

42



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"ATMOSFERAS MODIFICADAS PARA EL
ALMACENAMIENTO DE HORTALIZAS DE HOJA"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
BRENDA GABRIELA MONTERO HERNANDEZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ASESOR: M. EN C. MARIA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA



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.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

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

"Atmósferas modificadas para el almacenamiento de hortalizas de hoja".

que presenta la pasante: Brenda Gabriela Montero Hernández
con número de cuenta: 9651011-9 para obtener el título de :
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Marzo de 2002

PRESIDENTE I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas

VOCAL I.B.Q. Leticia Figueroa Villareal

SECRETARIO M. en C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza

PRIMER SUPLENTE M. en C. Carolina Moreno Ramos

SEGUNDO SUPLENTE I.A. Guadalupe López Franco

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por ser el cimiento en mi vida, gracias por tus bendiciones e infinito amor.

A MI MADRE

Yolanda Hernández García.

Por ser la máxima inspiración en mi vida, por tu infinito amor, porque gracias a tu esfuerzo logré una de mis metas más importantes.

A MIS HERMANOS

**Erick Malagón
Emanuel Malagón**

Porque espero ser y seguir siendo un ejemplo digno para ustedes.

A MI TIO

Sergio Ezequiel Hernández

Por tus valiosos consejos y amor y por ser parte importante de esta meta.

EN MEMORIA DE MI ABUELA

Margarita García Hernández

Por tus cuidados y amor y por haberme forjado.

A MI ASESORA DE TESIS

M. en C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza

**Con admiración y respeto, por su apoyo y consejos que me
brindo en la elaboración de este trabajo.**

INDICE

Resumen	I
Introducción	II
Objetivos	V
Metodología	VI
Descripción de metodología	VII
CAPITULO 1. GENERALIDADES SOBRE LAS HORTALIZAS.	1
1.1 Definición de hortalizas.	1
1.2 Clasificación de las hortalizas.	2
1.3 Valor nutritivo de las hortalizas.	5
1.4 Actividad metabólica de las hortalizas de hoja	7
1.4.1. Respiración	7
1.5 Manejo postcosecha.	9
1.6 Manejo postcosecha de las hortalizas para envasar en atmósferas modificadas.	17
1.6.1 Sanitización.	17
1.6.2 Cortado.	18
1.6.3 Mezclado y preparación	19
CAPITULO 2. TIPOS DE ALMACENAMIENTO DE LAS HORTALIZAS.	22
2.1 Refrigeración	23
2.1.1 Velocidad de refrigeración	24
2.1.2 Métodos de refrigeración	25

2.1.2.1	Aire frío	26
2.1.2.2	Agua fría: Hidroenfriamiento	27
2.1.2.3	Contacto directo con hielo	28
2.1.2.4	Refrigeración por evaporación.	28
2.2	Almacenamiento en atmósferas controladas	29
2.2.1	Consideraciones para el diseño de una cámara frigorífica de atmósferas controladas	30
2.3	Envasado en atmósferas controladas	32
2.4	Almacenamiento en atmósferas modificadas.	32
2.5	Envasado en atmósferas modificadas	33
2.5.1	Atmósferas modificadas pasivas	34
2.5.2	Atmósferas modificadas activas	34
2.6	Envasado a vacío	37
CAPITULO 3. ENVASADO DE HORTALIZAS DE HOJA EN ATMOSFERAS MODIFICADAS.		38
3.1	Propiedades a considerar en el envasado de hortalizas en atmósferas modificadas.	39
3.1.1	Propiedades intrínsecas del producto	39
3.1.2	Propiedades extrínsecas del producto	45
3.2	Materiales de envasado empleados en atmósferas modificadas	51
3.2.1	Propiedades de las películas	
3.2.2	Permeabilidad de una película	55
3.2.3	Relación de permeabilidad entre CO ₂ /O ₂	56

3.2.4	Estimación de la permeabilidad deseada de una película.	64
3.2.5	Métodos para evaluar la transmisión de vapor de agua.	65
3.3	Equipo empleado para envasar hortalizas de hoja en AM	66
3.4	Gases empleados en el envasado en atmósferas modificadas	68
3.4.1.	Nitrógeno	71
3.4.2.	Bióxido de carbono	72
3.4.3.	Oxígeno	73
CAPITULO 4. ANALISIS DEL ENVASADO DE HOJAS EN ATMOSFERAS MODIFICADAS.		74
4.1.	Efectos en la calidad sensorial de las hojas	76
4.2.	Ventajas y desventajas del envasado de hojas en atmósferas modificadas	78
4.2.1.	Ventajas del envasado en atmósferas modificadas	78
4.2.2.	Desventajas del uso en atmósferas modificadas	79
DISCUSIONES		80
CONCLUSIONES		83
BIBLIOGRAFIA.		84

INDICE DE TABLAS

1. Clasificación de las hortalizas	3
2. Valor nutritivo de algunas hortalizas	5
3. Composición química de algunas hortalizas	6
4. Valores típicos de Q_{10} para las hortalizas	42
5. Intensidad de respiración de hortalizas de hoja en aire y en una atmósfera de 3% de O_2	43
6. Principales materiales empleados para envasar	53
7. Propiedades de los materiales para envasar	56
8. Intensidad de la transmisión de oxígeno y vapor de agua de materiales para envasado	63

INDICE DE FIGURAS

1. Clasificación de hortalizas según sus partes alimenticias	4
2. Ensalada lista para consumir de lechuga romana con aderezo y pan	20
3. Ensalada lista para consumir de lechuga orejona con aderezo y pan	20
4. Cámara fría de conservación con atmósfera controlada	31
5. Cambios relativos en las concentraciones de CO_2 y O_2 durante el envasado de 35 productos de horticultura en atmósferas modificadas pasivas y activas	35
6. Estomas abiertos en la superficie de una hoja de granadilla	44

7. Diagrama psicométrico	48
8. Hoja expuesta al aire, delgada capa de aire saturado.	49
9. Representación de la permeabilidad a gases de las películas	58
10. Equipo para envasar en atmósfera modificada, puede emplear diferentes películas	69
11. Máquina envasadora al vacío esta máquina puede desplazar el aire del interior del empaquete antes de ser sellado	70

RESUMEN.

El presente trabajo está constituido por una recopilación bibliográfica del uso de las atmósferas diferentes a las normales para la conservación y almacenamiento de hortalizas de hoja, denominadas **Atmósferas Modificadas**, estas condiciones pueden ser logradas por medio de almacenes controlados o envases.

Este trabajo se compone de cuatro capítulos. El primer capítulo es un compendio introductorio de las generalidades de las hortalizas, de su composición, valor nutrimental, actividad metabólica (respiración) y del manejo postcosecha, básico para el empleo de la técnica de atmósferas modificadas (AM).

La segunda parte trata sobre los diferentes tipos de almacenamiento de las hortalizas de hoja e introduce las **Atmósferas Modificadas**.

El tercer capítulo contiene el almacenamiento y envasado de las hortalizas de hoja en AM y los factores a considerar en el empleo de esta técnica.

El cuarto capítulo analiza las **Atmósferas Modificadas** como método de almacenamiento de hortalizas de hoja, analiza las ventajas y desventajas posibles en el manejo de la misma.

INTRODUCCION.

La búsqueda de productos "higiénicamente" frescos y de alta calidad ha inducido uno de los crecimientos más importantes en el sector de la moderna distribución al por menor de productos refrigerados. Durante las últimas décadas se ha producido en este contexto, el rápido crecimiento del desarrollo del envasado o almacenado en **Atmósferas Modificadas**.

El método de envasado o almacenado en atmósferas modificadas, consiste en cambiar la atmósfera normal a la que esta sometido el producto y reemplazarla por una atmósfera distinta, esta modificación se realiza generalmente sobre el oxígeno y bióxido de carbono. El propósito principal de ésta técnica es el de reducir el deterioro natural o fisiológico que experimenta el alimento frente a cambios ambientales normales, controlando a voluntad la atmósfera que lo rodea⁴.

El empleo de las atmósferas modificadas para incrementar la vida útil, no es un concepto nuevo en la conservación de los alimentos. La acción preservativa de los gases como el bióxido de carbono sobre los alimentos es conocida desde hace un siglo; sin embargo la investigación básica no comprendió el uso de las atmósferas modificadas para prolongar la vida útil de las frutas, carne y pescado hasta las décadas de los años 20 y 30's, cuando se investigó el efecto de las distintas concentraciones de O_2 y CO_2 a diferentes temperaturas sobre la germinación y crecimiento de los hongos productores de podredumbre en la fruta⁷.

Cinco años más tarde se estudió el efecto de la modificación de la atmósfera sobre la vida en el almacenamiento de la fruta⁷.

Los envases de tipo familiar, con atmósfera modificada utilizados en la actualidad no aparecieron en Alemania hasta 1973, en Francia hasta 1974 y en Dinamarca hasta 1978. El sistema de envase semirígido con termoformado horizontal- llenado- cerrado, fue inventado en 1963, en el Reino Unido⁷.

Hoy en día el uso de las atmósferas modificadas para el almacenamiento y envasado de alimentos son ampliamente utilizadas en la industria alimentaria para prolongar la vida útil tanto de productos frescos, como procesados.

Dentro de los alimentos frescos de mayor interés para prolongar su vida útil mediante esta técnica sin lugar a duda se encuentran las hortalizas, por su alto contenido nutritivo, además de que constituyen directa o indirectamente la base de la alimentación²⁰. La creciente atención prestada a los aspectos de horticultura relacionados con la vida de las hortalizas en etapas posteriores a la cosecha deriva de la constatación de que las manipulaciones defectuosas en el estado fresco pueden acarrear pérdidas cuantiosas de productos cuya obtención ha requerido importantes inversiones de capital, maquinaria y mano de obra⁶.

Las hortalizas frescas por definición siguen respirando, es decir, toman O₂ del ambiente y desprenden CO₂ y vapor de agua. También producen otros gases como el

etileno, por lo que al controlar la atmósfera que las rodea mediante gases y/o películas plásticas, se frena dicha actividad metabólica y se conserva la hortaliza por más tiempo. Dentro de la estructura del vegetal, donde se lleva a cabo este intercambio gaseoso y por lo tal constituye un excelente ejemplo para el estudio de las atmósferas modificadas, es en la hoja, por lo tanto esta tesis tratará del envasado de hortalizas de hoja. Los materiales plásticos destinados a envasar hortalizas de hojas permiten reducir la pérdida de humedad, además de facilitar la manipulación del producto para la comercialización y para el consumidor³⁰. La selección del método de envasado depende del grado de actividad respiratoria del producto que es elevado en hortalizas de hojas más que en otros vegetales.

Cuando las hortalizas han experimentado algún tipo de preparación por ejemplo: cortado, pelado, etc. (hortalizas mínimamente procesadas), además de la atmósfera modificada deben ser manipuladas en refrigeración. El éxito del envasado en atmósfera modificada depende de varios factores a saber: factores extrínsecos (que no dependen del producto) y factores intrínsecos (factores propios del producto)

Este trabajo pretende ofrecer un panorama general del almacenamiento de hortalizas de hoja en atmósferas modificadas. Se muestra la sencillez de la técnica, los factores de mayor importancia a considerar para el éxito de la misma, y la versatilidad de ésta, ya que puede ser empleada no sólo en hortalizas, sino en la mayoría de alimentos de carácter perecedero.

OBJETIVO GENERAL:

Elaborar una recopilación bibliográfica que ayude como material de apoyo para los alumnos de la carrera Ingeniería en Alimentos con las Asignaturas de Tecnología de alimentos III, y Paquete Terminal de frutas y vegetales, particularmente en el tema de Atmósferas Modificadas.

OBJETIVO PARTICULAR 1:

Establecer el comportamiento de las hortalizas de hoja y su manejo postcosecha, mediante una revisión documental.

OBJETIVO PARTICULAR 2:

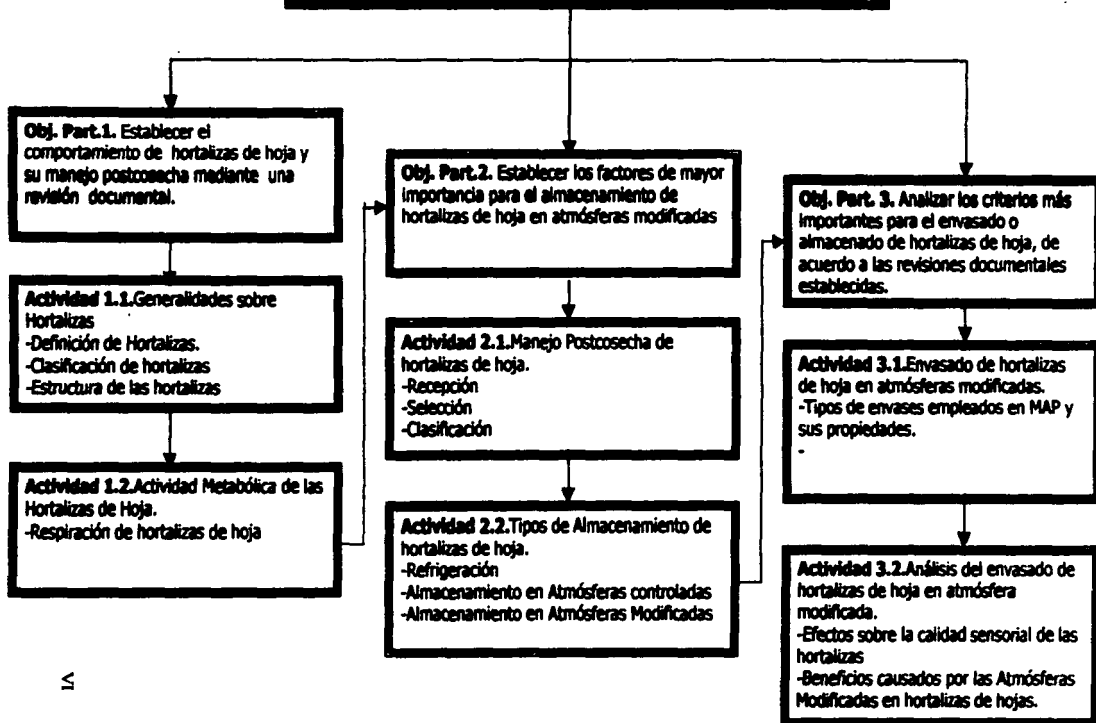
Establecer los factores de mayor importancia para el almacenamiento de hortalizas de hoja en atmósferas modificadas.

OBJETIVO PARTICULAR 3:

Analizar los criterios más importantes para el envasado o almacenado de hortalizas de hoja en atmósferas modificadas, de acuerdo a las revisiones documentales establecidas.

METODOLOGIA

OBJETIVO GENERAL: Elaborar una recopilación bibliográfica que sirva como material de apoyo para los alumnos de la carrera Ingeniería en Alimentos con las Asignaturas de Tecnología de alimentos III, y Paquete Terminal de frutas y vegetales, en el tema de Atmósferas Modificadas.



DESCRIPCIÓN DEL CUADRO METODOLÓGICO

La presente investigación bibliográfica desarrollada, tiene por objeto dar una mejor comprensión de cómo almacenar las hortalizas de hoja por medio de las atmósferas modificadas. Para lograr esta finalidad se estableció una metodología donde el objetivo principal es recopilar la información para elaborar un compendio que ayude a los alumnos de la carrera de ingeniero en alimentos.

Para la recopilación bibliográfica se establecieron objetivos particulares. El objetivo particular número uno establece la estructura, la clasificación y el comportamiento de las hortalizas de hoja, así como el manejo postcosecha que incluye la recepción, selección, clasificación y almacenamiento de las hortalizas de hoja.

El objetivo particular número dos, establece las propiedades de mayor importancia para el almacenamiento en atmósferas modificadas; estas pueden ser intrínsecas y/o extrínsecas.

El objetivo particular número tres, analiza los factores de mayor importancia a considerar para el éxito de un buen envasado o almacenado de hojas en atmósferas modificadas, de acuerdo a las revisiones documentales establecidas.

CAPITULO 1.

GENERALIDADES SOBRE LAS HORTALIZAS

Los vegetales son directa o indirectamente la fuente de todos los alimentos, en esencia por ser capaces de aprovechar la energía solar y de realizar diversas síntesis químicas que no pueden ser efectuadas por los animales. Las principales funciones de las mismas son la fotosíntesis, que consiste en la aplicación de la energía solar para sintetizar carbohidratos y la fijación del nitrógeno, que es la base para la síntesis de proteínas⁸.

1.1 Definición de hortalizas.

La palabra hortaliza está formada por la palabra hortus: jardín. En siglos pasados los castillos, monasterios y las mansiones de reyes y condes tenían estos jardines para la provisión. A la vez estos jardines tenían una importante función social. Las hortalizas junto con las flores y frutos servían como símbolo de estatus social, para intercambio y para competencia a alto nivel.

Las hortalizas son plantas herbáceas con partes comestibles para la alimentación humana.

Las hortalizas desde la óptica del consumidor, pueden definirse como productos vegetales blandos comestibles, que ordinariamente se salan, no se edulcoran, se cuecen y generalmente se consumen con el plato principal¹¹.

El alto contenido de vitaminas y minerales es una importante razón para comer tantas hortalizas como sea posible. Una familia de tres personas debería comer un kilo de hortalizas por día ²⁸.

La fisiología de las hortalizas ya recolectadas se ha convertido en los últimos tiempos en una subdivisión importante de la horticultura y de la fisiología vegetal.

1.2. Clasificación de las hortalizas.

Las hortalizas no pertenecen a un grupo botánico específico y exhiben una amplia variedad de estructuras vegetales. Pueden sin embargo agruparse en 7 grupos que son: raíces, tallos, bulbos, hojas, flores, frutos y semillas. En muchos casos las estructuras que generan una determinada hortaliza se hallan notablemente modificadas con respecto a las de un vegetal "ideal" ¹¹.

El término de "hortalizas" incluye una amplia gama de vegetales y de estructuras de las mismas. Para estudiar su valor nutritivo resulta más sencilla la clasificación según sus partes alimenticias como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las hortalizas.

Estructura	Función	Ejemplo
1) Raíces	Absorción agua minerales y otros nutrientes.	Zanahoria, rábano y remolacha.
2) Tallos	Transporte y absorción de nutrientes	Apio y espárragos
3) Bulbos	Transporte de nutrientes	Cebolla y ajo.
4) Hojas	Intercambio gaseoso	Coles, coles de brucas y lechugas.
5) Flores	Presevar la especie	Coliflor, brócoli y alcachofa
6) Frutos	Preservar la especie	Tomate, pepino y habichuela
7) Semillas	Preservar la especie	Semillas en el interior de vainas, como chícharos, ejotes y lentejas.

Fuente: Manual de horticultura (1983) ²⁰.

Como se observa en la tabla 1, cada estructura del vegetal tiene una función en particular, las hojas en especial tienen una función muy importante, el de llevar a cabo el intercambio gaseoso, además de la excitación fotoeléctrica que ayuda a que se lleve a cabo la fotosíntesis necesaria para la vida del vegetal.

En las hojas ocurre la transpiración (intercambio gaseoso) que es de suma importancia para la conservación de los vegetales. En la figura 1 se muestran los ejemplos de la clasificación anterior.

Las hortalizas de hoja pueden variar en su estructura, como se observa en la figura 1, en el grupo 4; de las hojas. La estructura influye en el intercambio gaseoso más adelante se discutirá sobre esto.



Figura 1. Clasificación de hortalizas según sus partes alimenticias.
Fuente: Manual de horticultura (1983) ²⁰.

1.3. Valor nutritivo de las hortalizas.

El valor nutritivo de las hortalizas se muestra en la tabla 2. El valor nutrimental no solo varía de acuerdo a las variedades de hortalizas, a las prácticas de cultivo y al estado atmosférico, sino también, al grado de madurez antes de la cosecha y a la postcosecha.

Tabla 2. Valor nutritivo de algunas hortalizas

Hortalizas	Porción tazas	Calorías	Calcio mg	Hierro mg	A UI	Vitaminas			
						C mg	Tia Mina µg	Ribo- flavina µg	Nia- cina mg
Ejotes, cocidos	1	27	45	0.9	830	18	90	120	0.6
Brócoli, cocidos	2/3	29	130	1.3	3400	74	70	150	0.8
Col, cocida	1/2	20	39	0.4	75	27	40	40	0.3
Zanahorias, crudas	1	42	39	0.8	12000	6	60	60	0.5
Tomates, crudos	1	40	22	1.2	2200	46	120	80	1.0
Papas blancas, al horno	1 mediana	98	13	0.8	20	17	110	50	1.4

Fuente: Potter Norman (1973) ²⁶.

Tabla 3. Composición química de algunas hortalizas

Hortalizas	Carbohidratos	Proteínas	Grasa	Cenizas	Agua
Zanahorias	9.1	1.1	0.2	1.0	88.6
Rábanos	4.2	1.1	0.1	0.9	93.7
Espárragos	4.1	2.1	0.2	0.7	92.9
Ejotes verdes	7.6	2.4	0.2	0.7	89.1
Chicharos frescos	17.0	6.7	0.4	0.9	77.0
Lechugas	2.8	0.3	0.2	0.9	94.8

Fuente: Potter Norman (1973) ²⁶.

La mayoría de las hortalizas contienen un alto porcentaje de agua, y un bajo contenido de proteínas y grasas. El contenido de agua es generalmente mayor del 70%, ver tabla 3. Su valor como fuente de macronutrientes (proteínas, grasas, carbohidratos) es limitado, aunque existen excepciones importantes. Las leguminosas, por ejemplo son ricas en almidón y en proteínas; los tubérculos son ricos en almidón; los elotes y aguacates, altos en grasas y los chícharos altos en proteína ²⁶.

El principal valor de las hortalizas se deriva en su contenido de micronutrientes (vitaminas y minerales), por otra parte contienen carbohidratos digeribles y no digeribles, los digeribles están presentes ampliamente bajo la forma de azúcares y féculas, mientras que los no digeribles se encuentran en forma celulósica, necesarios para la digestión normal⁶.

1.4 Actividad metabólica de las hortalizas de hoja

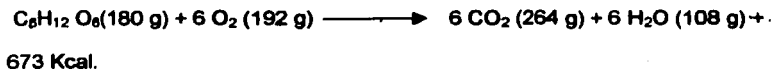
1.4.1 Respiración

Las hortalizas no suelen sufrir un brusco incremento en su actividad metabólica que se asemeja al inicio del periodo climatérico de las frutas. Las hortalizas por definición siguen respirando, sin embargo las hojas presentan una particularidad, de ser la estructura de la planta dónde se lleva a cabo la transpiración, e intercambio gaseoso por lo tanto, es necesario conocer el fenómeno de la respiración, para controlar estos factores y evitar el rápido marchitamiento ⁶.

La respiración es un proceso donde los organismos convierten la materia en energía. Es uno de los procesos básicos de la vida y de todas las frutas y hortalizas frescas. Sin embargo hay aspectos directamente relacionados a la respiración con el manejo, transporte o almacenamiento de estos productos.

En las plantas en general, la respiración principalmente comprende la oxidación enzimática de azúcares a CO₂, y agua, acompañado de la liberación de energía. Sin embargo otras sustancias como ácidos orgánicos y proteínas entran también a la cadena respiratoria.

La ecuación básica de la respiración, por cada 180 g de glucosa es la siguiente:



La respiración es básicamente la operación inversa de la fotosíntesis por la que la energía luminosa procedente del sol, se almacena en energía química principalmente en carbohidratos constituidos por glucosa. La plena utilización de glucosa implica dos secuencias de reacción fundamentales:

1. glucosa-piruvato; la vía de Embden Meyerhof Parnas
2. piruvato-bióxido de carbono; a través del ciclo de los ácidos tricarbóxicos, cuyas enzimas se encuentran en las mitocondrias de la célula.

Convencionalmente, se toma como el compuesto implicado en la etapa oxidativa inicial a la glucosa libre, pero ésta no es la forma en la que los carbohidratos de reserva se encuentran en los vegetales. El carbohidrato fundamental de reserva de los vegetales, suele ser el almidón, un polímero de la glucosa, que debe ser primero degradado a glucosa por las amilasas y la malatasa. Algunos productos tienen un elevado contenido de sacarosa que puede hidrolizarse en glucosa y fructosa bajo la acción de una enzima llamada invertasa. En los tejidos vegetales también es posible la interconversión entre la sacarosa y el almidón.

Conocer el fenómeno de respiración así como la pérdida de agua de la hoja son básicas para el buen manejo postcosecha y para el almacenamiento en atmósferas modificadas, ya que proporciona de manera indirecta la velocidad con la que se están llevando a cabo los cambios químicos en el vegetal, y por lo tanto indica la vida útil potencial de la hortaliza.

1.5. Manejo postcosecha

Una vez recolectadas las hortalizas en la cosecha son necesarios una serie de pasos antes de su procesado y/o comercialización, estos son los siguientes:

a) Recepción:

Esta consiste en pesar las hortalizas al llegar a la planta. Posteriormente se realiza un muestreo para establecer su calidad y así almacenar temporalmente las hortalizas.

b) Selección:

La selección consiste en separar los productos no aptos para ser almacenados y/o procesados. Esta separación se realiza de acuerdo al tamaño y al peso, esta operación sirve para dar uniformidad y estandarizar a los productos acabados a la hora de la compra-venta. Los factores más importantes a tener en cuenta para clasificar son: tamaño, forma, color, firmeza, sabor, magulladuras, superficies cortadas, composición

química, alteración y solidez. Los productos sobremadurados, de menor tamaño y defectuosos, se separan de los que tienen una calidad aceptable. La selección es la separación de una mezcla de productos de distintos tamaños, que se separan en dos o más grupos mediante superficies cribadoras en las que el producto de tamaño normal se queda en la superficie del separador y las de menor tamaño pasan a través del mismo. Los separadores de barotes vibratorios de 4-malla se utilizan para una separación gruesa por tamaño y para escurrido. Los separadores menores de 4-malla y mayores de 48-malla se utilizan para separaciones más finas. En la selección de hortalizas se utilizan diferentes dispositivos y aparatos que facilitan y mecanizan las operaciones de separación. Para ello se utilizan seleccionadoras de cinta plana, de tambores de rodillos, vibratorias y de cinta y rodillo. En ocasiones la clasificación se realiza manualmente por personas entrenadas que son capaces de comprobar varios factores simultáneamente, si bien, la clasificación automática tiene la ventaja de la rapidez, fiabilidad y menor coste de mano de obra³⁷.

c) Lavado:

Se procede a un lavado para eliminar la suciedad y los residuos de sustancias químicas que de seguro contienen. En una línea del procesado de frutas y hortalizas RMP, la operación de lavado se hace generalmente en una cámara aislada con restricciones de entrada, de forma que el contacto humano con los productos esté limitado. En este momento el producto se convierte en listo para consumir y también para ser conservado. Para este fin, el producto se lava mediante cloración de hasta 200

ppm (permitida en EEUU), quedándose libre de la mayoría de los microorganismos. El cloro es el único producto que se permite en el lavado. El agua constituye un elemento esencial en la calidad de los productos RMP. La procedencia y calidad del agua debe ser tomada en cuenta. En el lavado de frutas y hortalizas RMP se controlan tres parámetros.

1. Cantidad de agua utilizada: 5-10 l/kg de producto.
2. Temperatura del agua: 4° C para enfriar el producto.
3. Concentración de cloro activo: 100 mg/l

El equipo de lavado que se usará depende del tamaño, conformación y fragilidad de cada clase de hortaliza. En chícharos y hortalizas pequeñas se emplean limpiadores flotantes.

También se emplean lavadoras rotatorias, como la de la figura 2 en la cual la suciedad de las hortalizas se remueve mientras se les rocía chorros de agua. El lavado se aplica solamente para hortalizas no frágiles ³.

Las hortalizas frágiles como los espárragos son apreciadas por su perfección íntegra y no pueden ser lavadas en equipos agitantes que puedan romperlos. Por lo tanto pueden ser lavados por aspersión en una banda transportadora.

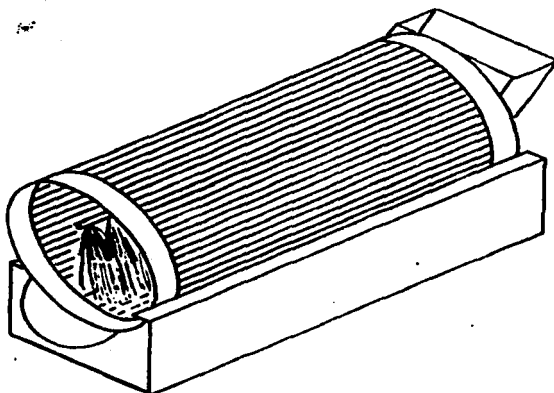


Figura 2 Lavadora típica rotatoria
Fuente: Arthey Dennis (1992)³.

d) Eliminación de la piel:

Algunas de las hortalizas necesitan la eliminación de la piel. La eliminación de la piel puede hacerse (1) manual, (2) con vapor o agua caliente, (3) con lejía o álcalis (NaOH, KOH), (4) mediante pelado cáustico seco con calentamiento con infrarrojos (5) con llama, (6) medios mecánicos, (7) con vapor a presión elevada, (8) por congelación y (9) con ácidos. Los tubérculos tales como papas, remolachas, zanahorias, nabos y cebollas pueden pelarse por medios mecánicos o lejías. La piel puede ser ablandada de los tejidos que se encuentran bajo ella, sumergiendo las hortalizas en una solución alcalina caliente, se puede utilizar lejía en una concentración el 1% a 93°C³⁷.

Las hortalizas con las pieles ablandadas se colocan bajo chorros de agua a presión que enjuagan y eliminan la piel y el exceso de lejía.

e) Corte y preparación:

Muchas hortalizas necesitan varias clases de corte y aparejo de tallos, picados y despepitado. Las puntas de los espárragos deben ser cortadas a un tamaño preciso. Las coles de brucas son casi siempre cortadas a mano, presionando la base contra un cuchillo rotativo rápido, los ejotes se cortan en máquinas a lo largo, transversalmente, en trozos o rebanadas.

f) Escaldado:

La mayoría de las hortalizas que no reciben un tratamiento fuerte de calor, deben ser calentadas para inactivar las enzimas naturales, antes de ser expuestas al procesamiento o a conservarlas en el almacén por largo tiempo. Este tratamiento especial para inactivar enzimas se le conoce como escaldado. La inactivación de enzimas es importante también cuando se conserva las hortalizas mediante congelación y deshidratación, evita la decoración, el reblandamiento, y la aparición de malos olores y sabores durante el almacenamiento posterior, resulta inevitable la pérdida de algunos nutrientes durante el escaldado. La vitamina C es tanto hidrosoluble como termolábil y algunos investigadores la han usado como indicador cuando determinan los efectos del escaldado sobre las hortalizas, investigadores descubrieron

las pérdidas de vitamina C en chícharos escaldados a bajas temperaturas El escaldado ejerce también un efecto adicional de limpieza y reduce la carga microbiana de las células vegetativas del producto. La peroxidasa y la catalasa son las enzimas más resistentes al calor y pueden servir como indicadores de que las hortalizas han experimentado un escaldado correcto. Generalmente se utiliza vapor y agua próxima al punto de ebullición como medio para el calentamiento por lo que los métodos para escaldar se clasifican según se utilice agua o vapor³⁷.

1. Escaldado con agua.

Constituye la forma tradicional de escaldar que supone el mantenimiento del producto en agua caliente (85 –100°C) hasta que son inactivadas las enzimas, y después se enfría el agua. La maquinaria más común para realizar el escaldado con agua es el escaldador de banda que, en su forma más simple consiste en un transportador de tornillo en un depósito lleno de agua caliente. Las hortalizas atraviesan el agua sobre el transportador de tornillo que controla el tiempo de permanencia y después se enfría el agua³⁷.

2. Escaldado con vapor.

La principal ventaja del escaldador con vapor consiste en que provoca un menor arrastre de solutos de las hortalizas. Esto mejora la retención de nutrientes solubles y reduce el efluente derivado de la operación de escaldado. Entre las hortalizas que son

escaldadas normalmente con vapor se incluye el mía dulce cortado y el brócoli. Estos productos presentan superficies de corte de las que el agua utiliza para el escaldado arrastra nutrientes con facilidad.

3. Escaldado con vacío y vapor

El escaldado con vapor al vacío suele realizarse en un aparato de coser cónico de doble pared extremo sobre extremo, las hortalizas se introducen en el cocedor que inicia una rotación lenta según va descendiendo la presión hasta 10 kPa aproximadamente. El vacío se interrumpe con vapor saturado y el recipiente alcanza la presión atmosférica que se mantiene durante un minuto. Las hortalizas son refrigeradas posteriormente al vacío mediante una nueva reducción de la presión en el interior del recipiente. El líquido presente en el recipiente rompe a hervir al descender la presión y enfría las hortalizas³⁷.

La ventaja del escaldado con vacío y vapor deriva del calentamiento rápido del vegetal mediante la condensación del vapor y la consiguiente liberación del calor latente de condensación en los tejidos vegetales.

El escaldado no es un tratamiento sencillo, si es demasiado débil es inefectivo, si es demasiado fuerte puede dañar a las hortalizas debido al cocimiento, sobre todo, cuando se quiere conservar el carácter fresco de la hortaliza.

g) Procesado:

Cualquier tipo de procesado, como enlatado, desecado, liofilizado, etc.

h) Almacenamiento:

Las hortalizas que no sufren ningún procesado generalmente se almacenan bajo refrigeración. Al aplicar la refrigeración se disminuye la respiración de estos productos prolongando la vida útil³⁷. Un método más moderno y más eficaz para conservar las hortalizas durante el almacén además de la refrigeración son las atmósferas modificadas.

Como se observa, existe una gran variedad de hortalizas y de pasos a seguir después de la cosecha, sin embargo esta tesis tratará de las hortalizas de hoja. En México existe varios tipos de hojas, las cuales tienen una alta demanda, sin embargo debido a la mala logística de frutas y vegetales que se tiene en México, el producto llega a las zonas de comercialización con baja calidad lo que se traduce en hojas secas o marchitas que el consumidor no adquiere con facilidad²¹. Por lo cuál últimamente se han empleado películas o envases que impidan la pérdida de humedad de las mismas, estas películas tienen cierta permeabilidad a los gases incluyendo el vapor de agua. Este tipo de productos se comercializan actualmente y generalmente tienen una preparación previa (manejo postcosecha: lavado, cortado, etc.) antes de ser envasadas, lo que se conoce

comúnmente como mínimamente procesadas²³, éstas se encuentran principalmente en las tiendas de autoservicio, como ensaladas ya listas para ser consumidas.

1.6. Manejo postcosecha de las hortalizas de hoja para envasar en atmósferas modificadas.

El manejo postcosecha de las hortalizas de hoja para ser almacenadas o envasadas en atmósferas modificadas sigue los mismos pasos que se han revisado, o sea, recepción, selección, lavado, corte y preparación, y envasado. Sin embargo para envasar en atmósfera modificada es imprescindible resaltar la importancia de la sanitización del producto, ya que de esto, como en la mayor parte de las técnicas de conservación, depende la calidad del producto final.

1.6.1. Sanitización.

La sanitización se refiere tener el producto lo más limpio posible para prepararlo y ser envasado y/o almacenado.

La limpieza como una operación unitaria en la primera etapa del proceso, se refiere a eliminar cualquier material extraño, o sea una forma de separación relacionada con la eliminación de tierra, ramas, insectos, pesticidas y residuos de fertilizantes³⁷.

En una línea de hortalizas mínimamente procesadas, la operación de sanitización se hace en una cámara aislada con restricción de contacto humano, ya que en este momento el producto se convierte en listo para consumir o para ser conservado. Para este fin el producto se lava mediante cloración generalmente hasta 200 ppm, quedándose libre de la mayor parte de microorganismos.

El producto a envasar se sumerge en un baño donde se mantiene burburjeándole aire a través de una boquilla. Esta turbulencia permite la eliminación de prácticamente todas las trazas de tierra y sustancias extrañas sin producir magulladuras en el producto. Una vez del lavado con cloro, se enjuaga con agua potable para eliminar el exceso de cloro.

La humedad residual y el exudado celular en la superficie de las hojas tiende a crear condiciones para microorganismos como levaduras y hongos, por lo que se hace necesario un secado después del lavado. Generalmente el secado de las hortalizas de hoja se realiza mediante corrientes de aire forzado, en bandas transportadoras, para eliminar los restos de agua de los productos tratados.

1.6.2. Cortado.

Posteriormente a la sanitización, se procede con el cortado, una vez realizado el cortado la respiración y transpiración se ven aceleradas por lo que se hace necesario refrigerar el producto inmediatamente después del corte a unos 4°C.

Se hace llegar la hortaliza, por medio de bandas transportadoras a las cuchillas de corte dispuestas en posición vertical u horizontal. Las hortalizas de hoja se cortan en rodajas mediante máquinas automáticas de alta velocidad.

1.6.3. Mezclado y preparación.

Los alimentos combinados tales como las ensaladas y comidas listas para consumir requieren un mezclado y preparación antes del envasado. El mezclado en el procesado de hortalizas tiene como objetivo asegurar una mezcla homogénea y mantenerla con la menor aportación de energía al menor coste total posible. El mezclado, revestimiento y remojo son operaciones que se realizan en la mezcla de sólido-sólido. Las salsas para ensaladas son emulsiones, mezcla de líquidos que permanecen estables mediante la homogenización³⁷.

La operación final en las hortalizas mínimamente procesadas, tiene lugar en el local de preparación y envasado. Aquí se combinan lechugas troceadas, zanahorias, mezclas de hortalizas frescas, con salsas, mayonesas y otros ingredientes.

En las figuras 3 y 4 se muestran algunas preparaciones de ensaladas que comúnmente se comercializan en tiendas de autoservicio.



Figura 3. Ensalada lista para consumir, de lechuga romana con aderezo y pan.

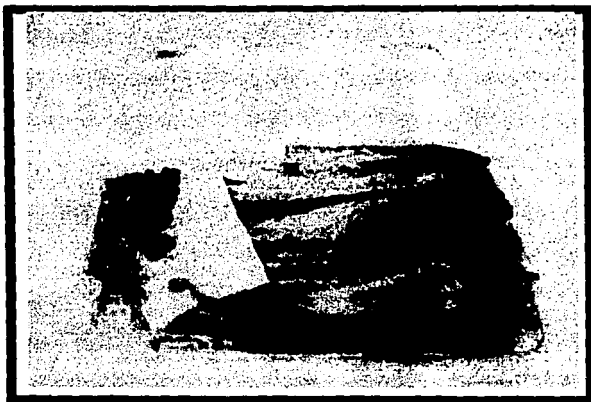


Figura 4. Ensalada lista para consumir, de lechuga orejona con aderezo y pan.

Los operarios que trabajan en el área de preparación final y envasado, están provistos de una indumentaria especial con mascarilla, cofia y guantes. Dentro de este local se mantiene ventilación con aire filtrado, la temperatura ambiente se controla a 10-12°C y la humedad relativa es de 60-70% de HR ³⁶.

Se ha elegido uno de los ejemplos más representativos de hortalizas de hoja, la lechuga, por esta razón, a continuación se describirá el manejo postcosecha que se lleva a cabo. Para mantener una alta calidad de la lechuga debe ser rápidamente transportada en condiciones de refrigeración. Para prolongar su vida útil, el enfriado debe remover el calor de campo y reducir la respiración. El enfriado a vacío es un excelente método para bajar rápidamente la temperatura del producto. Cuando el enfriado con vacío no es posible, se utiliza el enfriado con corrientes forzadas de aire frío, aunque es menos rápido que el enfriado con vacío, también es efectivo³². El hidrogenfriamiento también es un método eficaz, en especial para lechugas y para espinacas. La dependencia de un buen manejo en postcosecha y la administración de una buena temperatura en la comercialización es determinante para extender la vida útil de estos productos. Si las lechugas se mantienen a la temperatura de 1-2°C y con una alta humedad relativa (90-95%), pueden ser conservadas en buena condición durante 2 ó 3 semanas¹⁵. La producción de etileno debe ser evitado todo momento, cada minuto (mediante el empleo de las bajas temperaturas), ya que las cantidades de etileno pueden causar temprana senescencia, brotes de manchas y significativas pérdidas, ya que se ha comprobado que el etileno probablemente con la colaboración de alguna hormona, ejerce un control de tipo hormonal sobre el proceso madurativo.

CAPITULO 2

TIPOS DE ALMACENAMIENTO DE LAS HORTALIZAS

En espera de un medio de transporte, una embarcación o una comercialización conveniente, se puede presentar la necesidad de mantener la hortaliza en la finca durante horas ó días ²¹.

Las hortalizas como productos perecederos necesitan ser conservadas durante este periodo. Existen varios métodos y técnicas de almacenamiento que comprenden condiciones de temperatura, ventilación y humedad relativa es por eso que a continuación mencionaremos algunos de los tipos de almacenamiento más utilizados para la conservación de hortalizas antes de llegar a su destino final.

Los tipos de almacenamiento se pueden numerar como sigue:

1. Refrigeración: aire frío; agua fría; contacto directo con hielo; refrigeración por evaporación.
2. Almacenamiento en atmósferas controladas
3. Almacenamiento en atmósferas modificadas: atmósferas modificadas activas y pasivas.

2.1 Refrigeración

Las bajas temperaturas tienen por objeto disminuir el rango de respiración, controlar el crecimiento de microorganismos y retardar las actividades metabólicas de los tejidos vegetales²². El objetivo perseguido por el almacenamiento a refrigeración es el de restringir la velocidad de deterioro sin acarrear una velocidad anómala u otros cambios perjudiciales manteniendo así el producto en periodos tan largos como sea posible, en condiciones aceptables para el consumo. El almacenamiento a bajas temperaturas de las hortalizas es extremadamente exigente, tanto en lo que respecta al diseño de la máquina como en cuanto al funcionamiento del almacén. No basta con que la capacidad frigorígena sea suficiente para enfriar al producto hasta la temperatura requerida; es preciso que la instalación sea capaz de extraer continuamente el calor desprendido como consecuencia de la actividad respiratoria. Los frigoríficos para el almacenamiento de hortalizas frescas deben operar dentro de rangos de temperatura muy estrechos, en el espacio y en el tiempo, con el objeto de lograr un periodo de almacenamiento máximo, de evitar la congelación del producto y de minimizar su deshidratación³⁸.

Después de la recolección de las hortalizas, es conveniente que cuanto más rápido se enfríe el producto hasta la temperatura de almacenamiento más prolongada será su vida útil. Al enfriamiento inmediato a la recolección suele denominársele preenfriamiento y resulta especialmente útil cuando se aplica a las hortalizas más perecederas, es decir, aquellas con una elevada actividad respiratoria³⁹.

El preenfriamiento del producto inmediatamente después de la recolección es, con frecuencia, esencial, dado que los vehículos terrestres refrigerados no están diseñados para extraer todo el calor que los productos contienen al momento de recolectarlos, sino para mantener tras haber sido preenfriados una determinada temperatura³².

El término de preenfriamiento se aplica de un modo impreciso; generalmente abarca cualquier descenso de la temperatura previo al transporte, almacenamiento o al tratamiento industrial a que el producto se destine.

El método de enfriamiento seleccionado depende en buena medida del periodo de almacenamiento pretendido. Los productos como las hortalizas de hojas, con una alta actividad respiratoria, que ofrecen una vida útil limitada, deben ser rápidamente enfriados tras la recolección³².

2.1.1 Velocidades de refrigeración

La velocidad de enfriamiento del producto depende fundamentalmente de cinco factores³⁸:

- 1) La velocidad de transferencia de calor desde el producto al medio de refrigeración, que a su vez depende del tamaño y forma;
- 2) La diferencia de temperatura del producto y medio refrigerante;

- 3) La facilidad de acceso del refrigerante al producto a enfriar;
- 4) La velocidad a la que circule el refrigerante;
- 5) La naturaleza del refrigerante.

La velocidad de refrigeración suele expresarse en términos de coeficiente de refrigeración, C , o del periodo de semienfriamiento, Z , que es el tiempo requerido para reducir a la mitad la diferencia entre la temperatura del medio y la del producto.

Teóricamente el periodo de semienfriamiento es independiente de la temperatura inicial del producto y permanece constante a través del tiempo³⁶.

Matemáticamente puede expresarse así:

$$Z = \log_e (0.5)/C, \text{ donde } C \text{ es un valor negativo}$$

La velocidad de refrigeración se ve influida por el método utilizado, el tipo de embalaje y el sistema de apilado de los mismos.

2.1.2 Métodos de refrigeración

El enfriamiento puede llevarse a cabo por medio de³²:

2.1.2.1 Aire frío

El método de refrigeración por medio de aire frío, puede llevarse a cabo por cámaras frías ó por corrientes de aire forzado. A continuación se explicará cada uno de los métodos.

a) Refrigeración en cámara fría.

Probablemente sea la cámara fría el método más común de enfriamiento; en ella se exponen los productos en aires fríos, en un almacén, en cajas de madera o cartón o en recipientes de gran tamaño. Para que el enfriamiento sea las velocidades de aire en torno a los recipientes que contienen los productos a refrigerar debe ser de al menos 60 metros por minuto³⁸.

b) Enfriamiento por corriente de aire forzado (a presión)

La velocidad de enfriamiento de por aire frío puede incrementarse de un modo considerable si se aumenta la superficie de transferencia de calor sustituyendo la del envase por la suma de todas las de los productos a enfriar³². Forzando el aire, a través de los envases, en torno a cada una de las piezas puede enfriarse en 1/4 a 1/10 del tiempo requerido al método citado anteriormente.

Existen varios procedimientos de enfriamiento por aire forzado. En los túneles de refrigeración, se emplean velocidades de aire entre 200 y 400 metros/minuto; el aire frío se desliza sobre la superficie de los productos, mientras que los recipientes se desplazan a través del túnel. En los Estados Unidos el procedimiento se ha perfeccionado empleándose una técnica que expone el producto, en recipientes perforados, con el aire a una presión más elevada en una de sus caras³⁶.

2.1.2.2 Agua fría: Hidroenfriamiento

El hidroenfriamiento o hidrorrefrigeración en la que el agente de refrigeración es el agua, es un método rápido de enfriamiento, dado que el agua ofrece un calor específico considerablemente mayor que el aire. La refrigeración con agua es veloz se esta contacta con la mayor parte de la superficie del producto y se mantiene a temperaturas próximas a 0°C.

En numerosos sistemas de hidrorrefrigeración, el producto pasa bajo duchas de agua arrastrado por una banda transportadora. La hidrorrefrigeración puede limpiar también el producto pero siempre dará una contaminación del mismo que se retire regularmente ante la tierra contaminante y se cloro el agua. Una ventaja adicional del sistema es la de que las pérdidas por peso son mínimas³⁶.

2.1.2.3 Contacto directo con hielo

Antes del descubrimiento de algunos de los modernos métodos de enfriamiento se usaba la técnica de contacto con hielo para mantener las temperaturas bajas durante el transporte, en especial en las hortalizas de hoja. El contacto con hielo se utiliza hoy como complemento de otras técnicas de enfriamiento, para lo cual se extiende por encima de la carga situada en el vehículo de transporte, hielo finamente picado, o una pasta de hielo (hielo líquido, 40% de agua; 60% de hielo; 0.1% de sal)³⁶.

2.1.2.4 Refrigeración por evaporación

a) Enfriamiento evaporativo

Se trata de un proceso elemental en el que se enfría el aire haciéndolo pasar sobre una superficie húmeda.

Esta técnica solo es aplicable en zonas con una humedad relativa baja y con un suministro adecuada de agua de buena calidad, pero ofrece la ventaja de su escaso costo energético. El producto puede enfriarse bien por el contacto con el aire frío humidificado bien humedeciéndolo y haciendo después pasar el aire sobre la superficie del producto húmedo³⁶.

b) Refrigeración a vacío

Las hortalizas que ofrecen una relación superficie/volumen elevada pueden enfriarse rápida y uniformemente mediante la evaporación a vacío de parte del agua que contienen, técnica a la que se denomina refrigeración a vacío y que es más rápida que la hidrorrefrigeración. El producto se coloca en un recipiente hermético y la presión se reduce a 660 Pa (5 mmHg). A esta presión el agua hierve a 1 °C y el producto se enfría por refrigeración del agua de la superficie tisular.

Por cada 5°C de descenso de la temperatura se pierde por evaporación aproximadamente 1 % del peso del producto en agua. Estas pérdidas de peso pueden minimizarse mediante nebulización de agua antes de introducir el producto a la cámara de vacío.

La velocidad de enfriamiento alcanzable por esta técnica, depende fundamentalmente de la relación superficie/volumen, del producto y de la facilidad con la que ésta pierde agua. Las hortalizas de hoja son ideales para ser sometidas a refrigeración a vacío³⁸.

2.2 Almacenamiento en atmósferas controladas

Actualmente existen métodos de conservación de frutas y hortalizas que modificando la atmósfera que rodea el producto se puede lograr conservar éste por

varias semanas incluso meses, lo que supera los métodos tradicionales de conservación incluso la refrigeración⁸. La técnica de almacenamiento en atmósferas controladas, supone el cambio de la atmósfera que rodea a los alimentos por aire, con una composición distinta a la del aire normal: generalmente se reduce el contenido de oxígeno y se aumenta el contenido de CO₂¹².

La técnica de atmósfera controlada refiere a la manipulación de gases, O₂ y CO₂ en almacenes herméticos que pueden ser provistos de frío o sin él, capaces de contener toneladas de producto, los cuáles están equipados con sistemas que controlan escrupulosamente la composición de atmósfera gaseosa en el interior de los almacenes²⁸.

2.2.1 Consideraciones para el diseño de una cámara frigorífica de atmósferas controladas

Teniendo en cuenta lo citado anteriormente, el almacén utilizado para la conservación en atmósferas controladas, debe ser por tanto, impermeable a los gases, o poco permeable, y estar equipado con sistemas que permitan medir y controlar las concentraciones de bióxido de carbono y oxígeno³². El sistema de refrigeración al tener que permanecer herméticamente cerrado al almacén, deberá ser de funcionamiento muy seguro. En la figura 5 se muestra un ejemplo de este tipo de cámaras.

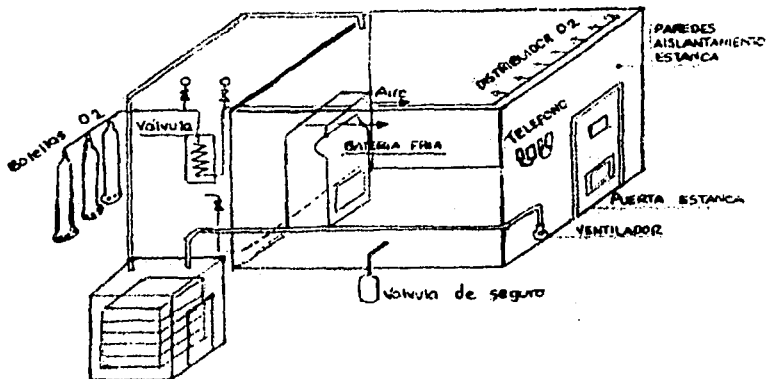


Figura 5. Cámara fría de conservación con atmósfera controlada.
Fuente: Álvarez Cárdenas A. (1985)².

Un avance reciente, de gran interés práctico, ha sido el constituido por generadores alternos, que consumen el oxígeno de aire mucho más de prisa que la respiración de las frutas. El generador es un quemador especial, que opera con un combustible gaseoso y que produce una atmósfera pobre en oxígeno con el contenido de bióxido de carbono preciso, con la que se barre la del almacén (sistema de barrido) o que consume el oxígeno del interior de la cámara (sistema de recirculación). También precisa un mecanismo de absorción de bióxido de carbono producido por el generador y por las hortalizas, un generador de este tipo permite mantener una atmósfera con un 2-3% de oxígeno en una cámara³².

2.3 Envasado en atmósferas controladas.

Es estrictamente hablando, el envasado de un alimento en un envase impermeable a gases, dentro del cual el ambiente gaseoso con respecto a CO_2 , O_2 , N_2 , vapor de agua y otros gases, han sido cambiados y están controlados selectivamente para incrementar la vida útil¹³.

Usando esta definición no hay sistemas de envasado CAP (por sus siglas en inglés "Controlled Atmosphere Packaging") en uso comercial. Sin embargo la combinación de absorbentes de O_2 y etileno dentro de envases o películas, junto con agentes liberantes de CO_2 pueden ser clasificados como CAP, al menos durante las primeras etapas de la vida útil del producto envasado.

2.4 Almacenamiento en atmósferas modificadas.

Esta técnica igual que las Atmósferas Controladas refiere el cambio de la atmósfera que rodea el producto, el aire normal se reduce en contenido de oxígeno (O_2) y se aumenta el contenido de bióxido de carbono (CO_2). Sin embargo esta técnica refiere a tener el alimento en un cuarto cerrado y permitir la actividad respiratoria de los alimentos frescos para cambiar la atmósfera que los rodea. Las concentraciones de O_2 que pueden manejarse mediante esta técnica son tan pequeñas como de 0% y de CO_2 tan altas como del 20%²⁴.

2.5. Envasado en atmósferas modificadas.

Es el envasado del alimento en un envase, en el cual la atmósfera en su interior, ha sido modificada por lo tanto su composición es diferente a la del aire normal¹⁶. La finalidad de la atmósfera modificada es reducir el contenido del oxígeno dentro del empaque a niveles del 0.5% al 1.0%. Estos niveles son alcanzados mediante una técnica llamada gas "flushing". El gas "Flushing" es el reemplazamiento de aire normal en el empaque por una mezcla de gases, generalmente se utiliza el bióxido de carbono (CO₂) y el nitrógeno (N₂). ¿Porqué estos dos gases? El CO₂ inhibe el crecimiento microbiano que puede deteriorar la integridad del producto y el N₂ es utilizado para rellenar el envase y mantenerlo atractivo a la vista⁶.

El crecimiento del envasado en atmósferas modificadas también conocido como MAP (por sus siglas en inglés "Modified Atmosphere Packaging"), ha sido muy grande sobre todo en Norteamérica y Países europeos, porque puede ser aplicado casi a cualquier producto dónde la vida del anaquel es vital para las estrategias comerciales. Europa de hecho ha sido mucho más receptivo al concepto de MAP que otros continentes, Francia parece dominar la técnica MAP, sin embargo la maquinaria es manufacturada principalmente en Alemania y Escandinavia. ⁶ En el caso de las hortalizas envasadas en MAP, ésta técnica ayuda a la conservación de éstas por más tiempo, sin necesidad de procesarlas. Esta técnica puede ser utilizada para productos frescos como carnes y pescados y también para frutas y vegetales, hoy en día existe una alta tendencia a emplear MAP en botanas y productos de panificación ²⁹.

Como se revisó anteriormente, las hortalizas siguen respirando y produciendo CO_2 y vapor de agua, los cuales pueden ser altamente controlables mediante esta técnica empleando un envase (generalmente un polímero) que controle la permeabilidad a estos gases, ya que al disminuir la actividad respiratoria, incrementando los niveles de CO_2 dentro del envase, disminuye la transpiración y se evita el rápido marchitamiento que se traduce como mayor vida de anaquel¹⁴. Dentro del envasado de productos en atmósferas modificadas se encuentran dos técnicas empleadas comúnmente, las atmósferas modificadas pasivas y las activas.

2.5.1 Atmósferas modificadas pasivas.

El método de MAP pasivas también conocido como atmósfera modificada generada se refiere a una atmósfera alta en CO_2 y baja en O_2 , pasivamente creada por el producto dentro de un envase sellado como producto de la respiración²⁸.

Idealmente la permeabilidad de la película debe ser suficiente para que el oxígeno pueda entrar al envase y al mismo tiempo para que el CO_2 pueda difundirse a través de éste.

2.5.2 Atmósferas modificadas activas.

Se refiere que el aire dentro del envase es removido utilizando vacío y luego es reemplazado por una mezcla controlada de gases. Entonces se puede crear la atmósfera deseada inmediatamente después del sellado del envase a comparación con

las MAP Pasivas que se tiene que esperar semanas para que el producto empacado por si mismo modifique la atmósfera y logre la misma composición de gases.

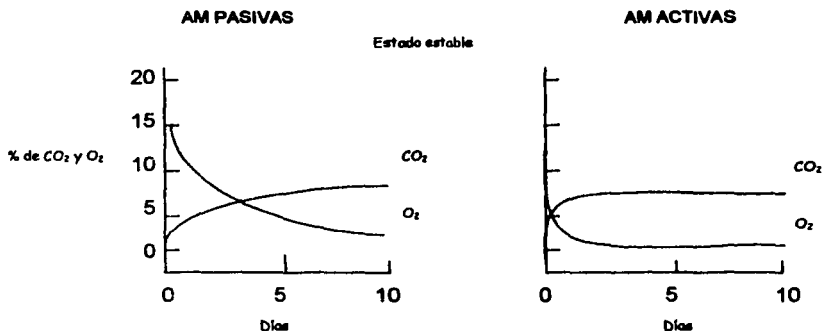


Figura 6. Cambios relativos en las concentraciones de CO_2 y O_2 durante el envasado de productos de hortaliza en atmósferas modificadas pasivas y activas.
Fuente: Robertson Gordon (1993) ²⁸.

La figura 6 muestra los cambios relativos en las concentraciones de CO_2 y O_2 en una atmósfera modificada pasiva y en otra activa, como se observa se logra alcanzar mucho más rápido la concentración necesaria de CO_2 y de O_2 en una atmósfera modificada activa.

Para alcanzar estas concentraciones dentro del envase se hace necesaria la incorporación de ciertos aditivos en la película donde se envasa, para modificar la atmósfera en el espacio de cabeza e incrementar la vida útil del producto. Bajo esta definición se pueden agrupar de la siguiente forma:

1. Absorbedores de O₂.

Se emplean absorbedores de O₂ para mantener los niveles de éste dentro del empaque ó de CO₂. El uso de estos absorbedores aumenta el costo de esta operación²⁶. Un método rápido para reducir el contenido de O₂ y aumentar el CO₂ dentro del empaque es el uso de carbonato de hierro dentro de una bolsita permeable.

En presencia de aire húmedo el carbonato de hierro se oxida y proporciona CO₂.



La cantidad de carbonato de hierro debe calcularse para no provocar condiciones anaeróbicas. El carbonato de hierro reduce los niveles de O₂ por debajo del 0.1%. Para evitar problemas con los metales, también se emplean ácido ascórbico o ascorbatos.

2. Absorbedores/ emisores de CO₂.

Existen diversos sistemas comerciales que pueden utilizarse tanto para eliminar como para generar bióxido de carbono, por ejemplo las bolsitas de hidróxido de calcio y sales ferrosas.

3. Generadores de vapor de etanol.

El etanol es bien conocido por sus propiedades microbianas y puede ser pulverizado, antes del envasado, directamente sobre los productos. Sin embargo en la actualidad existen sistemas mas sofisticados para liberar etanol dentro de un envase, desde el propio film o de bolsas⁷.

2.6 Envasado a Vacío.

Es el envasado en el cual el alimento es colocado en un envase impermeable, el aire es removido del envase, con la finalidad de prevenir el crecimiento de microorganismos aerobios y para disminuir el deterioro por oxidación de algunos productos. Los alimentos metabólicamente activos envasados a vacío como las ensaladas mixtas, continúan con sus actividades respiratorias, consumiendo así la pequeña cantidad de oxígeno presente en los tejidos del producto, con lo que se aumenta el vacío además de producir vapor de agua³. El envasado a vacío aumenta los niveles de CO₂ del 10-20%, debido a los posibles microorganismos que se encuentran en el producto o a la actividad metabólica en las frutas y hortalizas (respiración). El envasado a vacío crea una atmósfera diferente a la normal por lo que es considerada como una atmósfera modificada, sin embargo no es muy utilizada para el envasado de hortalizas de hojas por las características de las películas empleadas, que no cumplen con las características de permeabilidad requerida para envasar hortalizas.

CAPITULO 3

ENVASADO DE HORTALIZAS DE HOJA EN ATMOSFERAS MODIFICADAS

Las hortalizas por definición siguen respirando es decir toman oxígeno y desprenden bióxido de carbono y vapor de agua. También producen otros gases tales como el etileno. La tasa respiratoria de las hortalizas es variada, dentro de las cuales las hojas tiene una alta tasa de respiración. La capacidad para ser envasadas depende de la tasa de respiración de cada especie³⁶. Los materiales plásticos destinados a envasar hortalizas frescas permiten reducir la pérdida de humedad y facilitan la manipulación del producto por el comprador y para la mayoría de los productos las bolsas de polietileno de baja densidad constituyen una protección suficiente¹⁷. Otros productos frescos pueden ser envasados en canastillas o bandejas de PVC o poliestireno expandido termoformados, recubiertas manual o mecánicamente de películas que ciñen perfectamente de polietileno de baja densidad o etilen-vinil-acetato³⁰.

También se emplean mucho las películas estiradas de PVC plastificado, debido a la posibilidad de crear una versión de este material muy permeable a los gases. Cuando las hortalizas han experimentado algún tipo de preparación como por ejemplo pelado, cortada en lanchas o en tiras, tienen que ser manipuladas en refrigeración, por lo que se recomienda que su distribución se realice a una temperatura entre 0 y 8 °C³⁰.

Aunque estas temperaturas retrasan la alteración del producto, su vida útil sigue siendo de tan solo dos a tres días a menos que se modifique la composición de los gases que rodean al producto, por medio de las atmósferas modificadas.

3.1 Propiedades a considerar en el envasado de hortalizas en atmósferas modificadas.

Para el éxito de esta técnica se deben considerar ciertas propiedades que afectan la vida útil de la hortaliza³².

1. Propiedades intrínsecas
2. Propiedades extrínsecas

Con respecto a las hortalizas envasadas en atmósferas modificadas, la vida útil está afectada por propiedades intrínsecas así como propiedades extrínsecas las cuales se revisan en este capítulo.

3.1.1 Propiedades intrínsecas del producto.

Son las propiedades internas del producto, que en ocasiones pueden ser o no controlables.

a) Intensidad de la respiración

Generalmente hablando, la intensidad de la respiración se valora por la rapidez con la que se producen los cambios químicos en el material vegetal, y por lo tanto indica la vida útil potencial de la hortaliza³².

La intensidad de respiración se define como la cantidad de CO₂ producido por unidad de peso del producto, por tiempo.

$$R = \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{Kg-hr}}$$

La intensidad de respiración también puede ser expresada como:

$$R = \frac{\text{ml CO}_2}{\text{Kg-hr}}$$

Muchos especialistas aprueban la primera expresión, sin embargo los cálculos involucran volúmenes por lo cual la segunda expresión es más conveniente.

La intensidad de respiración tiene gran importancia, porque ésta determina la cantidad de oxígeno que debe ser administrada por unidad de tiempo y la cantidad de CO₂ y de calor que se libera al mismo tiempo, además de ser indicador de la velocidad con que se llevan a cabo otras reacciones como la conversión de almidón a azúcares, las pérdidas de vitaminas, y el deterioro en general del vegetal³¹.

b) Efecto de la disposición de O₂.

El suministro de oxígeno para la respiración normal, es generalmente adecuado, a menos que el aire sea restringido intencional ó accidentalmente, en este caso las fermentaciones pueden tomar lugar que generalmente se acompañan de olores y sabores indeseables. Estas fermentaciones pueden ser evitadas provocando una ventilación adecuada ó un control adecuado de gases en empaques o contenedores, ó por un diseño y mantenimiento propio de un almacén en atmósferas controladas³².

c) Efecto de la disposición de CO₂.

La disposición de CO₂ generalmente requiere más atención que el suministro de oxígeno, porque el CO₂ puede estar en exceso aún cuando el suministro de O₂ es adecuado. Una reducción de la concentración de O₂ del 3% (por ejemplo del 21% al 18%) no provoca efectos adversos en el producto, sin embargo un incremento de CO₂ del 3% (por ejemplo del 1% al 4%) puede descomponer completamente los vegetales en pocos días³².

Consecuentemente una acumulación descontrolada de la producción de CO₂ en el aire alrededor de los vegetales debe ser evitado y la concentración no debe exceder del 1%³¹.

d) Efecto de la temperatura.

Si el suministro de O_2 o producción de CO_2 ocasionalmente requiere un cuidado especial, también la temperatura a la cual se encuentra la hortaliza, durante todas las fases de comercialización. Es por eso que se debe tener cuidado en mantener las hortalizas a temperaturas adecuadas, para que las hortalizas no perezcan tan rápido por acción microbiana o enzimática. La temperatura es el factor más importante en la vida postcosecha de un producto hortícola, debido a sus dramáticos efectos que puede causar en las reacciones biológicas de las hortalizas incluyendo la respiración²⁸.

Tabla 4. Valores típicos de Q_{10} para las hortalizas.

Q_{10}	Temperatura
2.5 a 4.0	10 °C
2.0 a 2.5	10-20 °C
1.5 a 2.0	20-30 °C
1.0 a 1.5	30-40 °C

Fuente: Robertson Gordon (1993)²⁸.

Tomando el significado del valor Q_{10} ³³, este puede ser calculado a la velocidad relativa de respiración y podría incrementar de 1.0 a 0°C de 3 a 10°C, de 7.5 a 20°C, 15 a 30°C, y 22.5 a 30°C, como se observa en la tabla 4. Estos datos ilustran dramáticamente la necesidad de reducir la temperatura de los vegetales tan pronto como sea posible después de la cosecha para maximizar la vida útil. Los incrementos

en la intensidad de respiración disminuyen con un incremento de temperatura arriba de los 40°C, con el Q_{10}^{33} . La intensidad de respiración varía entre una especie y otra y depende de la temperatura. La tabla 5 nos muestra los rangos de respiración de algunas hortalizas de hoja.

Tabla 5. Intensidad de respiración de hortalizas de hoja en aire y en una atmósfera de 3% de O_2

Hortaliza / °C	Intensidad de respiración Producción de CO_2 (mlKg ⁻¹ h ⁻¹) ^b					
	Aire			3% O_2		
	0	10	20	0	10	20
Col Decema	2	4	11	1	3	6
Lechuga Kordaat	5	9	21	4	6	14
Col primo	6	16	23	4	8	17
Lechuga Kloeck	8	17	42	8	13	25
Col de Bruselas	9	27	51	7	19	40
Espinacas Prickly truø	25	43	85	26	46	77
Berros	9	43	117	5	38	95

Fuente: Wills R.B.H. (1989)³⁶.

En la tabla 5 se observa cómo para una sola especie, la velocidad de respiración puede variar dependiendo de la temperatura y de la cantidad de oxígeno (21% de O_2 en el aire; contra un 3%).

f) Estructura y condición del vegetal.

Los vegetales de hoja pierden vapor de agua principalmente a través del estoma, pequeñas aberturas en el epidermis que son los mismos poros a través de los cuales otros gases, como oxígeno y bióxido de carbono son intercambiados¹¹.

La inmensa y mayor parte del intercambio del vapor de agua y de otros gases de las hojas con la atmósfera está controlado por los pequeños poros llamados estomas, regularmente espaciados en la epidermis.

En los productos foliáceos, los estomas suelen cerrarse tras la recolección, en cuanto se ha perdido una pequeña cantidad de agua, pero en determinadas condiciones, por ejemplo, cuando se procede a un enfriamiento rápido de los tejidos sensibles a las bajas temperaturas, permanecen abiertos. Véase figura 7.



Figura 7. Estomas abiertos en la superficie de una hoja de granadilla
Fuente: Wills R.B.H. (1989) ²⁰.

Las lechugas y las espinacas que tienen todas sus hojas expuestas, se marchitan más rápidamente que la lechuga cabeza, donde la exposición de la superficie es relativamente pequeña.

Estas diferencias en las tendencias de la pérdida de humedad en vegetales han sido medidas y cuantificadas por Van Den Berg y Lentz en 1971 quien también determinó el coeficiente de transpiración. El coeficiente de transpiración es una medida del rango de pérdida de humedad por unidad de peso por unidad de la diferencia de presión de vapor de agua (mg/Kg-hr-mmHg)³⁸

3.1.2. Propiedades extrínsecas.

Las propiedades extrínsecas son las propiedades que afectan al producto desde su exterior y no son propias de la hortaliza, por lo tanto son más fáciles de controlar³². Las más importantes son las siguientes:

- a) Humedad Relativa y temperatura del almacén
- b) Efectos del movimiento de aire en el almacén
- c) Materiales de envasado

a) Humedad relativa y temperatura del almacén.

La pérdida de humedad con el correspondiente marchitamiento y arrugamiento es uno de los caminos obvios en la que se pierde la frescura de las hortalizas sobre todo de las hojas³².

Todos los vegetales continúan perdiendo vapor de agua después de ser cosechados. La transpiración o el movimiento de vapor de agua es la pérdida de humedad y por consiguiente pérdida de peso. Si ésta pérdida de agua o transpiración no es retardada el producto puede marchitarse rápidamente, puede endurecerse o ablandarse y llegar a ser un producto no comestible. Estos síntomas de pérdida de agua llegan a ser considerables cuando las hortalizas han perdido entre 5 y 10% de su peso debido a la transpiración¹¹.

La pérdida de agua, como es universalmente conocida, depende de la Humedad Relativa y por lo tanto de la temperatura. La humedad relativa (HR) es, con toda probabilidad el más conocido de los términos en los que se expresa el contenido de agua del aire húmedo y se define como el cociente de la presión de vapor de agua en el aire por la máxima presión de vapor posible a la misma temperatura expresado en porcentaje³⁸.

El equilibrio se logra cuando el número de moléculas de agua que ingresa en la fase de vapor es el mismo número que las abandona. A la humedad relativa al alcanzar

el equilibrio se le denomina Humedad Relativa de equilibrio (HRE), que es una propiedad del producto y de su contenido en agua. El agua pura tiene una humedad relativa de equilibrio de 100%³².

El elevado contenido en agua de las hortalizas se mantiene en virtud de las fuerzas osmóticas que existen en el interior de las células, en su mayor parte como agua libre, aunque en una pequeña porción se encuentra químicamente como agua ligada³².

Se han construido diagramas psicométricos que relacionan las diversas propiedades de aire húmedo, la figura 8 representa un ejemplo simplificado de los mismos. En la escala del eje de abscisas figuran las temperaturas de bulbo seco, la línea curva situada en la parte superior de la gráfica ilustra las relaciones entre la presión de vapor y la temperatura en el aire saturado³⁶. La diferencia de presión de vapor (VPD), que es la diferencia entre la HRE del producto y la HR real del aire, tiene importantes repercusiones en el enfriamiento del producto. Al enfriarse el aire húmedo, adquiere una temperatura a la que la presión de vapor de agua alcanza el máximo posible a la temperatura en cuestión, por consiguiente el agua se condensará en forma de rocío sobre la superficie. Las líneas horizontales de la figura 8, representan temperaturas de rocío; así un aire con un 80% de humedad relativa a 30°C se satura cuando se enfría a 26 °C³².

La temperatura de rocío es igual a la de bulbo seco en el punto de interacción con la curva de saturación. Las líneas con pendiente negativa, que ascienden de derecha a izquierda, indican temperatura de bulbo húmedo constante. La condensación tiene consecuencias de primordial interés en relación con los productos envasados cuando se introducen en una atmósfera húmeda más caliente³².

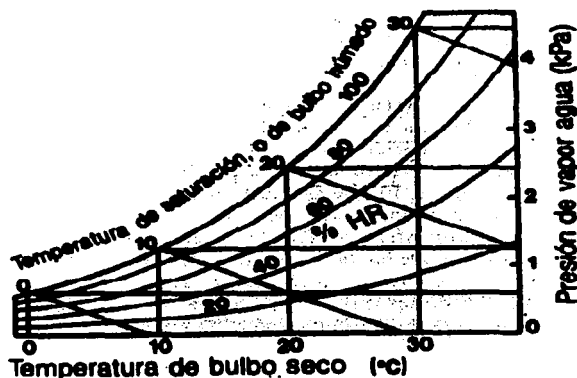


Figura 8 Diagrama psicrométrico
Fuente: Willis R.B.H. (1989)²⁶.

La condensación promueve la putrefacción, debilita los embalajes de cartón y acelera el calentamiento del producto. A temperaturas de almacenamiento bajas se requiere una humedad relativa alta, pequeñas fluctuaciones de temperatura pueden

provocar una condensación excesiva sobre las superficies de enfriamiento y acentuar las pérdidas de agua del producto³².

b) Efecto del movimiento de aire en el almacén

La velocidad alta de aire causa rápidas pérdidas de agua porque éste continuamente remueve la extremadamente delgada capa de aire saturado que envuelve a los vegetales, como se observa en la figura 9.

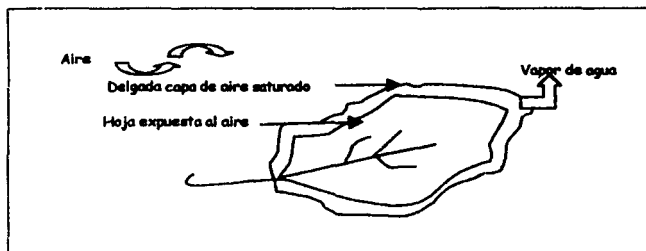


Figura. 9 Hoja expuesta al aire, delgada capa de aire saturado

Consecuentemente, existe un gradiente el cual impulsa la humedad moviéndola de la humedad interior del tejido al cuarto relativamente seco. Como resultado, la velocidad de aire debe ser suficiente para remover eficazmente el calor producido por la respiración del producto.

Sin embargo, si la velocidad del aire que atraviesa la carga, el apilado o el compartimento es insuficiente, el producto puede calentarse hacia el centro debido a la remoción lenta del calor, producto de la respiración. Bajo estas condiciones la pérdida de humedad se incrementa porque la diferencia de presión de vapor entre el producto y el aire aumenta³⁰.

Cuanto más de prisa se mueva el aire sobre la superficie de la hortaliza, mayor será la velocidad a la que el producto pierda agua. Por tanto en un almacén frigorífico puede reducirse el ritmo de la pérdida de agua restringiendo la velocidad del aire. Una vez enfriado inicialmente el producto puede disminuir la intensidad de la corriente de aire generada por los ventiladores haciendo que funcionen a menor velocidad o por menor tiempo. La velocidad correcta de movimiento del aire tiende a ser fruto de un compromiso entre la conveniencia de un flujo lento para evitar las pérdidas de agua y la exigencia de una velocidad mínima para evitar que se produzcan gradientes de temperatura elevados en la cámara.

c) Efectos de la Relación Superficie/ Volumen.

Uno de los factores fundamentales en la determinación de las pérdidas de agua por un producto es la relación $\text{área superficial/ volumen}$. Las pérdidas por evaporación son tanto más elevadas cuanto mayor sea el cociente $\text{área superficial/ volumen}$. Es decir, si los demás factores permanecen constantes, una hoja perderá más humedad y peso, y de una manera más rápida, que una fruta³⁰.

d) Naturaleza de las superficies de recubrimiento.

La naturaleza de las superficies y los tejidos inmediatamente subyacentes de los vegetales ejercen un pronunciado efecto sobre la velocidad de las pérdidas de agua. Numerosos productos ofrecen una cubierta cerosa (cutícula) impermeables al agua y al vapor. La estructura del recubrimiento ceroso es más importante que su grosor. Las cubiertas cerosas que constan de una estructura compleja y bien ordenada de capas imbricadas ofrecen mayor resistencia a la permeación del agua que las más gruesas pero de estructura plana. Bajo la capa cerosa y la cutícula se encuentran las células epidérmicas que están compactamente estructuradas dejando espacios mínimos entre células adyacentes³⁶.

3.2 Materiales de envasado empleados en atmósferas modificadas

La elección del material de envasado depende del grado de actividad respiratoria del producto que es, por ejemplo elevado en el caso de las hojas que tienden a marchitarse y arrugarse.

El envasado en atmósferas modificadas puede ser clasificado de acuerdo a la tasa de transmisión de oxígeno (TTO). Una alta transmisión de oxígeno requiere de materiales que sean permeables mientras que una baja TTO necesita de materiales que formen una barrera¹⁴. Las hortalizas que han sido cortadas y envasadas necesitan de

un empaque que tenga un alto TTO, debido a que el producto aún se encuentra vivo y está respirando.

La tasa de respiración está altamente asociada y depende de la temperatura y hasta puede incrementarse el doble por cada aumento de 10 °C en la temperatura. Los niveles de respiración también dependen de la hortaliza en cuestión. Sin embargo, una línea muy fina separa lo que es óptimo de lo que es demasiado, y la vida útil puede afectarse si la cantidad de oxígeno es inadecuada y se producen condiciones de anaerobiosis y fermentación. Por lo que es de suma importancia conocer dicha tasa de transmisión y así realizar la selección más adecuada. La mayoría de los empaques de EAM se apoyan en las propiedades que tiene la estructura de la película con la que se está trabajando¹⁴. Para capturar el interés del sector de verduras y hortalizas mínimamente procesadas en los E.E.U.U. se están utilizando los nuevos plastómeros de poliolefinas (hechas con una geometría constreñida a un solo sitio o también conocida como metaloceno catalítico) el cual ofrece el mayor TTO de cualquier otro material aprobado para estar en contacto con el alimento¹⁴.

Entre otras ventajas se encuentra la de necesitar temperaturas de sellado más bajas lo cual aumenta la productividad; gran fuerza de sellado en caliente compatible con los envases grandes; excelentes características ópticas; baja transmisión e vapor de agua de manera que el producto mantiene su peso y frescura; y excelente durabilidad. La sellabilidad superior hace que también los plastómeros sean una buena capa sellante en empaques con barrera¹⁴.

Aunque son mas caros que los copolimeros etilen – vinil acetatos y los polimeros de ultra baja densidad utilizados anteriormente, estos plastómeros generan menor desperdicio, mejoran la calidad y pueden ser diseñados con agentes húmedos antineblina los cuales previenen que la humedad se condense en la superficie de la capa interna del empaque opacando y obstruyendo la visibilidad del producto¹⁰.

Cuando se trata de verduras envasadas resulta importante también el empleo de temperaturas bajas. La velocidad de transmisión de vapor de agua depende de la variedad en cuestión.

Como se requiere cierta permeabilidad al oxígeno y al bióxido de carbono se suele utilizar polietileno perforado o envases encogibles³⁴. Los materiales a emplear en el envasado y sus nomenclaturas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Principales materiales empleados para envasar

Material	Nomenclatura
Acetato de celulosa	CA
Celofán	CT
Copolimeros etileno-acetato de vinilo	EVA
Copolimero de etil-vinil alcohol	EVOH
Polietileno	PE
Polietileno de alta densidad	HDPE
Polietileno de baja densidad	LDPE
Polipropileno	PP
Poliestireno	PS
Polietilen tereftalato	PET
Acetato de polivinilo	PVC
Ionómero	SURLYN
Nylon	NYLON
Copolimero acrilonitrilo metacrilato	BAREX

Fuente: O'Donnell (1996) ²².

El envase debe de ser lo más transparente posible para que permita comprobar su contenido y calidad, en el caso específico de las hortalizas de hojas también se necesita permeabilidad al vapor de agua¹⁰.

Debido a que la permeabilidad es la característica más importante del material empleado para envasar, el polietileno es el material más recomendado, ya que ofrece la mejor barrera frente a la pérdida de humedad que otros materiales empleados. La exposición de la luz también es un factor importante a controlar, ya que la luz acelera la destrucción de clorofila en las hortalizas, por lo tanto, se recomienda el empleo de películas con pigmento blancos u otros medios de opacidad para mejorar la vida útil de los productos. El envasado a vacío mejora la estabilidad de ciertos productos como hierbas aromáticas, espárragos y para las hortalizas de precocidas con su aderezo, ya listas para consumirse se puede utilizar el envasado a vacío¹⁰.

En general se emplean materiales con una permeabilidad de al vapor de agua menor a $1 \text{ g/m}^2/\text{ día}$, opaco para las hojas, libre de fugas, resistente al estado húmedo, no debe pegarse al producto, tan resistente al plegado como sea posible y encogible³⁴.

Para que un material para envasar cumpla con estas características es necesario conocer sus propiedades y así determinar cuál es el más adecuado.

3.2.1 Propiedades de las películas.

La función del envase para las atmósferas modificadas es de suma importancia ya que debe tener características de permeabilidad así como tener propiedades de protección mecánica y térmica. Algunas de las propiedades de las películas se revisan en la tabla 7. Generalmente los envases para atmósferas modificadas son polímeros que cumplen con estas características. A continuación se revisan algunas de las propiedades más importantes para este tipo de envases²⁷.

a) Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas permiten que el envase cumpla con una función de protección del producto contra el medio ambiente, el cual pudiera afectar su estado natural. El tipo de propiedades mecánicas que el envase debe cumplir son las que permitan su utilización en las máquinas de envasado, además de soportar la tensiones que pudiera recibir en el transporte o almacenamiento.

Los polímeros están compuestos por cadenas de moléculas de diferentes tamaños, no tienen un peso molecular único.

Las propiedades mecánicas de los polímeros dependen de su estructura molecular y de su composición química, además dependen grandemente de las condiciones de procesamiento de material en la manufactura de las mismas²⁷.

b) Propiedades térmicas

El material con el que se envase la hortaliza o cualquier otro producto debe ser resistente a las altas y bajas temperaturas, altas para resistir condiciones climáticas y de su propia manufactura y bajas para mantener sus propiedades en refrigeración, ya que algunas de las hortalizas envasadas requieren refrigeración. La cristalinidad (arreglo molecular del polímero en el espacio) y el peso molecular son factores determinantes en las propiedades de los polímeros. Esto lo podemos observar en la tabla 7.

Tabla 7. Propiedades de los materiales para envasar.

Propiedades que dependen principalmente de los pesos moleculares	Propiedades que dependen de la cristalinidad	Propiedades que tienen poca influencia de los pesos moleculares y cristalinidad
<ul style="list-style-type: none">♦ Resistencia a la tensión♦ Punto de fragilidad a baja temperatura♦ Resistencia al rasgado♦ Resistencia a agentes químicos externos	<ul style="list-style-type: none">♦ Densidad♦ Punto de fusión♦ Tensión y elongación a la ruptura♦ Permeabilidad	<ul style="list-style-type: none">♦ Resistencia química♦ Conductividad♦ Calor específico

Fuente: Empaque Performance (1997) ²⁷.

c) Propiedades barrera.

En los procesos envasados con atmósfera modificadas por gases inertes o vacío, la permeabilidad al O₂ es crítica para la vida de anaquel. El proceso de permeabilidad a gases está muy relacionado con la estructura molecular y con la cristalinidad. Los polímeros cristalinos tienen un ordenamiento molecular que frena el proceso de absorción y por lo tanto dificulta la saturación de los materiales²⁷. Los mecanismos de transmisión de vapor de agua son muy diferentes dependiendo del polímero. Cuando se

trata de polímeros apolares como las poliolefinas, el proceso de absorción es muy lento y la saturación se dificulta. En estos polímeros la transmisión de vapor de agua obedece la Ley de Fick²⁷. En cambio en algunos polímeros con estructuras polares, las cadenas polares pueden facilitar la absorción de agua y la saturación de la pared de plástico, de modo que la permeabilidad puede favorecerse²⁷. En el caso de algunas poliamidas conforme baja la temperatura cambia su estructura de modo que se disminuye considerablemente su permeabilidad, además existen algunos polímeros que sufren un proceso de humedecimiento de sus moléculas, con la consiguiente disolución de parte de su estructura. Este problema se presenta en polímeros como el celofán, que los hace poco útiles en ambientes húmedos, si no se cuenta con un celofán formulado adecuadamente. El proceso de transferencia de gases a vapores se ve influenciado por la temperatura y la humedad del ambiente (Humedad relativa), a mayor temperatura y humedad, mayor permeabilidad a vapor de agua y gases de manera general. Las propiedades mencionadas conforman las bases para el aseguramiento de calidad de las hortalizas envasadas en atmósferas modificadas²⁷.

El proceso de difusión de gases a través de películas plásticas obedece la ley de Fick de difusión¹⁰.

$$N_A = \frac{D_{AB}(C_{A1}-C_{A2})}{(Z_1-Z_2)} \quad (1)$$

Donde N_A : representa el flujo másico el gas A que atraviesa por el sólido B.

C_{A1} : Concentración mayor

C_{A2} : Concentración menor

Z_1 - Z_2 : Distancia que recorre el gas A a través del sólido B.

D_{AB} : Coeficiente de difusividad expresado en $\text{área}^2/\text{tiempo}$ del gas A en B.

El coeficiente de difusividad depende de la presión atmosférica y de la temperatura. Este proceso inicia con la absorción del gas en la parte externa de la película, seguida de la disolución de dicho gas en la matriz de la parte media del material. El proceso de disolución continúa hasta que el material se satura y el gas comienza a pasar al otro lado de la barrera. Ver figura 10.

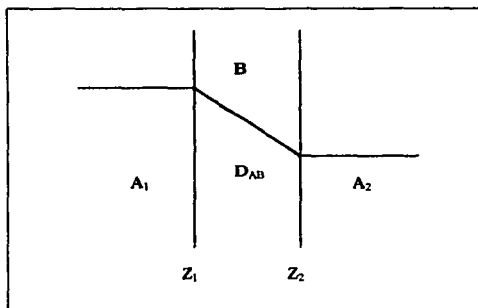


Figura 10. Representación de la permeabilidad a gases de las películas.
Fuente: *Empaque performance* (1997) ²⁷.

3.2.2 Permeabilidad de una película

Como se mencionó a través los capítulos anteriores, la característica más importante de la película con la que se envasa las hortalizas en AM, es la permeabilidad a los gases.

La permeabilidad de una película se encuentra establecida por la 1ª. Ley de Fick cual establece que¹⁰:

$$J_{AY} = - D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial A_Y} \quad (2)$$

y efectuando las operaciones indicadas

$$J_{AY} = D_{AB} \frac{(C_{A0} - C_{AH})}{H} \quad (3)$$

Donde J_{AY} : Representa el flujo másico el gas A que atraviesa por el sólido B.

C_{A0} : Concentración mayor

C_{AH} : Concentración menor

H: Espesor del sólido B que atraviesa el gas A

D_{AB} : Coeficiente de difusividad expresado en $\text{área}^2/\text{tiempo}$ del gas A en el sólido B.

La ecuación (3) puede encontrarse en ocasiones en la literatura como la ecuación (1). En alimentos, la permeabilidad de un envase es al oxígeno o al vapor de agua.

Ejemplo:

En este ejemplo mostraremos como calcular la difusión de un gas (A) en una membrana sólida (B) . Si el medio ambiente que rodea a la película o membrana plástica es un gas, entonces la definición del coeficiente de partición tenemos que³⁵:

$$G = \frac{C}{P} \quad (4)$$

Donde c es la concentración del gas en la superficie de la membrana y P es la presión total que representa su concentración en el medio adyacente a la membrana. Para el componente (A) es

$$G_A = \frac{C_A}{P_A} \quad (5)$$

Donde CA es la concentración de A en la superficie de la membrana y PA es la concentración de A en la zona adyacente a la membrana. Notemos que las unidades (SI) en este caso son³⁶

$$G_A = \frac{\text{Kmol A}}{\text{m}^3 \text{ sólido. atm}} \quad (6)$$

Notemos que estas unidades son en realidad unidades de solubilidad y por ello concluimos que G es equivalente a la solubilidad del gas en la membrana sólida es decir

$$S_A = G_A \quad (7)$$

Habitualmente la solubilidad de gases en sólidos esta expresada en unidades de

$$\frac{\text{m}^3 \text{ A}}{\text{m}^3 \text{ sólido} \cdot \text{atm}} \quad (8)$$

es decir, volumen de A medido a condiciones normales de temperatura y presión (NTP); 273 K y 1 atm³⁵. Podemos entonces escribir

$$Pm = D_{AB} S_A \quad (9)$$

Y

$$J_{AY} = \frac{Pm}{H} (C_{A0} - C_{AH}) \quad (10)$$

De (6)

$$C_A = S_A P_A \quad (11)$$

La cual podemos escribir

$$C_A \equiv \frac{S_A P_A}{22.414} \quad (12)$$

y las unidades son

$$\frac{\text{Kmol A}}{\text{m}^3 \text{ sólido}} = \left[\frac{\text{m}^3 \text{ A}}{\text{m}^3 \text{ sólido} \cdot \text{Atm}} \right] \left[\frac{\text{Kmol A}}{\text{m}^3 \text{ A}} \right] \quad (13)$$

Por lo tanto, si la solubilidad es constante en toda la membrana³⁵

$$C_{A0} = \frac{S_A P_{A0}}{22.414} \quad (14)$$

$$C_{AH} = \frac{S_A P_{AH}}{22.414} \quad (15)$$

y (3) queda

$$J_{AY} = \frac{P_m}{22.414 H} (P_{A0} - P_{AH}) \quad (16)$$

Donde:

$G_A = S_A =$ Solubilidad del gas A

$C_A =$ Concentración del gas A en la superficie de la película

$P_A =$ Presión total del gas A en el medio adyacente a la membrana

$P_m =$ Permeabilidad de la membrana

$D_{AB} =$ Coeficiente de difusividad expresado en $\text{area}^2/\text{tiempo}$ del gas A en B

$J_{AY} =$ Flux molar de A

$H =$ Espesor de la película

$C_{A0} =$ Concentración de A en la superficie externa de la película

$C_{AH} =$ Concentración de A en la superficie interna de la película

22.14 = Constante

La película ideal será la que sea suficientemente permeable al CO_2 e impermeable al O_2 , además de ser adecuada para la transmisión de vapor de agua³⁶.

En la tabla 8 se muestran algunos materiales para envasar y su intensidad de transmisión (permeabilidad) al vapor de agua y al oxígeno relativamente.

Tabla 8. Intensidad de la transmisión de oxígeno y vapor de agua de materiales para envasado¹¹.

Film de empaquetado (25µ)	Intensidad de transmisión de oxígeno (cm ³ /m ² .día.atm) 23°C 0% HR	Permeabilidad relativa a 23°C 0% HR	Intensidad de transmisión de vapor de agua (g/m ² .día) 38°C 90% HR b	Intensidad relativa de transmisión de vapor de agua a 38°C 90% HR
Aluminio (AL)	< 0'1		< 0'1	Barrera, < 10
Etileno-acetato vinílico (EVOH)	0'2-1'0	Barrera	24-120	Variable
Poliéster de vinilideno (PVAc)	0'6-0'2	< 50	0'3-3'2	Barrera, < 10
Nylon modificado (MDDE)	2'0		25	Semi-barrera, 10-100
Poliamida (PET)	30-100		20-30	Semi-barrera, 10-30
Poliamida (PA6)	80		200	Muy alta, 200-300
Poliamida modificado (PETG)	160	Semi-barrera	60	Media, 30-100
Poliéster oxetano modificado (MOPE)	100-300	30-300	1'5-3'0	Barrera, < 10
Closure de poliolefin sin plastificar (UPVC)	120-160		22-35	Variable
Closure de poliolefin (PVC)	2000-3000		200	Muy alta, 200-300
Poliéster oxetano (OPF)	2000-3500		7	Barrera, < 10
Poliéster de alto densidad (HDPE)	2100		6-8	Barrera, < 10
Poliéster (PE)	2300-3000	Media	110-160	Alta, 100-200
Poliéster oxetano (OPS)	2300-3000	200-5000	170	Alta, 100-200
Poliéster (PP)	3000-3700		10-12	Semi-barrera, 10-30
Poliéster (PC)	4300		180	Muy alta, 100-300
Poliéster de baja densidad (LDPE)	7100	Alta 5000-10000	16-24	Semi-barrera, 10-30
Closure de poliolefin (aluminio plastificado) (PVC)	3000-10000	Alta 5000-10000	200	Muy alta, 200-300
Etileno-acetato de vinilo (EVA)	12000	Muy alta 10000-15000	110-160	Muy alta, 100-300
Microespuma (MP)	> 15000	Extremadamente alta	Variable*	Extremadamente alta, > 300
Microespuma (MPOR)	> 15000	> 15000	Variable*	Extremadamente alta, > 300

* La mayoría de los films plásticos para productos fríos no son un film simple, sino laminados o coextruados

* Los valores de la transmisión de O₂ y vapor de agua no son reales con las condiciones de refrigeración

Intensidad de algunos materiales a la transmisión de oxígeno y vapor de agua.

Fuente: Ferber Jeffrey (1997)¹¹.

3.2.3 Relación de permeabilidad entre CO_2/O_2

Muchos tejidos bajo condiciones aeróbicas normales, producen una unidad de CO_2 por cada unidad de O_2 consumido. Si las películas plásticas fueran igualmente permeables al O_2 y al CO_2 para reducir la concentración de O_2 dentro del empaque de un 21% a un 3% (un cambio de 18%), el empaque acumularía un 18% de CO_2 .

Algunos productos podrían ser beneficiados por las concentraciones elevadas de CO_2 y otros podrían ser dañados. Y similarmente algunos productos se beneficiarían con concentraciones altas de CO_2 y otros podrían perjudicarse.

La relación de la permeabilidad al CO_2 y O_2 determina las proporciones relativas del O_2 y del CO_2 dentro del empaque¹¹. La relación es referida como β ($\text{PCO}_2 / \text{PO}_2$), y es uno de los parámetros descriptivos de una película plástica. Las películas con un valor alto de β permitirán que el CO_2 salga fácilmente del envase y las películas con un bajo β permitirán que los niveles de CO_2 aumenten dentro del envase con respecto al O_2 .

Para la mayoría de las películas de polietileno de baja densidad (las más empleadas en MAP) $\beta = 2 - 4$.

3.2.4 Estimación de la permeabilidad deseada de una película.

La estimación de la permeabilidad de una película dependerá de diversos factores, como el rango de respiración (intensidad de respiración), espesor de la película, peso del producto a envasar, superficie de la película, gradiente deseado de O_2 ¹¹.

La relación de estos factores a una temperatura dada puede ser expresada por la siguiente ecuación¹¹:

$$PO_2 = \left[\frac{Dx \cdot (RRO_2) \cdot W}{A^{film}} \right] (O_{2atm} - O_{2pkg}) \quad (17)$$

Donde:

PO_2 = Permeabilidad al oxígeno de la película (ml-mil/ m²-d-atm)

RRO_2 = Rango de respiración como O_2 consumido (ml/Kg-hr)

Dx = espesor de la película (m)

W = Peso de producto (kg)

A^{film} = Area de la película (m²)

$(O_{2atm} - O_{2pkg})$ = gradiente deseado de O_2 entre el aire y el empaque (%)

Una vez revisados los conceptos anteriores es posible calcular la permeabilidad deseada de una película plástica, para administrar la cantidad correcta de O_2 y prevenir las condiciones anaeróbicas.

Ejemplo:

Suponiendo que se requiere envasar 300 g de lechuga Kloeck rebanada, si la lechuga a 10°C tiene un consumo de O₂ de 17 ml/ Kg-hr, para envasar en un envase de tamaño adecuado para su logística de 0.15 m². Se desea disminuir la concentración de oxígeno a una concentración segura, se establece disminuir un 11 %, y si se requiere que la película tenga una resistencia adecuada, se determina un película con espesor de 40 x 10⁻⁶ m. Calcular la permeabilidad requerida de la película al O₂.

Datos:

$$RRO_2 = 17 \text{ ml/Kg-hr a } 10^\circ\text{C}$$

$$D_x = 40 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$W = 0.300 \text{ Kg}$$

$$A^{\text{film}} = 0.15 \text{ m}^2$$

$$(O_{2\text{atm}} - O_{2\text{pkg}}) = 10 \%$$

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior.

$$PO_{2^*} \left[\frac{(40 \times 10^{-6} \text{ m}) (17 \text{ ml/Kg-hr}) (0.300 \text{ Kg})}{0.15 \text{ m}^2} \right] (10\%) = 1.36 \times 10^{-03} \text{ ml/hr-m} \quad (18)$$

3.2.5 Métodos para evaluar la velocidad de transmisión de vapor de agua

Debido a que la mayoría de los alimentos son sensibles tanto al vapor de agua como al oxígeno, en la práctica es necesaria la laminación, coextrusión o recubrimiento

con una buena barrera para el vapor de agua³⁰. En el caso de las hortalizas la humedad es un factor muy importante, se han hecho muchos intentos de predicción de la vida de anaquel a partir de datos conocidos. Existen varias formulas que se pueden utilizar para calcular, pero en todos los casos es recomendable efectuar una prueba práctica a menudo bajo condiciones aceleradas⁴. A continuación se describe como calcular la velocidad ó rango de transmisión de vapor de agua "RTVA" de la hortaliza.

Se debe obtener:

1. El peso del producto por paquete unitario (gramos) (W)
2. Area de superficie del paquete (cm²) (S)
3. Contenido de humedad de la hortaliza (H)
4. La humedad crítica del producto (Hc)
5. Vida de anaquel requerida (días)
6. Promedios de Humedad Relativa y temperatura en el área de venta de la hortaliza.

Obtenido lo anterior el cálculo se hace de la siguiente manera¹⁰:

El contenido de humedad del producto puede cambiar de Mo a Mc antes de que se considere inutilizable. Por tanto la cantidad de agua que puede recibir es.

$$\frac{Mc - Mo}{100} \times W \quad (19)$$

Esta cantidad de agua puede transmitirse a través de una superficie de barrera (S) en días (D) por lo tanto 1 m² de barrera debe transmitir:

$$RTVA = \frac{(M_c - M_o) \times W \times 10,000}{100 \times S \times D} \text{ grs/m}^2/\text{día} \quad (20)$$

La anterior tasa de transmisión es por supuesto a una temperatura T y una Humedad Relativa, y debe corregirse para la condiciones estándar. Si el resultado de dicho calculo da un RTVA imposible o no deseado, podemos ajustar los requerimientos mediante cambios en la cantidad de producto empacado y/o área de la superficie de la barrera (que depende de la forma del paquete) ⁴. Una vez conociendo la velocidad de respiración de nuestra hortaliza y su RTVA, podemos seleccionar el material más adecuado para envasar¹⁰.

3.3 Equipo empleado para envasar hortalizas de hoja en AM.

Como se mencionó anteriormente, uno de los factores que determinan el éxito del envasado en atmósfera modificada, es el equipo a emplear.

Actualmente existen máquinas de envasado con un sistema llamado "gas flushing" ó inyección de gas que permite introducir al envase una mezcla de gases que permite crear la atmósfera que se necesita⁶. Los gases más comúnmente suministrados al envase por estas máquinas son mezclas de nitrógeno, oxígeno y bióxido de

carbono⁸. Las máquinas normales de empacado horizontal o vertical, pueden ser adaptadas a la tecnología del empacado en atmósferas modificadas solamente montando el sistema de "gas flushing". Por el contrario, se puede comprar una máquina que tenga integrado el sistema "flushing" y utilizarse perfectamente como una envasadora normal, apagando el sistema. Las figuras 11 y 12 muestran algunos equipos empleados para envasar en atmósferas modificadas. Estas máquinas empleadas para la tecnología del envasado en MAP, contienen instrumentos altamente sofisticados y diseñados para medir con precisión la cantidad de CO₂ y de O₂ que asegurarán una atmósfera adecuada para conservar la hortaliza e inhibir el crecimiento microbiano⁸.

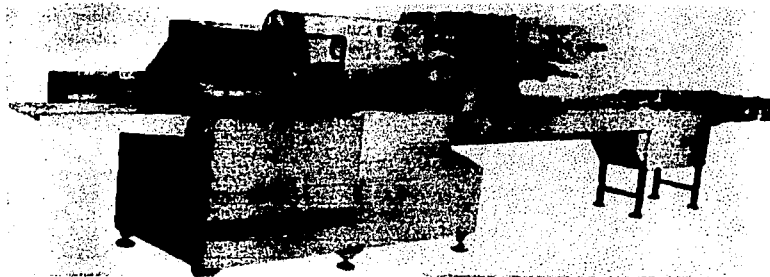


Figura 11. Equipo para envasar en *Atmósferas modificadas*, puede emplear, diferentes películas.

Fuente: Dawn L. Hrdina (1993) ⁸.

Las tendencias de aseguramiento de calidad sobre estos productos, generalmente son dirigidas hacia la regularización de los niveles de gas y la prevención de fugas en las películas. Los últimos controles que se verifican en la línea de producción por medio de computadoras - con la ayuda de sensores de oxígeno conectados a los monitores- son la estabilidad del flujo de gas dentro del envase. Al final de la línea se verifica nuevamente la concentración de los gases de algunos envases con la ayuda de un analizador de gases, que contiene una finísima aguja que se introduce dentro del envase para confirmar la mezcla adecuada⁷.

La mezcla de gas, la película empleada y la máquina pueden instruir al productor, en cuanto a la apropiada mezcla de gas que deberán emplear para su producto en específico.

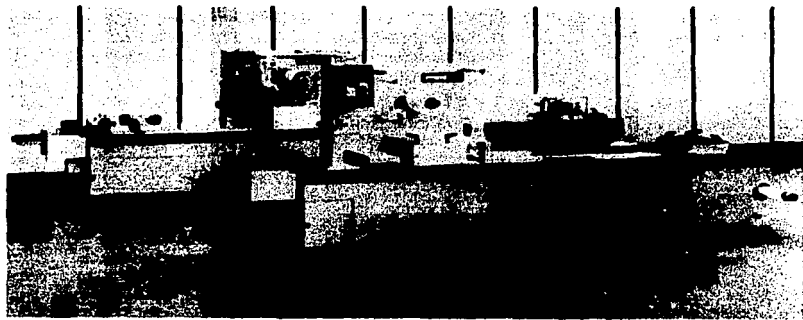


Figura 12. Máquina envasadora al vacío, esta máquina puede desplazar el aire del interior del empaque antes de ser sellado.

Fuente: Dawn L. Hrdina (1993) ⁸.

Los costos iniciales de instalación de un sistema de envasado gas flush son elevados y dependen de la maquina y de la sofisticación del sistema en programas de control, analizadores de gases y monitoréo. Otros costos que se deben incluir son las películas con las que se envasará⁶.

Sin embargo MAP asegura la mejor protección contra la permeabilidad de oxígeno y vapor de agua, que garantiza un producto con buenas características organolépticas, y sobre todo con apariencia fresca, un producto que puede tener un costo ligeramente elevado, ya que el consumidor percibe que este tiene un alto valor⁷. Los productores de hortalizas envasadas en MAP reconocen en este sistema un gran futuro por lo que están muy interesados en nuevos desarrollos de películas, y máquinas que ofrezcan versatilidad e innovación a sus productos. Las máquinas envasadoras continuarán mejorando la sofisticación en cuanto a sistemas automatizados y computarizados⁸. Los productores de alimentos de E.E.U.U. y Europa y recientemente de América latina, fijan cada vez mas su atención hacia las legislaciones que cuestionan si los métodos de conservación de sus productos alimenticios son seguros, indudablemente las atmósferas modificadas lo son.

3.4 Gases empleados en el envasado en atmósferas modificadas.

Como se revisó anteriormente, el propósito principal de la técnica de atmósferas modificadas es el de reducir el deterioro fisiológico que experimentan las hortalizas frente a cambios ambientales normales, controlando a voluntad la atmósfera que lo

rodea²⁴. La adecuada implementación de esta técnica sobre el producto mejora el control de inventarios, incrementa los radios de distribución en el mercado permitiendo establecer la operación de envasado, empaçado, como una operación centralizada y de máximo control. Para lograr la máxima eficiencia y optimizar los beneficios que esta técnica puede ofrecer deben considerarse los siguientes factores²⁹:

- ◆ Contar con un producto microbiológicamente estable.
- ◆ Tipo de gas o mezcla de gases que se requerirán.
- ◆ Características del envase o empaque a utilizar.
- ◆ Contar con el equipo adecuado para envasado/empaçado.

El gas o mezcla de gases juega un papel muy importante para extender la vida de anaquel y apariencia de las hortalizas. En suma la permeabilidad del envase y los requerimientos específicos de la hortaliza determinarán la mezcla exacta del gas inerte a emplear⁴⁰.

Los gases comúnmente empleados para crear una atmósfera modificada son:

3.4.1 Nitrógeno.

Este gas es inerte y en consecuencia muy estable ante otros compuestos químicos, no es tóxico, es prácticamente insoluble en líquidos acuosos, es insaboro, inoloro y sustituye al aire en el interior del envase desplazando el oxígeno y en consecuencia la acción de este sobre los compuestos susceptibles a este gas⁵. La

aplicación de una atmósfera protectora de nitrógeno a equipos de empaque automático y semiautomático no presenta ninguna dificultad técnica; es de gran sencillez y numerosas máquinas envasadoras vienen actualmente provistas de los elementos necesarios para su empleo.

3.4.2 Bióxido de carbono

En condiciones atmosféricas normales, el estado natural del CO_2 es gaseoso, incoloro y generalmente considerado como inoloro e insaboro, aunque en una concentración alta en el aire causa una ligera sensación picante en la nariz, ojos y boca. Cuando es comprimido a 60.4 psig (416 Kpa) y enfriado a la temperatura de -69.9°F (-56.6°C) el gas se licúa; el líquido a su vez puede ser convertido en sólido, para formar el "hielo seco" este finalmente se sublima regresando a su estado gaseoso natural.

El CO_2 se disuelve en la mayoría de los líquidos en condiciones estándares de temperatura y presión. Tanto la temperatura como la presión afectan la solubilidad, a mayor presión mayor es la cantidad de CO_2 que podrá disolverse.

Cuando se disuelve en agua forma el ácido carbónico, el cual es un ácido débil con pH entre 3.3 a 3.7 (dependiendo de la presión de la solución); es muy estable y con tendencia a regresar a los componentes originales de CO_2 y H_2O .

El CO₂ es 53% más pesado que el aire, por lo que fluye hacia abajo y puede permanecer en un recipiente desplazando al aire que originalmente lo contenía⁵.

El bióxido de carbono a niveles elevados puede ser dañino para algunos tejidos de plantas, por ejemplo en la lechuga, los altos niveles de CO₂ (>12%) pueden causar pardeamiento. A niveles por arriba del 20% El CO₂ pueden actuar como fungistático o fungicida para algunos de los tejidos vegetales, que toleren estas concentraciones.

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

3.4.3 Oxígeno

El oxígeno afecta la flora bacteriana capaz de crecer en el producto. Generalmente estimula el crecimiento de las bacterias aeróbicas e inhibe el de las anaeróbicas¹².

El nivel de oxígeno debe ser cuidadosamente determinado, ya que un nivel demasiado bajo puede incrementar la respiración anaerobia y llevar al desarrollo de sabores desagradables ocasionados por la producción de etanol y acetaldehído. Se debe tener presente que la atmósfera que rodea al producto está influenciada por el tipo

de material usado en el empaque y la mezcla de gases utilizadas inicialmente. Algunos materiales plásticos permiten la difusión de los gases hacia adentro o hacia fuera del empaque durante el almacenamiento⁴. Como hemos visto los gases más empleados en las atmósferas modificadas son el bióxido de carbono, el nitrógeno, y el oxígeno. Sin embargo algunas empresas también utilizan el argón. En los E.E.U.U. el mercado de frutas y hortalizas frescas y cortadas es el que más potencial de uso ofrece para el envasado de atmósferas modificadas, como sabemos el tejido de éstos sigue respirando, generalmente se beneficiará del control del crecimiento microbiano en un ambiente de menos del 10% de oxígeno y menos del 20% de dióxido de carbono²⁵.

CAPITULO 4

ANALISIS DEL ENVASADO DE HOJAS EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS

Una vez que se revisaron los tipos envases empleados en las atmósferas modificadas y los gases comúnmente empleados, se pueden analizar las ventajas y desventajas que ofrece la técnica MAP.

4.1 Efectos de la calidad sensorial de las hojas

El uso de envases para crear atmósferas modificadas, alarga la vida de anaquel de los productos y no sólo la aumenta, sino que pueden mantener algunas de sus cualidades y propiedades.

Cambios bioquímicos en la hoja. Estudios demostraron que¹⁹ la vida de anaquel de lechugas rebanadas fue prolongada utilizando el envasado en Atmósferas modificadas. El oscurecimiento enzimático de la lechuga fue inhibido durante 10 días por un vacío moderado en envases de bolsas de polietileno de 80 µm. La lechuga no presentó oscurecimiento ni pérdida de color, sino una excelente apariencia visual. El tiempo de almacenado pudo incrementarse pero se presentaron pérdidas de sabores por lo que se recomienda no exceder de 10 días¹⁹.

Retención de color. Además de que por si solo el uso de atmósferas modificadas en el envasado de hojas evita la pérdida de color y evita el oscurecimiento enzimático, el uso de películas con pigmento blancos u otros medios de opacidad mejora la vida útil de las hortalizas de hojas verdes como las acelgas, las espinacas, la lechuga, etc, debido a que la exposición directa de la luz acelera la destrucción de la clorofila en dichos vegetales⁶.

Retención de sabor. En el envasado de lechugas cortadas en rodajas y envasadas en bolsas de polietileno de 80 μm , el sabor permaneció durante 10 días, después del décimo día se encontró una pérdida de sabor, Mateos et al. Encontró que una alta concentración de CO_2 resulta en desarrollo de productos de la fermentación como etanol y acetaldehído en cabezas intactas de lechuga, además la baja concentración de O_2 en las bolsas incrementa la respiración anaerobia y resulta en pérdida de sabores¹⁹.

Aumento de la vida de anaquel. Se envasó lechuga⁶ con envolturas de PE de baja densidad, y se alcanzó una vida útil de 10 días a 10°C , antes de que se produjeran pardeamientos y perdieran la textura crujiente. La atmósfera en equilibrio se alcanzó tras 12 días y se componía de 5% de O_2 y 10% de CO_2 . En otro estudio que condujo a una patente, se ha conseguido prolongar considerablemente la vida útil de la lechuga troceada y reducir su pardeamiento tras su almacenamiento en bolsas de PE con una atmósfera inicial modificada compuesta por 25% de O_2 y 3% de monóxido de

carbono a menos de 7°C. En apariencia, el enriquecimiento de O₂ impidió la anaerobiosis y el monóxido de carbono inhibió el proceso de pardeamiento⁶.

4.2 Ventajas y desventajas del envasado de hojas en atmósferas modificadas

4.2.1 Ventajas del envasado en atmósferas modificadas

A lo largo de este estudio se mencionó que el uso de las Atmósferas modificadas es una de las mejores opciones para la conservación de hortalizas de hojas y que ofrecen mayores ventajas que otras técnicas. Por ejemplo:

- ◆ Prolonga la vida de anaquel, de días a meses.
- ◆ No daña la estructura del vegetal³⁶.
- ◆ Conserva el producto con una apariencia "fresca" (lo más valioso para la comercialización de frutas y vegetales)
- ◆ No necesita el uso de conservadores.
- ◆ No necesita otro tratamiento químico o procesado como el enlatado, congelado o deshidratado.
- ◆ Beneficios en algunas cualidades sensoriales de la hoja (evita el oscurecimiento enzimático, pérdida de color y sabor)¹⁸.
- ◆ Evita el crecimiento de microorganismos (debido a las concentraciones tan bajas de oxígeno).

- ◆ Por el uso de envases: mejora la logística y comercialización del producto
- ◆ Fácil manejo para el consumidor.

4.2.2. Desventajas del uso en atmósferas modificadas.

Las desventajas del envasado en atmósferas modificadas son:

- ◆ Producción de sabores y olores desagradables en el producto (debido a la fermentación posible por las bajas concentraciones de oxígeno).
- ◆ Posible desarrollo de patógenos anaerobios¹².
- ◆ La fuerte inversión inicial para implementar esta técnica.

DISCUSIONES.

El manejo postcosecha de las hortalizas es un factor importante que determinará la calidad del producto final, para cualquiera que sea su destino, incluyendo el almacenamiento o envasado en atmósferas modificadas. Por lo que algunos autores refieren el manejo postcosecha con los pasos: recepción; selección lavado; corte; preparación y envasado³, existen otros pasos a seguir, que algunos autores manejan³⁷, sin embargo el manejo postcosecha empleado dependerá de la hortaliza a manejar y de su destino final.

La respiración de una hortalizas de hoja depende de la temperatura²², sin embargo también depende de la estructura del vegetal y de los gases presentes en el ambiente³⁸.

La refrigeración es el método más empleado para almacenar hortalizas y prolongar su vida útil³⁸, sin embargo, un método más eficaz es el almacenamiento en atmósferas modificadas ya que puede prolongar la vida útil de días a meses⁹.

La técnica de almacenamiento en atmósfera modificada o en atmósfera controlada, supone el cambio de la atmósfera que rodea a los alimentos por aire con una composición distinta a la del aire normal, generalmente se disminuye el O₂ y se aumenta el CO₂¹², sin embargo la diferencia consiste en que el almacenamiento en una atmósfera controlada, manipula escrupulosamente la concentración de gases O₂ y CO₂

en almacenes herméticos y en las atmósferas modificadas, las concentraciones de O₂ y CO₂ se generan por la actividad respiratoria de la propia hortaliza²⁴.

El envasado en atmósferas controladas se define como: el envasado de un alimento en un envase impermeable a gases, dentro del cual el ambiente gaseoso con respecto al CO₂, O₂, N₂ y vapor de agua han sido cambiadas y controladas selectivamente para aumentar la vida útil⁶; otros autores¹⁴, mencionan que, estrictamente hablando no existe envasado en atmósferas controladas en uso comercial, pero con la combinación de absorbentes de O₂ y etileno dentro de los envase, junto con agentes liberantes de CO₂, pueden clasificarse como envasado, en atmósferas controladas, sin embargo esta definición se puede emplear más correctamente, al referirse a una generación de atmósfera modificada de manera activa.

Una propiedad muy importante en el material para envasar una hortaliza en atmósfera modificada, es su permeabilidad a los gases y al vapor de agua³⁴, sin embargo, se recomienda también sea también un material con pigmentos blancos u otros medios de opacidad para proteger de la luz la clorofila de las hojas, que da la apariencia de fresca la vegetal, lo que se traduce en mayor vida de anaquel¹⁰.

En cuanto a la concentración de gases empleados para crear una atmósfera modificada, se recomienda disminuir el oxígeno a niveles del 2 al 5%¹⁴, algunos autores prefieren disminuir hasta un 0.5%⁶, sin embargo, la concentración de oxígeno empleado

para envasar dependerá de la velocidad de respiración de la hortaliza, de la película a utilizar y de las condiciones del almacén; temperatura y humedad relativa.

CONCLUSIONES:

- ◆ El buen manejo postcosecha determinará la calidad final del producto, no se puede envasar un producto marchito y sucio y esperar prolongar su vida de anaquel.
- ◆ Un factor muy importante es el control de la humedad relativa y la temperatura en el almacén. La respiración de una hortaliza también depende de la temperatura y de la humedad que se presente en el almacén, sobre todo si la hortaliza no se envasa. Si se controlan estos dos factores dará como resultado una mayor vida de anaquel.
- ◆ El conocimiento de la velocidad de respiración del producto a envasar es de gran importancia, ya que la selección de la película más adecuada dependerá de este factor.
- ◆ El material mas adecuado para envasar en atmósferas modificadas debe ser suficientemente permeable al CO_2 e impermeable al O_2 . Además de tener una permeabilidad menor de $1 \text{ g/m}^2/\text{día}$ de vapor de agua.
- ◆ La técnica de almacenamiento o envasado de hojas en atmósferas modificadas, es la mejor técnica comparada con otras, por ejemplo: refrigeración, deshidratación, enlatado, ya que mantiene la hoja con apariencia fresca y con las cualidades más preciadas de las hortalizas.
- ◆ Se realizó la recopilación bibliográfica esperada, que servirá como material de apoyo para los estudiantes de la carrera Ingeniero en Alimentos, en el tema de atmósferas modificadas.

BIBLIOGRAFIA.

1. Alarcón Creus (1998), TRATADO PRÁCTICO DE REFRIGERACION AUTOMATICA, 12^{va} edición, Editorial. Marcombo, Barcelona España, pág. 7-14.
2. Álvarez Cárdenas A. (1985), ALMACENES FRIGORIFICOS, CONSIDERACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION, Tesis. UNAM FES-C, Cuautitlán Izcalli México, pág. 95-97.
3. Arthey, D., Dennis ,C.(1992), PROCESADO DE HORTALIZAS , 1^a edición, Editorial Acibia, Zaragoza, pág. 66-75.
4. Avila Franco A. (1993), ATMÓSFERAS CONTROLADAS Y MODIFICADAS PARA EL ALMACENAMIENTO Y EMPACADO DE LOS ALIMENTOS, Industria alimentaria, 6(15), pág. 37-39.
5. Blumenthal M. Michael (1997), HOW FOOD PACKAGING AFFECTS FOOD FLAVOR, Food technology, 1(51), pág. 71-79.
6. Brody Aaron (1996), ENVASADO DE ALIMENTOS EN ATMOSFERAS MODIFICADAS Y AL VACIO, Editorial Acibia, Zaragoza, España. Pág. 3-19, 79-108.
7. Cornejo P. D. (1999), PATOLOGÍA Y MANEJO POSTCOSECHA DE LA ESPINACA, AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN, Colegio de postgraduados Instituto de Fitosanidad (IFIT), internet. <http://www.Preparedfoods.com>
8. Dawn L. Hrdina, (1993) PACKAGING MODIFIED, Baking And Snack, Vol 15 Num. 5. pág. 49-52.

9. Dossat Roy J.(1980), **PRINCIPIOS DE REFRIGERACION**, 2da. edición, Compañía Editorial Continental, México, pág. 11-27, 79 -108.
10. **EFFECTOS CLIMÁTICOS EN LOS ALIMENTOS**, (1996), Boletín informativo, *Empaque performance*, 59(6), pág. 22-26
11. Ferber Jeffrey, Dodds Karen, (1995), **PRINCIPLES OF MODIFIED ATMOSPHERE AND SOUS VIDE PRODUCT PACKAGING**, Technomic Publishing Co. E.E.U.U.
12. Finn M.J.(1998), **SURVIVAL OF PATHOGENS ON MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGED SHREDDED CARROT AND CABAGGE**, *Journal of food protection*,60(11), pág. 1347-1350.
13. Fishman Svetlana, Rodov, V. (1996), **MATHEMATICAL MODEL FOR PERFORATION EFFECT ON OXYGEN AND WATER VAPOR DYNAMICS IN MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGES**, *Journal of food science*, 5 (61), pág. 956-961.
14. Forcinio Hallie (1997), **EMPAQUE DE ATMÓSFERA MODIFICADA**. *Alimentos Procesados*, 8 (16) pág. 59-60
15. Gil M.I., Ferreres F. (1998), **EFFECT OF MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING ON THE FLAVONOIDS AND VITAMIN C CONTENT OF MINIMALLY PROCESSED SWIS CHARD**, *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(5), pág.2007-2012.
16. Gillies S. L. (1997), **EFFECT OF ATMOSPHERE ON BROCCOLI SENSORY ATTRIBUTES IN COMERCIAL MAP AND MICROPERFORATED PACKAGES**, *Journal of food Quality*, 20(2), pág, 105-115.
17. Ginsberg Bob, (1994), **AVANCES EN LOS MATERIALES DE EMPAQUE EN LATINOAMÉRICA**, *Alimentos Procesados*, 6(15), pág. 53-56.

18. Hanne Heimdal, Birka F. H. (1995) BIOCHEMICAL CHANGES AND SENSORY QUALITY OF SHREDDED AND MA-PACKAGED ICEBERG LETTUCE. *Journal of food science and technology*, 6(60) pág. 1265-1268.
19. Holdsworth, S. D. (1988), CONSERVACION DE FRUTAS Y HORTALIZAS, 1ª. edición, Editorial Acribia, Zaragoza, pág. 107-121.
20. MANUAL DE HORTICULTURA, (1983) Editorial. Trillas México, México, D.F. pág. 10-25.
21. Manuales de educación agropecuaria (1982), HORTICULTURA, 1ª. edición, Área: Producción vegetal, Editorial Trillas, México D.F.
22. Mathlouthi (1994), FOOD PACKAGING AND PRESERVATION, 1ª. edición, Editorial Academic and professional, U.S. A. Pág. 154-155.
23. MODELING AND PREDICTION OF VISUAL SHELF LIFE OF MINIMALLY PROCESSED ENDIVE (1996), *Journal of food science*, 6(61), pag 1094-1098.
24. Mujica Paz (1998), COMPARATIVE STUDIES OF THE PERMEABILITY FOR GASES OF FRESH FRUIT SYNTHETIC WRAPPERS, *Fruits*, 52(5), pág. 331-338.
25. O' Donnell C. (1996), EMPAQUETADO DE ATMÓSFERA MODIFICADA. *Empaque Performance*, 10(15), pág. 35-38
26. Potter Norman N. (1973), LA CIENCIA DE LOS ALIMENTOS, 2da. edición, Editorial Edutex S.A., México D.F. pág. 538-559.
27. PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS, (1997), *Empaque Performance*, 69(7), pág. 42-48.
28. Robertson Gordon L. (1993), FOOD PACKAGING, 1ª. edición, Editorial Dekker, E.E.U.U. pág. 470-504.

29. Rodriguez J.A. (1994), **MATERIALES DIVERSOS PARA EMPACAR Y ENVASAR**,
Empaque Performance, 40(4), pág. 6-16
30. Rojas C. (1997), **ENVASE COMO UN SISTEMA**, Empaque Performance, 70(7), pág.
34-38.
31. Rulatzky Vicent, Yamaguchi Mas, **WORD VEGETABLES**, 2ª edición, pág. 13-27.
32. Saunkhe D. K., Desai B.B., **POSTHARVEST BIOTECHNOLOGY OF VEGETABLES**,
Vol. 2., pág. 8-15.
33. Stumbo, C.R. (1973) **THERMOBACTERIOLOGY IN FOOD PROCESSING**, 2ª.
Edición, Editorial Acibia Press, E.E.U.U. pág. 90,91.
34. Talasila, K.V. Chau, (1995), **DESIGN OF RIGID MODIFIED ATMOSPHERE
PACKAGES FOR FRESH FRUITS AND VEGETABLES**, Journal of Food Science
6(60), pág.757-761
35. Tecante Coronel A., (2000) **INTRODUCCION A LA TRANSFERENCIA DE
CANTIDAD DE MOVIMIENTO, CALOR Y MASA**. 1ª edición, Universidad Nacional
Autónoma de México, México D. F. pág.122-142.
36. Vescovo M.(1998), **COMBINED EFFECTS OF LACTOBACILLUS CASEI
INOCULUM, MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING AND STORAGE
TEMPERATURE IN CONTROLLING AEROMONAS HYDROPHILA IN READY TO
USE VEGETABLES**. International Journal of food science and Technology, 32 (5)
pág. 411-419.
37. Wiley , C.(1997), **FRUTAS Y HORTALIZAS MINIMAMENTE PROCESADAS Y
REFRIG.**, 1ª. edición, Editorial Acibia, Zaragoza España, pág.10-60, 179-215.