obtiene una calidad muy pobre y una maduración errática, mientras que las hortalizas permanecen verdes por más tiempo pero con un sabor desagradable. Inversamente, una cosecha tardía puede incrementar la susceptibilidad a la descomposición y a un ablandamiento prematuro, el cual posteriormente conduce a una vida de anaquel más corta de los productos envasados con atmósfera modificada.¹³

2. Manejo: Las heridas mecánicas, dañan la estructura celular de la planta y consecuentemente destruyen el tejido natural de protección y la integridad del producto. Los daños mecánicos o lesiones afectan adversamente la calidad del producto por el incremento en las pérdidas de humedad, actividad enzimática, susceptibilidad al ataque microbiano, procesos de descomposición, decoloración y respiración. Todos estos fenómenos adversos se pueden disminuir eliminando las magulladuras durante todo el proceso del producto, ya que los daños mecánicos y lesiones son resultado de una

cosecha inadecuada, manejo a granel, apilamiento y mal manejo dentro de la fábrica de proceso. Las precauciones se deben realizar para ayudar a disminuir las prácticas inadecuadas y asegurar la máxima calidad y vida de anaquel de los productos envasados con atmósfera modificada ¹³

3. Temperatura del producto: Mantener el control apropiado de la temperatura después de la cosecha es uno de los factores extrínsecos más importantes que afecta la calidad de los productos envasados con atmósfera modificada. La mejor práctica es llevar a cabo la cosecha muy temprano por la mañana o al anochecer y remover el calor de campo tan pronto como sea posible por algún método de preenfriamiento. Las temperaturas en el nivel de 0 a 5 °C son generalmente seleccionadas para el almacenamiento y distribución de muchos productos envasados con MA. A estas temperaturas las velocidades de respiración son significativamente disminuidas y el crecimiento de microorganismos patógenos es restringido. Las operaciones del MAP dentro de la fábrica de alimentos deben ser llevadas a cabo en un ambiente donde la temperatura esté controlada. Por ejemplo se deben mantener las temperaturas de 10 a 12 °C a lo largo de la producción y los productos ya envasados con atmósfera modificada enfriarlos hasta 5 °C para su almacenamiento y distribución. El monitoreo cuidadoso de la temperatura durante el almacenamiento y distribución es crítico y debe formar parte de un programa de conservación de calidad ¹⁴

4. Pérdidas de humedad: La pérdida de humedad, con el consecuente marchitamiento y encogimiento es una de las formas más obvias por las que se deteriora la frescura de las frutas y hortalizas. Como el contenido de agua de las frutas y hortalizas es de 80 a 90%, pierden humedad rápidamente cuando se encuentran a HRs menores del 80 al 95%. Las pérdidas del 3 al 6% son generalmente responsables de un menoscabo marcado en la calidad de muchos productos. Consecuentemente es importante reducir tales pérdidas mediante bajas temperaturas, aumento de la HR y reducción en el movimiento de aire. Todos estos métodos para reducir las pérdidas de

humedad de los productos frescos deben acompañar al MAP ¹³

Muchas películas plásticas hidrofobas usadas para el MAP de productos frescos son relativamente buenas barreras al vapor de agua y son capaces de mantener humedades altas en el envase, aun cuando las condiciones son más secas en el ambiente. Sin embargo, existe el problema de que la HR en el envase puede llegar a ser muy alta, causando condensación de humedad y las condiciones favorables para el crecimiento de microorganismos dando como resultado la descomposición del producto. La condensación sobre la superficie de una película de envase puede afectar adversamente las propiedades de permeabilidad al gas, conduciendo a la evolución de una atmósfera desfavorable.

Otros factores que son necesarios mencionar cuando se considera la HR óptima y el potencial de pérdida de humedad del producto, son el tipo de fruta u hortaliza y el grado de preparación, por ejemplo, las frutas y hortalizas con mayor superficie expuesta por unidad de peso tienen una velocidad bastante más grande de pérdida de humedad. El grosor y la naturaleza de la superficie protectora es importante también, por ejemplo las zanahorias tienen menos cubierta cerosa protectora que las manzanas o peras y la pérdida de humedad se lleva a cabo más rápidamente. Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas generalmente pierden agua más rápido que los productos enteros sin preparar y por esta razón los productos cortados deben ser empacados con atmósfera modificada lo más pronto posible después de preparados. Todos estos factores se deben considerar cuidadosamente y las medidas apropiadas se deben de tomar para seleccionar el equipo correcto y los procedimientos de cosecha, transportación, almacenamiento y procesamiento del producto para así minimizar las pérdidas de humedad ¹³

5. Temperatura ambiental: La temperatura del ambiente afecta la temperatura del producto por la intervención de la película del envase. El producto estará ligeramente más frío o caliente que si se encontrara expuesto directamente a las condiciones ambientales. Los cambios de temperatura afectan la permeabilidad de la película; en

general la permeabilidad aumenta cuando incrementa la temperatura, con la permeabilidad al CO_2 respondiendo más que la permeabilidad al O_2 . Esto implica que una película que es apropiada para un MAP a una temperatura dada es probable que no lo sea a otra temperatura diferente.⁵⁶

6. Higiene: Un control riguroso y sistemático de prácticas de higiene es esencial durante la cosecha, manejo, preparación, procesado, envasado, distribución y consumo final de las frutas y hortalizas envasadas con atmósfera modificada. Unas buenas prácticas de higiene incluyen la construcción, equipo y requerimientos operacionales. La construcción y requerimiento de equipos incluyen un lay-out de la planta, lavabos, instalación de sanitarios, diseño de equipo e instalaciones del almacén. Los requerimientos operacionales incluyen las especificaciones del proceso del MAP, control y monitoreo de los parámetros del proceso, procedimientos de limpieza, higiene personal, eliminación y control de plagas.

Las condiciones estrictas de higiene se deben de mantener para prevenir una contaminación cruzada con bacterias tóxicas. Las fuentes directas e indirectas de contaminación se deben de monitorear y controlar. El conocimiento de las fuentes de contaminación puede llegar a hacerse por un diseño consistente de pruebas del equipo y del ambiente, de una evaluación del producto para delinear entre el producto procesado y la materia prima o por monitoreo de indicadores como cuentas microbianas o partículas de polvo presentes. Este conocimiento permitirá la identificación de posibles sitios de contaminación para asegurar la calidad y extender la vida de anaquel de las frutas y hortalizas envasadas con atmósfera modificada.¹³

7. Luz: Para algunos productos, la luz no tiene una influencia importante en su manejo postcosecha. Sin embargo, las hortalizas verdes, en presencia de suficiente luz, pueden consumir cantidades substanciales de CO_2 y producir O_2 por la fotosíntesis. Estas reacciones pueden antagonizar con el proceso de respiración que ayuda en el mantenimiento de una MA específica dentro del envase. Los productos señalados,

pueden ser afectados adversamente por la luz, sin embargo no sólo por la fotosíntesis, la inmadurez de las papas y las endivias de Bélgica pueden sufrir serias pérdidas de calidad a menos que la luz sea excluida, para estos productos los envases opacos pueden ser la mejor opción.²⁴

8. Empaque: Los factores más importantes que hay que considerar del envase son: el espacio cabezal, la permeabilidad, la forma e integridad. Los dos primeros afectan la cantidad de gas y el tiempo que el gas va a estar disponible para la inhibición de microorganismos. Los envases con propiedades altas de barrera al gas con gran espacio cabezal producen una vida de anaquel mayor. La forma del envase debe permitir el contacto de los gases con el producto, ya que la disolución del gas en el producto, extiende la vida de anaquel. Por esta razón los MAP bien diseñados tienen el fondo rígido, la integridad del envase y las velocidades de descomposición están relacionadas directamente con la velocidad de descomposición del producto.²⁴

9. Temperatura de almacenamiento: El MAP no es un reemplazo o un sustituto del almacenamiento refrigerado. La efectividad del MAP estriba en disminuir la temperatura de almacenamiento por el incremento de la solubilidad del gas en el producto. Para los productos que respiran, como las frutas y hortalizas, el incremento de la temperatura aumenta la velocidad de respiración, dando como resultado un descenso en la vida de anaquel del producto. En el cuadro 2.2 se muestran algunos productos y sus temperaturas óptimas de almacenamiento.²⁵

10. Materiales de envasado: Las principales características que hay que considerar cuando se seleccionan materiales de envase para el MAP de frutas y hortalizas son la permeabilidad al gas, velocidad de transmisión de vapor de agua (VWTR, por sus siglas en inglés) (ver cuadro 2.3), propiedades mecánicas, tipo de envase, transparencia y habilidad para el sellado. Con el uso de películas que cumplen estos requisitos se logran atmósferas modificadas en equilibrio (EMA), sin embargo, debido a las diferencias en las velocidades de respiración de las frutas y hortalizas, el

efecto de la temperatura sobre la permeabilidad al gas y la respiración, la película tiene que conservar una EMA específica, que se debe definir para cada producto a una temperatura de almacenamiento dada

CUADRO 2.2 Condiciones óptimas de almacenamiento para aguacate y frutas cítricas.

PRODUCTO	TEMPERATURA		VIDA DE ALMACEN APROXIMADA (SEMANAS)	ATMOSFERAS MODIFICADAS	
	°C	°F		O ₂ (%)	CO ₂ (%)
Aguacate sin madurar	5 - 12	41 - 54	2 - 4	2 - 5	3 - 10
Aguacate maduro	5 - 8	41 - 46	1 - 2		
Toronja	12 - 14	54 - 57	4 - 8	5	5 - 10
Limón	12 - 14	54 - 57	16 - 24	5	0 - 5
Lima	10 - 12	50 - 54	6 - 8	5	0 - 10
Naranja	4 - 8	39 - 46	4 - 8	5	0 - 5
Tangerina	5 - 8	41 - 46	2 - 4	5	0 - 5

FUENTE: KADER, A. A. Y M. L. ARPIA (1992) -*

La permeabilidad al gas de un material de envoltura en particular, depende de varios factores como la naturaleza del gas, estructura y grosor del material, temperatura y HR. El CO₂, el O₂ y el N₂ tienen diferentes velocidades de permeación. Sin embargo el orden CO₂>O₂>N₂ siempre se mantiene y las relaciones de permeabilidad CO₂/O₂ y O₂/N₂ son generalmente del rango de 3 a 5. Así que es posible estimar la permeabilidad de un material plástico para CO₂ y N₂ conociendo únicamente la permeabilidad al O₂.

El tipo de envase usado, dependerá del producto que se va a empacar con atmósfera modificada. Para muchos productos envasados con atmósfera modificada, un envase transparente es deseable para que el producto sea visible claramente al consumidor. Sin embargo, la alta humedad del producto almacenado a bajas temperaturas tiende a crear empañamiento en el interior del envase, además de

CUADRO 2.3 Velocidades de transmisión de vapor de agua y de oxígeno en materiales seleccionados para empacar frutas y hortalizas.

PELÍCULA (μm)	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE O_2^a	PERMEABILIDA D RELATIVA ^b	W V T R ^c	W V T R RELATIVA ^d
Aluminio	< 0.1		< 0.1	Barrera, <10
Etileno vinil acetato (EVOH)	0.2 - 1.6	Barrera < 50	24 - 120	Variable
PVdC	0.8 - 9.2		0.3 - 3.2	Barrera, <10
Nylon modificado	2.4		25	Semi barrera, 10 - 30
Poliéster (PET)	50 - 100		20 - 30	Semi barrera, 10 - 30
Nylon (PA6)	80	Semi barrera 50 - 200	200	Muy alta, 200 - 300
Poliéster modificado (PETG)	100		60	Media, 30 - 100
PVC implastifica do	120 - 160		22 - 35	Variable
PVC plastificado	2000 - 5000		200	Muy alta 200 - 300
HDPE	2100	Media 200 - 5000	6 - 8	Barrera, <10
Poliestireno	2500 - 5000		110 - 160	Alta, 100 - 200
Poliestireno orientado	2500 - 5000		170	Alta, 100 - 200
Polipropileno	3000 - 3700		10 - 12	Semi barrera 10 - 30
Policarbonato	4300		180	Muy alta, 100 - 200
LDPE	7100	Alta 5000 - 10000	16 - 24	Semi barrera 10 - 30
PVC (altamente plastificado)	5000 - 10000		200	Muy alta 200 - 300

FUENTE: DAY, B. P. F. (1993) ¹ $\mu\text{m}^2/\text{m}^2\text{dia atm}$ a 23 °C, 0% HR; ² 23 °C, 0% HR; ³ velocidad de Transmisión de Vapor de Agua (WVTR), ($\text{gm}^2/\text{dia}^{-1}$) a 38 °C, 90% HR; ⁴ a 38 °C, 90% HR.

oscurecer al producto. Consecuentemente, muchas películas para MAP son tratadas con cubiertas o aditivos para darle propiedades antiempañantes y mejorar así la visibilidad. Los envases con atmósfera modificada para productos frescos se sellan herméticamente, siendo esencial que el sello sea íntegro para mantener una EMA dentro del envase, por lo que es importante seleccionar los materiales de envasado adecuados para el sellado mediante calor y controlar esta operación¹³.

La posibilidad de usar las charolas del MAP directamente en el horno de microondas para la cocción de hortalizas frescas ha tenido, recientemente un interés comercial. Las hortalizas frescas enteras o precortadas se pueden envasar con atmósfera modificada en charolas adecuadas y forrar con una película para extender su vida de anaquel. Después de perforar la película de cubierta, para permitir la salida del vapor de agua, que se forme durante la cocción, la charola se puede poner directamente dentro del horno de microondas para su preparación. Como las hortalizas frescas tienen un alto contenido de agua, los tiempos de cocción son muy rápidos, además las temperaturas empleadas rara vez alcanzan los 100 °C y las charolas de plástico comunes, excepto las de PVC/LDPE y PS se pueden usar ya que resisten estas temperaturas¹³.

11. Relación gas/producto: Otro parámetro importante que los fabricantes de alimentos deben considerar, es la relación: volumen de gas/ volumen del producto. Para ser efectiva, la atmósfera de gas debe rodear completamente al producto para extender su vida de anaquel. Generalmente hablando, en muchas aplicaciones del MAP la relación volumen de gas/ volumen del producto es de aproximadamente 3:1 ó 1:1.

El peso total del producto, el volumen del envase y el área de superficie de la película afectarán la EMA establecida dentro del envase sellado herméticamente. La velocidad de respiración y el peso del producto determinan la demanda de O₂ dentro del envase, mientras que la permeabilidad al gas y el área de superficie de la película determinan la velocidad de transmisión de O₂ y CO₂ dentro y fuera del envase. Conocer el volumen del envase es importante para determinar el tiempo requiriendo antes de que

se establezca una EMA. Idealmente este tiempo debe ser lo más corto posible. Si el flujo de gas se usa para establecer rápidamente una EMA, el volumen de gas introducido al envase se debe controlar y no debe ser muy alto para que reduzca la densidad del mismo durante su distribución y no de la impresión al consumidor que es un envase a punto de estallar.⁷⁷

2.5 Métodos de creación de condiciones de Atmósfera Modificada

Las atmósferas modificadas se pueden crear de dos formas: pasivamente por el producto o intencionalmente vía activa por el empaquetado.

2.5.1 MA vía pasiva o generada por el producto:

Si las características del producto son propiamente iguales a las características de permeabilidad de la película, una atmósfera adecuada puede evolucionar dentro de un envase sellado, como resultado del consumo de O_2 y la producción de CO_2 por la respiración (esto se puede observar en la figura 2.4). Para crear y mantener una atmósfera satisfactoria dentro de un envase, la permeabilidad al gas de la película seleccionada debe ser tal que permita la entrada del O_2 a una velocidad que compense la cantidad de O_2 consumida por el producto. Similarmente el CO_2 se debe evacuar del envase para compensar la cantidad que se está produciendo por la respiración del producto. Además, esta atmósfera se debe estabilizar rápidamente sin correr el riesgo de crear condiciones anóxicas o altos niveles de CO_2 que pueden ser perjudiciales. La modificación atmosférica por este método es usualmente lenta, y muchos de los beneficios de la atmósfera modificada pueden perderse.⁷⁸

2.5.2 MA activa:

Debido a la mínima capacidad para controlar una atmósfera establecida pasivamente, es necesario que las atmósferas dentro de los envases se establezcan activamente y se ajusten. Esto se puede lograr haciendo un ligero vacío y reemplazando la atmósfera del envase con la mezcla de gas deseada.

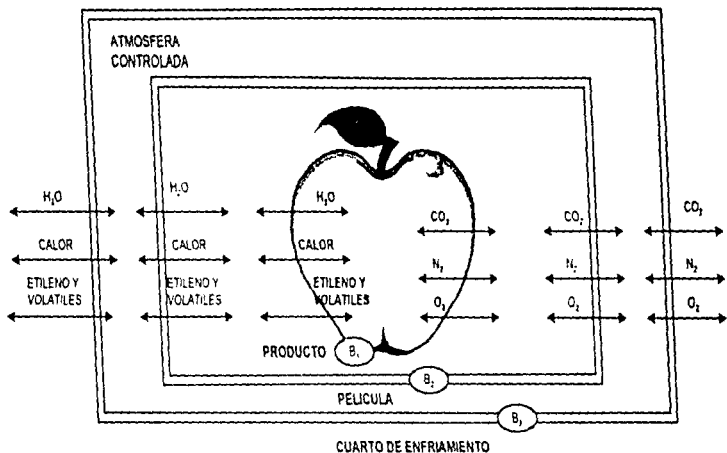


FIGURA 2.4 Tipos de barreras que pueden ser utilizadas para estabilizar una atmósfera modificada

B₁ Cubierta natural del producto que puede ser la cáscara o piel

B₂ Envase que puede ser una película plástica o una cubierta comestible.

B₃ Paredes del almacén o del vehículo de transporte, deben estar selladas para evitar cambio de gases

FUENTE: KADER, A. A. (1992).¹⁴

Otra técnica de envasado activo es el uso de eliminadores/transmisores de O₂, CO₂ y etileno. Estos eliminadores/transmisores son capaces de establecer una EMA rápidamente dentro de los envases sellados. Sin embargo, el uso de eliminadores de O₂ dentro de envases con productos con altos contenidos de humedad puede exacerbar el desarrollo de condiciones anaerobias, lo cual no es recomendable²⁸. Aunque la modificación activa implica algunos costos adicionales, su principal ventaja es que asegura el rápido establecimiento de la atmósfera deseada (ver la figura 2.5). Además, los adsorbedores de etileno pueden ayudar a asegurar el retardo del ascenso del pico climático en la respiración de algunas frutas. Los adsorbedores de CO₂ pueden prevenir la acumulación de CO₂ a niveles dañinos, caso que puede presentarse en algunos productos durante la modificación pasiva de la atmósfera del envase⁴¹. Muchas películas plásticas están disponibles para el envasado, pero relativamente pocas se han utilizado para envolver productos frescos; aun menos tienen las permeabilidades que las hacen adecuadas para usarlas en un MAP. Una película ideal debe dejar salir más CO₂ que dejar entrar O₂. La permeabilidad al CO₂ debe ser de 3 a 5 veces mayor que la permeabilidad al O₂, dependiendo de la atmósfera deseada. El LDPE y el PVC son los principales materiales de películas usados en el empaquetado de frutas y hortalizas²⁸.

2.5.3 Equilibrio óptimo en los niveles de gases: Los límites de tolerancia para niveles bajos de O₂ y niveles altos de CO₂, sin causar daño fisiológico, están sujetos a diversas variables, como tipo de producto, cultivo, temperatura, condición fisiológica, madurez y tratamientos previos. Una EMA óptima puede minimizar la velocidad de respiración sin causar daños fisiológicos al producto. Las diferentes frutas y hortalizas varían ampliamente en la tolerancia a las diferentes atmósferas. Las concentraciones óptimas de CO₂ y O₂ en combinación son difíciles de predecir, como una generalización, las EMAs que contienen entre 2 y 5% de O₂ y entre 3 y 8% de CO₂ han mostrado que extienden la vida de anaquel de muchas frutas y hortalizas. (Ver figura 2.5)³⁶

La determinación de la EMA óptima para un producto específico, es complicada debido a las numerosas variables que incluye. Por ejemplo, si el efecto de variaciones

simultáneas en los niveles de CO_2 y O_2 sobre la calidad de un vegetal puesto a 5°C fueran a ser determinadas, entonces un parámetro crítico de calidad se tendría que evaluar a través de un panel sensorial capacitado. Los datos recolectados pueden ser simplificados con el uso de la metodología de superficie de respuesta (SMR, por sus siglas en inglés)

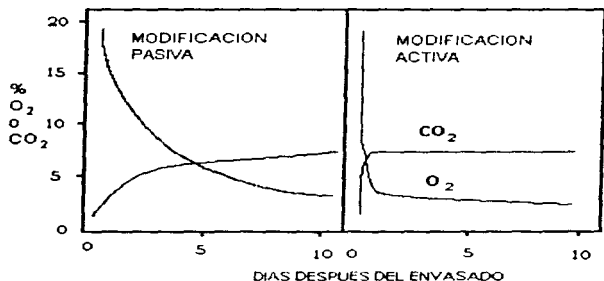


FIGURA 2.5 Cambios relativos en las concentraciones de CO_2 y O_2 durante la modificación activa y pasiva de la atmósfera interna del envase alrededor del producto.

FUENTE ZAGORY, D (1988) ¹⁴

Este método estadístico prueba las condiciones que están por arriba y por abajo de los niveles óptimos hipotéticos de CO_2 y O_2 y entonces se extrapolan las condiciones óptimas de almacenamiento del contorno de los mapas derivados de las respuestas sensoriales (figura 2.6). Los datos de un estudio de contorno de mapa son una herramienta invaluable de la definición de una EMA óptima para un producto en particular.¹³

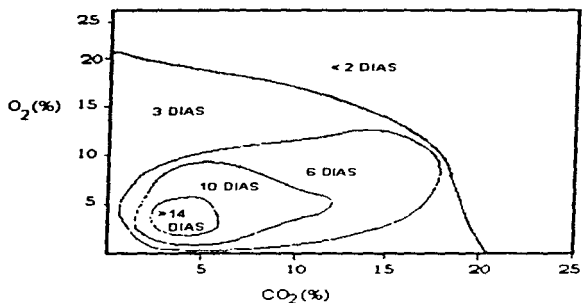


FIGURA 2.6 Representación esquemática de la vida de respuesta a una atmósfera modificada en particular para un producto específico, usando un mapa de contorno.
 FUENTE DAY, B P F (1993) 17

2.6 Estudios realizados en el Envasado con Atmósfera Modificada

Se han llevado a cabo diversos estudios acerca del envasado de frutas y hortalizas con atmósfera modificada, entre los principales se destaca el trabajo realizado por Fomey, C. F. y Rij, R. E. (1991). En dicho trabajo se mantuvieron floretes de brócoli a una atmósfera de 1% de O_2 y / o 10% de CO_2 , encontrando que estas concentraciones alargan la vida de anaquel de los floretes, siempre y cuando se mantengan a temperaturas entre 5 y 7.5 °C. Otro factor que se encontró que afecta la vida de anaquel de los floretes, es la temperatura al momento del envasado 17

Durante su trabajo Forney y Rij, separaron en dos lotes los floretes de brócoli en los que variaron la temperatura al momento del envasado, un lote se mantuvo a 20 °C (tibio) y el otro lote se mantuvo a 3 °C (frío). A su vez estos lotes se separaron en dos sublotos para envolver cada uno en dos tipos de películas de PVC diferentes señaladas como TPM 87 y RMF 61, ambas películas con el mismo grosor.

En los resultados obtenidos se observó que la velocidad de respiración de los floretes fue 10 veces más alta a 20 °C que a 3 °C, esta velocidad de respiración mayor de los floretes tibios durante las primeras 8 h hasta alcanzar la temperatura de 3 °C, parece tener un efecto más significativo sobre la modificación de la atmósfera interna del envase que las propiedades de permeabilidad de las películas. Las concentraciones de CO₂ fueron de 40 a 50% más altas en el brócoli envasado tibio que en el frío y fueron significativamente diferentes en ambas películas. La velocidad de transmisión del CO₂ en la película RMF 61 estuvo 6 veces por arriba que la de la película TPM 87, la cual dio como resultado pérdidas de CO₂ que se había acumulado durante las 6 primeras horas posteriores al sellado. Después de 48 h, las concentraciones de CO₂ de los envases de brócoli, inicialmente frío y tibio, respectivamente, permanecieron iguales (ver el cuadro 2.4).¹⁷

CUADRO 2.4 Cambios en la composición de la atmósfera en los envases de floretes de brócoli, a cerca de cómo el tiempo, la película y la temperatura afectan el tiempo de envasado.

TIPO DE PELÍCULA	TEMPERATURA (°C)	6 HORAS		48 HORAS		168 HORAS	
		O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
TPM 87	20	11.1	5.9	2.3	14.6	3.0	15.2
	3	15.7	3.9	3.8	14.1	4.6	14.4
RMF 61	20	12.0	4.8	5.0	6.0	6.7	5.0
	3	16.0	3.4	10.1	6.2	10.7	5.0

FUENTE: FORNEY, C.F. y R. E. RIJ. (1991).¹⁷.

La calidad de los floretes de brócoli se redujo significativamente cuando permanecieron tibios durante la noche antes de envasarlos. Esta reducción en la calidad, se reflejó en la baja puntuación en color, turgencia y apariencia general en el brócoli envasado tibio (ver cuadro 2.5). El tipo de película incluyendo las bolsas con ventilaciones no tuvo efecto sobre estas características. La conservación de los floretes de 17 a 18h a 20 °C causó una aceleración notable en la senescencia, cuando los floretes se evaluaron después de siete días de almacenamiento a 5 °C. La velocidad más alta de respiración a 20 °C pudo incrementar la aceleración de la senescencia. Además la deficiente presión de vapor en las condiciones de almacenamiento para el brócoli tibio antes del envasado fue 3 veces mayor que para el brócoli frío, dando como resultado un incremento en las pérdidas de agua y disminución del puntaje de turgencia (los resultados se reportan en el cuadro 2.5). Estas observaciones muestran la importancia del buen preenfriamiento y dirección de temperatura para mantener la calidad del brócoli.¹⁷

De estos resultados, se deduce que la composición de las atmosferas en estado estacionario establecida en envases de películas para brócoli, no es afectada por la temperatura del brócoli al momento de envasarlo. Sin embargo, el efecto del enfriamiento retardado sobre la calidad del brócoli puede ser significativo dependiendo del tiempo transcurrido antes del envasado y enfriado. La modificación atmosférica más rápida en los envases de brócoli tibio puede compensarse, en menor parte, por el efecto nocivo de la temperatura tibia en situaciones en las que la exposición a una temperatura relativamente alta sea menor a 17 h.¹⁷

CUADRO 2.5 Efecto del tipo de película y de la temperatura al tiempo de envasado sobre la calidad de los floretes de brócoli después de 7 días a 5 °C. Los valores presentados son el promedio de las pruebas realizadas.

PELÍCULA	TEMPERATURA (°C)	OLOR	DESCOMPOSICION	COLOR	TURGENCIA	APARIENCIA GRAL.
TPM 87	20	7.8	8.6	7.8	7.3	7.3
	3	7.6	8.8	9.0	8.7	8.8
RMF 61	20	8.8	8.3	7.5	7.4	7.0
	3	8.8	8.8	8.8	9.0	8.4

FUENTE: FORNEY, C.F. y R. E. RUIZ (1991) ¹⁷ Escala: OLOR: 9 = normal, 1 = nauseabundo; DESCOMPOSICION: 9 = nada, 1 = severo; COLOR: 9 = verde oscuro, 1 = amarillo; TURGENCIA: 9 = turgente, 1 = seco; APARIENCIA GENERAL: 9 = excelente, 1 = muy pobre.

Por otro lado se encuentra el trabajo de Cameron et al (1994) quienes realizaron el estudio de arándanos envasados con atmósfera modificada; modelo respiratorio y presión parcial de O_2 dentro del envase como una función de la temperatura ⁸

2.6.1 Desarrollo de modelos predictivos.

a) **Modelo predictivo de la $[O_2]_{paq}$ en estado estacionario:** Los modelos matemáticos han sido ampliamente para predecir la presión parcial estable de $[O_2]_{paq}$ y $[CO_2]_{paq}$ en sistemas con atmósferas modificadas. Sin embargo la aplicación general de tales modelos predictivos ha sido limitada por un conocimiento detallado de la relación entre la velocidad de O_2 consumido (R_{O_2} , mmol/ kg h a $[O_2]_{paq}$) particularmente a diferentes temperaturas

La forma tradicional de diseñar un envase con atmósfera modificada es generar una presión parcial de O_2 fisiológicamente efectiva, por el mismo O_2 total de la respiración, tomado antes de que el producto sea envasado a la permeabilidad total de O_2 a través de una película. Idealmente, un envase puede mantener presiones parciales seguras y efectivas de O_2 y CO_2 sobre un rango de temperaturas, por que se corre el riesgo de abusar de la temperatura durante el manejo y comercialización ⁸

Descripción del modelo Para un envase en el que el intercambio de gas esta en estado estacionario, el O_2 dentro del envase (F_{O_2} , mmol/h) puede ser calculado de

$$F_{O_2} = \frac{[(P_{O_2} A) \cdot \Delta x]}{[O_2]_{atm} - [O_2]_{paq}} \quad (1)$$

Donde,

P_{O_2} es el coeficiente de permeabilidad al O_2 del polímero (mmol/cmcm²·h·kPa).

A es el área de superficie del polímero (cm²).

Δx es el grosor del polímero (cm)

$[O_2]_{ext}$ es la presión parcial de oxígeno fuera del envase (kPa).

$[O_2]_{int}$ es la presión parcial de oxígeno dentro del envase (kPa)

El oxígeno total consumido ($R_{O_2}^{total}$, mmol/h), por la fruta envasada se puede modelar como una función de Michaelis-Menten de la presión parcial de O_2 dentro del envase ($[O_2]_{int}$):

$$R_{O_2}^{total} = R_{O_2} W = \frac{(R_{O_2}^{max,T}) ([O_2]_{int})}{(K_{1/2}^T) + [O_2]_{int}} \quad (2)$$

Donde

R_{O_2} es el oxígeno consumido por la fruta por unidad de peso (mmol/kg h)

W es el peso de la fruta envasada (kg)

$R_{O_2}^{max,T}$ es el R_{O_2} máximo como una función de la temperatura (mmol/kg h).

$K_{1/2}^T$ es la constante de Michaelis-Menten para R_{O_2} (kPa).

La $K_{1/2}^T$ puede ser considerada como la $K_{1/2}$ aparente de R_{O_2} para la fruta entera a la temperatura T (°C), incorporando así los efectos de la variabilidad en piel y pulpa de la resistencia al intercambio de gases en combinación con los cambios en el flux de respiración asociado con la temperatura de la fruta⁶

$R_{O_2}^{max,T}$ y $K_{1/2}^T$ fueren hechas como funciones exponenciales de la temperatura

$$R_{O_2}^{max,T} = a \cdot e^{b \cdot T} + c \quad (3)$$

$$K_{1/2}^T = q \cdot e^{-r \cdot T} + s \quad (4)$$

Sustituyendo las ecuaciones (3) y (4) se obtiene la ecuación (5):

$$R_{O_2} = \frac{(a \cdot e^{bT} + c) \cdot [O_2]_{\text{ppm}}}{(q \cdot e^{rT} + s) \cdot [O_2]_{\text{ppm}}} \quad (5)$$

Un análisis de regresión no lineal fue ejecutado para estimar los valores de a , b , c , q , r y s . En la primera corrida la estimación de c y s no fue significativamente diferente de cero, así que la regresión fue repetida sobre un modelo simplificado en el que c y s se eliminaron:

$$R_{O_2} = \frac{(a \cdot e^{bT}) \cdot [O_2]_{\text{ppm}}}{(q \cdot e^{rT}) + [O_2]_{\text{ppm}}} \quad (6)$$

Las relaciones predichas entre las variables fueron calculadas de los parámetros ajustados a los valores a y a cada temperatura o $[O_2]_{\text{ppm}}$. Las curvas ajustadas para R_{O_2} a diferentes combinaciones de $[O_2]_{\text{ppm}}$ y temperatura fueron construidos usando sustitución directa de los valores obtenidos para a , b , q y r dentro de la ecuación (6). Las predicciones del modelo fueron usadas para generar divisiones de Arrhenius [$\ln(R_{O_2})$ contra el inverso de la temperatura ($^{\circ}K$)] para estimar la $Ea^{R_{O_2}}$. Desde que las curvas no fueron lineales, la $Ea^{R_{O_2}}$ fue calculada a 1, 2, 4, 8 y 16 kPa para dividir las diferencias en $\ln(R_{O_2})$ entre los pares adyacentes de los puntos de resultados por diferencias en la temperatura absoluta ($^{\circ}K$) a intervalos de 0.25 $^{\circ}C$ entre 0 y 25 $^{\circ}C$.

En estado estacionario, F_{O_2} es considerado igual a $R_{O_2}^{total}$. Combinando las ecuaciones (1) y (2) obtenemos:

$$\left(\frac{P_{O_2} \cdot A}{\Delta X} \right) ([O_2]_{\text{atm}} - [O_2]_{\text{ppm}}) = \left[\frac{R_{O_2}^{max,T} \cdot [O_2]_{\text{ppm}} \cdot W}{K_{1/2} + [O_2]_{\text{ppm}}} \right]$$

la cual puede ser resuelta para $[O_2]_{\text{ppm}}$:

$$[O_2]_{in} = \frac{\left(K_{v_2}' + W \left[\frac{\Delta x}{P_0 A} \right] R_{O_2}^{max,T} - [O_2]_{atm} \right) \left(\left(K_{v_2}' - W \left[\frac{\Delta x}{P_0 A} \right] R_{O_2}^{max,T} - R_{O_2}^{max,T} - [O_2]_{atm} \right) + 4 [O_2]_{atm} K_{v_2}' \right)}{2} \quad (7)$$

o para $P_{O_2} \cdot A \cdot \Delta x$:

$$\frac{P_{O_2} \cdot A}{\Delta x} = \frac{R_{O_2}^{max,T} [O_2]_{in} \cdot W}{\left(K_{v_2}' - [O_2]_{in} \right) \left([O_2]_{atm} - [O_2]_{in} \right)} \quad (8)$$

La sustitución de las ecuaciones (3) y (4) en la ecuación (7) permite la predicción de los valores en estado estacionario de $[O_2]_{in}$ para envases con $Ea^{P_{O_2}}$ variable, optimizada para una $[O_2]_{in}$ inicial de cualquiera 2 kPa a 0°C o a 4 kPa a 25 °C usando valores calculados para la permeabilidad. Asumimos que la permeabilidad de la película cambia con la temperatura en una forma consistente con la ecuación de Arrhenius:

$$\text{Velocidad} = Ar \cdot e^{Ea/R \cdot K} \quad (9)$$

Donde:

Ar es la constante de Arrhenius.

K es la temperatura (°K).

La sustitución de las ecuaciones (3) y (4) en la ecuación (8) dan valores predictivos para la permeabilidad total del envase

Es necesario tomar en cuenta el riesgo asociado en los envases con atmósfera modificada debido a que en la práctica están hechos para reducir la $[O_2]_{in}$ a niveles efectivos a bajas temperaturas, por las condiciones anaeróbicas que se puedan desarrollar si la temperatura aumenta durante el manejo subsecuente. Se ha propuesto que este problema se puede resolver igualando la $Ea^{P_{O_2}}$ de la película de polímero a la respiración del producto envasado. Sin embargo la energía de activación para el oxígeno ($Ea^{P_{O_2}}$) tomada del arándano es considerablemente más alta que la de las

películas comúnmente usadas y no es constante con la temperatura o la presión parcial de oxígeno. Esta propuesta fue confundida con el incremento del coeficiente respiratorio de la fruta a temperaturas elevadas y la pérdida de la calidad de la fruta, asociada a estas. Los cambios en el punto de rompimiento del coeficiente respiratorio con la temperatura están, además, relacionados a la gran diferencia entre la $[O_2]_{p_{a0}}$ y la concentración de oxígeno en la atmósfera interna de la fruta ($[O_2]_i$) a temperaturas altas. Así que el simple igualamiento de las respectivas E_{aO_2} no es suficiente para evitar el riesgo de anaerobiosis en envases con atmósfera modificada de arandos a temperaturas elevadas, si el envase se optimiza para lograr beneficios a bajas temperaturas. En este estudio del modelo predictivo, se observó que se necesitaba una película de polímero con una E_{aO_2} de 60 kJ/mol para mantener una presión parcial de oxígeno dentro del envase, tolerable en un rango de 0 a 25 °C. Sin embargo, una revisión de la permeabilidad de la película indicó que son poco conocidas las películas de polímeros con una E_{aO_2} tan alta, así que la tendencia de los polímeros disponibles es de hacer más baja la P_{O_2} . Una relación inversa entre P_i y E_{aO_2} mostró ser una característica común de las películas de polímeros. Para este requerimiento el PVC y el PVdC tienen valores altos, apropiados de E_{aO_2} , pero para alcanzar los niveles adecuados de permeabilidad al oxígeno (P_{O_2}) el grosor de la película debe ser reducido por factores >50 y 500 veces, respectivamente, comparadas con las películas de polietileno. Esto representa un gran reto desde el punto de vista tecnológico, ya que tal espesor de película (0.01 a 0.1 μm) tal vez no tenga la resistencia adecuada. Puede ser factible laminar tales películas sobre una membrana porosa y otro polímero apropiado para dar soporte.*

Quizá de los materiales existentes, el que mejor se compromete y puede ser usado es el polipropileno, debido a que sus películas tienen una E_{aO_2} más baja que la deseada, pero tienen una P_{O_2} adecuada. Si un envase de arandos con atmósfera modificada cubierto con polipropileno fuera optimizado para mantener la $[O_2]_{p_{a0}}$ a 4 kPa / 25 °C podría también contener casi 4 kPa / 0 °C. Estos niveles son más altos que los óptimos pero pueden mantener los mismos efectos benéficos y minimizar los riesgos de anaerobiosis.

Una minoría de MAPs comerciales está basada en la entrada de oxígeno por pequeños poros como un medio para incrementar la permeabilidad al O_2 . Esta técnica tiene ciertas ventajas (permitir presiones parciales de CO_2 más altas), así como la desventaja de que la difusión a través de las perforaciones es relativamente independiente de la temperatura. Quizá una de las predicciones más importantes del modelo, es que aun con un pequeño incremento en la temperatura sobre $0\text{ }^\circ\text{C}$, tal envase puede inducir a la anaerobiosis si se permite llegar a estado estacionario. Asimismo, el control perfecto de la temperatura se puede requerir durante el manejo y comercialización si los MAPs de esta naturaleza son optimizados a 2 kPa de oxígeno / $0\text{ }^\circ\text{C}$. Presumiblemente los envases comerciales basados en perforaciones no son optimizados a niveles tan bajos de presión parcial de oxígeno dentro del envase a $0\text{ }^\circ\text{C}$ por el riesgo que se corre en el abuso de las temperaturas durante el manejo y venta al menudeo del producto.⁸

Una alternativa para evitar el riesgo de anaerobiosis en los MAPs transfiendos a temperaturas elevadas ha sido propuesta por algunos investigadores, en tal caso, un MAP se puede optimizar para una $[O_2]_{inj}$ dada a $0\text{ }^\circ\text{C}$ o alguna otra temperatura apropiada. Si el envase es puesto, inadvertidamente a una temperatura elevada durante el manejo o comercialización, como respuesta activa se abren los agujeros y por medio de ellos aumenta en todo el envase la permeabilidad. Las condiciones aeróbicas se pueden mantener a bajas temperaturas aun cuando los polímeros de LDPE se usen por que la porción activa se puede insertar como una pequeña ventana en la película. Los envases que responden activamente a cambios ambientales o señales volátiles del producto envasado se pueden utilizar en los casos de las limitantes comunes de la MA pasiva.⁸

También Joules, D W et al (1994) realizaron un estudio acerca del "Envasado con atmósfera modificada de frambuesa roja Hentage respuesta respiratoria al oxígeno reducido, aumento de dióxido de carbono y temperatura".

El MAP puede proporcionar atmósferas adecuadas para extender la vida de anaquel de las frambuesas. En un envase con atmósfera modificada la presión parcial

de oxígeno, en estado estacionario, dentro del paquete y la presión parcial de dióxido de carbono se logran cuando las velocidades de oxígeno consumido por la fruta y el dióxido de carbono producido son iguales a las velocidades de flujo de oxígeno y de dióxido de carbono a través de la película ²⁶

En un envase con atmósfera modificada, la $[O_2]_{i,aq}$ no se puede elevar si no hay una reducción de la $[CO_2]_{i,aq}$, ya que es imposible reducir la permeabilidad al CO_2 de una película sin también disminuir la permeabilidad al O_2 . La magnitud de la reducción de la permeabilidad al O_2 y el incremento en la permeabilidad al CO_2 dependen relativamente, de las velocidades del O_2 consumido y del CO_2 producido por la fruta y de las propiedades de barrera del polímero al CO_2 y al O_2 . Así que para diseñar un MAP para frambuesas con una $[CO_2]_{i,aq}$ elevada es necesario conocer la velocidad de producción de CO_2 y la velocidad de consumo de O_2 y cómo ambas influyen, para reducir las presiones parciales de O_2 y elevar las de CO_2 .

Cuando el O_2 alrededor de la fruta cae por debajo de un nivel crítico hay un cambio hacia la respiración fermentativa, la extensión del metabolismo fermentativo puede ser medido como un incremento en el coeficiente respiratorio (RQ), debido a que la producción de etanol incluye carboxilación del piruvato sin tomar oxígeno ²⁶

De los resultados obtenidos en este trabajo, se llegaron a las siguientes conclusiones. El efecto de la presión parcial elevada de CO_2 sobre la velocidad de respiración de una fruta u hortaliza depende del producto y del nivel de CO_2 usado. Algunos modelos generales describen que el O_2 consumido por un producto fresco en atmósfera modificada se ha basado, en parte, en la consideración de que una presión parcial elevada de CO_2 a ningún nivel puede inhibir el O_2 consumido. El CO_2 se ha reportado para reducir el O_2 consumido en algunas frutas climatéricas. Para las frambuesas no hay evidencia de que las presiones parciales de CO_2 de 13 a 17 kPa alteren la velocidad de consumo de oxígeno. Las velocidades de consumo de oxígeno de las frambuesas y uvas han mostrado que no son afectadas por las presiones parciales de CO_2 por ambas de los 20 kPa, se encontró que un aumento mayor del CO_2 tiene un pequeño o ningún efecto sobre el consumo de O_2 en las frambuesas rojas en

atmósferas con O_2 reducido. Así que el O_2 consumido por las frambuesas en los MAPs empleados en este estudio puede ser descrito como una función de la presión parcial del oxígeno y de la temperatura solamente.²⁸

No hay evidencia para sugerir que la reducción de O_2 cause una extensión en la vida de anaquel de las frambuesas. La difusión de O_2 es casi 30% más rápida que la del CO_2 en el aire, lo que implica que la permeabilidad al O_2 de una perforación es 1.3 veces más alta que la permeabilidad al CO_2 . Sin embargo, la permeación por un agujero cambia relativamente poco, con la temperatura, mientras que el oxígeno consumido por las frambuesas aumenta en un 100% ($Q_{10} = 1.9$). Así las condiciones fermentativas pueden desarrollarse si los envases perforados experimentan un incremento en la temperatura. Estos son los factores que se deben tomar en cuenta en el diseño de un MAP efectivo, para frambuesas.²⁹

Los tejidos vegetales son por definición "envases" con atmósfera modificada, ya que los niveles de oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua dentro de la piel, difieren de sus respectivos niveles en el ambiente exterior. Siguiendo con esto, en un envase típico con atmósfera modificada los niveles son, además, modificados por la interacción de la respiración, la transpiración y por la permeabilidad de la película. Aunque algunos investigadores han reconocido que las presiones parciales de gas en la atmósfera del envase se pueden modelar. Sin embargo, se sabe que no es común hacer un modelo usando la información procedente de las atmósferas modificadas del interior del tejido vegetal.³⁰

b) Efecto de la presión parcial de oxígeno sobre el oxígeno consumido: Vanos modelos han descrito el consumo de oxígeno como una función lineal de la presión parcial de oxígeno. Esta simplificación generalmente implica que las mejores descripciones empíricas del consumo de oxígeno son incorrectas y pueden causar serios errores en las predicciones, particularmente en regiones con presiones parciales de oxígeno muy bajas.

Recientemente, las ventajas del uso de la ecuación de Michaelis - Menten ha sido reconocida. Este estudio muestra más lógica por que describe la velocidad enzimática del oxígeno consumido por el tejido de la planta. Estos estudios requieren de una descripción exacta de la K_m , preferiblemente sobre un rango de condiciones. Lejos de esto, los modelos han usado el nivel de oxígeno fuera de la fruta como un valor del sustrato disponible, aun así, es el nivel de oxígeno dentro del producto el que limita su consumo por los sistemas enzimáticos. Los niveles internos y externos de oxígeno varían dependiendo de la permeabilidad de la piel y de la velocidad del flujo de oxígeno. Así, la K_m basada en los niveles externos de oxígeno no puede ser directamente relacionada con la K_m de las enzimas del tejido que usan el oxígeno ⁹

Se ha desarrollado un modelo que incorpora la difusión de gas a través de la piel y describe el consumo de oxígeno como una función de la presión parcial de oxígeno dentro del tejido, este estudio se realizó en fresas y se asumió que la piel es el principal sitio de resistencia a la difusión de gas, aunque hay que reconocer que los gradientes de la pulpa pueden existir cuando el consumo de oxígeno excede la habilidad para difundir el oxígeno a través del tejido. Además, no se tomó en cuenta el factor de que la solubilidad del oxígeno desciende casi un 200% con un incremento de 0 a 30 °C. Cuando la piel es la principal barrera, la atmósfera interna puede ser descrita como una función de la permeabilidad y el gradiente de oxígeno a través de la piel. Un modelo basado en la presión parcial interna de oxígeno, es potencialmente más representativo de las variables que afectan el consumo de oxígeno tomado por el tejido del producto envasado que un modelo que sólo considera las condiciones externas ⁹

Sin embargo, este estudio está limitado por la exactitud de los valores de la permeabilidad de la piel y tejidos así como también por las del oxígeno consumido. Eventualmente cuando esté mejor entendido el proceso de aireación del tejido, será interesante incluir la solubilidad del oxígeno y los factores que describen el movimiento del oxígeno en el tejido. En efecto, no siempre se puede asumir que los gases están bien mezclados en la atmósfera del envase, y por lo tanto, los factores pueden ser

necesarios para describir la resistencia adecuada para el movimiento del gas dentro del envase.⁹

c) Efecto de la temperatura sobre el oxígeno consumido: Tradicionalmente, el concepto Q_{10} ha sido usado para estimar los cambios en la respiración ocasionados por la temperatura (ver cuadro 2.6). La permeabilidad de la película es usualmente pensada para cambiar de acuerdo a la Teoría de Arrhenius. Actualmente, los cambios producidos en la velocidad por la temperatura descritos por ambas funciones son similares en un amplio rango, de 0 a 30 °C. Basándose en un simple análisis de regresión se encontró que la relación aproximada entre Q_{10} y la E_a está descrita como se muestra en la figura 2.7.⁹

CUADRO 2.6 Ecuaciones usadas para describir la influencia de la temperatura (°C) sobre el oxígeno consumido y la permeación a través de las barreras de polímeros.

VARIABLE	VALOR A 0°C	FUNCION DE LA TEMPERATURA	CAMBIO CON LA TEMPERATURA
Respiración	$R_{0,2} \text{ mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	Q_{10}	$R_{0,2} \text{ mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} Q_{10}^{(T-10)/10}$
Permeación (incluyendo la respiración)	$B_j \cdot 10^{10}$	E_a	$B_j \cdot 10^{10} \cdot e^{(E_a/R \cdot T/273 - 273) \cdot T}$

FUENTE: CAMERON, A. C.; P. Chowdary y D. W. JONES. (1995).⁹

Teóricamente los cambios en la permeación de la piel con la temperatura deben de conformar la ecuación de la energía de activación.

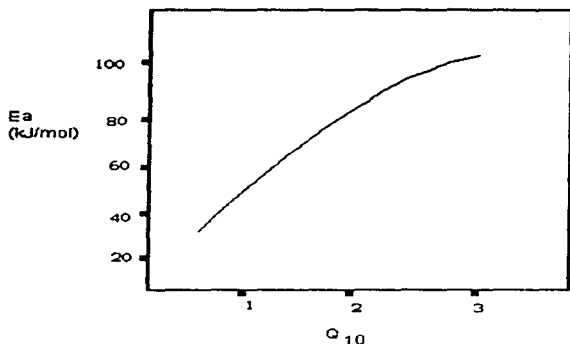


FIGURA 2.7 Relación aproximada entre Q_{10} y E_a .
 FUENTE: CAMERON, A. C., P. Chowdary y D. J. JOLIS (1995) *

2.6.2 Modelos de la permeación del gas

El flujo de gases a través de la piel y de la película de envase se ha descrito como una función de la permeabilidad y el gradiente a través de la barrera de acuerdo a la Ley de Fick de la difusión, para la piel (ver cuadro 2.6). En estas ecuaciones se ha definido el término $\beta_1^{-1,T}$ que es una función de varios parámetros que se combinan para describir la "permeabilidad" de una barrera por unidad de peso del producto envasado

$$\beta_1^{-1,T} = \frac{P_1^{-1,T} \cdot A^1}{\Delta x \cdot W} \quad (10)$$

$\beta_1^{-1,T}$ es un término compuesto que representa inherentemente la suma de todas las barreras de la piel o del envase. $B_{O_2}^{-1,T}$ es una función de $B_{O_2}^{-1,T}$ y $B_{O_2}^{-1,T}$ de acuerdo a :

$$\frac{1}{\beta_{O_2}^{total}} = \frac{1}{\beta_{O_2}^{piel}} + \frac{1}{\beta_{O_2}^{film}} \quad (11)$$

Es necesario notar que se ha definido β_i^{-1} como una función del producto envasado en kilogramos, así que la relación área de superficie de la película por kilogramo del producto debe estar factorizado dentro de la estimación P_i^{-1} . Esta relación es una función de la masa del producto y la cantidad de la película necesaria para encerrar un volumen dado de producto.

Para calcular los coeficientes de resistencia (coeficientes inversos de permeabilidad) de la piel, algunos autores han estimado el área de superficie del peso del producto combinada con algún tipo de fórmula matemática basada en la densidad y geometría del mismo. Las mismas fórmulas se han usado a la inversa para comparar los valores en base al peso. Para estos análisis, se define la permeabilidad sobre una base por peso, con el conocimiento que los cambios en la relación del área de superficie peso modificará la relación de β_i^{total} a P_i^{total} . Para tejidos vegetales, también hay que asumir que cada pieza u órgano en una población tiene aproximadamente la misma permeabilidad, más probablemente será la misma variación en permeabilidad, y por lo tanto en los gases internos, pero sólo es difícil de predecir sin los datos exactos.⁹

a) Modelo de la $[CO_2]_{\mu_0}$

Las ecuaciones predictivas para la $[CO_2]_{\mu_0}$ se pueden desarrollar como una función de la $[O_2]_{\mu_0}$, el RQ y la relación de permeabilidad de la película del O_2 y del CO_2 . La habilidad predictiva bajo condiciones anaerobias dependerán de la disponibilidad de una descripción exacta del RQ vs $[O_2]_{\mu_0}$. En los últimos modelos, la relación entre el CO_2 producido y el O_2 consumido no ha sido identificada apropiadamente.

La presión parcial de CO_2 en MAPs en estado estacionario está limitada por la relación de permeabilidad CO_2/O_2 a través del polímero, cuyos rangos, generalmente van, de dos a ocho (ver cuadro 2.7). Para envases con microperforaciones o agujeros, la relación es cercana a 1 ya que la difusión del CO_2 es más lenta que la del O_2 debido a que es una molécula mayor.⁹

CUADRO 2.7 Ecuaciones predictivas para $[O_2]_{int}$, $[O_2]_{pae}$, $[CO_2]_{pae}$ y HR basadas en las ecuaciones de estado estacionario.

TIPO DE GAS	ECUACION EN ESTADO ESTACIONARIO
$[O_2]_{int}$	$[(R_{O_2})_{int}^{prod} / \beta_{O_2}^{prod,T} + k_{1,2} [O_2]_{int}] + [(R_{O_2})_{int}^{cons} / \beta_{O_2}^{cons,T} + k_{1,2} [O_2]_{int}] + k_{1,2} [O_2]_{pae}^{int}$
$[O_2]_{pae}$	$[O_2]_{int} + R_{O_2}^{prod} / \beta_{O_2}^{prod,T} - ([O_2]_{int} / k_{1,2} + [O_2]_{int})$
RH_{pae}	$RH_{int} + RH_{int} + (\beta_{H_2O}^{prod,T} / \beta_{O_2}^{prod,T}) / (1 + \beta_{H_2O}^{prod,T} / \beta_{O_2}^{prod,T})$
$[CO_2]_{pae}$	$[CO_2]_{int} + RQ_{int} - ([O_2]_{int} + [O_2]_{int}) + (\beta_{CO_2}^{prod,T} / \beta_{O_2}^{prod,T})$

FUENTE: CAMERON, A. C., P. Chowdhry y D. W. JONES (1995).

Las presiones parciales de CO_2 serán más altas en la atmósfera interna del producto que en el paquete y es relativa a la velocidad de producción y a la permeabilidad del CO_2 por la piel. Estas presiones parciales se pueden incorporar dentro de modelos comunes si los valores de permeabilidad son exactos.

b) Modelo de la humedad relativa (HR) dentro del paquete:

En los estudios de las pérdidas de agua de los tejidos vegetales, se ha hecho una primera aproximación de ésta que conforma el modelo presentado para CO_2 como se menciona a continuación:

$$R_{H_2O}^T = \beta_{H_2O}^{prod,T} (RH_{int} - RH_{ext}) \left(H_2O \right)_{int}^T \quad (12)$$

Los términos y simbología están definidos en el cuadro 3.5. En el ambiente de un envase con MA, el flujo de vapor de agua será reducido dependiendo de la permeabilidad relativa de la película, comparada a la piel, como se sugirió en el cuadro 2.6. Generalmente, se asume que la HR interna está muy cercana a la saturación a una temperatura dada. Hay que notar que $\beta_{H_2O}^{prod,T}$ es relativa a $\beta_{CO_2}^{prod,T}$ en una forma análoga a la relación dada en la ecuación (11). Si la velocidad de pérdida de agua para un producto sin envasar es considerada igual a 1, entonces la velocidad relativa de

pérdidas de agua será igual a

$$\frac{1 + \beta_{w,o} \frac{p_{w,o}^{prodT}}{p_{w,o}^{ambT}}}{\beta_{w,o}} \quad (13)$$

Por ejemplo, la pérdida de agua de un producto envasado se podría reducir esencialmente al 1% de la pérdida de agua de un producto sin envasar, si la permeabilidad de la película fuera 400 veces menor que la permeabilidad de la piel al agua. La reducción correspondiente en presión parcial de oxígeno dependerá de las propiedades de la película y de la naturaleza del producto.⁸

2.7 Requerimientos básicos de un Sistema de Envasado con Atmósfera Modificada

2.7.1 Concentración de O₂:

El objetivo es reducir siempre los niveles de oxígeno para retardar las reacciones oxidativas, aunque esto no siempre puede mantener la calidad del producto. Por lo tanto a veces no es posible reducir significativamente la velocidad de consumo de oxígeno sin inducir al metabolismo fermentativo, desarrollo de sabores desagradables o ambos. Los niveles bajos, pero no anaeróbicos, de oxígeno aparentemente reducen el pardeamiento y la senescencia en la lechuga rebanada y en los floretes de brocoli, para ciertas frutas, más frecuentemente manzanas, los niveles bajos de oxígeno inhiben la producción de etileno y su acción, que en combinación retardan la maduración. En general, la reducción de los niveles de oxígeno a los valores más bajos posibles sin inducir al metabolismo anaeróbico, puede ser deseable. Sin embargo, se cree que esto no puede ser aceptado para frutas climatáticas, ya que en algunos experimentos no siempre se ha observado un efecto positivo de los niveles bajos de oxígeno, particularmente cuando los mohos y otros microorganismos causantes de daños, terminan con la vida de anaquel. Ningún beneficio adicional se ha observado de los niveles bajos de oxígeno en MAPs.⁸

2.7.2 Concentraciones de CO₂:

El dióxido de carbono a niveles elevados puede ser dañino para algunos tejidos de las plantas, por ejemplo, en la lechuga los niveles altos de CO₂ (>2%) pueden causar pardoamiento. Sin embargo, la lechuga cortada o desmenuzada es más tolerante que el producto entero. Para productos sensibles a niveles elevados de CO₂, es necesario diseñar paquetes en los cuales el CO₂ permanezca por debajo de los niveles perjudiciales. A niveles por arriba del 20%, el CO₂ puede actuar como fungicida o fungicida para algunos tejidos vegetales que toleren estas concentraciones. Ha sido difícil caracterizar en detalle los efectos del CO₂ sobre los tejidos de plantas a diferentes niveles de O₂ debido a la infinidad de permutaciones.⁹

Las frutas y hortalizas frescas varían ampliamente en su tolerancia relativa a las bajas concentraciones de O₂ (ver cuadro 2.8) y a las concentraciones elevadas de CO₂ (ver cuadro 2.9). Más allá de estos niveles se pueden ocasionar daños. Estos límites de tolerancia pueden ser diferentes a temperaturas por arriba o por abajo de las recomendaciones para cada producto. También un producto en particular puede tolerar exposiciones breves a niveles más altos de CO₂ o más bajos de O₂ que los indicados. El límite bajo de tolerancia al oxígeno puede ser más alto según el incremento en la temperatura o duración del almacenamiento debido a que los requerimientos de O₂ para la respiración aeróbica del tejido, incrementa con temperaturas más altas. Dependiendo del producto, el daño asociado al CO₂ incrementa con la temperatura, pero su solubilidad disminuye, así que el CO₂ en el tejido puede aumentar o disminuir con un incremento en la temperatura. Además, el efecto fisiológico del CO₂ puede ser dependiente de la temperatura. Los límites elevados de tolerancia al CO₂ disminuyen con la reducción del nivel de O₂, y similarmente los límites tolerables al O₂ reducido incrementan con el aumento en el nivel de CO₂.²⁸

CUADRO 2.8 Frutas y vegetales clasificados de acuerdo a su tolerancia a bajas concentraciones de O₂.

CONCENTRACION MINIMA TOLERADA DE O ₂ (%)	PRODUCTOS
0.5	Frutas secas y vegetales
1.0	Algunos cultivos de manzana y pera, brocoli, champiñones, ajo, cebolla, frutas y hortalizas mínimamente procesadas.
2.0	Varios cultivos de manzana y pera, kiwi, durazno, cereza, nectarina, chabacano, ciruela, fresa, papaya, piña, aceituna, melón cantalupe, maíz dulce, ejotes, apio, lechuga, coliflor, colesitas de Bruselas.
3.0	Aguacate, persimo, jitomate, chile, pepino, alcachofa.
5.0	Frutas cítricas, garbanzos verdes, espárragos, papa, camote.

FUENTE: KADER, A. A. (1992) ²²

CUADRO 2.9 Frutas y hortalizas clasificadas de acuerdo a su tolerancia a las concentraciones elevadas de CO₂.

CONCENTRACION MAXIMA TOLERADA DE CO ₂ (%)	PRODUCTOS
2	Manzana (Golden delicious), pera asiática, pera europea, chabacano, uva, aceituna, jitomate, pimiento, lechuga, endibia, col china, apio, alcachofa, camote.
5	Manzana (varios cultivos), durazno, nectarina, ciruela, naranja, aguacate, plátano, mango, papaya, kiwi, arandano, chicharo, chile, berenjena, coliflor, col, colesitas de Bruselas, rabano, zanahoria.
10	Toronja, limón, lima, persimo, piña, pepino, calabaza de verano, espárrago, brócoli, cebolla verde, cebolla seca, ajo, papa.
15	Fresa, frambuesa, zarzamora, arandano, cereza, higo, melón cantalupe, maíz dulce, champiñón, espinaca, col rizada.

FUENTE: KADER, A. A. (1992) ²²

2.7.3 Transporte con atmósfera modificada:

La utilización de la MA en vehículos de transporte terrestre es difícil por que generalmente los camiones empleados no son herméticos y por lo tanto son incapaces de conservar la modificación requerida de la atmósfera. Sin embargo, la mayoría de las unidades refrigeradas de ferrocarril son relativamente herméticas y permiten el uso de una atmósfera modificada. En estas unidades se instala Ca(OH)₂, cal, para absorber el exceso de CO₂ y una nota, indicando la presencia de la cal para que se retire al abrir la unidad cuando llega a su destino. Se instala una bolsa (breather bag) para balancear los cambios barométricos entre el interior y el exterior de la unidad. Las fugas de gas se pueden disminuir sellando cuidadosamente las puertas. El producto se carga en la unidad y se instala una nota de seguridad indicando el peligro de entrar inmediatamente al abrir; el contenedor se cierra con seguridad y se introduce la mezcla necesaria de gas.

La atmósfera modificada también puede emplearse en contenedores de transporte marítimo, se instala la cal, se carga el contenedor, se coloca una cortina de plástico alrededor de la puerta, se sella el contenedor y se introduce la mezcla de gas.⁵⁵

2.8 Efectos de los Envases con Atmósfera Modificada

En seguida se hace una breve mención de los ventajas y desventajas del uso del envasado con atmósfera modificada como un resumen de todo lo visto a lo largo del capítulo.

2.8.1 Beneficios potenciales:

El uso adecuado de una atmósfera modificada puede suplementar la dirección adecuada de la temperatura y puede dar como resultado uno o más de los siguientes resultados, que se traducen en una reducida cantidad de pérdidas de calidad durante el manejo postcosecha y almacenamiento de frutas y hortalizas mínimamente procesadas.²⁸

- Retarda la senescencia (maduración), la cual se asocia con cambios bioquímicos y fisiológicos, disminuye la velocidad de respiración y la de producción de etileno, el ablandamiento y los cambios composicionales
- Reduce la sensibilidad de la fruta a la acción del etileno, esto ocurre a niveles por abajo del 8% de oxígeno y/o niveles por arriba del 1% de dióxido de carbono
- Alivio de ciertos desórdenes fisiológicos resultantes, como daño por frío que se puede presentar en diversos productos, principalmente los tropicales
- Puede afectar directa o indirectamente a los microorganismos patógenos postcosecha y consecuentemente incidir en la descomposición. Por ejemplo los niveles elevados de CO₂ (10 a 15%) inhiben significativamente el desarrollo de *Botrytis spp.*, el cual es el responsable de la putrefacción de fresas, cerezas y otras frutas
- Las atmósferas modificadas pueden ser útiles herramientas para el control de la propagación de insectos en ciertos productos

2.8.2 Efectos dañinos:

En muchos casos, la diferencia entre las combinaciones de MA beneficios y dañinas es relativamente pequeña. También las combinaciones de MA que son necesarias para el control de la descomposición o contra insectos, por ejemplo, no siempre son toleradas por el producto y puede dar como resultado un deterioro más rápido. Los posibles daños al producto por envasado con atmósfera modificada incluyen:²⁸

- Iniciación o agravación de ciertos desórdenes fisiológicos que pueden ocurrir, como el centro oscuro en papas, manchas café en lechugas y centro café en manzanas y peras.
- La maduración irregular de frutas, como plátano, pera y jitomate, puede resultar de niveles de oxígeno por abajo del 2% o de niveles de dióxido de carbono por arriba del 5%.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- Los sabores y olores desagradables a niveles muy bajos de oxígeno pueden desarrollarse como resultado de la respiración anaeróbica.
- La susceptibilidad a la descomposición puede incrementar cuando el producto es dañado fisiológicamente por concentraciones muy bajas o muy altas de oxígeno y dióxido de carbono respectivamente.
- La estimulación del retoñamiento y el retraso del desarrollo de peridermo pueden ocurrir en algunas hortalizas de raíz o tubérculos como las papas.

3 CARACTERISTICAS DE PERMEABILIDAD Y MOVIMIENTO DE GASES Y VAPOR DE AGUA

Como ya se mencionó, en el capítulo 1, la demanda de los productos mínimamente procesados ha incrementado en los últimos años y una gran parte de ellos se envasan a niveles de humedad relativa, oxígeno y dióxido de carbono que se encuentran modificados con respecto a los niveles del aire normal (ver cuadro 3.1). Aunque los envases con atmósfera modificada pueden extender potencialmente la vida de anaquel del producto, no se espera que superen los efectos negativos del abuso indiscriminado de la temperatura. Debido a la variación en la respiración y permeación, limitantes impuestas por las películas disponibles, y la exposición a temperaturas más altas durante el manejo y distribución, no se puede asegurar que la atmósfera lograda se mantenga en los envases. Debido a la falta de un control adecuado, los niveles de oxígeno pueden llegar a valores más bajos de los límites seguros en envases comunes con atmósfera modificada. Los riesgos no sólo incluyen las pérdidas de calidad del producto, ocasionadas por el metabolismo fermentativo, sino también al crecimiento de microorganismos potencialmente patógenos para los humanos y causantes de la putrefacción de los productos hortofrutícolas.*

CUADRO 3.1 Composición gaseosa del aire seco a nivel del mar.

GAS	%
Nitrógeno (N ₂)	78.03
Oxígeno (O ₂)	20.99
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.94
Hidrógeno (H)	0.01

FUENTE: PARRY, R. T. (1993).*

Los envases actúan como barreras al movimiento de vapor de agua y de los gases como oxígeno y dióxido de carbono, entre otros, y pueden llegar a mantener una humedad relativa alta, con la cual las frutas y hortalizas envasadas mantienen su turgencia. Sin embargo la conservación de valores muy altos de humedad relativa puede provocar la condensación de la humedad sobre el producto, creando también las condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos.²³

Los niveles de gas generados en un envase con atmósfera modificada, están en función de la permeabilidad de la película elegida, de la conducta respiratoria y de las características de intercambio de gases del producto encerrado. El objetivo primordial de un MAP es emplear las películas con permeabilidades que permitan conservar los niveles favorables de gas para extender la vida de anaquel del producto. Comercialmente los sistemas MAP son demandados abundantemente, aunque la naturaleza específica de la atmósfera "modificada", generalmente no se menciona. Varios diseños comerciales de MAP están ahora disponibles, aunque en la práctica muchos de los gases no alcanzan los niveles específicos y hay muy pocos datos publicados para su verificación.⁹

3.1 Transferencia de masa y permeabilidad

La palabra "permeabilidad" es ampliamente usada en la literatura técnica, aunque no es exactamente definida. En cuanto a transferencia de masa se refiere, la permeabilidad es generalmente considerada como la masa de producto transferida por unidad de tiempo, área y "fuerza de movimiento". Si esta fuerza de movimiento es una diferencia de concentraciones o de presiones parciales, la transferencia de masa se debe a la difusión. Si la fuerza de movimiento es una diferencia de las presiones totales, la transferencia de masa resultante es un flujo.²⁴

Consideremos a la película polimérica como un sólido en el cual el movimiento no ocurre, conteniendo un soluto B (oxígeno y dióxido de carbono) con un gradiente de concentración $\text{grad}_p B$. Este vector tiene los componentes $\delta p_B/\delta x$, $\delta p_B/\delta y$ y $\delta p_B/\delta z$

multiplicado por la unidad de vectores en las direcciones x , y y z ρ_B es la masa del soluto por unidad de volumen.

La 1ª Ley de Fick establece que el flux de masa en el vector densidad Φ_{mas} tiene la misma dirección y está en sentido opuesto al gradiente del vector. La densidad del flux de masa es la masa del soluto B (ρ_B) el cual se difunde por unidad de tiempo y área.

Por definición, el factor de proporcionalidad es la difusividad (D). Esta es expresada como un área por unidad de tiempo. Las difusividades en gases pueden ser predecidas por el uso de la teoría química ²³

La 1ª Ley de Fick expresa el flux de solutos como una función de un gradiente. La 2ª Ley expresa los cambios locales de concentraciones como una función del tiempo.

$$\frac{\delta \rho_B}{\delta t} \quad (14)$$

como una función del fenómeno de difusión

$$\text{div}(D \text{grad} \rho_B) \quad (15)$$

de movimiento

$$\text{div}(\rho_B v) \quad (16)$$

y posiblemente de otras fuentes como reacciones químicas o bioquímicas. Podría ser enfatizado que en la 1ª Ley de Fick deben ser, necesariamente expresadas en difusión de masa de la sustancia por unidad de volumen (ρ_B). En la segunda ecuación ninguna expresión de la concentración (c) puede ser usada:

$$\frac{\delta c}{\delta t} = \text{div}(D \text{grad} c) - \text{div}(cv) + c \quad (17)$$

hay un cambio en la concentración debido a la reacción. Cuando el fenómeno de difusión es considerado, las soluciones siempre consideran el número de Fick (Fi):

$$Fi = \frac{Dt}{\Delta x^2} \quad (18)$$

Algunas veces llamado el número de masa de Fourier. Δx es una característica del grosor de la película. El número de Fick puede ser considerado como la condición que tiene la misma solución dimensional en cuerpos de simetría similar.³³

3.2 Coeficientes de Transferencia de Masa

Cuando una transferencia de masa ocurre entre un sólido y un fluido, la velocidad de transferencia de masa $d m_B / dt$ se puede expresar por la ecuación empírica:

$$\frac{d m_B}{dt} = A \beta (\rho_B^* - \rho_B) \quad (19)$$

donde β es el coeficiente de transferencia de masa entre el sólido y el fluido, obviamente depende del flujo del fluido y tiene las dimensiones de velocidad (m/s) si las concentraciones de masa son expresadas por unidad de volumen (ρ_B). ρ_B es la concentración actual del soluto B en el fluido. ρ_B^* es la concentración de B en el fluido, el cual puede estar en equilibrio con el sólido.³³

Para propósitos prácticos β es calculado del número de Sherwood (Sh):

$$Sh = \beta \frac{\Delta x}{D} \quad (20)$$

que es una función del número de Schmidt (Sc) y del número de Reynolds (Re) para convección forzada o del número de Grashof (Gr) para convección libre.

Algunas veces los coeficientes de transferencia de masa no se expresan como una función de diferencias de p_a pero sí como una función de diferencia de presiones parciales p . Tal que βp tiene las dimensiones del tiempo por la longitud (inverso de la velocidad). Los factores deben ser usados para convertir β para βp ³³

Si la velocidad de difusión del soluto en el sólido se debe considerar como la difusión en el fluido, un número de Biot (B_i) se debe emplear:

$$B_i = \frac{\beta \Delta x}{D_{\text{sólido}}} \quad (21)$$

$D_{\text{sólido}}$ es la difusividad del soluto en el sólido. Para números grandes de Biot, la velocidad de transferencia de masa se controla por la resistencia en el sólido. Para sistemas más complejos, como la difusión a través de una membrana o un material de envase con un grosor Δy , un coeficiente de transferencia de masa β_0 debe ser usado:

$$\beta_0 = \frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{D_{\text{sólido}} \Delta y} + \frac{1}{\beta_2} \quad (22)$$

β_1 es el coeficiente de transferencia de masa entre el fluido 1 y la membrana y β_2 el coeficiente de transferencia de masa al otro lado, entre la membrana y el fluido 2 ³³

3.3 Flujo de gases y líquidos

La velocidad del flujo volumétrico de gases o líquidos a través de materiales porosos se puede expresar por una de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A \Delta p}{\eta R_s \Delta x} \quad (23)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{ABp\Delta p}{\eta \Delta x} \quad (24)$$

donde A es el área, Δp la diferencia de presiones, η la viscosidad dinámica, R_s el factor de resistencia y Bp el factor de permeabilidad. Es obvio que $Bp = 1/R_s$.

El factor de permeabilidad es muy dependiente de la porosidad. Normalmente se determina por experimentación, sus dimensiones son longitud al cuadrado (m^2). Esta ecuación es válida en flujo laminar, el cual es normal en el caso de escapes o de pequeños agujeros presentes en los materiales de empaque.³¹ La diferencia de presión se puede deber al envasado o a las condiciones de almacenamiento. Muchas veces esto se debe a la difusión selectiva del dióxido de carbono a través del plástico, lo cual produce un encogimiento.

Es necesario enfatizar que la velocidad de transferencia de masa debida al flujo de gases es considerablemente más grande que la debida a la difusión. Esto se puede demostrar en una situación dada de transferencia de masa a través de un solo agujerito de 10 a 20 μm de diámetro, donde la difusión es mayor que por varios cientos de metros cuadrados de una hoja de plástico intacta.³¹

3.4 Estudio de algunos factores que afectan la Permeabilidad

La influencia de diversos factores en la permeabilidad de las películas plásticas a diferentes permeantes (gases y vapores) podría ser estudiada en las siguientes condiciones: que la película no muestre defectos, no sea porosa y la cubierta entera esté completamente cerrada, los resultados de la permeabilidad de la difusión molecular

de los permeantes, sean aplicados con las Leyes de Fick y Henry, no exista interacción entre la película y los permeantes, que el balance dinámico resultante del paso del permeante a través de la película se realice relativamente rápido

Cuando estas condiciones se cumplen, se puede escribir

$$P_M = DS \quad (25)$$

donde P_M es la permeabilidad, D y S son respectivamente la difusividad y solubilidad del permeante. Si la cantidad de gas permeante (Q) o vapor debe ser determinada, se obtiene con la ecuación

$$Q = P_M A t \Delta p \left(\frac{1}{l} \right) \quad (26)$$

donde A es el área de superficie del material envolvente, t es el tiempo, Δp la diferencia de presiones o concentración sobre cualquier lado del material y l es el grosor

En el caso de interacciones entre el permeante y el polímero, como agua con materiales hidrofílicos (películas de celulosa, polivinil alcohol, etc) o vapores orgánicos con diferentes películas plásticas, las ecuaciones (25) y (26) no se pueden aplicar. Las interacciones generalmente tienen un efecto plastificante, el cual provoca un incremento en la permeabilidad. Lo que se denomina "permeabilidad" es una característica de la pareja: película/permeante y no se puede usar como una propiedad universal de un material de envase. ²²

Puede pasar, que en lugar de la permeabilidad P_M , otras variables se utilicen, como la velocidad de transferencia de gas (Q/At), dada en la ecuación (27), derivada de la ecuación (26):

$$\left(\frac{Q}{At} \right) = P_M \Delta p \left(\frac{1}{l} \right) \quad (27)$$

o la permeabilidad por unidad de grosor P_M/l . La permeabilidad también puede ser definida para un sistema que comprende una película i y un gas K , a una temperatura dada, por la siguiente relación

$$P_M = F_i G_K \gamma_{iK} \quad (28)$$

donde F_i y G_K son factores caracterizados de la naturaleza de la película y del gas respectivamente, γ_{iK} es un factor de interacción (que es = 1 cuando no hay interacción)³³

3.4.1 Factores que afectan la Permeabilidad

Las ecuaciones anteriores demuestran que la permeabilidad depende de vanos factores; la influencia de algunos de ellos (naturaleza del polímero, naturaleza del gas, temperatura y presión) serán discutidos más adelante

Si se considera un material polimérico de envasado, se debe recalcar que ese material está hecho de una red de cadenas de macromoléculas e intersticios. El movimiento térmico de las cadenas o de sus grupos terminales, provocan cavidades, las cuales pueden ser ocupadas o atravesadas por la sustancia en difusión, provocando la existencia de un gradiente de concentraciones o una diferencia de presiones. La difusión depende del número y dimensiones de las cavidades. Una energía de activación es necesaria para difundir las moléculas a través de la membrana polimérica.⁴²

• **Naturaleza del polímero:** Los diferentes factores inherentes al polímero juegan un papel principal en el proceso de difusión de gases. Entre los factores, algunos se han estudiado y los resultados se han reportado por la influencia que tienen sobre la permeabilidad. Entre las características del polímero que se deben considerar están la estructura química, grado de cristalinidad, longitud de las cadenas, densidad, cadenas laterales, peso molecular, grado de polimerización, dobles enlaces, aditivos, plastificadores, pigmentos y reticulación.⁴²

A. Estructura química: Tiene una influencia muy significativa sobre la permeabilidad a los gases de un material polimérico. Esto se puede observar en el cuadro 3.2, donde se muestra la permeabilidad al O_2 de un polímero que repite esta unidad:



donde X es un grupo funcional variante. Para cada X diferente, una permeabilidad distinta se observa. Si el valor para el polímero con $X = \text{OH}$ se toma como referencia ($P_M = 1$), se puede observar que P_M alcanza un valor relativo de 48000 con $X = \text{H}$.

CUADRO 3.2 Efecto de los grupos funcionales sobre la permeabilidad al O_2 .

X	P_M RELATIVA AL O_2
- OH	1*
- CN	4
- Cl	800
- F	1500
- Acrílico	1700
- CH_3	15000
- Fenil	42000
- H	48000

FUENTE: PASCAT, B (1985) ** * Tomando como referencia una P_M para $X = \text{OH}$: $0.038 \text{ cm}^3 \text{ mm}^2 / \text{m}^2 \text{ 24 h atm a } 23^\circ \text{C y } 0\% \text{ HR}$.

B. Cristalinidad: El grado de cristalinidad de un polímero juega un papel importante en sus propiedades de barrera; incrementando la cristalinidad de un polímero se produce un descenso en la difusividad y solubilidad del gas en difusión. Además la permeabilidad es considerablemente reducida. Esto se puede ver en el cuadro 3.3 para el PE y para el nylon 66 con diferentes grados de cristalinidad. El incremento de la cristalinidad por un factor aproximado de dos produce un descenso en la permeabilidad al O_2 de factor 5³⁰.

CUADRO 3.3 Efecto del grado de cristalinidad del polímero sobre la permeabilidad al O₂.

POLÍMERO	CRISTALINIDAD (%)	P _m (O ₂) ^a
LDPE	50	182
HDPE	80	Relación = 4.3 42
Nylon 6,6 (mojado)	20	3
Nylon 6,6 (secado)	40	Relación = 5.0 0.6

FUENTE: PASCAT, B. (1985). ⁴²

^a P_m (O₂) en cm³ mm / m² 24 h atm a 23 °C.

C. Densidad: La permeabilidad de los materiales poliméricos, como poliolefinas, depende del largo de la cadena que así mismo está en función de la densidad y la cristalinidad. Disminuyendo la densidad por debajo de cierto valor (aproximadamente 0.92 g/cm³) se incrementa enormemente la permeabilidad ³⁰

Esto puede ser importante, sin embargo, la forma en que es obtenido el políester (PE) para darle determinada densidad tiene mayor influencia sobre la permeabilidad. Por ejemplo, un PE obtenido por un proceso a alta presión y con una densidad de 0.927 g/cm³ tiene la misma permeabilidad al O₂ que un PE de densidad igual a 0.938 g/cm³, procesado a baja presión.

D. Orientación molecular: Esta afecta grandemente la permeabilidad, especialmente para polímeros cristalizados. La reducción del valor de la permeabilidad puede llegar a un 50% para polímeros cristalinamente orientados, mientras que solo un descenso del 10 al 15% es observado en polímeros amorfos.

E. Peso molecular y grado de polimerización: El efecto del peso molecular sobre la permeabilidad fue estudiado sobre muestras de polisobutilo; mostró que la

permeabilidad al vapor de agua disminuye cuando el peso molecular incrementa. Del mismo modo, el efecto del grado de polimerización fue investigado, la determinación de las velocidades de transmisión de vapor de agua, nitrógeno y dióxido de carbono a través de PVC y PE con diferentes grados de polimerización que la permeabilidad incrementa ligeramente con el grado de polimerización.

F Dobles enlaces La presencia de dobles enlaces afecta grandemente la permeabilidad de los polímeros. Esto se puede deducir de la alta permeabilidad al vapor de agua del polibutadieno, comparada con la del polietileno.

G Simetría y polandad La variación del coeficiente de difusión (D) como una función de la temperatura obedece a la Ley de Arrhenius.

$$D = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (29)$$

donde D_0 es una constante dependiente de la estructura del polímero, por ejemplo el número de intersticios de una red en un momento dado y E_a es la energía de activación del proceso de difusión la cual es una función de la cohesión del polímero. Si dos polímeros con energías de cohesión comparables como el PE y la goma son considerados, la goma que tiene una estructura más holgada debido a una falta de simetría y tendrá una constante de difusión más alta para un gas dado a una misma temperatura dada.

La comparación de las constantes de difusión para dos polímeros con simetría, muestra que la polandad más alta, la energía de cohesión mayor y consecuentemente, el valor de D será menor así como la permeabilidad. Este es el caso para el PVdC el cual tiene una permeabilidad de 200 a 1000 veces menor que la del PE.

Las fuerzas intermoleculares afectan el grado de libertad de los grupos en las cadenas poliméricas, es bien conocido que en tales estructuras los enlaces de hidrógeno son más fuertes que las fuerzas de van der Waals. Esto puede explicar la

diferencia de permeabilidades entre el PE y la poliamida (PA) o el poliacrilonitrilo

H. Aditivos y plastificadores Los aditivos, plastificadores y otros monómeros y polímeros añadidos al material plástico para modificar sus propiedades, generalmente, incrementan la permeabilidad. En el caso de adición de goma, el efecto no sólo se debe a la dilución de sitios activos sino a la elasticidad de la goma. Una copolimerización puede tener el efecto de disminuir las propiedades de barrera si el copolímero tiene una permeabilidad alta o produce un incremento en la elasticidad. Así que, si la goma es añadida al PVC, la permeabilidad se incrementa al doble. Existe un incremento con un factor de 20 si un plastificador se añade para obtener un PVC flexible. La fijación del vapor de agua sobre los polímeros hidrofílicos puede ser considerado como un efecto aditivo. Esto causa la plastificación del polímero, la estructura que lo vuelve suelto. La permeabilidad al gas incrementa también, cuando una película hidrofílica es sometida a humedades relativas altas. El efecto plastificante de la humedad causa un incremento en los intersticios y el gas se difunde más rápidamente.

I. Rellenos inertes y pigmentos La permeabilidad incrementa si la cantidad de rellenos inertes o pigmentos exceden un cierto valor crítico. Se mostró que la permeabilidad de los polímeros pigmentados incrementó o disminuyó de acuerdo a la naturaleza del pigmento o del relleno inerte, dependiendo del tamaño y la forma de las partículas.

J. Reticulación. Muchas de las investigaciones en los efectos de reticulación sobre propiedades del polímero son concernientes a la goma. Se encontró que la permeabilidad no es muy afectada por la adición de pequeñas cantidades de sulfuro, el cual provoca reticulación. Sin embargo, en el caso de una reticulación completa, como en la ebonita, la permeabilidad disminuye grandemente. La energía de irradiación elevada provoca reticulación de las películas plásticas. La irradiación afecta directamente el número de monómeros reticulados en la película, este efecto actúa muy probablemente sobre la difusividad.

3.5 Medición de la permeabilidad de las películas

Ninguna técnica estándar ha sido aceptada para la determinación de la permeabilidad del gas a través de polímeros y aun cuando existen estimaciones exactas, no siempre se han publicado valores claros que puedan ser aplicados en las condiciones del MAP cuando la permeabilidad se puede alterar por la presencia de regiones delgadas del sellado en caliente, impresión o condensación de la película. Este es el problema común de la variación de la permeabilidad para un solo polímero dentro de uno o varios lotes. Esta variedad será mayor para las películas más "exóticas". Si con un polímero simple y común, como el polietileno, donde el proceso de polimerización está bien entendido, se ha medido la variación de permeabilidad al O_2 y al CO_2 entre lotes y se han encontrado pequeños errores en los resultados causando desviaciones significativas entre los niveles de O_2 esperados y los reales dentro del paquete. Las comparaciones entre las permeabilidades reportadas pueden variar ampliamente y esto conlleva a la necesidad de hacer más responsable la información acerca de la permeabilidad, particularmente como una función de la temperatura. Esta falta de datos enfatiza la necesidad de técnicas más exactas para medir la permeabilidad para su aplicación comercial y de investigación.*

En general, las películas más comúnmente usadas por su alta permeabilidad al O_2 incluyen al LDPE, PVC y al EVA (ver anexo). Medir o predecir su permeabilidad a través de los agujeros hechos es muy difícil debido a los cambios de presión que pueden afectar marcadamente el flujo de masa que se da debido a los agujeros. Los avances en la tecnología relacionados a hacer más precisos y uniformes los agujeros con características de difusión definidas sería una gran ayuda para el MAP.

Dependiendo del polímero, la permeabilidad al CO_2 excede la permeabilidad al O_2 de 2 a 8 veces más. Además, la permeabilidad al agua excede la permeabilidad al O_2 de 30 a 20000 veces más. Estas proporciones pueden cambiar con la temperatura, dependiendo de las respectivas E_{as} (energías de activación) para la permeabilidad de O_2 y agua. Para la difusión a través de los agujeros o microperforaciones, la relación

para agua o CO_2 a O_2 se espera que sea lo más cercana a 1.

La sorbición del agua dentro de películas hidrofílicas puede incrementar notablemente la permeabilidad de algunos polímeros hidrofílicos. Esta acción puede confundir enormemente los intentos para predecir los niveles de O_2 en los MAPs con productos de alto contenido de humedad, como las ensaladas rebanadas. Los efectos del sellado en caliente *

3.6 Estimación de los requerimientos de permeabilidad

Para estimar los requerimientos de permeabilidad para mantener los niveles de O_2 elevados, las ecuaciones de flujo (ver cuadro 3.4, el cuadro 3.5 describe los símbolos y unidades de las ecuaciones) pueden ser dispuestas de otro modo asumiendo que $K_{1,2}$ es tan baja que el O_2 consumido es esencialmente igual a $R_{\text{O}_2}^{\text{max},1}$ y la permeabilidad de la piel del producto es mayor en relación a la velocidad del O_2 consumido

$$P_i^{\text{req},T} = \frac{\left[D_x \cdot \left(\frac{W}{A_{\text{film}}} \right) \cdot R_{\text{O}_2}^{\text{max},1} \right]}{\left([\text{O}_2]_{\text{atm}} - [\text{O}_2]_{\text{seg}} \right)} \quad (30)$$

Suponiendo que se desea construir un envase para 0.5 kg de lechuga rallada con un consumo de O_2 de 100nmol /kg s a 5 °C y se desea establecer una presión parcial de O_2 segura de 11kPa (esencialmente 11% de O_2). Se sabe que 0.5 kg de lechuga cortada cabe en un envase de 0.12 m³ y si la película necesita tener un grosor de 25 μm para una durabilidad adecuada entonces.

$$P_{O_2}^{lim} = [25 \times 10^{-4} \cdot (0.5/0.12) \cdot 100] / (21 - 11) = 1 \times 10^{-3} \text{ nmmol m} / \text{m}^2 \text{ kPa s}$$

Por sustitución en la ecuación (30) si la respiración actual excede el valor predicho para 50% entonces el oxígeno puede caer a 6 kPa en los envases. Tal variación puede causar productos de fermentación en niveles más bajos de O_2 de los que se establecieron. Si la relación de permeabilidad H_2O/O_2 de la película empleada fuera de 100 : 1, entonces la permeabilidad total de la película ($\beta_{1,20}^{lim}$) podría ser de 1000 y la velocidad relativa de pérdida de agua se podría reducir a mucho menos del 1% de acuerdo a la velocidad del aire ⁹.

CUADRO 3.4 Ecuaciones de estado estacionario para O_2 consumido y flux de O_2 a través de la piel del producto envasado, la barrera de polímero y la piel del producto.

FLUX	FLUX EN ESTADO ESTACIONARIO ^a
O_2 consumido	$R_{O_2}^{max} \cdot F \cdot [O_2]_{int} / K_{1/2} + [O_2]_{int}$
O_2 a través de la piel	$E_{O_2}^{pm} \cdot ([O_2]_{paq} - [O_2]_{int})$
O_2 a través del paquete	$E_{O_2}^{film} \cdot ([O_2]_{ext} - [O_2]_{paq})$
O_2 a través del paquete y la piel	$E_{O_2}^{total} \cdot ([O_2]_{ext} - [O_2]_{int})$

FUENTE: CAMERON, A. C.; P. Chowdry y D. W. JONES (1995). ⁹

^a La velocidad del O_2 consumido está descrita en función de la presión parcial de O_2 dentro de la fruta y la k_m representa una K_m aparente para el O_2 consumido.

CUADRO 3.5 Descripción de símbolos y unidades.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
A ¹	Superficie de Área de barrera i	m ²
B_j ^{1,T}	Permeabilidad total de barrera i al gas j a temperatura T por kilogramo de producto	nmol / s kPa m kg
E_a ¹	Energía de activación para el gas j a través de la barrera i	kJ/mol
k_s	Constante de la ecuación de Michaelis - Menten igual a la presión parcial interna que resulta de la mitad del máximo O ₂ consumido	kPa
Q₁₀	Incremento de la velocidad de respiración por 10 °C que incrementan en la temperatura	-
P_j ^{1,T}	Medición estándar de la permeabilidad de una barrera i dada al gas j a la temperatura T	mol m/m ² kPa s
R_{o2} ^{max,T}	Velocidad máxima del O ₂ consumido o de CO ₂ producido a temperatura T por kilogramo de producto	nmol / s kg
R_t ¹	Velocidad total de O ₂ consumido o CO ₂ producido a temperatura T	nmol/s
RH_s	Humedad relativa en la atmósfera k	-
RQ	Coefficiente respiratorio, puede cambiar potencialmente con [O ₂] _{atm} y la temperatura	-
T	Temperatura	°C
W	peso del producto empacado	kg
Δx	Grosor de la barrera de película	m (usualmente 10 - 100 mm)
[j]_k	Presión parcial en estado estacionario del gas j en la atmósfera k	kPa
i	Barrera identificada: piel, barrera del paquete (película), paquete y piel (total)	NA
j	Gas identificado: CO ₂ , O ₂ , H ₂ O	NA
k	Atmósfera identificada: externa (al paquete), en el paquete (pkg), dentro del producto	NA

FUENTE: CAMERON, A. C.; P. Chowdry y D. W. JONES. (1995) *

3.7 Requerimientos para el Empacado con Atmósfera Modificada

Las películas poliméricas más usadas en la industria para el MAP han sido seleccionadas principalmente con base en consideraciones prácticas y de investigación.

En la actualidad está disponible sólo un número limitado de películas con la permeabilidad al O_2 adecuada para prevenir las condiciones anaeróbicas. Esta situación presenta un contraste con el número de películas con propiedades altas de barrera que son usadas para el envasado de carnes y otros productos perecederos que requieren un ambiente totalmente anaeróbico. Las perforaciones pueden aumentar considerablemente la permeabilidad pero son muy insensibles a los cambios de temperatura. Actualmente muchas películas están patentadas por lo que es difícil predecir su composición y obtener determinaciones exactas de la permeabilidad. Además de la alta permeación al O_2 , las películas para MAP deben tener una permeabilidad predictiva (no muy afectada por la presencia de agua), y ser consistentes, baratas, fáciles de usar, manuable, flexibles para facilitar el movimiento en la máquina envasadora, sellables (de preferencia resistentes al sellado por calor), resistentes a rasguños y pinchazos y transparentes para poder ver el interior del envase. Por último, sería deseable usar materiales reciclables, los cuales eventualmente podrían eliminar el uso de polímeros colaminados o no reciclables.⁸

3.8 Control de la Humedad Relativa

Entre el movimiento de gases, uno de los más importantes es el del vapor de agua, debido a que si no se elige una película con la permeabilidad adecuada se puede provocar la condensación y crear condiciones adversas para el mantenimiento de la calidad del producto. Por todo lo anterior varios investigadores han realizado diversos estudios relacionados con la humedad relativa del interior del envase.⁴⁷

Shirazi, A. y Cameron, A. C. (1992) reportaron los resultados de su trabajo titulado "Control de la humedad relativa en envases con atmósfera modificada para jitomates", donde hacen mención que aun en los envases contruidos de LDPE diseñados para dar concentraciones óptimas de CO_2 y O_2 , la vida de anaquel no era igual a la obtenida bajo condiciones de atmósfera controlada. Por ejemplo, los jitomates puestos en un sistema de flujo a través de al 2% de O_2 permanecían en condiciones comercializables

por 40 días / 20 °C, contra los 15 días en un envase optimizado a la misma concentración de O₂. El factor limitante en el envase fue la aparición de mohos. La HR en el envase se puede reducir por el uso de películas con una velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR, por sus siglas en inglés) alta pero no puede ser controlada a niveles específicos usando solamente la película, debido a que la humedad relativa en el envase es una función de la humedad relativa del ambiente que la rodea, la cual puede cambiar notablemente durante el manejo y el almacenamiento.⁴⁷

El contenido de humedad de un material se aproxima a un nivel de equilibrio después de estar expuesto a una HR dada, por ganancia o pérdida de agua. El establecimiento del equilibrio, sin embargo puede tomar días o aun semanas, dependiendo del sistema. Los compuestos tales como el sorbitol, el xilitol y el cloruro de sodio que exhiben una isoterma de sorción del tipo III, absorben relativamente poca humedad hasta incrementar la humedad relativa a un nivel crítico. Como la HR incrementa por arriba de este punto estos compuestos absorben crecientemente más agua. A niveles más altos de HR, tales sustancias pueden absorber su propio peso seco en agua varias veces.

El primer propósito de este estudio fue la posibilidad de usar cristales presecados de compuestos que posean una conducta de la isoterma de sorción del tipo III para controlar la HR dentro de los envases de productos frescos. Además, se mostró que el concepto puede ser simple y se puede adaptar eficientemente en un sistema MAP para reducir el crecimiento de mohos y extender la vida de anaquel de los tomates.⁴⁷

La técnica de control de humedad en el envase es dependiente de la HR exterior, como una oposición al uso de películas de altas velocidades de transmisión de vapor de agua. Fundamentalmente, puede ser útil combinar las dos técnicas - películas con altas WVTRs y compuestos químicos presecados, para permitir una reducción en la cantidad de compuesto químico que se necesita incluir dentro del envase. Aunque este concepto es similar al uso de soluciones saturadas de sales, es importante notar que este sistema nunca llega al equilibrio, pero sí a un estado estacionario. La capacidad para controlar la HR está basada en la velocidad de absorción de agua de los compuestos, que está a su

vez, relacionada a la velocidad de transpiración del producto. En estos experimentos se requirieron de 5 a 10 g de químico por cada fruta de 130 a 160 g para mantener una HR estable. Una cantidad menor de compuesto puede ser incapaz de absorber el agua lo bastante rápido para controlar la humedad. La cantidad de compuesto más prometedora puede ser reducida si se mejoran los métodos de dispersión usados para maximizar el área de superficie de absorción ⁴⁷

Por otro lado, Rodov, V. S. et al. (1995) llevaron a cabo experimentos para controlar el estrés de agua en envases de pimiento rojo basados en el concepto de envasado con humedad modificada, como se comentó en el experimento de Shirazi y Cameron (1992).

El efecto de la reducción de la HR del NaCl en este experimento fue menor que el descrito para jitomates por Shirazi y Cameron. Esta discrepancia puede ser explicada por las diferentes condiciones de temperatura, tipo de envase y peculiaridad de la fruta. Sin embargo, la fuerza de la depresión de la HR puede tener un efecto deteriorante sobre la sensibilidad a la desecación del pimiento rojo ⁴⁸.

La intensidad de transpiración en productos almacenados está directamente relacionada al déficit de presión de vapor (VPD, por sus siglas en inglés) en la atmósfera. De acuerdo con la adición de NaCl se incrementó la pérdida de peso de los pimientos rojos empacados, la fruta almacenada en estas condiciones tuvo más de la mitad de las pérdidas de peso que las frutas no envasadas. Al terminar el periodo de 17 °C, la fruta de envases que contenían NaCl no se encogió y fue más firme que la que no había sido envasada. El grosor de las películas plásticas no tiene efecto alguno sobre la firmeza de los pimientos rojos empacados. Aparentemente, la diferencia en las propiedades de barrera al vapor de agua entre las dos películas fue insignificante con respecto a las pérdidas de peso de la fruta.

La composición de la atmósfera en el envase dependió del grosor de la película, los envases sellados de LDPE de 20 μm tuvieron casi de 18 a 19% de O_2 y de 1.5 a 2% de CO_2 en forma constante, el de 40 μm entre 10 y 13% de O_2 y entre 4 y 5% de CO_2 y

la de 80 μm entre 5 y 6% de O_2 y de 8 a 10% de CO_2 . La tendencia de descomposición es menor en los envases sellados con la película de 80 μm , pero este efecto no fue estadísticamente significativo. Sin embargo, en otros experimentos en tales condiciones se observó un incremento marcado en la descomposición que probablemente fue relacionada con el efecto destructor de concentración excesiva de O_2 sobre el pimiento.⁴⁵

El efecto de la humedad relativa sobre el desarrollo de descomposición en productos hortofrutícolas almacenados presenta dos tendencias opuestas. Por un lado la atmósfera saturada con vapor de agua muchas veces incrementa la incidencia de enfermedades sobre los pimientos o cualquier otro producto, este efecto usualmente se atribuye a la presencia de agua condensada sobre la superficie del producto creando las condiciones favorables para el crecimiento de microorganismos, y por el otro lado, las pérdidas excesivas de agua y el consecuente marchitamiento también incrementan la susceptibilidad del producto al *Botrytis spp* y otros patógenos postcosecha.

Estabilizando la humedad relativa entre 92 y 95% se puede proporcionar un balance óptimo entre la fruta desecada y la prevención de la condensación de agua, inhibiendo así el desarrollo de enfermedades y extendiendo la vida de anaquel del pimiento rojo.⁴⁵

3.9 Efectos de la Permeabilidad sobre la Vida de Anaquel de las Frutas y Hortalizas Envasadas con Atmósfera Modificada

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas que se envasan con atmósfera modificada son comercialmente más duraderas debido a la modificación del aire que las rodea, sin embargo, la selección de la película con la permeabilidad a los gases más adecuada es muy importante para que conserve, durante todo el tiempo de vida útil del producto la atmósfera deseada. Los trabajos que se han realizado acerca de la permeabilidad y su influencia en la extensión de la vida de anaquel han sido de gran

utilidad, tanto para comprobar la eficacia de los sistemas MAP como para seguir mejorándolos y ahondando en el conocimiento de este campo ⁴⁴

Singh, B K y Singh, T P (1992) estudiaron cómo los tratamientos postcosecha influyen en la vida de anaquel y en la calidad del mango cv Zardaliú. el experimento que realizaron contó de doce tratamientos diferentes que fueron aplicados a los mangos seleccionados

Los resultados que se obtuvieron fueron El porcentaje de putrefacción fue encontrado significativamente alto en la fruta control (sin tratamiento alguno) con 34 99% después de 13 días de almacenamiento Los valores significativamente mas bajos (11 66%) se encontraron en las frutas que se trataron con Captan y envoltura de penódico, la vida de anaquel de las frutas fue encontrada al 13avo día en estas frutas Sin embargo, las frutas tratadas con agua caliente y las frutas tratadas con agua caliente y penódico también mostraron una vida de anaquel aceptable después de los trece días, mientras que la vida máxima de anaquel de las frutas control fue solamente de nueve días Las frutas control estuvieron en contacto directo con el medio ambiente, así que tuvieron una transpiración y respiración más rapidas conduciendo esto a la putrefacción La acción antiséptica del captan pudo inspirar menos pudncion en la fruta Menor putrefacción bajo la cobertura de penódico pudo deberse a la acción de barrera entre la piel de la fruta y el aire ambiental Esto indica claramente que la doble acción del tratamiento de captán y penódico juega un papel importante en la prevención de infecciones causadas por microorganismos responsables de la putrefaccón ⁴⁴

Los resultados en la pérdida fisiológica de peso (PLW, por sus siglas en ingles) fueron mayores (20 34%) en las frutas sin tratamiento y menores (9 23%) en las frutas tratadas con GA₃ después de los trece días de almacenamiento La maxima pérdida peso en las frutas sin tratar se debio a la mayor pérdida de humedad provocada por las altas velocidades de respiración y transpiración por la temperatura alta y la baja HR, en comparacion con las frutas envueltas y tratadas Las pérdidas mínimas de humedad pudieron deberse a las lentas velocidades de respiración y transpiración alteradas por la cubierta de GA₃ y captan. Por esta cubierta, las aberturas de los poros de la piel de la

fruta pudieron ser cerrados. El periódico y las envolturas de polietileno actuaron como barreras contra el flujo o difusión de humedad a la atmósfera. Las pérdidas mínimas de peso durante el almacenamiento de mango Zardalú bajo el tratamiento de GA₃ con envoltura de PE con ventilación, se debió a la doble acción de la cubierta de GA₃ y de la película plástica.²⁴

Dentro de las características de permeabilidad a los gases también se deben de tomar en cuenta los tratamientos cuarentenarios en los que se emplean fumigantes gaseosos para conocer los residuos o la cantidad que entra en contacto con la fruta o producto.

Houck, L. G. y Mackey, B. E. (1989) realizaron estudios sobre la permeabilidad de películas plásticas en los tratamientos cuarentenarios de cítricos con fumigantes como el bromuro de metil (MB, por sus siglas en inglés) y dibromuro de etileno (EDB, por sus siglas en inglés), con el objetivo de determinar la penetración de los fumigantes en las películas que han sido o pueden ser usadas para envolver frutas cítricas, ya que no todas las películas, como ya se ha mencionado, tienen la misma permeabilidad. Algunas películas pueden ser impermeables a los fumigantes de cuarentena, métodos de control que son necesarios para tratar a los cítricos que son enviados de áreas de producción infestadas a mercados libres de insectos. Las películas pueden reducir la penetración del fumigante a niveles más bajos de los requeridos para controlar a los insectos.²⁵

Los nombres y características de las películas y fumigantes que se usaron en este experimento se muestran en el cuadro 3.6.

Existen agujeros muy pequeños en las películas después de que son aplicadas a la fruta. Estos agujeros son hechos por las agujas calientes que se encuentran sobre las barras selladoras de las máquinas de envoltura. Estas aberturas permiten el escape del aire cuando la película se encoge sobre la fruta, previniendo así su rompimiento. Algunos agujeros pequeños en las películas también son hechos por proyecciones, que ocasionan pinchazos y otros se producen naturalmente. Todas estas pequeñas perforaciones en las películas son jaladas fuertemente sobre la fruta durante el

ajustamiento por calor; la pequeña área de superficie de la fruta queda expuesta a los residuos de fumigante ²⁵

CUADRO 3.6 Películas, propiedades y fumigantes probados.

CLAVE	NOMBRE DE LA PELÍCULA	GROSOR (µm)	COMPOSICION	FUMIGANTES PROBADOS	
				EDB	MB
A	FMC Stretch	13	Resinas de baja densidad PVC	+	-
B	BORDEN VF - 71	25		+	+
C	BORDEN T'M - 87	19	PVC	-	+
D	Clysar EHC	19	Copolimeros biaxialmente orientados	+	-
E	Clysar XHC	13	Similar al anterior	-	+
F	Clysar ECL	15	Policetileno biaxialmente irradiado	-	+
G	Clysar E - 141	22	Resinas de LDPE	-	+
H	Cryovac D - 950	15	Poleofina biaxialmente orientada	-	+
I	Cryovac SDX 0463 - 2	19	Policetileno multicapas	-	+
J	Cryovac CP 900	19	Policetileno irradiado	no	-

FUENTE: HOUKK, L. G. y B. E. MACKEY (1989) EDB: Dibromuro de etileno; MB: Bromuro de metil.

En los resultados obtenidos de la permeabilidad de las películas al EDB, los residuos de este fumigante fueron más bajos, después de 48 h de la fumigación, en las frutas envueltas con las películas D y J que en las frutas no envueltas y en las frutas con las películas A y B. Los residuos de EDB en frutas envueltas y no envueltas declinaron rápidamente con el tiempo después de la fumigación, a las 168 h siguientes a la fumigación el EDB había sido desasorbido (< 2 ppm) de toda la fruta. Los residuos de EDB después de este tiempo fueron tan bajos que las diferencias entre los tratamientos fueron difíciles de detectar ²⁵

Las cuatro películas probadas difirieron marcadamente en su permeabilidad al EDB, mientras que las siete películas probadas para la permeabilidad al MB no. Las películas A y B no restringieron el movimiento del EDB excepto, durante la desorción postfumigación. Las películas D y J, sin embargo, restringieron severamente el paso del EDB. La película G puede interferir ligeramente con la desorción del MB. Las películas E y H pueden restringir ligeramente la absorción del MB.

Las películas que restringen el paso del fumigante de cuarentena a la fruta no se pueden usar para estos propósitos. La prueba final de permeabilidad se puede confirmar por la fumigación insecto - infestación de la fruta envuelta en película y usando procedimientos de prueba de cuarentena.²⁵

Las películas que interfieren con la desorción del fumigante de las frutas envueltas (A y B para el EDB y G para MB) pueden ser útiles comercialmente si la dosis de fumigante no daña a la fruta y los residuos en la misma no exceden la tolerancia legal. Las dosis de fumigante se pueden disminuir apropiadamente si los residuos obtenidos son comparables a los que se registran con las dosis de cuarentena usadas en las frutas no envueltas. Si las películas restringen la penetración del fumigante, entonces, las dosis se pueden incrementar para mayor eficacia pero a niveles no tóxicos.²⁵

3.10 Propiedades de barrera de películas comestibles bicapa

Los estudios de permeabilidad y de barrera no solo se han realizado en las películas plásticas sino también en las cubiertas comestibles y para ser más exactos en las cubiertas comestibles bicapa, donde se emplean conjuntamente dos grupos de materiales de cubiertas comestibles para complementar sus propiedades y características obteniendo una cubierta con mejores cualidades que una cubierta hecha sólo con uno de los grupos de materiales para hacerlas (ver anexo).

Greener, I. K y Fennema, O (1989), probaron varias formulaciones y métodos de fabricación de películas comestibles consistentes de hidrocoloides y lípidos (ver cuadro 3.7) para examinar sus permeabilidades al vapor de agua (WVP, por sus siglas en inglés), permeabilidad al oxígeno y otras propiedades físicas. Ellos eligieron una película bicapa, lípido - hidrocoloide, por que los lípidos proporcionan las propiedades de barrera a la transmisión de vapor de agua (WVT, por sus siglas en inglés) y los hidrocoloides dan la fuerza a la película.²⁰

CUADRO 3.7 Terminología de las películas.

DESCRIPCION DE LA PELICULA	ABREVIATURA
Cera de abeja aplicada a una base de MC	Wax - M
Cera de abeja en etanol aplicada a una base de MC	Wax - S
Cera de abeja, ácido graso y EC, todo en etanol y aplicado a una base de MC	Wax composite - S
Acido graso e hidrocoloide en solución de agua y etanol	Fatty acid
Doble cubierta de cera de abeja aplicada a una base de ácido graso - hidrocoloide	Wax - FA - M

FUENTE: GREENER, I. K y O. PENNEMA (1989) *

MC es metilcelulosa; EC es etilcelulosa; M es fundido; S es solvente y FA es ácido graso.

La determinación de la composición de las películas se muestra en el cuadro 3.8 y los resultados de este trabajo se discuten a continuación.

*Permeabilidad al vapor de agua. Las permeabilidades de las tres películas a 25 °C se muestran en la tabla 3.8. bajo un gradiente de HR del 100%, la película Wax- M exhibió una WVP a 25°C de $0.5 \pm 0.05 \text{ g ml/m}^2 \text{ d mm Hg}$, la mejor de las tres películas.

La película Wax - composite S fue la segunda mejor barrera y la película Wax - S fue la más permeable de las tres. El contenido de lípidos de las películas Wax -M, Wax - S y Wax composite - S fue de 3 2, 2 7 2 0 (0 3 mg / cm² de ácidos grasos y 1 7 mg / cm² de cera de abeja) respectivamente ²⁰

CUADRO 3.8 Composición de soluciones usadas para preparar las películas por el procedimiento de dos pasos. * la cantidad de cera fundida fue controlada por ajuste del aplicador.

COMPONENTE	WAX COMPOSITE - S	WAX - S	WAX - M
CAPA			
HIDROCOLOIDE			
Metilcelulosa (g)	11.3	11.3	11.3
Poliétilen glicol 400 (g)	4.0	4.0	4.0
Agua (ml)	66.6	66.6	66.6
Etanol (100%) (ml)	133.3	133.3	133.3
CAPA LIPIDICA			
Etilcelulosa (EC) (g)	3.0	0.0	0.0
Acido esteárico- palmitico (50:50) (g)	2.0	0.0	0.0
Etanol (100%) (g)	100.0	100.0	100.0
Cera de abeja (g)	10.0	15.0	*

FUENTE: GREENEK, I. K. y O. FENNELA (1989) ²⁰ * la cantidad de cera fundida fue controlada por ajuste del aplicador

La WVP de la película Wax - M, a un gradiente de HR del 100%, fue ligeramente mayor que la de la película Wax - FA - M, cuando se expuso a un gradiente de HR de 97%. Esta pequeña diferencia puede deberse a la doble capa de cubierta de cera de abeja de la película Wax - FA -M (con una integridad de cubierta mayor) y a la mayor relación de cera de abeja base hidrocoloidal en la película Wax - FA - M que en la otra. Ambas películas tienen bases hidrocoloidales de grosores idénticos, sin embargo, la película Wax - FA -M tiene una cubierta de cera de aproximadamente 0 005 mm (0 2 mil) de grosor

Las diferencias de WVP de las películas Wax - M y Wax - S tal vez no sea atribuible a la diferencia en la cantidad de cubierta de cera por cm^2 en la base de la película. La cubierta Wax - M generalmente tiene una cubierta de cera de $3.2 \text{ mg} / \text{cm}^2$ de película y tiene un grosor total de película de 0.05 mm . Ajustado al grosor total de la película de 0.025 mm (1 mil), la cubierta de cera pudiera ser de $1.6 \text{ g} / \text{cm}^2$. Un cálculo similar para la película Wax - S da como resultado una cubierta de cera de abeja de $1.5 \text{ g} / \text{cm}^2$, una diferencia que es insuficiente para explicar la diferencia en WVP entre las dos películas. Así que debe ser utilizada una razón diferente para explicar la diferencia en la permeabilidad de las dos películas y tal vez una causa probable sea la diferencia de características de la capa de cera.²⁰

La diferencia también puede deberse a la presencia de etanol en la película Wax - S, lo cual puede tener dos efectos: primero, si el etanol fue absorbido por la capa hidrocolóide no fue completamente removido dentro de la prueba y la matriz del polímero pudo haberse hinchado haciendo más fácil la permeabilidad a la humedad; segundo, algunos componentes de la cera son solubles al etanol y pudieron haber migrado hacia la matriz hidrocolóide, alterando la composición de los componentes de la cera de tal manera que disminuyeran las propiedades de barrera.

Las WVP para las películas Wax - M y Wax - S fueron determinadas usando un gradiente de HR del 32% (97 - 65). Este gradiente fue usado para simular un gradiente que puede ser encontrado en un alimento que contenga componentes con diferentes actividades de agua. En este caso, el lado de los lípidos de la película fue puesto en contacto con el componente de actividad de agua alta, aproximadamente 0.97 Aw y el lado hidrocolóide de la película fue puesto en contacto con el lado de Aw más bajo, de aproximadamente 0.65 . Este tipo de gradiente de HR es una prueba extremadamente severa para probar la efectividad de las películas comestibles como barreras a la WVP. Los valores de estas pruebas se muestran en el cuadro 3.9.²⁰

CUADRO 3.9 Permeabilidades de vapor de agua de películas bicapa como una función de los gradientes de humedad relativa.

PELICULA	GRADIENTE DE HR (%)	WVP A 25 °C*
Wax - S	100 - 0	1.6 ± 0.4
	97 - 65	7.3 ± 3.8
Wax - M	100 - 0	0.5 ± 0.05
	97 - 65	7.8 ± 3.0
Wax composite - S	100 - 0	1.0 ± 0.2
	Acido graso	
	97 - 0	1.8
	85 - 0	0.3
	97 - 65	10.1
Wax - FA - M	97 - 0	0.3 ± 0.1
	97 - 65	0.8 ± 0.6

FUENTE: GREENER, I K y O PENNEMA (1989) * $\mu\text{g ml/m}^2 \text{ dia mm Hg}$

La película Wax - FA - M fue mucho menos permeable que ninguna de las otras películas en el gradiente de HR de 32%. Dos características composicionales de esta película pudieron causar una mejor retención de sus propiedades de barrera a la condición de 32% de HR, primero es la única película tipo de cera que contenía ácidos grasos en la capa base, se ha mostrado que la alteración en la composición de la capa base de una película bicapa que contiene lípidos puede modificar sus características de WVP, la película Wax - FA - M poseía una capa de cera que fue aplicada en dos pasos y fue más gruesa que las capas de cera de las otras películas. Esto pudo hacer capaz a la película de aguantar el estrés impuesto cuando la capa base se hidrató y se expandió.

Las WVP de las películas estudiadas en relación a otras muchas películas de empaquetado comestibles o no se muestran en el cuadro 3.10. Cuando se expusieron a grandes gradientes de HR las películas desarrolladas en este estudio permanecieron muy bien en comparación con vanos materiales de empaquetado no comestibles.²⁰

CUADRO 3.10 Permeabilidad al vapor de agua de películas comestibles y no comestibles.

PELICULA	GROSOR (mm)	TEMPERATURA (°C)	GRADIENTE DE HR (%)	WVP (g·mil/m ² día mm Hg)
Pectinato	0.036	25	81 - 31	297
Metilcelulosa	0.025	87.5	95	46.3
Celofán	-	37.8	95 - 0	6.64 - 33.2
Wax - S	0.045	25	100 - 0	1.6
Wax composite - S	0.043	25	100 - 0	1.0
Papel encerado	-	37.8	95 - 0	0.0664
Wax - M	0.051	25	100 - 0	0.5
LDPE	-	37.8	95 - 0	0.406
Wax - FA - M	0.056	25	97 - 0	0.3
Acido grass	0.041	25	85 - 0	0.2
Polipropileno	0.043	23	91 - 0	0.132
Polipropileno de alta densidad	0.032	23	91 - 0	0.0085

FUENTE: GREENER, I. K. y O. PENNEMA (1989) ²⁰

*Permeabilidad al oxígeno Las permeabilidades al O₂ de las películas Wax - M y Wax - S fueron determinadas a una HR de 0% y 25 ± 2 °C, los resultados se muestran en el cuadro 3 11 Estos resultados también se presentan en términos de resistencia, debido a que la resistencia al O₂ de la película Wax - S fue casi dos o tres veces mayor que la de las películas Wax - M y Wax composite - S Los valores de la permeabilidad al O₂ para las tres películas estudiadas no se encuentran en el mismo orden que los valores obtenidos de WVP, esto no es inusual ni inesperado ya que los mecanismos primarios de permeabilidad al vapor de agua difieren para el O₂ La transmisión de O₂ ocurre primeramente por una difusión gaseosa mientras que la transmisión de vapor de agua incluye la sorción y la difusión del mismo ²⁰

CUADRO 3.11 Permeabilidad y resistencia al O₂ de las películas hidrocoloideas bicapa.

PELICULA	PERMEABILIDAD AL O ₂ (g cm/cm ² s mm Hg)	RESISTENCIA AL O ₂ (s/m ²)
Wax - M	0.021 ± 0.002	4.37
Wax - S	0.007 ± 0.002	11.27
Wax composite - S	0.9 ± 0.001	8.26
Papel con cera de abeja	-	16.4

FUENTE: GREENER, I. K. y O. FENNEMA (1989) ²⁰

La habilidad de la película Wax - S para resistir el paso del O₂ más eficientemente que las otras películas puede estar relacionada con el espesor de la cera de abeja (la cubierta de cera de la película Wax - M era más gruesa que la de las otras películas) a diferencias estructurales provocadas por las diferentes técnicas de cubierta o en el caso de la película Wax composite - S una diferencia composicional.

La permeabilidad al O₂ de las tres películas está comparada con otras películas no comestibles en el cuadro 3.12, donde es evidente que las películas hechas para este trabajo poseen propiedades de barrera al O₂ que son comparables a muchas de las que poseen los materiales comerciales de empaque ²⁰

CUADRO 3.12 Permeabilidad al O₂ de películas comestibles y no comestibles al O₂.

PELICULA	GROSOR (mm)	TEMPERATURA (°C)	GRADIENTE DE HR (%)	PERMEABILIDAD AL O ₂
LDPE	0.025	25	-	0.50
ALMIDON	0.79	24	-	0.42
HDPE	0.025	25	-	0.125
PAPEL KRAFT	-	40	-	0.021
WAX - M	0.051	25	0	0.021
WAX COMPOSITE - S	0.043	25	0	0.009
WAX - S	0.045	25	0	0.007
CELOFAN	-	25 - 30	-	0.001

FUENTE: GREENER, I. K. y O. FENNEMA (1989) ²⁰

Como las películas Wax - M y Wax - S son relativamente buenas barreras a la transmisión de O_2 , pueden ser consideradas como cubiertas para alimentos sensibles al O_2 ; por ejemplo cubierta de frutas y hortalizas frescas, ellas pueden restringir la entrada de O_2 lo suficiente para disminuir, mas no para detener, la respiración aeróbica, ayudando a extender la vida de anaquel de estos productos

La factibilidad de usar la película Wax - M comercialmente parece prometedora, considerando el grado alimenticio de todos sus componentes, el bajo costo, la facilidad de fabricación y la probable ausencia de problemas sensoriales en los alimentos que son calentados durante su preparación. Las propiedades sensoriales de esta película dependen de la composición química, con que facilidad se desintegra con el calentamiento y que sensación provoca su textura en los alimentos que no son calentados ²⁰

Generalmente, la velocidad de transmisión de agua por una película de lípidos incrementa con la disminución de la cadena de hidrocarburos del lípido y conforme incrementa la insaturación o enramado de las cadenas acil, además la resistencia a la humedad de las películas de lípidos es inversamente proporcional a la polaridad de los mismos, los alcanos hidrofóbicos y ceras como la parafina y la cera de abeja son las barreras mas efectivas que existen. Sin embargo la información específica sobre las propiedades de barrera al vapor de agua (WV, por sus siglas en inglés), de los lípidos mas hidrofóbicos, es muy poca y casi todos los datos disponibles han sido registrados usando gradientes de HR de 100 - 0% lo cual no es muy comun de encontrar en alimentos

Fennema et al (1993) realizaron el estudio de películas bicapa comestibles, enfocandose principalmente a 1) diferencias en las propiedades de barrera al WV de los lípidos elegidos, 2) dependencia de las propiedades de barrera al WV de las películas de lípidos y lípido - hidrocóloride sobre la magnitud del gradiente de la HR que atraviesa la película y la posición del gradiente de la HR en el espectro de la HR y 3) la permanencia de las películas comestibles en los alimentos ¹⁵

La metilcelulosa (MC), carboximetilcelulosa de sodio (CMC), la etilcelulosa (EC) e hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) fueron probadas como el componente hidrocoloide de las películas lípido - hidrocoloide (L - H)

La capa hidrocoloide tiene dos propósitos proporcionar soporte estructural a las películas de lípidos que son subsecuentemente aplicadas y facilitar la preparación de las películas de lípidos con una integridad buena

Los lípidos seleccionados para este estudio fueron triestearin (TS), estearil alcohol (StA), ácido esteárico (SA), mezclas 50 - 50% de SA y ácido palmítico (PA), hexatriacontano (HT), cera blanca de abeja (BW) y monoglicéridos acetilados (AG) El TS, el StA, el SA y el HT fueron seleccionados como compuestos representativos del triglicérido, alcohol graso, ácidos grasos y algunos alcanos, como moléculas de lípidos El AG y la BW fueron evaluados por el gran interés permanente en estos materiales lípidos como barreras comestibles a la humedad Una mezcla 80 - 20% de BW y GA (BW/GA) fue también probada por tener aplicaciones de película para alimentos y un punto de fusión que es más apropiado que el de la BW sola, debido que al añadir el AG el punto de fusión de la BW disminuye y también la probabilidad es menor de la detección sensorial en los alimentos calientes¹⁵

Entre las características que se midieron a las películas hechas en este trabajo están las siguientes:

***Permeabilidad comparativa al WV en películas de lípidos (con un gradiente de HR de 100 - 0):** Los lípidos SA y TS exhibieron una permeabilidad mayor al WV, ambos lípidos son relativamente polares - el grupo carboxil contribuye a la polandad en la SA y los grupos carbonil en el TS Las propiedades polares de estos dos lípidos son evidentes a partir del factor de que ambos pueden ser inducidos a la forma de monocapa sobre una superficie de agua. Por los grupos hidrofílicos que están presentes, estos lípidos pueden absorber agua y debido a esto los flujos de agua incrementan El carácter cristalino de la película Sa apareció dejando canales o espacios vacíos que pueden disminuir la resistencia, al hacer rutas que facilitan el transporte del WV.

El HT exhibió una permeabilidad mas pequeña al WV que la de SA y de TS. Esto no es de sorprender pues el HT es extremadamente no polar, tanto que no tiene una tendencia para interactuar con el agua. Basándose en las características no polares y su larga cadena saturada de hidrocarbonos, uno puede anticipar si una sustancia exhibe una resistencia más grande a la WV¹⁵

La barrera de GA fue la siguiente mejor barrera al vapor de agua, lo cual fue algo inesperado considerando que es una molécula moderadamente polar y tiene un bajo punto de fusión (41 - 46 °C) que puede contribuir a la fluidez de la cadena. Ambas propiedades pueden aumentar el valor de la habilidad de absorber y transmitir el agua. La razón por la cual esto no ocurre, probablemente se deba a su estructura. Estos lípidos tienen una superficie lisa en la que no se distingue ningún rasgo. Los canales o espacios vacíos no fueron evidentes, así que la poca resistencia que presenta el camino de la difusión aparentemente no está presente.

El SA exhibió una permeabilidad al vapor de agua moderadamente menor que la obtenida en algún otro lípido anterior. El grupo hidroxilo puede impartir un carácter hidrofílico a la molécula, pero decididamente menor que el impartido por el grupo carboxilo y el carbonilo presentes en SA y TS, respectivamente. Aunado a este carácter hidrofóbico, los canales cristalinos de SA son mucho más estrechos que los de la película SA, teniendo menor potencial para el paso de las moléculas de agua. Esta clase de arreglo puede proporcionar una excelente barrera al vapor de agua.

La BW es una mezcla de moléculas de lípidos con propiedades no polares deseables, los ésteres de cadena larga, alcoholes y ácidos grasos son los componentes mayoritarios y los ácidos grasos libres los minoritarios. Además, los ésteres contenidos en la cera, con su grupo carbonilo, son puestos dentro de la matriz de la larga cadena de hidrocarbonos y además tiene una pequeña contribución con la hidrofiliidad¹⁵

La superficie de la película BW fue relativamente lisa y un carácter cristalino no fue visual, aparentemente. Sin embargo la difracción de rayos X confirmaron que la BW es parcialmente menos cristalina en la naturaleza. Como previamente se postuló para

GA, la falta de rasgos morfológicos bien definidos puede contribuir a la alta resistencia de la transmisión del vapor de agua. Por la minimización de cristales, que de otro modo pueden servir como caminos para la migración del vapor

La BW pura, tiene la permeabilidad mas pequeña, comparada con las otras películas probadas, el valor de permeabilidad fue cercano a la mitad del valor de BW montada sobre papel filtro W 50 La mezcla BW / AG tuvo una permeabilidad al vapor de agua más grande que la de la BW pura, este incremento puede deberse a las propiedades del AG ¹⁵

***Influencia de la magnitud y localización del gradiente de HR** Aunque un gradiente de HR de 100 - 0% es frecuentemente usado para tasar las propiedades de barrera al vapor de agua de los materiales de empaçado para alimentos, en algunas instancias, cuando el gradiente no refleja condiciones previstas en el alimento. Tampoco puede asumirse que las propiedades de barrera obtenidas, usando un gradiente de 100 a 0%, pueden ser usadas para predecir las propiedades de barrera de la película a otro gradiente. Consecuentemente es importante probar las películas para alimentos a gradientes diferentes de 100 a 0% de HR. Los resultados reportados en esta parte del estudio, son los valores de permeabilidad de las películas en gradientes de HR de 100 a 0, 100 a 80, 100 a 65 y 100 a 50. El componente lipídico de las películas fue la cera de abeja y los hidrocoloides fueron MC, CMC o EC. Las diferencias significativas entre los valores de permeabilidad de las películas a un gradiente de HR dado, no ocurrieron sino hasta el lado seco, donde la HR incrementó hasta 65%. Esta diferencia se hace más evidente en el gradiente de humedad de 100 a 80% existiendo menos permeabilidad cuando la película fue de BW - EC y mayor para la película de BW - CMC

Es interesante que las películas L - H preparadas con EC se comportaron de forma diferente que las películas preparadas con los otros hidrocoloides. Cuando el lado con menor porcentaje de HR fue aumentando, la permeabilidad fue independiente del gradiente de HR cuando EC fue usada. Sin embargo, la EC no es una buena barrera a la transmisión de vapor de agua comparada con la BW, pero si es mucho mejor barrera

que la MC y la CMC Pero no hay una diferencia significativa en la permeabilidad al vapor de agua de la película BW - hidrocoloide y películas de BW cuando se probaron a un gradiente de HR de 100 a 0%. Lo cual no es inesperado ya que la permeabilidad al vapor de agua de estos materiales celulósicos es muy grande en comparación con la de la BW ¹² Esta tendencia de incrementar la permeabilidad al vapor de agua, como el gradiente de la HR es cambiado al aumento final del espectro de la HR, fue observada previamente en el laboratorio con películas L - H. Estos primeros resultados con estas películas, fueron atribuidos a la hidratación e hinchamiento de la película hidrocoloide, con presumible rompimiento, asociado a la capa de lípidos adherente. Obviamente, esta teoría no es relevante para películas de lípidos puros ¹⁵

Otra posibilidad es que la BW, a HR altas, pueda absorber suficiente agua para afectar su permeabilidad, la BW es quizá hidrofóbica, pero no está totalmente carente de grupos hidrofílicos. Los grupos éster en la capa de cera son hidrofílicos, como lo son los grupos carboxilo de los ácidos grasos libres, sin embargo, los grupos polares de los ácidos grasos y los alcoholes, están emparejados entre cadenas alifáticas y pueden, a HR altas ser capaces de hidratarse lo suficiente para influenciar en la permeabilidad al vapor de agua. Esta posibilidad está sustentada por el incremento significativo en la humedad absorbida por la BW a una HR de 80%, comparada a la absorbida a HR más bajas. Este incremento en la hidratación puede deberse al hinchamiento de la matriz, incrementando la movilidad del agua y a su vez incrementando el coeficiente de difusión ¹² Otras películas comestibles hechas de proteínas como gelatina, caseína, seroalbúmina y albúmina de huevo tienen propiedades de barrera al vapor de agua pobres. Las películas comestibles, utilizadas como cubiertas de frutas y hortalizas mínimamente procesadas, han sido preparadas de emulsiones acuosas con cantidades iguales de caseína y monoglicéridos acetilados, se ha encontrado que estas películas exhiben la mitad de la permeabilidad al agua que las de películas hechas sin lípidos. La desnaturalización térmica de las proteínas puede mejorar las propiedades barrera al vapor de agua de la película. Se ha comprobado que los enlaces cruzados de las proteínas de la leche presentan mejores propiedades que los plastificadores comúnmente empleados, sin comprometer la resistencia de la película ¹⁵

CONCLUSIONES

- Cuando se realiza un envasado con atmosfera modificada, es muy importante seguir todos los pasos del sistema de manejo postcosecha, para que los productos hortofrutícolas estén preparados y en condiciones sanitarias para obtener todos los beneficios que brinda la atmosfera modificada ya que si el producto no recibe una limpieza adecuada y contiene suciedad y microorganismos o no se llevo a cabo un preenfriamiento adecuado su metabolismo se acelerara y la atmosfera creada especialmente para ese producto no funcionara como un metodo de conservacion apropiado

- De acuerdo al analisis realizado se concluye que los factores que tienen una mayor influencia sobre la vida de anaquel de los productos hortofrutícolas envasados con atmosfera modificada son la temperatura, la humedad relativa, la concentracion de oxigeno y la concentracion de dióxido de carbono dentro del envase, por lo que es indispensable mantener un control adecuado sobre estos para evitar la aceleración del metabolismo, la condensación de humedad dentro del envase, condiciones aerobicas y concentraciones de CO_2 que no tolere el producto y por lo tanto obtener una mayor vida de anaquel

- Entre los factores que se deben de considerar para seleccionar un material de envase el más importante, en el caso particular del envasado con atmosfera modificada es la permeabilidad al vapor de agua y al O_2 , ya que de este factor va a depender completamente la conservacion de la atmosfera creada especificamente para el producto. La elección de las películas por lo tanto se hacen de acuerdo a sus valores de permeabilidad a los gases y al vapor de agua de acuerdo a la atmosfera que se desea conservar, siempre son elegidas las películas que permiten una mayor entrada de O_2 que de CO_2 para reponer el O_2 consumido por la respiracion del producto y una más rapida salida del CO_2 para evitar su acumulacion por que puede causarle severos daños al producto

- De las atmósferas modificadas, pasivas y activas las activas son las más comúnmente empleadas por que se aprovechan todos los beneficios de la misma al generarse de forma rápida y exacta, la desventaja de la atmósfera pasiva es que se va generando conforme el producto va respirando y se tarda mas tiempo en establecerse lo que la hace menos eficiente

- Cuando se trata de envasado con atmósfera modificada para frutas y hortalizas mínimamente procesadas, además de considerar todos los factores intrínsecos y extrínsecos del producto, del envase y del ambiente, es necesario tomar en cuenta la temperatura del almacenamiento, puesto que la atmósfera creada especialmente para el producto se puede perder por una mala dirección de la temperatura a lo largo de la cadena de comercialización y todos los esfuerzos para lograr una vida de anaquel mayor se verían frustrados

- De todas las películas plásticas, las más empleadas en el envasado con atmósfera modificada son el polietileno de baja densidad (LDPE) Y el cloruro de polivinilo (PVC) por que sus valores de permeabilidad al O_2 y al CO_2 son los que mejor se adecuan para mantener la microatmósfera establecida. Otro material muy empleado es el poliestireno, aunque por sus valores de permeabilidad es más apto para productos con velocidades de respiración muy bajas

Anexo

TIPOS DE PELICULAS

Los plásticos son conocidos generalmente como sustancias que pueden ser moldeadas dentro de alguna forma cuando se les aplica calor. Se puede encontrar una gran variedad de plásticos naturales como resinas, anbar, goma, etc. aun el término plástico se usa en relación con las sustancias hechas por el hombre. Los plásticos son hechos de moléculas o partículas, las cuales son llamadas polímeros. El material crudo más útil para hacer plásticos sintéticos es el petróleo. Los plásticos son ligeros muy resistentes y conocidos aislantes, además, tienen una amplia gama de usos. Los plásticos son empleados en varias operaciones de tecnología postcosecha de frutas y hortalizas por que no se oxidan, no se pudren y no reaccionan con las sustancias químicas. Las pérdidas postcosecha son problemas severos en el manejo y comercialización de los productos hortofrutícolas que son altamente perecederos. Muchas pérdidas pueden ser substancialmente reducidas al adoptar un manejo adecuado.³¹

El uso de plásticos en el empaque de productos hortofrutícolas ayuda a minimizar el costo de los materiales de empaque y hace que todo el proceso sea menos dependiente de materiales escasos como la madera, dando como resultado una conservación del ambiente. Para entender el papel de una película para empaque en el diseño de un MAP, es necesario considerar el potencial inherente de un sistema con atmósfera modificada.³⁴

Un número de diferentes polímeros con distintas permeabilidades al gas y al vapor de agua y otras propiedades, es usado para hacer paquetes, entre los cuales se encuentra el polietileno de alta y baja densidad (HDPE y LDPE), polietileno de densidad lineal baja (LLDPE), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP), poliéster (PET), nylon, etc. Las películas que se han desarrollado recientemente con nuevos métodos de fabricación como la coextrusión, mezclado, uso de plastificadores son la película de

vinilacetato etileno (EVA), existen también otras películas que responden a las fluctuaciones de la temperatura mediante la modificación de su matriz estructural que les permite un ajuste a la permeación del gas ³⁰

En los últimos treinta años, se han realizado diversas investigaciones sobre el uso de películas y cubiertas comestibles. Han sido usadas como barreras al gas o solutos en alimentos heterogéneos o entre el alimento y su ambiente para extender su vida de anaquel y proteger su calidad ¹⁸. Los consumidores demandan más calidad y una vida de anaquel más larga en los alimentos, mientras se reducen los materiales disponibles de empaçado y se incrementa el reciclaje. Tal interés ha causado un incremento importante en la investigación de películas comestibles. Las películas comestibles o biodegradables, regulan el movimiento de agua, oxígeno, dióxido de carbono y lípidos en el alimento, proporcionando un potencial de soluciones para tal interés. Los investigadores están estudiando las películas de proteínas, polisacáridos y lípidos, solos y en combinación, por su efectividad como barreras al movimiento de transferencia de masa ³⁰. Las películas comestibles hidrofílicas tienen propiedades de barrera al oxígeno y al dióxido de carbono a humedades relativas bajas y las películas comestibles de lípidos tienen propiedades de barrera al vapor de agua pero propiedades mecánicas menos efectivas ³⁰.

Películas Plásticas comúnmente usadas en MAP.

Existe una variedad de películas plásticas enorme, sin embargo, solo una cuantas son útiles en el empaçado de frutas y hortalizas en fresco con atmósfera modificada. En seguida se mencionan las películas más importantes para el MAP y algunas de sus características principales.

***Polietileno de baja densidad(LDPE):** Relativamente inerte, su permeabilidad es moderadamente baja al vapor de agua, pero alta al oxígeno. En general, la permeabilidad al gas es alta con propiedades pobres como barrera a los olores, los aceites esenciales la atraviesan rápidamente. Esta relacionado al LDPE el vinilacetato de etileno (EVA) un copolímero de etileno y vinilacetato (usualmente con más del 4% de

vinilacetato). El copolimero tiene cualidades superiores de sellado ²¹

Cuando es usado con otras películas para cubiertas, base de tejido, charolas preformadas, empaçado a granel con gas, bolsas o tejido para maquinana de forma vertical / horizontal-llenado-sellado, el polietileno puede ser laminado o coextruido. La elección del proceso está en manos del productor de la película o de los requerimientos del empaçador y también depende del alcance individual y de los costos. Por lo tanto es posible para un empaçador con MAP comprar un rollo de tejido de dos diferentes fabricantes, uno con cubierta laminada y el otro con cubierta coextruida, para correrlas consecutivamente en la planta sobre vanas máquinas ²²

La importancia de esto se hace relevante cuando un tejido de cubierta debe considerarse para un paquete específico. Las diferencias pueden ser las siguientes ²²

- a) **Laminación:** La laminación permite una impresión "sandwich", el estampado queda entre los dos tejidos, en la superficie más brillante y la impresión no entra en contacto con la cara que va a sellarse. La selección de los polietilenos en forma de tejido sencillo, producidos a bajas temperaturas es más grande.
- b) **Cubierta de extrusión:** Esta cubierta comúnmente utiliza una superficie de impresión sobre un lado. Sin embargo con tintas altamente brillantes se obtienen resultados excelentes.
- c) **Ciudad:** Ambos formatos producen tejidos de cubierta de gran calidad.
- d) **Características antiempañantes:** Estas características varían ligeramente entre los procesos. Sin embargo el funcionamiento actual siempre depende de las condiciones almacenamiento/presentación. Ambos sistemas producen sistemas comercialmente aceptables.
- e) **Cadenas resistentes:** Ambos procesos producen una cadena fuerte, capaz de soportar las cargas impuestas por un tejido de cubierta superior y una base de tejido

formada. Ambos tejidos, cubierta y base, son tensionados durante el proceso de un MAP. El tejido de arriba encuentra una tensión lineal durante sus pruebas y/o aplicación,

entonces el área de la superficie es tensionada cuando se hace el llenado de gas y el sellado. El tejido base es tensionado y deformado durante el proceso de formación de charolas, cuando sufre un calentamiento significativo, entre 120 y 140 °C. Por lo tanto los adhesivos usados en laminación deben ser resistentes y extensibles.²¹

***Polietileno lineal de baja densidad(LLDPE):** También conocido como polietileno de baja densidad baja presión, mucho antes de que esta película se pudiera conseguir ampliamente en el Reino Unido y Europa, estaba disponible en Canadá por la Dupont. Después la Union Carbide anunció un nuevo proceso para hacer el LLDPE, señalando sus ventajas sobre el polietileno de baja densidad. Subsecuentemente los productores de resinas como ESSO obtuvieron licencia para producirlo. Dow Chemical también entró al mercado con un producto basado en su propia tecnología.²²

Las ventajas sobre el LLDPE son las siguientes:

- Es más resistente al calor (la habilidad de proporcionar una cadena más resistente antes de que el sello se halla enfriado)
- Mayor rigidez
- Permite el uso de calibres más bajos
- Mayor resistencia al impacto
- Mayor resistencia a las rasgadas
- Mayor fuerza de resistencia
- Mayor potencial de elongación
- Resistencia más grande a las hendiduras por estrés ambiental.
- Mayor resistencia al calor
- Mayor resistencia a los pinchazos

Desventajas del LLDPE

•Se requieren temperaturas más altas de sellado

- **Transparencia inferior.**
- **Requiere de mayor energía para su extrusión que el LDPE estándar.**
- **Dificultad para incorporar aditivos**
- **Incremento de costos**
- **Menor brillantez**

De estos puntos se puede ver que el polietileno lineal de baja densidad puede satisfacer ciertos requerimientos especiales pero a un costo, ambos financiera y tecnológicamente ²¹

***Polietileno de alta densidad (HDPE):** Tiene un punto más alto de ablandamiento que el LDPE, proporciona propiedades de barrera superiores y es una película más dura. No es apropiado para el sellado, por lo que no se puede encontrar como tejido base termoformable, pero es uno de los tejidos en una forma coextruida compuesto para tapa o cubierta. Sin embargo, algunas compañías producen charolas preformadas de HDPE apropiadas para cubiertas ⁴⁴

***Polipropileno (PP):** Es químicamente similar al polietileno y puede ser extruido o coextruido con un elemento monómero que proporciona una característica de sellado en caliente. El PP en forma orientada, proporciona rangos más altos de barrera de vapor que el polietileno, también proporciona características de barrera mucho mayores a los gases (de 7 a 10 veces más que el polietileno). Además, tiene una excelente resistencia a la grasa ⁴⁴

***Ionómeros:** El primer ionómero disponible comercialmente fue un polímero de etileno, "Surlyn A", similar en muchas propiedades al polietileno pero con varias ventajas en términos prácticos. Tiene una alta resistencia de contacto y de sellado a un nivel de contaminación de superficie. Los ionómeros pueden ser usados en cubiertas de extrusión. Las cubiertas muy delgadas pueden ser obtenidas, pero a menos que sean muy necesarias, por sus propiedades particulares el costo puede reducir el uso. ⁴⁴

***Copolímero de Etileno vinil acetato (EVA):** Es un copolímero con alta flexibilidad en forma de hoja con una alta permeabilidad al vapor de agua y a los gases, más que el LDPE. En cubiertas y como base de películas su valor principal es como un

elemento componente del sellado de las principales películas (es un aditivo del polietileno laminado). Por ejemplo, la adición de un 4% mejora la sellabilidad, en tolerancia y habilidad para hacer frente a un nivel menor de superficie de contaminación por el producto o agua en el área de carga del producto ¹

***Cloruro de polivinilo (PVC):** En forma implantada (UPVC) esta película es más ampliamente usada como tejido base termoformable para el empaquetado con atmósfera modificada. El PVC es una buena barrera al gas y una barrera moderada para el vapor húmedo. Tiene una resistencia excelente contra el aceite y la grasa y en su forma implantada es capaz de alisarse, formando charolas poco profundas y profundas. Para maximizar su potencial de formación se deben utilizar calor y presiones de formación. Para una mejor distribución del calibre para profundidades más grandes la técnica de la maquinana "tapón de ayuda" es recomendada ²¹

Las propiedades de barrera, así como las propiedades físicas, varían con el calibre, por lo tanto el grosor particular del calibre y el calibre del polietileno laminado, deben ser seleccionados con la profundidad de la forma y más particularmente con el área de superficie final en relación al área de superficie inicial antes de formarla. En la práctica, algunas compañías consideran el grosor de las esquinas del paquete de 15 micras, menos, con respecto al grosor inicial, como un mínimo efectivo. A este calibre con la fuerza de los lados formados del empaque, posiblemente se ondulen con el esfuerzo, las esquinas de forma más baja pueden ser delgadas o relativamente suaves. En términos convencionales el paquete debe ser válido con áreas de alta permeabilidad al vapor húmedo y a los gases en las áreas de calibre menor.

El UPVC es proporcionado por diferentes compañías quienes hacen sus propias formulaciones. El PVC es molido y calandrado con la mezcla de constituyentes requeridos para obtener una mezcla deseada apropiada para los mercados que

compran a la compañía. Esto proporciona un rango de propiedades de las que el fabricante puede seleccionar a un grado disponible para un paquete poco profundo/angosto. Como un tejido base el UPVC puede ser coloreado o impreso. Comúnmente la película clara es usada.²¹

***Copolímero de cloruro de polivinilideno (PVdC):** Este es un copolímero del cloruro de polivinilo, usado en el empaquetado con atmósfera modificada como una barrera al gas para películas de tapa y en formación de películas como un tejido sandwich de barrera. Tiene propiedades sobresalientes con respecto a los niveles de barrera, con baja permeabilidad al vapor de agua y a los gases. Es la única barrera efectiva comercialmente, como cubierta y es usada principalmente con poliesteres y polipropileno orientado, para películas de cubierta. Además es ofrecido con poliestireno como un tejido base pero su uso en esta forma no es común.²⁵

***Poliestireno (PS):** Es un termoplástico claro con una resistencia alta a la tensión, pero pobre como barrera al vapor de agua y a los gases. El poliestireno, primeramente es muy brillante pero por su mezcla con estireno (butadieno o polibutadieno) su brillantez es algo menor, las propiedades para la termoformación pueden ser obtenidas. Es común como una capa en sandwich (posiblemente un etileno vinil alcohol (EVOH)) entre el PS y un polietileno con características sellantes.

Para mayor claridad es aconsejable separar las características requeridas para un MAP comercializable dentro de grupos. Es posible para los científicos concentrarse sobre los atributos técnicos sin considerar la comercialización del producto pero en este mundo moderno comercial la economía es una función que si se ignora es peligrosa.³⁵

***Celofán (celulosa regenerada):** Existen varios tipos con atributos variables, es manufacturada como cubierta de charolas, se emplea en bolsas o "capuchas" para canastos. El celofán sencillo (en una capa) aunque barato no es resistente al polvo del aire, grasas o aceite y no puede ser sellado en caliente. Es impermeable a los gases secos pero permeable a los gases húmedos en proporción a la solubilidad en agua del gas; se producen grados de celofán que son usualmente capas de nitrocelulosa que lo

vuelven resistente o semirresistente a la humedad según se requiera ⁴⁴

***Pliofilm (goma hidroclorídrica):** Es otra película fuerte con buena resistencia a la humedad y con propiedades similares a las del polietileno. Puede ser usada para bolsas de algunos productos pesados. Es altamente insensible a la transmisión de aire, humedad y líquidos ⁵⁶

Las consideraciones que se deben de tomar en cuenta al elegir una película para MAP son

1)

- Permeabilidad al O₂
- Permeabilidad al CO₂
- Permeabilidad al N₂
- Permeabilidad al vapor de agua
- Características de sellabilidad.
- Habilidad de termoformación
- Habilidad para formarse en mov. lineal.
- Resistencia a los pinchazos.
- Ciandad
- Propiedades antiempañantes
- Nivel requendo de rigidez.

2)

- Costo por m²
- Habilidad para imprimir sandwich/superficie.
- Habilidad para aceptar códigos o etiquetas.
- Disponibilidad de película
- Poco tiempo para abastecerla.

Estas listas proporcionan los requerimientos de un amplio rango de paquetes, pero no todo lo relativo a todos los paquetes. Los termoformados, el empaçado a granel con gas, las películas de empaçado vertical u horizontal tienen diferentes características de maquinabilidad, por lo que no todos los puntos son relevantes. Aun así la tecnología de

empacado debe seleccionar los factores apropiados de ambas listas para obtener las especificaciones más adecuadas ²¹

Cubiertas laminadas, coextruidas y extruidas.

Varias películas requieren las propiedades de formabilidad y sellabilidad, dependiendo primeramente del trabajo para el que se necesitan. Un requerimiento inherente de todos los paquetes MAP es la habilidad de retener la atmósfera deseada tanto como sea posible. Esto es llevado a cabo por la selección de una o unas películas que proporcionen las características de permeabilidad al gas y al vapor de agua y segundo, asegurando el sellado total alrededor del paquete. Con las charolas termoformadas o formadas tapadas, la interfase del sellado es crítica; con los paquetes de forma horizontal/vertical - llenado - sellado los sellos finales y anteriores deben de ser válidos. El único formato donde el sellado toma prioridad sobre la validez actual del gas, es cuando las películas perforadas son usadas con productos como las frutas y hortalizas, que respiran ²¹

Como se mencionó anteriormente algunas películas pueden ser laminadas o coextruidas. Las películas de polipropileno perforadas y coextruidas son las únicas películas usadas solamente en MAP y es normal combinar de dos a cinco películas para obtener propiedades adecuadas, con posiblemente dos de las cinco películas, en coextrusión formando capas entrelazadas, para poder decir que el tejido forma barreras y proporciona características de sellabilidad. La laminación adhesiva puede ser simple con solo la formación del sellado, pero incluyendo un tejido base o un adhesivo de una película extruida, para una base de tejido con características de sellado, haciendo un producto multicapa, al elaborar más el proceso, incrementa más el costo ²²

Cubiertas comestibles: Teoría y tecnología.

El uso de cubiertas para frutas y hortalizas no es un concepto nuevo pues existen datos de su uso desde los siglos XII y XIII ²². Los biopolímeros pueden ser usados para la formulación de empaques biodegradables, para reemplazar a los plásticos de corta

vida Estos biopolímeros generalmente están hechos de uno o más de los cuatro materiales principales: lípidos, resinas, polisacáridos y proteínas. El grado de cohesión de la película depende de la estructura del polímero, del procedimiento de preparación, diferentes parámetros físicos (temperatura, presión, tipo de solvente y dilución, técnicas de aplicación, técnica de evaporación del solvente, técnicas de aplicación, etc.) y la presencia de plastificadores y aditivos. Los plastificadores como alcoholes polihidrílicos, ceras y aceites son añadidos para conferir flexibilidad y elongación a las sustancias poliméricas.

La adición de agentes tensoactivos y emulsificantes reduce la tensión superficial del agua y la velocidad de la pérdida de humedad de los productos hortofrutícolas. Los agentes relajantes y lubricantes son añadidos para prevenir de la pegajosidad a los productos envueltos, entre estos se pueden incluir grasas y aceites emulsificantes, petrolato, polietilenglicol y silicón.^{3, 26}

Materiales para hacer cubiertas comestibles.

Los materiales empleados para la realización de las cubiertas comestibles tienen diferentes características y distintas propiedades: los grupos de materiales que pueden ser usados para formar cubiertas comestibles son a) proteínas, b) celulosa, almidón, dextrinas y derivados, c) plantas hidrocoloides, d) ceras, grasa, monoglicéidos y derivados e) mezclas de diferentes materiales.²¹

***Lípidos:** Las cubiertas con base de lípidos están hechas de ceras y aceites, como la parafina, cera o aceite, cera de abeja, cera carnauba, cera candelilla, aceite mineral, monoglicéido acetilado, ácido esteárico, ácido láurico o ésteres de sucrosa de ácidos grasos. Estas cubiertas son efectivas, generalmente como barreras a la humedad, mientras contengan resinas (laca, resina de madera, resina coumarone-indene) que son más permeables al vapor de agua que los lípidos, pero menos que algunas cubiertas de polisacáridos. La emulsión de cera candelilla es usada como una barrera contra la humedad sobre limas. La desventaja de usar lípidos como cubiertas de alimentos es que pueden ocasionar rancidez o una superficie grasosa en el producto. La permeabilidad al

agua es considerablemente aumentada por la proporción de aceite líquido en la película ²¹

Los agentes activos de superficie son buenos inhibidores de la evaporación, se ha mostrado que la inhibición es extremadamente selectiva y limitada para los alcoholes C₁₂-C₁₈ y ésteres como los monoglicéridos de ácidos grasos saturados (ácidos palmítico y esteárico). Los acetoglicéridos (o los di o triglicéridos acetilados) han sido estudiados extensivamente por su habilidad de formar películas flexibles y ajustables, relativamente impermeables a la humedad y al oxígeno. Estas propiedades se deben a la habilidad de los acetoglicéridos de solidificarse normalmente en una forma relativamente estable, no grasosa, cristalina y α-polimórficamente. La permeabilidad al agua es ligeramente mayor que la del nylon, etilcelulosa y poliestireno y significativamente más grande que la del celofán y de la parafina. Los productos pueden ser cubiertos con la cera fundida por medio de aplicación directa, sumergimiento o un lavado con la cubierta. El uso de una emulsión de cera o lípidos puede ser viable. La estabilidad termodinámica de la microemulsión la hace uniformemente aceptable con el tiempo y las pequeñas partículas le confieren un buen desempeño, como la habilidad de depositar una película irreversiblemente brillante después del secado ²¹

Generalmente la velocidad de transmisión de agua por una película de lípidos incrementa con la disminución de la cadena de hidrocarburos del lípido e incrementando la insaturación del enramado de las cadenas de ácidos. Además la resistencia a la humedad de estas películas es inversamente relativa a la polaridad de los lípidos, los alcanos hidrofóbicos y ceras, como la parafina y cera de abeja son las barreras más efectivas que existen ¹⁵

***Polisacáridos:** Las cubiertas hechas de polisacáridos (celulosa, pectina, almidón, alginatos, quitosán, carragenina, gomas, etc.) son generalmente buenas barreras al gas y se adhieren a las superficies cortadas de frutas y hortalizas, pero su naturaleza hidrofílica las hace ser barreras pobres contra la humedad. Las películas son preparadas de soluciones acuosas por evaporación. Se pueden producir en varias dimensiones por extrusión, procedimientos de moldeado, etc. Estas películas son

fuertes, claras, relativamente resistentes al agua y relativamente inertes a los aceites grasas y muchos solventes orgánicos no polares. Una característica importante de las películas de celulosa es su resistencia al agua, muchas de ellas son insolubles al agua a 55 °C. Aun, las películas sellables al calor de hidroxipropil metil celulosa pueden ser preparadas cuando un plastificador es seleccionado cuidadosamente.²¹

***Proteínas:** Las proteínas (caseína, gelatina, soya, zeína, albumina de huevo, hanna de semilla de algodón, gluten de trigo, etc.) son buenas formadoras de películas y se adhieren a las superficies hidrofílicas, pero en muchos casos no resisten la difusión de vapor de agua. Algunas cubiertas que contienen caseína contribuyen con la calidad de algunas frutas y hortalizas.

Las proteínas que no son polímeros monótonos, ofrecen un gran potencial para formar numerosos enlaces. Las más altas ejecuciones son obtenidas por la elección de proteínas de alta solubilidad (como zeína de maíz, gluten de trigo y proteínas miofibrilares animales) o por el uso de enlaces cruzados o tratamientos de curtido y/o adición de compuestos lipídicos (componentes de películas).²⁵

Aunque comestibles, estos materiales no son solubles en agua y generalmente es necesario removerlos antes de consumir el producto. Las gelatinas tienen buenas propiedades de barrera y pueden ser usadas sin ninguna restricción. Una fórmula típica de una cubierta de gelatina es 20-30% de gelatina, 10-30% de plastificadores y 40-70% de agua. La película se obtiene después de secar el gel obtenido, esta película es fuerte y clara pero tiene propiedades de barrera al vapor de agua muy pobres. Las películas de zeína de maíz son resistentes al agua pero tienen un sabor algo desagradable. Las cualidades de esta película pueden ser mejoradas con la adición de un glicérido no acetilado y sometiendo a la zeína a un tratamiento de blanqueado especial. La ovoalbúmina y la seroalbúmina pueden ser usadas como formadoras de películas pero tienen propiedades de barrera al vapor de agua muy pobres y su resistencia mecánica es muy baja. Las películas de caseína son preparadas después de neutralizar una solución alcalina de caseína anteriormente secada. Estas películas son opacas y adhesivas, son solubles en soluciones alcalinas pero relativamente resistentes al agua.

Las películas de proteína de soya son generalmente hechas por un proceso típico, donde la superficie de la leche de soya caliente es levantada manualmente y puesta a secar al aire. La película es bastante blanda, resistente al agua y flexible (si se usan plastificadores) ²¹

Se hizo un intento para mejorar las propiedades de barrera de las películas de proteína por medio de la desnaturalización, entrecruzamiento de enlaces o por la adición de agentes tanning, como ácidos orgánicos, ácidos tánicos o cationes bivalentes, calor etc. Las películas de proteínas desnaturalizadas son bastante más resistentes al agua pero menos flexibles y transparentes. La cantidad y concentración del agente desnaturalizante tiene que tener un uso controlado para evitar un desarrollo posterior de sabores inaceptables ²¹

***Gomas vegetales y microbianas:** Los usos más comunes de las gomas son los de estabilizar y espesar, sin embargo las gomas también son usadas extensivamente como agentes formadores de películas

Las películas de agar y carragenina son usadas como material de cubierta para probar y retardar el crecimiento microbiológico y para reducir las pérdidas de agua de los productos hortofrutícolas. Estas películas son desechables y sus propiedades de barrera al vapor de agua son mínimas

Las gomas microbianas tienen un potencial de aplicaciones importante como agentes formadores de cubiertas. Las principales desventajas son su costo y su restricción de uso. La dextrana ha sido ampliamente empleada para cubrir alimentos entre ellos frutas y hortalizas para evitar las pérdidas de humedad ²¹

***Sistemas multicomponentes:** Un número de películas con dos o más componentes ha sido desarrollado con el propósito de superar las cualidades negativas de cada componente cuando es usado por separado como material de cubierta. Las combinaciones como almidón y alginato, goma y almidón, pectina y gelatina, dextrina y polisacárido como agente gelificante ya han sido investigadas

Sin embargo, como ya se vio en los lípidos que son barreras más efectivas al movimiento de agua pero causan problemas de aplicación, mecánicos y organolépticos, las películas con más de dos componentes incluyen un lípido como barrera a la humedad y un polímero altamente polar como matriz estructural. Se ha propuesto el uso de cubiertas bicapa para retardar la transferencia de agua entre las capas de alto y bajo contenido de humedad en los alimentos. Estas cubiertas bicapa retardan substancialmente la transferencia de agua.²⁶

Incorporación de aditivos alimenticios.

Las cubiertas comestibles pueden servir como portadoras de compuestos que ejercen una función específica que es soportar el producto de la cubierta general (propiedades de barrera, etc.) Por ejemplo en una fruta cítrica entera o en un durazno, las películas comestibles han servido muchas veces de portadores de agentes antimicrobianos, como fungicidas. Para las frutas y hortalizas mínimamente procesados, los preservativos pueden ser incorporados para retardar el crecimiento de levaduras, mohos y bacterias en la superficie del producto durante el almacenamiento y la distribución. Los antimicrobianos que pueden ser usados en varios sistemas alimenticios incluyen:

·Ácido benzoico.

·Benzoato de sodio

·Ácido ascórbico.

·Sorbato de potasio.

·Ácido propiónico.

La lenta difusión de los preservativos dentro de una masa alimenticia y la reducción concomitante de las concentraciones disminuidas de la superficie es efectiva sobre el tiempo. Las cubiertas pueden ayudar a contener los preservativos sobre la superficie cortada del producto, donde es necesario. En extensos estudios de sistemas modelo de alimentos se ha definido la efectividad de las partículas comestibles en el control de difusión de los preservativos, tales como el ácido ascórbico y sorbato de potasio. Las eficiencias de las cubiertas han mostrado que la cera carnauba con ácido ascórbico es la mejor en mantener la estabilidad microbiológica (presumiblemente por el

control de la superficie de la concentración de preservativo), seguida por la cera carnauba sola. Similarmente la cubierta de caseinato con ácido ascórbico fue superior a la caseína sola ⁴⁸

Otro ejemplo de la utilidad de los aditivos para las cubiertas son los antioxidantes. Estos compuestos son añadidos a las cubiertas comestibles para protegerlas de la rancidez oxidativa, degradación y decoloración. Ciertos compuestos fenólicos (hidroxinasol butilado (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT) o hidroxiquinona butilada (terciana, toferoles o ácidos como propil galato) tienen propiedades antioxidantes e inhibición oxidativa de grasas y aceites en alimentos. Este es un efecto sinérgico entre los compuestos fenólicos y ciertas sustancias químicas, tales como ácido ascórbico, ácido cítrico y ácido fólico que son efectivos compuestos quelantes. El ácido diaminotetraacético etileno y sus sales son ampliamente usados como quelantes en sistemas alimenticios. Las cubiertas comestibles reducen el pardeamiento enzimático en champiñones enteros y rebanados, especialmente cuando se ha incorporado un antioxidante y un quelante (ácido ascórbico, ácido tetraacético etilendiamino disodiocálcico). El uso de emulsión de cera con diferentes químicos y reguladores del crecimiento ha sido probado exitosamente en la extensión de la vida de almacén del mango y otras frutas. Sin embargo no todas las variedades responden uniformemente a estos tratamientos. ⁵

Las predicciones de las supuestas propiedades como barreras de gas de las cubiertas son siempre las mismas, esto se debe especialmente, cuando los productos hortofrutícolas son cortados y sus contenidos celulares son lavados sobre la superficie, lo cual da como resultado un tratamiento discontinuo en la aplicación de la cubierta. Teóricamente las cubiertas que son aplicadas a superficies húmedas cortadas pueden ser diluidas por la misma humedad o desprenderse por la acción continua de la capilaridad, impidiendo con esto una aplicación uniforme. El secado de las superficies puede dar como resultado pérdidas de humedad del tejido del producto venciendo el propósito de proteger el producto ^{5, 49}

BIBLIOGRAFIA

1. ARJONA, H. E.; F. B. MATA y J.O. GARNER JR. (1994). Wrapping in polyvinil chloride film slows quality loss of yellow passion fruit. *HortScience*. 29(4):295 - 296.
2. ARTES, F. (1995). Innovaciones en los tratamientos físicos para preservar la calidad de los productos hortofrutícolas en la postcosecha. I. Pretratamientos térmicos. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 35(1): 45 -64.
3. ARTES, F. (1995). III Tratamientos gaseosos. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 35(3): 247 - 269.
4. BAEZ, S. R. (1992). Manejo postcosecha de hortalizas: tomate, chile pimiento y pepino. 1ª Reunión latinoamericana de tecnología postcosecha. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. 60 - 69.
5. BALDWIN, E. A.; M. O. NISPETOS - Carredo y R.A. BAKER. (19--). Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables.
6. BAUNGARDNER, R. A. (1992). Empaque y operaciones de empaque. Simposio sobre fisiología y tecnología postcosecha. Hermosillo, México.
7. BOSQUEZ, M. E. (1992). Estado actual de la tecnología de los tratamientos cuarentenarios. Iª Reunión Latinoamericana de tecnología postcosecha. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. 155 - 174.
8. CAMERON, A. C.; R.M. Beaudry, N.H. Banks y M.V. Velunchi. (1994). Modified atmosphere packaging of blueberry fruit: modeling respiration and package oxygen partial pressures as a function of temperature. *Journal American Society Horticultural Science*. 119(3): 534 - 539.
9. CAMERON, A. C.; P. Chawdhary y D.W. Gules. (1995). Predicting film permeability needs for modified atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. *FoodScience*. 30(1): 25 -34.
10. CANTILLO, B. J. A. (1994). Durabilidad de los alimentos, métodos de estimación. Instituto de Investigaciones para La Industria Alimenticia. La Habana. Pp 2.
11. CELORIO, B. C. (1993). Diseño del empaque para la exportación. Tomo 1. Instituto Mexicano del Envase. Bancomext. Pp. 15 - 16, 61.
12. CORRALES, G. J. E. (1992). Cosecha y transporte a centros de acopio. 1ª Reunión latinoamericana de tecnología postcosecha. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. 86 - 94.
13. DAY, B. P. F. (1993). Fruits and vegetables. En: Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods. Blackie Academic & Professional. Great Britain.
14. EIPESON, W. E. y S. R. BHOWMIK. (1992). Indian fruit and vegetables processing industry - Potential and challenges. *Indian Food Packer*. 46(5): 7 - 12.
15. FENNEMA, O.; I.G. Donhawe y J.J. KESTER. (1993). Edible films: barriers to moisture migration in frozen foods. 45(11): 521 - 525.

16. FONTAN, M. (1992). Consideraciones económicas en postcosecha de productos hortofrutícolas. 1ª Reunión latinoamericana de tecnología postcosecha. 13 - 17.
17. FORNEY, C.F. y R.E. RUI (1991). Temperature of broccoli florets at time of packaging influences package atmosphere and quality. *HortScience*. 26(10): 1301 - 1303.
18. GONTARD, N., Guilbert, S y J.L. CUQ (1992). Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science*. 57(1): 190 - 195.
19. GORDON, M. F. (1992). Preparation for fresh market. *Postharvest Technology of horticultural crops*. 2ª edición. University of California. Division of agriculture and natural resources. Publication 3311.
20. GREENER, I. K. y O. FENNEMA (1989). Barrier properties and surface characteristics of edible, bilayer films. *Journal of Food Science*. 54(6): 1393 - 1399.
21. GREENGRASS, J. (1993). Films for MAP of foods. En: *Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods*. Blackie Academic & Professional. Great Britain.
22. HASTINGS, M. J. (1993). Packaging machinery. En: *Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods*. Blackie Academic & Professional. Great Britain.
23. HOLDSWORTH, S. D. (1988). Conservación de frutas y hortalizas. *Activa*. Zaragoza. Pp. 4.
24. HOTCHKISS, J. H. (1988). Experimental approaches to determining the safety of food packaged in modified atmospheres. *Food Technology*. 42(7-9): 59 - 63.
25. HOUKK, L. G. y B. E. MACKKEY. (1989). Permeability of flexible polymer films used to wrap citrus fruit to the fumigants ethylene, dibromide y methyl bromide. *Journal American Society Horticultural Science*. 114(1): 86 - 90.
26. JOLIS, D. W., A. C. Cameron; A. Shirazi, P.D. Petracek y R.M. BEALDRY (1994). Modified atmosphere packaging of "Heritage" red raspberry fruit - respiratory response to reduced oxygen, enhanced CO₂ and temperature. *Journal American Society Horticultural Science* 119(3): 540 - 545.
27. KADER, A. A. (1992). Indices de madurez, factores de calidad, normalización e inspección de cultivos hortícolas. Simposio sobre fisiología y tecnología postcosecha. Hermosillo, Mexico.
28. KADER, A. A. (1992). Postharvest biology and technology an overview. 2ª. Edición. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3311.
29. KEJRIWAL, N. M. (1992). Development of fruit and vegetable processing industries and their export potential. *Indian Food Packer*. 46(5): 13 - 19.
30. KERBEL, L. E. (1992). Precut and minimal processing of fruits and vegetables. 1ª Reunión latinoamericana de tecnología postcosecha. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. 185 - 190.

31. LIU, F. W. (1992). Preenfriamiento de productos hortícolas. Simposio sobre fisiología y tecnología postcosecha. Hermosillo, Mexico
32. LIZANA, L. A. (1992). El papel de la tecnología postcosecha en el comercio latinoamericano de productos hortofrutícolas. 1^{er} Reunión latinoamericana de tecnología postcosecha. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. 1 - 12.
33. LONCIN, M. (1985). Mass transfer and permeability. En *Food packaging and preservation: theory and practice*. Elsevier Applied Science Publishers, New York. pp. 1 - 6
34. MAJEED, S.A. y V. NAGEGOWDA (1992). Vegetable production time for new strategies. *Indian Food Packer* 47(1): 27 - 39
35. MARQUIÉ, C. et al. (1995). Biodegradable packaging made from cottonseed flour: formation and improvement by chemical treatments with gossypol, formaldehyde and glutaraldehyde. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 43(10): 2762 - 2767
36. McHUGH, T. H., R. Avena - Bustillos y J.M. KROCHTA (1993). Hidrophilic edible films. Modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *Journal of Food Science* 58(4): 899 - 903
37. MEDINA, S. (1985). El cultivo moderno del naranjo, limonero y otros agrios. De Vecchi, Barcelona
38. PANTASTICO, E. R. B. (1975). Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables. The AVI Publishing Co. Westport. Pp. 1 - 101.
39. PARK, J. W.; R. F. Testin, H. J. Park, P. J. Vergano y C.L. WELLER. (1994). Fatty acid concentration effect on tensile strength, elongation and water vapor permeability of laminated edible films. *Journal of Food Science* 59(4): 916 - 919.
40. PARRIS, N.; D.R. Coffin, R.F. Joubran y H. PESSEN (1995). Composition factors affecting the water vapor permeability and tensile properties of hydrophilic films. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 43(6): 1756 - 1764
41. PARRY, R. T. (1993). Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods. *Balckie Academic and Professional*. Great Britain.
42. PASCAT, B. (1985). Study some factors affecting permeability. En: *Food packaging and preservation: theory and practice*. Elsevier Applied Science Publishers, New York. Pp 7 - 24
43. PAZA, V. R. (1991). Situación y perspectiva de la comercialización del aguacate michoacano. Seminario internacional del aguacate. Postcosecha y comercialización. Banco de México
44. RICE, J. (1995). Produce packaging gets fresh. *Food Processing* 56(2): 76 - 77.
45. RODOV, V.; S. Ben - Yehoshua; T. Fierman y D. FANG. (1995). Modified humidity packaging reduces decay of harvest red bell pepper fruit. *HortScience*. 30(2): 299 - 302.

46. SAUCEDO, V. C. (1992). Técnicas coadyuvantes para la frigoconservación de frutas aguacates y cítricos. 1ª Reunión latinoamericana de tecnología postcosecha Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. 95 - 102.
47. SHIRAZI, A. y A.C. CAMERON. (1992). Controlling relative humidity in modified atmosphere packages of tomato fruit. HortScience. 27(4): 336 - 339.
48. SINGH, B. K. y T. P. SINGH. (1992) Effect of certain postharvest treatments on the storage life and quality of mango cv. Zardalu Indian Food Packer 46 (6): 57 - 63.
49. SMITH, S., J. Geeson y J. STOW. (1987) Production of modified atmospheres in deciduous fruits by the use of films and coatings. HortScience. 22(5): 772 - 776.
50. SOMMER, F. N. y M. L. ARPAIA. (1992) Postharvest handling systems, subtropical fruits. 2ª edición. Universidad of California. Division of Agriculture and Natural resources. Publication 3311.
51. SUSANTA, K. y R.K. PAL. (1993). Use of plastics in postharvest technology of fruits and vegetables. A review. Indian Food Packer 47(1). 27 - 39.
52. TOLEDO, J. (1992). Manejo postcosecha de frutas y hortalizas de exportación en el Perú. 1ª Reunión Latinoamericana de tecnología postcosecha. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. 31 - 48.
53. VARSANYI, I. (1985). Permeability of polymers in food packaging. En Food packaging and preservation, theory and practice. Elsevier Applied Science Publishers. New York. Pp: 25 - 38.
54. WILLS, R. B. H. et al (1989) Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. 3ª edición. British Library Hong Kong Pp 132 - 143.
55. YAHIA, M.E. (1992). Tecnología de atmósferas modificadas y controladas. 1ª Reunión latinoamericana de tecnología postcosecha. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. 117 - 135.
56. ZAGORY, O. y A.A. KADER. (1988) Modified atmosphere packaging of fresh produce Food Technology. 42(9). 70 - 77.