

CENTRO DE INVESTIGACION EN ALIMENTACION Y DESARROLLO, A.C.

EMPAQUE DE MANGO, AGUACATE Y PAPAYA
EN ATMOSFERAS MODIFICADAS

Por

GUSTAVO ADOLFO GONZALEZ AGUILAR

Tesis aprobada por el

DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y ALIMENTOS

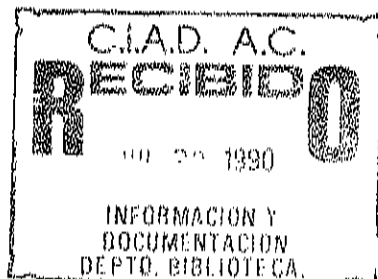
Como requisito parcial para obtener
el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

EN NUTRICION Y ALIMENTOS

HERMOSILLO, SONORA.

NOVIEMBRE de 1989.



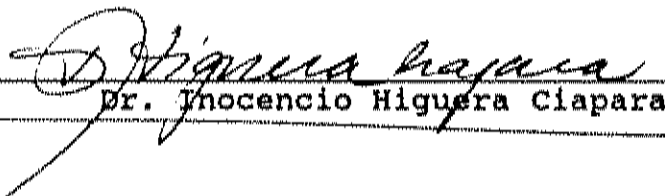
APROBACION

Los miembros del comité designados para revisar la tesis de GUSTAVO ADOLFO GONZALEZ AGUILAR, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, con especialidad en Nutrición y Alimentos.



Dr. Elhadi M. Yahia
Director de Tesis

Dra. María Isabel Silveira de Jassa



Dr. Inocencio Higuera Ciapara

Hermosillo, Sonora. 30 de Noviembre de 1989.

DECLARACION DEL AUTOR

Se permiten citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se de el crédito correspondiente. Se podrá solicitar permiso al Director del Centro ó al Jefe del área de Ciencia y Tecnología de Alimentos del CENTRO DE INVESTIGACION EN ALIMENTACION Y DESARROLLO, A.C., Apartado Postal 1735, Hermosillo, Sonora. 83000 México, para citas o consultas más amplias o para la reproducción integra del documento para fines académicos. En otras circunstancias, se deberá solicitar permiso al autor.

Firmado

A handwritten signature in black ink, written in a cursive style, enclosed within a faint, hand-drawn oval border. The signature appears to read 'Gustavo Adolfo Gonzalez Aguilar'.

GUSTAVO ADOLFO GONZALEZ AGUILAR

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., en especial a su Director Dr. Carlos E. Peña Limón, por haberme dado la oportunidad de participar en el Programa de Maestría del CIAD, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento económico otorgado durante este tiempo.

Agradezco de una forma muy especial al Dr. Elhadí M. Yahia por brindarme la oportunidad bajo su valiosa dirección y grandiosa asesoría durante la preparación del experimento, experimentación, análisis, y principalmente en la organización para llevar a cabo el presente trabajo.

De la misma manera a la Dra. María Isabel Silveira de Jassa por su valiosa asesoría estadística, empeño y tiempo puestos en el trabajo y al Dr. Inocencio Higuera Ciapara por su ayuda y gran criterio para apoyar en toda clase de trabajo, como podría olvidarlo.

También expreso mi gran profundo agradecimiento a mi ALMA MATER UNIVERSIDAD DE SONORA y a los maestros que ayudaron en mi formación académica tanto a nivel de licenciatura como en la maestría. Agradezco también a mis compañeros de generación, Mimy, Dany, Félix, Margarita, Mirtha y Florentino, al Centro de Cómputo en especial a Andres, a Marisa por la ayuda en la elaboración del manuscrito, Gaby, Faly, personal de biblioteca y demás compañeros, Aida, Herlinda, Martín, Silvia, Javier, José Manuel, Miguel, Lucamen, Ana María, Lorenia, Elsa, Matilde, Omar, Muy, Juan Pedro, Georgina, Armando, Anita y personal de Microbiología y a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo. MUCHAS GRACIAS

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO por darme la
oportunidad de ser lo que soy y
por no desampararme en los momentos
difíciles que he tenido. PERDON

A MIS PADRES: GUSTAVO Y SARAH
me siento orgulloso de tenerlos
a mi lado, por su gran esfuerzo
realizado para darnos todo lo
que tenemos. Nunca lo olvidaré

A MIS HERMANOS
Alma, Martha Elisa, Arturo
y Yadira les dedico este
trabajo y ojalá nunca
pierdan la calma y la
serenidad para ser buenas
personas y buenos padres
de familia, hermanos e
hijos. Los quiero mucho

A MIS SOBRINAS:
Almita, Yesenia y Zuzeth
por ser lo que son para
mis padres.

A MI FAMILIA

En especial a mi esposa AIDA
por apoyarme de una manera
sin medida, con su amor y
cariño me siento el hombre
mas feliz de la tierra; a
tí ETNA por la ternura de
tu carita, te adoro hija
mía.

A TI HIJA MIA: SARITA
A la luz de mi vida, que con
su carita de angel y sonrisa
de osito me ha hecho sentir
lo que nunca sentí y en todo
momento me inspiras amor y
ternura.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	x
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	5
Importancia de las frutas y vegetales frescos.....	5
Fisiología y almacenamiento de mango, aguacate y papaya.....	9
Mango.....	9
Aguacate.....	12
Papaya.....	13
Descripción del manejo actual de frutas frescas...	15
Factores que afectan la calidad de frutas frescas.....	15
Empaque en atmósferas modificadas.....	21
Importancia del empaque en atmósferas modificadas.....	24
Tolerancia de las frutas a niveles de O ₂ y CO ₂	25
Control de la atmósfera dentro del empaque...	29
Efecto del empaque en películas poliméricas..	30
Tipos de materiales poliméricos utilizados.....	31
Medición de las características del material de empaque.....	32
Modelos matemáticos utilizados en el Empaque en Atmósferas Modificadas.....	34
MATERIALES, EXPERIMENTOS Y METODOS.....	37
MATERIALES Y EXPERIMENTOS.....	37
Mango.....	37
Aguacate.....	42
Papaya.....	46

CONTENIDO (Continuación)

	Página
METODOS.....	50
Medición de las características de las películas	50
Análisis de los gases.....	51
Evaluación de la calidad de la fruta.....	52
Modelo utilizado para predecir las concentraciones de O ₂ y CO ₂	56
Análisis estadístico de los datos obtenidos.....	57
RESULTADOS.....	58
Mango.....	58
Aguacate.....	68
Papaya.....	85
DISCUSION.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFIA.....	100
APENDICE A.....	106
APENDICE B.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Diagrama de flujo del experimento de mango..	39
2 Diagrama de flujo del experimento de aguacate.....	43
3 Diagrama de flujo del experimento de papaya.....	47
4 Velocidad de respiración de mango almacenado a 20 °C. A.- Inmediatamente después de la cosecha, B.- Después de haber estado 1 semana en EAM., C.- Después de haber estado 2 semanas en EAM.....	61
5 Datos de predicción (---,---*) y experimentales (---,---*) de O ₂ y CO ₂ repectivamente dentro de los empaques de mango en EAM a 20 °C.....	64
6 Firmeza (N) y % pérdida de peso de mango almacenado en EAM por 4 semanas a 20 °C.....	66
7 pH, sólidos solubles totales y % de acidez titulable (ácido cítrico), de mango almacenado en EAM por 4 semanas a 20 °C.....	67
8 Evaluación sensorial de los diferentes atributos de calidad de mango expuestos en los diferentes tratamientos.....	70
9 Concentración de O ₂ dentro de los empaques de aguacate en los 3 tratamientos de EAM durante 4 semanas de almacenamiento a 5 °C.....	74
10 Concentración de CO ₂ dentro de los empaques de aguacate en los 3 tratamientos de EAM durante 4 semanas de almacenamiento a 5 °C.....	75
11 Datos de predicción de O ₂ y CO ₂ de los empaques utilizados en el EAM de aguacate.....	77

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
12	Acumulación de C_2H_4 dentro de los empaques de aguacate en los 3 tratamientos de EAM durante 4 semanas de almacenamiento a 5 °C.....	80
13	Pérdida de peso (%) de las frutas empacadas en los 3 tratamientos de EAM y de las frutas control durante 4 semanas de almacenamiento a 5 °C.....	82
14	Firmeza en (N) de las frutas empacadas en los 3 tratamientos de EAM y de las frutas control durante 4 semanas de almacenamiento a 5 °C.....	83
15	Comparación de los datos experimentales y de predicción de CO_2 y O_2 de papaya empacada en EAM y almacenada a 10 °C.....	88
16	Acumulación de C_2H_4 dentro de los empaques de papaya empacada en EAM y almacenada a 10 °C.....	92
17	Pérdida de peso (%) y firmeza (N) de papaya empacada en EAM y almacenada a 10 °C...	93

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Superficie (Has.) y producción (Tons.) de mango, aguacate y papaya en México en la temporada 1987-1988.....	6
2 Toneladas métricas de mango exportado de México a los E.E.U.U. en 1987-1988.....	7
3 Velocidad de respiración de algunas frutas a diferentes temperaturas.....	18
4 Condiciones de almacenamiento recomendadas para algunas frutas.....	20
5 Concentraciones de O ₂ y CO ₂ óptimas de almacenamiento para algunas frutas.....	26
6 Clasificación de frutas y hortalizas de acuerdo a su tolerancia a bajas concentraciones de O ₂	27
7 Clasificación de frutas y hortalizas de acuerdo a su tolerancia a altas concentraciones de CO ₂	28
8 Permeabilidad al O ₂ , CO ₂ y al vapor de agua de algunos polímeros disponibles para la formulación de películas plásticas.....	33
9 Variables que se toman en cuenta en los diferentes modelos propuestos por diferentes investigadores, para predecir la atmósfera dentro del empaque.....	36
10 Tratamientos utilizados en el experimento de mango.....	38
11 Tratamientos evaluados de acuerdo al diseño balanceado de bloques incompletos utilizado.....	55
12 Características de las películas utilizadas en el empaque de mango.....	59
13 Ecuaciones del modelo de predicción y de ajuste de los datos obtenidos experimentalmente de O ₂ y CO ₂ en las películas de PEAD y PEBD en mango.....	64

Cuadro		Página
14	Correlación entre los atributos de calidad evaluados en la evaluación sensorial realizada en mango.....	69
15	Características de las películas utilizadas en el empaque de aguacate.....	71
16	Ecuaciones del modelo de predicción y de ajuste de los datos obtenidos experimentalmente de O ₂ y CO ₂ en las películas de FEBD y en la de PEAD en aguacate.....	78
17	Evaluación de daño por frío presentado en aguacate almacenado en EAM durante 4 semana a 5 °C.....	84
18	Tasa de respiración (ml CO ₂ /Kg. hr) de papaya a 20 °C.....	86
19	Ecuaciones del modelo de predicción y de ajuste de los datos obtenidos experimentalmente de O ₂ y CO ₂ en las películas de FEBD y en la de PEAD en papaya.....	89

RESUMEN

Se empacó individualmente mango (var. "Keitt") en 2 películas de polietileno de baja y alta densidad. Las frutas empacadas y control (sin empacar) se almacenaron a 20°C y 67% de humedad relativa (HR) por 4 semanas. Se determinaron las características de las películas como grosor, permeabilidad al O₂ y al vapor de agua. Se analizaron los cambios en la concentración de O₂ y CO₂ tres veces por semana dentro del empaque y se compararon con datos de predicción obtenidos a partir de un modelo matemático a base de ecuaciones diferenciales, sin encontrarse diferencias estadísticas entre estos. Cada semana se evaluaron los cambios de color, textura, sólidos solubles totales, acidez, pH y pérdida de peso. Además se realizó una evaluación sensorial. Se encontró que el uso de empaque en atmósfera modificada (EAM) retardó la maduración de la fruta y redujo notablemente la pérdida de peso. Los resultados obtenidos en la evaluación sensorial demuestran la ausencia de olores y sabores desagradables.

En otro experimento se empacó aguacate (var. "Hass") individualmente en 4 películas de polietileno de baja densidad (PEBD) y una de alta densidad (PEAD) y se almacenó a 5°C y 87% de HR por 4 semanas. Se determinó el grosor, permeabilidad al O₂ y al vapor de agua de las películas. Se

utilizaron 3 tratamientos de EAM: una pasiva y 2 semi-activas. En las semi-activas, se introdujo CO_2 o CO_2 y N_2 a las bolsas inmediatamente después de sellarlas y analizándose los cambios de atmósfera (O_2 , CO_2 y C_2H_4) 2 veces por semana. Cada semana se evaluaron los cambios de firmeza, pérdida de peso y desarrollo de daño por frío. La modificación inicial de la atmósfera (semi-activas) redujo la acumulación de C_2H_4 en los empaques así como las pérdidas de firmeza y pérdida de peso, además se evitó el daño por frío del fruto.

En un tercer experimento papaya (var. "Solo") fue empacada en 3 películas de PEBD y una de PEAD y se almacenó a 10°C y 75% HR por 2 semanas. Se analizaron diariamente las concentraciones de los gases (O_2 , CO_2 y C_2H_4) dentro de los empaques, así como los cambios de firmeza, pérdida de peso y deterioro de la fruta 2 veces por semana. El EAM redujo las pérdidas de peso y de firmeza. La acumulación de C_2H_4 fue mayor durante los primeros días (5-20 ppm) y disminuyó a 1-3 ppm después de 10 días en EAM. El deterioro de la fruta almacenada en EAM fue mínimo.

Al comparar los datos de O_2 y CO_2 de predicción con los datos experimentales en aguacate y papaya, se encontró una menor aproximación que en el caso de mango.

Se concluye que el EAM puede ser utilizado para mantener la calidad y prolongar la vida de anaquel de estas frutas y permitir su transportación a mercados distantes como Europa y Japon, manteniendo su calidad así como reuniendo los estándares establecidos por estos mercados.

1. INTRODUCCION

En los últimos años se ha incrementado notablemente la demanda de frutas en estado fresco. Entre las de mayor consumo se encuentran aquellas de origen tropical y subtropical, ya que su sabor característico las hace más atractivas al consumidor. Además, tienen buena apariencia física, elevado contenido de carbohidratos y vitaminas, y en el caso del aguacate un alto contenido energético.

El principal problema de las frutas frescas al ser tejidos vivos, es que su proceso de respiración continúa después de ser cosechadas. Además, pierden agua por transpiración y están expuestas al ataque de microorganismos y a cambios químicos y físicos. Las frutas de origen tropical y subtropical, cuando son sometidas a bajas temperaturas presentan el desorden fisiológico llamada "daño por frío". Este se manifiesta de diferentes formas afectando la fisiología y apariencia del producto. Por estas razones, las frutas son productos perecederos con vida de anaquel muy corta.

Se ha estimado que las pérdidas durante el manejo poscosecha de frutas y hortalizas en países en desarrollo varían entre un 20-50% de la producción total (National Academy of Sciences, 1978), por lo que es necesario establecer técnicas de poscosecha adecuadas, con el fin de

disminuir las pérdidas que se tienen actualmente y aumentar la captación de divisas de estos países.

Con el fin de mantener la calidad de los productos perecederos como las frutas y hortalizas, se ha aplicado varias técnicas de conservación, entre las cuales la mas utilizada ha sido la refrigeración. La principal desventaja de esta técnica, son los altos costos para su instalación inicial y su mantenimiento posterior.

Una de las técnicas que está teniendo buena aceptación en la actualidad, es el empaque en atmósferas modificadas (EAM) ya que es una técnica simple y barata. Por medio del uso de películas de materiales poliméricos el EAM crea y mantiene una atmósfera modificada alrededor del producto. Para aplicar esta técnica a las diversas frutas, es necesario tomar en cuenta las principales variables del sistema de empaque con el fin de tener un control estricto del mismo. Entre estas variables se encuentran los requerimientos de la fruta en cuanto a consumo de O_2 y producción de CO_2 , así como las características de la película utilizada (grosor, permeabilidad al O_2 , CO_2 y vapor de agua).

Varios investigadores han tratado de modelar el sistema de empaque con bases analíticas utilizando ecuaciones diferenciales. Un gran número de modelos han sido creados, con el fin de predecir las concentraciones de la atmósfera interna del empaque. Sin embargo, no se han tomado en cuenta todas las variables que afectan al sistema tales como el coeficientes de respiración (CR), el posible daño provocado

por las concentraciones de O_2 y CO_2 , la atmósfera y temperatura ideal de almacenamiento. Por otro lado, se han considerado otras como la velocidad de respiración de la fruta, permeabilidad al O_2 , CO_2 , volumen libre y área del empaque.

El uso de modelos matemáticos que consideran todas las variables del sistema, nos puede servir para obtener de una forma rápida las características de las películas que proporcionen una atmósfera de almacenamiento adecuada, sin necesidad de un trabajo intenso de laboratorio. De esta manera, al utilizar las películas adecuadas para el almacenamiento de mango, aguacate y papaya, estos sistemas de EAM pueden resolver en gran medida los problemas que se tienen durante su manejo postcosecha.

Por lo anterior, el objetivo principal del presente trabajo fué el de estudiar la técnica de empaque en atmósferas modificadas para estas frutas utilizando películas de materiales poliméricos, como una tecnología de poscosecha para mejorar su manejo.

- a) Conocer algunas características fisiológicas del mango, aguacate y papaya, y estudiar el intercambio de O_2 , CO_2 y vapor de agua hacia el medio ambiente expuesto.

- b) Determinar las características de la película que proporcione la composición atmosférica (O_2 y CO_2) ideal para estas frutas.
- c) Estudiar el efecto del EAM sobre la vida poscosecha y calidad de estas frutas.
- d) Comparar los datos de O_2 y CO_2 obtenidos experimentalmente con datos de predicción obtenidos a partir de un modelo matemático.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Importancia de las frutas y vegetales frescos

Las frutas y vegetales frescos, juegan un papel muy importante en la economía mexicana. En 1987 México produjo alrededor de 14,000,000 de toneladas de hortalizas (UNPH, 1988) y aproximadamente 11,000,000 de frutas (CONAFRUT, 1988). En el caso específico de mango, aguacate y papaya, México es el principal productor de aguacate, ocupa el tercer lugar en la producción de mango y el segundo lugar en la producción de papaya en el mundo. El Cuadro 1 muestra la producción nacional de mango, aguacate y papaya.

Tradicionalmente los Estados Unidos de Norteamérica ha sido el principal mercado para los mangos mexicanos (Anónimo, 1988). En 1987 se abastecieron cerca de 43,000 tons, cantidad que equivale a aproximadamente el 4% de la producción total (Cuadro 2). Esta cantidad se redujo en la temporada de 1988, debido a la introducción del tratamiento hidrotérmico (46°C por 90 min) con el fin de utilizarlo como una alternativa a la fumigación con dibromuro de etileno para destruir los huevecillos de larva de la mosca de la fruta. Varias empacadoras se han visto en la necesidad de instalar este equipo para llevar a cabo este tratamiento en aquellas frutas cuyo destino sea el mercado estadounidense. El costo del equipo y de su instalación son muy elevados. Además este tratamiento ha provocado cuantiosas pérdidas, debido a que la

Cuadro 1. Superficie sembrada (Hect) y producción (Tons) de mango, aguacate y papaya en México en la temporada 1987/1988.

	Superficie (Hect)		Producción (Tons)
	Plantada	Cosechada	
Aguacate	113,075	94,353	637,326
Mango	107,252	96,234	1,122,158
Papaya	25,406	24,343	884,885

Fuente: CONAFRUT (1988)

Cuadro 2. Toneladas métricas de mango exportado por México a los E.E.U.U. en 1986-1988.

Mes	A Ñ O		
	1986	1987	1988
Enero			
Febrero		152	
Marzo			
Abril		650	1,583
Mayo	3,438	4,671	2,591
Junio	8,834	11,786	4,582
Julio	15,024	13,837	8,841
Agosto	6,147	9,639	
Septiembre	1,295		
Octubre			
Noviembre	36		
Diciembre	79		
TOTAL	36,685	40,715	

Fuente: Anónimo (1988).

fruta sufre una sobremaduración después del tratamiento, acelerando la senescencia y acortando su vida de poscosecha (Becerra, 1989).

México produce cerca del 25% de la producción total mundial de aguacate, de la cual el 50% es producida solamente en el Estado de Michoacán (Yahia, 1990). Cerca del 40% de la producción de aguacate es de la variedad "Hass", siendo esta la de mayor importancia en el mercado internacional.

Aproximadamente el 1% del aguacate producido en México es exportado (Yahia, 1990). Esta cantidad no es significativa y ésto se debe principalmente a 3 factores:

- 1).- La existencia de un mercado interno muy grande, con el consumo per cápita mas alto del mundo, que excede los 8 Kgs por año.
- 2).- El aguacate no se exporta a Estados Unidos de Norteamérica, debido al peligro de contaminación de plagas y otras barreras.
- 3).- México esta alejado de otros mercados de consumo importantes como son Europa y Japón, los cuales son abastecidos por otros productores mas cercanos.

La exportación de papaya es muy reducida, en la temporada 1987-1988 se exportaron cerca de 365.246 toneladas (UNPH, 1988). Sin embargo, el consumo nacional interno del producto fresco es muy alto. El principal problema de esta

fruta es que las zonas de producción se encuentran contaminadas por diferentes plagas de la mosca de la fruta. Por esta razón, los diferentes mercados (principalmente E.U.A.) importan papaya en muy pequeñas cantidades y la mayoría proviene del estado de Hawaii. Al igual que el mango, para exportar la papaya es necesario aplicar un tratamiento cuarentenario. Sin embargo, en México no existe ningún tratamiento establecido para esta fruta. El tratamiento aplicado a la fruta transportada de Hawaii a Estados Unidos continental consiste en sumergirla en agua a 42°C por 30 minutos e inmediatamente después pasarla a 49°C por 20 minutos (Couey y Hayes, 1986).

Actualmente en México se están realizando grandes esfuerzos con el fin de mantener la calidad de los productos hortícolas frescos debido al incremento de la demanda mundial y la necesidad de la economía mexicana de obtener divisas. Sin embargo, es necesario mejorar los sistemas de postcosecha de estos productos perecederos, con el fin de disminuir sus pérdidas y permitir su exportación a los diferentes mercados internacionales con una calidad adecuada.

2.2 Fisiología y almacenamiento de Mango, Aguacate y Papaya.

2.2.1 Mango

El mango es una de las frutas de mayor aceptación en el mercado de consumo fresco. Crece en zonas de clima tropical y subtropical. Su buen sabor característico es debido al

alto contenido de carbohidratos ('Brix) que aumenta conforme madura y además es rico en vitaminas A, B y C (Hulme, 1971). El mango es una fruta climatérica que presenta un nivel máximo de respiración que puede presentarse antes o después de la cosecha. El tiempo para alcanzar este pico depende de la variedad, estado de madurez del fruto durante la cosecha, temperatura y humedad relativa de almacenamiento. Durante su maduración y senescencia sufre cambios bioquímicos iniciados por la producción autocatalítica de etileno y un aumento en la respiración (Biale y Olmstead, 1960). La temperatura recomendada para almacenar esta fruta es entre 10-13°C y puede mantenerse por un periodo de tiempo de 2 a 3 semanas en buen estado (Hardenburg et al., 1986). Algunas variedades como la "Irwin" y "Tommy Atkins", pueden almacenarse a 10°C por 3 semanas sin sufrir daño por frío. Otras variedades como el "Haden" y "Keitt" son susceptibles al daño por frío a esta temperatura (Hardenburg et al., 1986). Las temperaturas recomendadas de maduración para esta fruta son de 14-21°C, ya que temperaturas mayores pueden producir sabores anormales en la fruta (Hardenburg et al., 1986).

Hatton y Reeder (1966) determinaron que la vida de almacenamiento del mango se ve beneficiada muy poco con el uso de atmósferas controladas (AC). Sin embargo, otras investigaciones han demostrado que no es recomendable (Spalding, 1977). Se ha determinado que las mejores condiciones de almacenamiento en AC (5% O₂ y 5% CO₂) para la

variedad "Keitt" a 13°C, no son mejores que el almacenamiento convencional en aire a la misma temperatura por un período de 3 semanas. Se ha reportado el desarrollo de sabores desagradables en mango almacenado en AC con muy bajo contenido de O₂ (1%) (Spalding, 1977). El principal factor que limita la vida de anaquel del mango es la pudrición del pedúnculo causada por el hongo Diplodia natalensis p. Evans (Spalding, 1977). Con el fin de tener un mayor control de la pudrición del pedúnculo de esta fruta durante la etapa de distribución, Woodruff (1969) sugirió la transportación y almacenamiento para las variedades "Tommy Atkins" ó "Keitt" en AC (5% O₂ + 5% CO₂ + 5-10% CO) por 2 semanas a 13°C. Sin embargo, es necesario tener un mayor control de la concentración de CO, ya que a niveles mayores de 12.5% este compuesto es muy explosivo (Spalding, 1977).

El sistema de EAM no ha sido establecido comercialmente para el transporte de mango. Si embargo, varios trabajos experimentales han demostrado que el uso del EAM favorece el deterioro de esta fruta (Spalding, 1977). Algunos investigadores han tratado de establecer el almacenamiento de mango a presiones subatmosféricas (PS), encontrándose algunos beneficios para las variedades "Irwin", "Tommy Atkins" y "Kent" (Spalding y Reeder, 1977). El color verde de la fruta se mantuvo por un período mayor en PS que a presión atmosférica. Generalmente se ha encontrado que el almacenamiento a una presión de 152 mm de Hg es considerado mas apto para esta fruta (Spalding, 1977).

2.2.2 Aguacate

Esta fruta es considerada como una de las que tienen un mayor contenido energético que ofrecen los trópicos debido a su alto contenido de grasa (Hulme, 1971). El aguacate y el olivo son los frutos que contienen mayor cantidad de proteína y grasa de todos los árboles frutales. Un aguacate contiene mas energía que un pedazo de carne de igual peso y se encuentra disponible todo el año a precios relativamente bajos (Yahia, 1990).

Cuando se encuentra en su etapa de desarrollo, el patrón respiratorio del aguacate es bajo. Sin embargo, al presentarse la madurez fisiológica aparece rápidamente el máximo climatérico, alcanzando su tamaño y peso definitivo (Biale and Young, 1971).

La maduración se inicia por el etileno endógeno y se ha establecido que una concentración de 10 ppm de C_2H_4 a 15-17°C es suficiente para iniciar la maduración de aguacate "Fuerte". La síntesis de C_2H_4 durante la maduración del fruto varia entre 100 y 700 ppm (Salunkhe y Desai, 1984).

La característica de esta fruta es que mientras está en el árbol su crecimiento es continuo pero no madura hasta después de ser cosechada. Esta característica ha sido aprovechada para almacenar el fruto en el árbol por algunos meses (Spalding, 1976). La maduración y ablandamiento de la fruta generalmente puede retardarse preenfriandola inmediatamente después de la cosecha (Zauberman, et al., 1977). La temperatura óptima de almacenamiento difiere según

la variedad, ya que el daño por frío ocurre con diferente intensidad. Algunas variedades como la "Lulu", "Both 1", "Both 8" y "Taylor", pueden almacenarse a 4.4°C por 4 a 8 semanas sin presentar daño por frío (Hardenburg, et al., 1986). Todas las variedades Antillanas, incluyendo la "Fuchs Pollock" y "Waldin" son dañadas a esta temperatura (4.4°C) y se conservan mejor a 13°C por un período de 2 semanas. Sin embargo, otras variedades como el "Hass", "Fuerte" y "Booth 7" son menos sensibles y pueden almacenarse a 7°C por 2 semanas sin presentar daño por frío (Hardenburg et al., 1986).

Se ha visto que la vida de anaquel de algunos cultivos pueden duplicarse con el uso de atmósferas controladas (Hatton y Reeder; 1972, Reeder y Hatton, 1971; Spalding y Reeder, 1972). El uso de AC (2% O₂ y 10% O₂) inhibe la maduración, el deterioro y el desarrollo de daño por frío en esta fruta (Spalding, 1977). El uso de empaque de aguacate en AM ha sido propuesto por varios investigadores con el fin de evitar el deterioro, prolongar la vida de almacenamiento y permitir su transporte marítimo a mercados distantes (Thompson et al., 1971).

2.2.3 Papaya

Esta fruta es nativa de America y es producida en grandes cantidades en los climas tropicales (Salunkhe y Desai, 1984). Contiene aproximadamente 10% de azúcares, es rica en vitaminas A y C, y se considera que puede actuar como

un laxante ligero (Tönge y Rinder, 1984). Generalmente, la mayor parte de la producción total es consumida en estado fresco y solamente una pequeña cantidad es utilizada para el procesamiento a nivel industrial como puré. La planta produce la enzima papaína, que puede ser extraída y utilizada para la preparación de algunos alimentos o para fines terapéuticos (Tönge y Rinder, 1984).

La temperatura óptima de almacenamiento es 7°C y puede mantenerse en buenas condiciones por un periodo de 1-3 semanas y posteriormente madurarse normalmente a 20°C para su mercadeo final (Hardenburg et al., 1986). El principal problema de postcosecha de esta fruta es el ataque por antracnosis, el cual puede solucionarse con el uso de tratamientos con vapor de agua a diferentes temperaturas, dependiendo de la variedad y el estado de madurez, o bien por inmersión en agua caliente (Hardenburg, et al., 1986). La papaya al igual que el mango y el aguacate pertenece al grupo de frutas climatéricas, por lo que madura rápidamente en presencia de pequeñas concentraciones de etileno. Los principales cambios bioquímicos ocurren durante el período de maduración, con la aumento en el contenido de azúcares. Estos cambios dependen principalmente de la variedad y condiciones climatológicas. El uso de AC con bajos niveles de O₂ y altos de CO₂ podría ser utilizado como una alternativa para matar diferentes tipos de larvas que producen serios problemas durante el manejo postcosecha de esta fruta (Yahia, 1989).

2.3 Descripción del manejo actual de frutas frescas

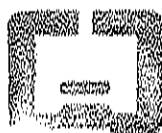
El uso de bajas temperaturas (refrigeración) para el almacenamiento de frutas reduce la tasa metabólica, disminuyendo de esta manera su velocidad de deterioro (Kader et al., 1985). Una de las desventajas de esta técnica, es el alto costo de inversión inicial, así como el principal transtorno llamado "daño por frío" presentado en la mayoría de las frutas de origen tropical y subtropical cuando son expuestas a bajas temperaturas.

Es necesario desarrollar y mejorar las técnicas de postcosecha, complementarias a la refrigeración, debido a los largos tiempos de tránsito, altos costos de energía y el aumento excesivo de los volúmenes de estos productos durante su almacenamiento, transportación y mercadeo.

2.4 Factores que afectan la calidad de frutas frescas

La calidad de los productos frescos depende principalmente de una selección y un manejo adecuado. Entre los principales factores que afectan la calidad de postcosecha de estos productos están: la temperatura y humedad relativa (HR) de almacenamiento, estado óptimo de madurez, daños mecánicos, infección microbiana, técnicas de sanidad utilizadas y atmósfera alrededor del producto (Kader et al., 1985).

Uno de los principales problemas que se tienen actualmente con la mayoría de las frutas frescas es el corto periodo que se mantienen en buen estado durante su



mercadeo (Hardenburg et al., 1986). Es de vital importancia conocer el estado óptimo de madurez en el que deben ser cosechadas, tomando en cuenta el tiempo aproximado para su manejo, transportación y distribución, con el fin de que lleguen al consumidor en un estado de madurez adecuado, sin deterioro alguno (Kader et al., 1985).

Una de las características de las frutas frescas a diferencia de los productos procesados, es que son tejidos vivos y su proceso de respiración continúa, limitando su vida de anaquel (Hardenburg, 1971). Cerca del 25% de los productos cosechados mundialmente se pierden antes de llegar al consumidor debido a un mal manejo durante la transportación, almacenamiento y distribución (National Academy of Sciences, 1978).

Los principales factores que contribuyen al deterioro de estos productos durante el manejo postcosecha son: los daños físicos tales como superficies dañadas, impactos, compresión y abrasión. Estos no solo afectan la apariencia física, sino que además aceleran la pérdida de agua, favorecen la infección microbiana y estimulan la producción de CO_2 y de C_2H_4 (Kader, 1986).

El desarrollo de bacterias y hongos es otro de los factores que favorecen el deterioro de frutas y vegetales fresco, el cual conlleva a serios daños físicos del producto. En general, las frutas y hortalizas después de ser cosechadas presentan una buena resistencia a patógenos antes de alcanzar su madurez fisiológica comercial durante el manejo

poscosecha, siendo mas susceptibles a ser atacadas por diferentes patógenos conforme aumenta su etapa de madurez (El-Goorani y Sommer, 1981). La mejor manera de evitar al máximo estos daños, es utilizando técnicas de sanidad adecuadas durante su manejo postcosecha. La temperatura es el principal factor a controlar, ya que conforme aumenta se acelera el metabolismo de la fruta causando senescencia (Hardenburg et al., 1986). Se ha determinado que por cada 10°C, la velocidad del metabolismo se incrementa de 2 a 3 veces, aumentando la velocidad de deterioro y disminuyendo la vida de postcosecha del fruto. El Cuadro 3 muestra el efecto de la temperatura sobre la velocidad de respiración de algunos productos hortícolas. Por esta razón, es de vital importancia remover lo mas pronto posible el calor de campo de los diferentes productos, con el fin de disminuir la velocidad de respiración y de esta manera retardar la senescencia del fruto. Para tal propósito, se utilizan varios métodos de preenfriamiento tales como preenfriamiento por aire forzado, enfriamiento por vacío, hidrogenenfriamiento o el uso de hielo directa e indirectamente (Shewfelt, 1986).

La pérdida de agua por transpiración de la mayoría de las frutas frescas es uno de los factores principales de deterioro de estos cultivos, ya que provoca encogimiento y pérdida de textura, además de acelerar la senescencia y disminuir la calidad del producto, debido a que la mayoría de las frutas frescas contienen alrededor de 80-95% de agua (Hardenburg et al., 1986). La velocidad de transpiración

Cuadro 3. Velocidad de respiración (mg CO₂/kg.hr.) de algunas frutas a diferentes temperaturas.

Fruta	Temperatura (°C)				
	0	5	10	15	20
Manzana	2-4	5-7	7-10	9-20	15-25
Chabacano	5-6	6-9	11-19	21-34	29-52
Aguacate	-	20-30	-	62-157	64-347
Plátano	-	-	-	21-23	33-35
Toronja	-	-	7-9	10-18	13-26
Uva	3	5	8	16	33
Kiwi	3	6	12	-	6-22
Mango	-	10-22	-	45	75-151
Papaya	-	4-6	-	15-22	-
Durazno	4-6	6-9	16	33-42	59-102

Fuente: Hardenburg *et al.* (1986).

puede ser controlada con un buen manejo de las condiciones de temperatura y humedad relativa de almacenamiento. El Cuadro 4 muestra algunas condiciones de almacenamiento óptimas recomendadas de algunas frutas.

La pérdida de agua hacia el medio ambiente puede ser reducida aumentando la HR, reduciendo la temperatura y la circulación de aire del medio expuesto y con el uso de empaques apropiados. La transpiración es mayor conforme aumenta la temperatura, aunque se mantenga la misma HR.

La mayoría de las frutas frescas requieren alta HR (entre 85 a 95%). Humedades relativas mayores favorecen la actividad microbiana y pueden causar mayores pérdidas (Hardenburg, 1971). Para evitar las pérdidas, es necesario mejorar e innovar las técnicas hortícolas, así como mejorar los métodos de manejo, empaque y almacenamiento del producto. La atmósfera alrededor del producto juega un papel muy importante durante el almacenamiento. Pueden obtenerse buenos resultados durante la exposición del producto a concentraciones óptimas de O_2 y CO_2 , ya que se mantiene la calidad y se prolonga la vida de anaquel del mismo. Sin embargo, bajas concentraciones de O_2 y altas de CO_2 en relación a sus niveles de tolerancia, pueden tener efectos muy negativos en las frutas. Algunos de los síntomas que pueden presentarse son la maduración anormal, el inicio o favorecimiento de algunos desórdenes fisiológicos, el desarrollo de olores desagradables y una mayor susceptibilidad al deterioro (Kader, 1986).

Cuadro 4. Condiciones de almacenamiento óptimas recomendadas de algunas frutas.

Producto	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Aguacate	4.0 - 13.0	85 - 90
Chabacano	-0.6 - 0	90
Durazno	-0.6 - 0	90
Guayaba	-0.6 - 0	85
Mango	12.0 - 14.0	85 - 90
Manzana	-1.1 - 4.0	90
Papaya	7.0 - 10.0	85 - 90
Pera	-1.5 - 0.5	90 - 95
Piña	7.0 - 13.0	85 - 90

Fuente: Hardenburg et al. (1986).

2.5 Empaque en Atmósferas Modificadas

El empaque en atmósferas modificadas (EAM) es una técnica que crea y mantiene una atmósfera diferente a la natural alrededor del producto con el uso de películas de materiales poliméricos (Ben-Yehoshua, 1985; Kader *et al.*, 1989; Zagory y Kader, 1988). El almacenamiento en EAM involucra la alteración o remoción de componentes gaseosos en la atmósfera alrededor del producto, dando como resultado la reducción de los niveles de O₂ y/o elevación de CO₂. Se ha observado que en estos sistemas el daño por frío se reduce, la vida de anaquel se prolonga y la calidad se preserva. Por lo tanto tienen un alto potencial cuando se utilizan apropiadamente (Ben-Yehoshua, 1985; Kader *et al.*, 1989; Zagory y Kader, 1988). Los sistemas de EAM pueden ser utilizados en México para la exportación de productos cuyo mercado de consumo es muy distante, especialmente para frutas de origen tropical y subtropical como mango, aguacate y papaya. Los sistemas de EAM son baratos y simples. Además, proporcionan una buena apariencia a la fruta aumentando la aceptación por el consumidor (Ben-Yehoshua, 1985). Otra ventaja es que el EAM puede ser utilizado para transportar o almacenar productos no compatibles. Es decir, aquellos que no pueden ser almacenados en el mismo lugar sin ser empacados; también previene la infección de frutas adyacentes debido a que no están en contacto directo (Karel, 1975).

Cuando se utiliza la técnica de EAM, pueden producirse efectos negativos y positivos ya que se lleva a cabo una

modificación de la atmósfera alrededor del producto. Además, el uso de empaques para frutas tiene varios efectos independientemente de la creación de una atmósfera modificada. Los empaques son barreras que dependiendo de las características del material utilizado, disminuyen el movimiento del vapor de agua y de otros gases, manteniendo ciertas concentraciones dentro del mismo. Este proceso cambia a través del tiempo, especialmente para frutas climatéricas, dependiendo del estado de madurez (Zagory y Kader, 1988).

Esta técnica puede utilizarse para el almacenamiento de temperaturas menores que la óptima de almacenamiento, en frutas susceptibles al daño por frío como tomate, melón, aguacate, plátano, mango y papaya (Kader *et al.*, 1989).

Se ha demostrado que el daño por frío de algunas frutas como aguacate, naranja, toronja, limón y papaya, se reduce con el EAM (Scott y Chaplin, 1978; Ben-Yehoshua, 1985). No ha sido totalmente entendido el porqué el EAM reduce el daño por frío, pero algunos investigadores lo relacionan con la atmósfera saturada que se crea alrededor del producto (Ben-Yehoshua, 1985).

Se han descrito varias teorías sobre el daño por frío en las cuales se cree que existe pérdida de la integridad celular que están unidas por iones calcio que se encuentran en los compartimientos, rompimiento de la membrana celular, mal funcionamiento de las enzimas que se encuentran en ésta, susceptibilidad de los lípidos de la misma a procesos de

degradación (Parkin et al., 1989). Este fenómeno se manifiesta de diferentes maneras en las frutas, existen alteraciones en las reacciones metabólicas, hay inhibición de la maduración, se acelera la senescencia y la susceptibilidad al deterioro aumenta (Shewfelt, 1986).

Se han realizado pocos trabajos en frutas de origen tropical y subtropical utilizando el EAM. Para el caso de mango varios investigadores no han encontrado muy buenos resultados, ya que se producen olores desagradables a pesar de retardar la maduración y evitar significativamente la pérdida de agua (Miller et al., 1983; Miller et al., 1986; Esguerra et al., 1978; Chaplín et al., 1982). Para el caso de aguacate, se han tenido buenos resultados cuando se almacena a bajas temperaturas y se empaca en películas de polietileno. Scott y Chaplin (1978) almacenaron aguacate en películas de polietileno de baja densidad y encontraron que el daño por frío se disminuía en las frutas empacadas respecto al control. Además de retardar la maduración, se evitó considerablemente la pérdida de peso, sin producirse olores desagradables en la fruta. Chaplin y Hawson (1981) almacenaron aguacate a temperatura ambiente, y encontraron que la vida de anaquel de la fruta en EAM fué mayor que las frutas control.

Lazan (1989) empacó papaya en películas de polietileno de baja densidad y encontró que el uso de EAM retardaba notablemente la pérdida de peso y la maduración de la fruta.

Se han obtenido buenos resultados en otras frutas como tomate (Risse et al., 1985), toronja (Purvis, 1983), durazno (Deily y Rizvi, 1981), manzanas (Anzueto y Rizvi, 1985, Jurin y Karel, 1963) y cítricos (Ben-Yehoshua et al., 1983), en los cuales el potencial que tiene el EAM es un poco mayor que cuando es utilizado en frutas como mango y papaya.

2.6 Importancia del Empaque en Atmósferas Modificadas

Una de las funciones de mayor importancia del empaque en materiales poliméricos, es la de proporcionar una buena protección al producto. Dicha protección estará determinada por la naturaleza del material de empaque. Algunos gases y vapores pueden permearse a través de dichos materiales por poros macroscópicos o microscópicos o por difusión molecular, conocida como "difusión activa" (Karel, 1975).

El EAM, debido a que mejora el control de la humedad relativa y las concentraciones de gases producidos durante la respiración de la fruta, prolonga la vida de anaquel de productos perecederos, permitiendo reemplazar el transporte aéreo por el marítimo en la transportación de productos a mercados distantes (Ben-Yehoshua, 1985). La posibilidad de obtener condiciones de atmósferas modificadas (AM), ha sido una de las ventajas para imponer el uso de películas plásticas (Rizvi, 1981).

2.6.1. Tolerancia de las frutas a niveles de O₂ y CO₂.

Algunas frutas y vegetales frescos pueden tolerar niveles de O₂ de 1 a 5% y niveles de CO₂ por encima del 5-10% (Kader, 1980). La tolerancia relativa de frutas y vegetales a bajas concentraciones de O₂ y altas de CO₂, juegan un papel muy importante cuando se establece una atmósfera modificada alrededor del producto (Brecht, 1980). Las concentraciones óptimas de almacenamiento recomendadas de estos gases para frutas de origen tropical y subtropical se muestran en el Cuadro 5. Bajas concentraciones de O₂ (< 8%) y altas de CO₂ (>1%) retardan la maduración de la fruta (Kader, 1980). La exposición de las frutas y vegetales a niveles de O₂ por debajo o de CO₂ mayores de sus límites tolerables (Cuadros 6 y 7), puede favorecer el proceso de anaerobiosis con la consecuente acumulación de etanol y acetaldehído provocando olores y sabores desagradables en la fruta (Zagory y Kader, 1988).

Bajos niveles de O₂ (< 1%) y/o altos niveles de CO₂ (>10%) pueden ser utilizados para evitar el crecimiento de hongos (El-Goorani y Sommer, 1981). Concentraciones de 10-15% de CO₂ pueden tener un efecto fungistático en frutas que toleren estos niveles (Yahia et al., 1983). Combinaciones de monóxido de carbono (5 a 10% y de (O₂< 5%) pueden utilizarse como un fungistático muy efectivo, que puede ser utilizado con frutas que no toleren niveles de CO₂ muy altos (El-Goorani y Sommer, 1981; Yahia et al., 1983). La

Cuadro 5. Concentraciones de O₂ y de CO₂ óptimas de almacenamiento de algunas frutas.

Fruta	%		Beneficio
	O ₂	CO ₂	
Aguacate	2 - 5	3 - 10	Bueno
Plátano	2 - 5	2 - 5	Excelente
Toronja	3 - 10	5 - 10	Poco
Limón	5	0 - 5	Bueno
Lima	5	0 - 10	Bueno
Naranja	10	5	Bueno
Mango	5	5	Regular
Papaya	5	10	Regular
Piña	5	10	Regular

Fuente: Kader (1980).

Cuadro 6. Clasificación de frutas y hortalizas de acuerdo a su tolerancia a bajas concentraciones de O₂.

Mínima [O ₂] Tolerable (%)	Producto
0.5	Nueces, Frutas y vegetales secos
1.0	Algunas variedades de manzana y de pera, brócoli, champiñon, cebolla, ajo.
2.0	Algunas variedades de manzana y de pera, Kiwi, chabacano, fresa, durazno, cereza, papaya, piña, melón.
3.0	Aguacate, pérsimo, tomate.
5.0	Cítricos, papa, espárrago.

Fuente: Kader (1980).

Cuadro 7. Clasificación de frutas y hortalizas de acuerdo a su tolerancia a altas concentraciones de CO₂.

Máxima [CO ₂] tolerable (%)	Producto
2	Manzana (Golden Delicious), pera asiática, chabacano, uva, olivo, tomate, lechuga, ajo.
5	Manzana (La mayoría de sus variedades), durazno, nectarina, naranja, aguacate, plátano, mango, papaya, kiwi.
10	Toronja, limón, lima, pérsimo, piña, okra, espárrago, brócoli, cebolla, papa.
15	Fresa, frambuesa, zarzamora, arándaro, cereza, melón, espinaca.

Fuente: Kader (1980).

principal desventaja de utilizar CO, es que es un compuesto muy tóxico para los humanos.

Bajas concentraciones de O₂ y elevadas de CO₂, pueden reducir la incidencia de algunos desórdenes fisiológicos inducidos por el etileno, como en el caso de manzana y lechuga (Kader, 1985).

2.6.2. Control de la atmósfera dentro del empaque

Para controlar la concentración de estos gases dentro del material de empaque, es necesario seleccionar la película apropiada dependiendo de la variedad de la fruta, requerimientos y características de las frutas, temperatura y HR de almacenamiento (Ben-Yehoshua et al., 1987). Algunos investigadores han tratado de tener un control de los gases dentro del empaque, por medio del uso de absorbedores o generando de diferentes maneras condiciones de atmósferas modificadas. Estos tipos de atmósferas, pueden ser creadas pasivamente por el efecto natural de respiración del producto (atmósfera pasiva). Otra forma es modificandola de una forma rápida (Atmósfera activa); lo cual puede lograrse con el uso de agentes absorbedores de O₂, CO₂ y C₂H₄. Se puede producir un poco de vacío en el empaque con el fin de disminuir las concentraciones de estos gases (Kader et al., 1989), o introduciendo algunos gases dentro del empaque como CO₂ y N₂ (Rizvi, 1981).

2.6.3. Efecto del empaque en películas poliméricas

Un empaque adecuado proporciona buena protección a la fruta y previene el deterioro físico, fisiológico y patológico durante su mercadeo (Hardenburg, 1971).

El EAM ha demostrado reducir significativamente el encogimiento y la pérdida de peso, sin producir sabores desagradables en tomate (Risse et al., 1981), toronja (Purvis, 1983), durazno (Deily y Rizvi, 1981) manzana (Anzueto y Rizvi, 1985; Jurin y Karel, 1963) y aguacate (Scott y Chaplin, 1978). Frutas empacadas en películas de materiales poliméricos mantenidas a 20°C, pierden menos peso y se mantiene la firmeza por un periodo de tiempo mayor, que en frutas almacenadas a temperaturas y HR óptimas sin empacar (Ben Yehoshua, 1985).

La disponibilidad del uso de agentes absorbedores y adsorbedores de O₂, CO₂ y agua, proporcionan herramientas adicionales para mantener una determinada atmósfera dentro del empaque (Kader et al., 1989). Esta característica, puede ser aprovechada para ser aplicada a contenedores durante la transportación a los diferentes mercados de consumo. También pueden incluirse en el empaque compuestos como insecticidas volátiles, en tal caso el empaque es usado como una cámara de fumigación para evitar el ataque de insectos y de esta manera se previene el deterioro de la fruta. Otra alternativa es aplicar el fumigante en la parte exterior del empaque después de sellar la bolsa y así evitar el contacto directo con la fruta, reduciendo el riesgo de contaminación y los problemas

de salud (Ben-Yehoshua et al., 1987). También se pueden incluir en el empaque agentes absorbedores de etileno, que pueden retardar la senescencia del fruto (Liu, 1970). Pues se presume que el etileno es la hormona de la maduración y su presencia acelera la maduración y la senescencia (Blanpied et al., 1985).

2.7 Tipos de materiales poliméricos utilizados

Los grandes avances tecnológicos en los últimos años en el diseño y manufactura de películas poliméricas con un amplio rango de características de permeabilidad, han provocado un gran interés para ser utilizadas, para crear y mantener atmósferas modificadas (Kader et al., 1989). Aunque hay una gran variedad y disponibilidad de películas poliméricas en el mercado, pocas son utilizadas para empacar productos frescos. Esto se debe a que la permeabilidad de éstas no permiten mantener una atmósfera adecuada que conserve la calidad de la fruta (Hotchkiss, 1990).

Se han probado varias películas incluyendo poliolefinas, polietilenos de varios tipos de baja y alta densidad, polipropileno, saran (copolímero de cloruro de vinilo $-(CH_2-CHCl)_n$ y cloruro de vinilideno $-(CH_2-CCl_2)_n-$), poliestireno, etc (Karel, 1975). Los copolímeros han demostrado dar buenos resultados, mejorando la resistencia del empaque (Ben Yehoshua, 1985), así como proporcionando una mejor apariencia a la fruta. Actualmente existen disponibles una gran variedad de polímeros para la

formulación de películas plásticas con diferentes características de permeabilidad al O_2 , CO_2 y al vapor de agua (Cuadro 8). Algunas de estas películas dependiendo de sus características de permeabilidad pueden utilizarse para empacar diferentes frutas (Kader *et al.*, 1989). Generalmente la mayoría de las películas son más permeables al CO_2 que al O_2 (Hardenburg, 1971) de aquí que la velocidad de acumulación de CO_2 es menor que la concentración de O_2 dentro del empaque. Las películas de acetato de celulosa y cloruro de polivinilo (PVC), pueden ser inadecuadas para el empaque de productos frescos a temperatura ambiente debido a su baja permeabilidad a los diferentes gases, lo que puede provocar acumulación de CO_2 y el daño subsecuente al producto (Ben-Yehoshua, 1985).

Para evitar la posible acumulación de agua dentro del empaque y daños provocados por la acumulación de CO_2 así como reducción en la concentración de O_2 y olores desagradables, se recomiendan películas perforadas. Estas, sin embargo, no producen una atmósfera modificada dentro del empaque (Hardenburg, 1971).

2.8 Medición de las características del material de empaque.

Debido a la diversidad en las características de los diferentes materiales de empaque, existen algunos métodos para medir dichas características. Por ejemplo para medir permeabilidad de ciertos gases, se puede utilizar el método

Cuadro 8. Permeabilidad al O₂, CO₂ y al vapor de agua, de algunos polímeros disponibles para la formulación de películas plásticas.

Tipo de Película	Permeabilidad ¹		
	O ₂	CO ₂	PVA ²
Poliétileno	3,900-13,000	7,700-77,000	
Polipropileno	1,300- 6,400	7,700-21,000	
Poliestireno	2,600- 7,700	10,000-26,000	
Acetato de celulosa	1,814- 2,325	13,300-15,500	1,163-1,395
Cloruro de polivinilo	620- 2,248	4,263- 8,138	140- 171
Cloruro de polividieno	15.5	59	31
Nylon-6	15.5	31	126
Poliéster	52-130	180-390	
Policarbonato	13,950-14,725	3,250-26,350	10.9-17.1
Etilcelulosa	31,000	77,500	310
Metilcelulosa	1,240	6,200	3,100
Alcohol de polivinilo	casi 0	casi 0	casi 0
Fluoruro de polivinilo	50	171	

¹permeabilidad (ml/mil/m²/día.atm).

²PVA=Velocidad de transmisión al vapor de agua (ml/día/m²/mil).

Fuente: Kader *et al.* (1989).

de incremento de presión, el cual consiste en poner la película en la mitad de una cámara, posteriormente dicha cámara es desgasificada, prosiguiendo a introducir un gas determinado por un lado de la cámara. El gradiente de presión producido dentro de la cámara, provoca que el gas fluya a través de la película, el cual es detectado midiendo la velocidad de transmisión del gas por unidad de área por tiempo (Karel, 1975).

La permeabilidad al vapor de agua generalmente es medida gravimétricamente. Se pone un desecante en una taza de aluminio a una presión baja de vapor de agua, la cual es sellada con la película a la que se le hará la medición. La taza es puesta en una cámara de temperatura y humedad relativa constante, la permeabilidad es determinada a partir del aumento provocado por el agua que pasa a través de la película y es absorbida por el desecante. El desecante puede ser sulfato de calcio, perclorato de magnesio o cloruro de calcio (Karel, 1975).

2.9 Modelos Matemáticos utilizados en el EAM

Varios investigadores han intentado modelar las interacciones entre la respiración de las frutas y la atmósfera del empaque, con el fin de utilizar el EAM apoyándose en bases analíticas (Tolle, 1962; Lakin, 1987; Jurin y Karel, 1963; Veeraju y Karel, 1966; Marcellin, 1974; Henig y Gilbert, 1975; Hayakawa et al., 1975; Deily y Rizvi, 1981; Mannapperuma et al., 1988).

La mayoría de los modelos se basan principalmente en la interacción existente entre la respiración de la fruta y la permeabilidad de los diferentes gases a través del empaque.

El equilibrio se logra cuando el flujo de gas debido a la respiración es igual al flujo del gas debido a la permeabilidad del empaque. Para poder predecir el tiempo necesario para lograr el equilibrio, un modelo debe de tomar en cuenta lo siguiente:

- 1)- El efecto del cambio de las concentraciones de O_2 y CO_2 sobre la velocidad de respiración.
- 2)- La posibilidad de que el coeficiente de respiración (CR) no sea igual a 1.
- 3)- La permeabilidad de la película al O_2 , al CO_2 y al vapor de agua.
- 4)- El efecto de la temperatura sobre la permeabilidad de la película.
- 5)- El área y el espacio de cabeza del empaque.
- 6)- La resistencia del fruto a la difusión de los gases.
- 7)- La atmósfera óptima de almacenamiento del producto.

Ninguno de los modelos presentados en el Cuadro 9 toman en cuenta todas las variables que afectan al sistema de empaque, por lo tanto la confiabilidad del uso de estos modelos disminuye a medida que el número de variables que se toman en cuenta es menor (Zagory y Kader, 1988).

Cuadro 9. Variables que se toman en cuenta en los diferentes modelos propuestos, que pueden utilizarse para predecir la atmósfera dentro del empaque.

Factores	Modelo propuesto								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Efecto de la [O ₂] en la respiración (R)	-	-	+	+	-	+	+	-	+
Efecto de la [CO ₂] en R	-	-	-	+	-	-	+	-	+
Daño por gases	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coefficiente de respiración	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Permeabilidad de la Película	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Temperatura	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Atmósfera ideal	-	-	-	-	+	-	-	-	+
Cambio respecto al tiempo	-	+	-	-	-	+	+	+	+
Area	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Espacio libre	+	+	-	-	-	+	+	+	+

- 1.- Tolle (1971)
- 2.- Lakin (1987)
- 3.- Jurin y Karel (1963)
- 4.- Veeraju y Karel (1966)
- 5.- Marcellin (1974)
- 6.- Henig y Gilbert (1975)
- 7.- Hayakawa et al. (1975)
- 8.- Deily y Rizvi (1981)
- 9.- Mannapperuma et al. (1988)

Fuente: Zagory y Kader (1988).

3. MATERIALES, EXPERIMENTOS Y METODOS

3.1 Materiales y Experimentos.

3.1.1. Mango

3.1.1.1. Selección

Se utilizó mango (Mangifera indica) variedad "Keitt" en estado sazón, proveniente de Huatabampo Sonora. Se seleccionaron sistemáticamente por tamaño, color y peso, cuidando que las frutas estuvieran libres de defectos y daños, y separándose posteriormente en 7 tratamientos (Cuadro 10). La Figura 1 muestra el proceso global del experimento.

3.1.1.2. Evaluación inicial

Inicialmente se tomaron 10 frutas con el fin de medir la tasa de respiración. Frutas individuales se colocaron en frascos de 3.5 l. Los frascos fueron conectados a un sistema con flujo continuo de aire (200 ml/min) mediante el uso de capilares previamente seleccionados para propósitos de control del flujo. Diariamente se tomaron muestras de aire de la salida de los frascos utilizando jeringas hipodérmicas de 1 ml, por un período de 2 semanas para determinar la velocidad de respiración (ml CO₂/Kg.h) de la fruta.

Se tomaron otras 60 frutas y se dividieron en cuatro grupos (repeticiones), con el fin de medir las características de la calidad inicial del fruto como peso,

Cuadro 10.- Tratamientos utilizados en el experimento de mango.

Tratamiento	Película	% vacío	# de Frutas
1	Poliétileno de alta densidad	95	36
2	Poliétileno de alta densidad	87	36
3	Poliétileno de alta densidad	75	36
4	Poliétileno de baja densidad	96	36
5	Poliétileno de baja densidad	87	36
6	Poliétileno de baja densidad	75	36
7	Control	-	36

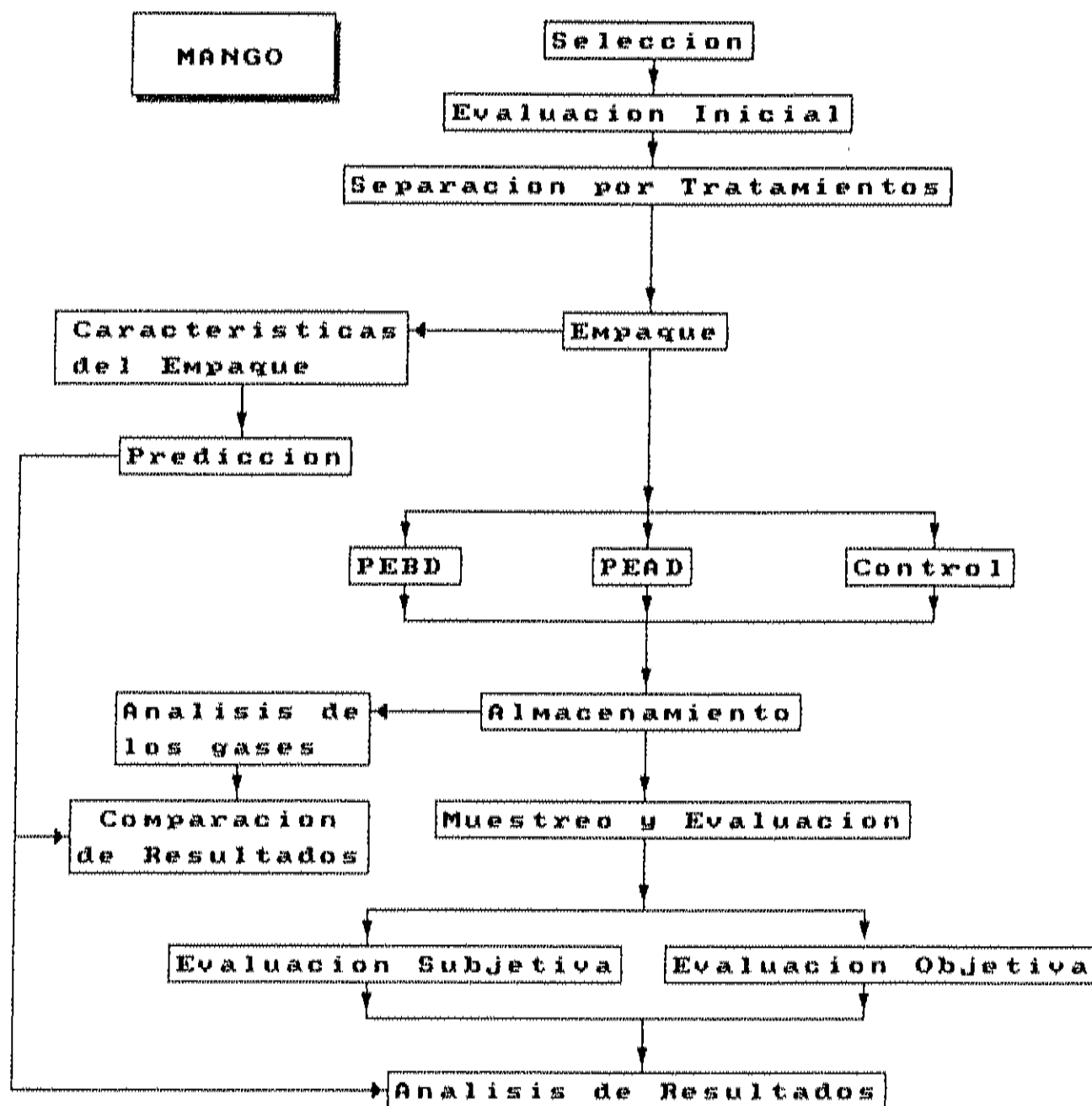


Fig. 1. Esquema del diagrama de flujo del experimento de mango

color, firmeza, pH, sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable expresada como % de ácido cítrico.

3.1.1.3. Empaque y almacenamiento

Las frutas de los diferentes tratamientos, fueron pesadas al inicio del experimento y evaluadas subjetivamente de acuerdo a su color y apariencia general. Posteriormente, fueron empacadas individualmente en películas de polietileno de baja y alta densidad con diferentes porcentajes de vacíos y selladas en una empacadora de vacío Super-Vack (Smith, Smith Equipment CO., Clifton, N.J. 07012 USA) como se muestra en el cuadro 10. Las películas fueron seleccionadas de acuerdo a su disponibilidad en el mercado, bajo precio, baja permeabilidad al O₂ y al CO₂, además de proporcionar buena presentación al producto. Estas fueron obtenidas de Industrias Plásticas del Noroeste, en Hermosillo, Sonora. Las frutas empacadas y control (sin empacar) fueron almacenadas en una cámara de refrigeración a 20°C y humedad relativa de 65%, por 4 semanas.

3.1.1.4. Análisis de los gases

Se analizaron las concentraciones de O₂ y CO₂ dentro de las empaques 2 veces por semana para cada una de las fruta empacadas en las diferentes películas.

3.1.1.5. Muestreo y evaluación

Se evaluaron 9 frutas de cada tratamiento a intervalos de 1 semana, con el fin de analizar:

- a) Pérdida de peso
- b) Cambio de color
- c) Apariencia general
- d) Firmeza
- e) pH
- f) Sólidos solubles totales (SST)
- g) % de acidez titulable
- h) Evaluación sensorial

Las frutas fueron primeramente pesadas y se determinó subjetivamente el % de cambio de color y la apariencia general. Se tomaron 3 frutas para medir su respiración durante 2 semanas, después de haber estado en EAM. De las 9 frutas, 6 se utilizaron para medir firmeza en 6 puntos de cada fruta y se tomaron muestras representativas de los tratamientos para medir las principales características físicas y químicas anteriormente descritas. Cada semana se llevó a cabo una evaluación sensorial de las frutas, con el fin de determinar el efecto del EAM sobre los principales atributos de calidad de la fruta.

3.1.1.6. Evaluación de las características de las películas

Se evaluaron las principales características físicas de las películas utilizadas como grosor, permeabilidad al oxígeno y al vapor de agua.

3.1.1.7. Comparación de los datos experimentales con datos obtenidos a partir de un modelo de predicción.

Los datos de O_2 y de CO_2 obtenidos experimentalmente durante el período de almacenamiento fueron comparados con un modelo matemático que utiliza ecuaciones diferenciales que involucran las principales características de la película como: área de la bolsa por donde pueden permearse los diferentes gases, permeabilidad al O_2 y al CO_2 de la película, volumen del espacio libre y las principales características de la fruta como peso, velocidad de consumo de O_2 y de producción de CO_2 . Con este modelo se puede predecir teóricamente la variación de la concentración de O_2 y de CO_2 dentro de las diferentes bolsas con respecto al tiempo (Deily y Rizvi, 1981).

3.1.2. Aguacate

3.1.2.1. Selección

Aguacates (Persea americana Mill) variedad "Hass", en estado sazón, fueron obtenidos de plantíos de Uruapan, Michoacán. La fruta fué transportada en camión refrigerado

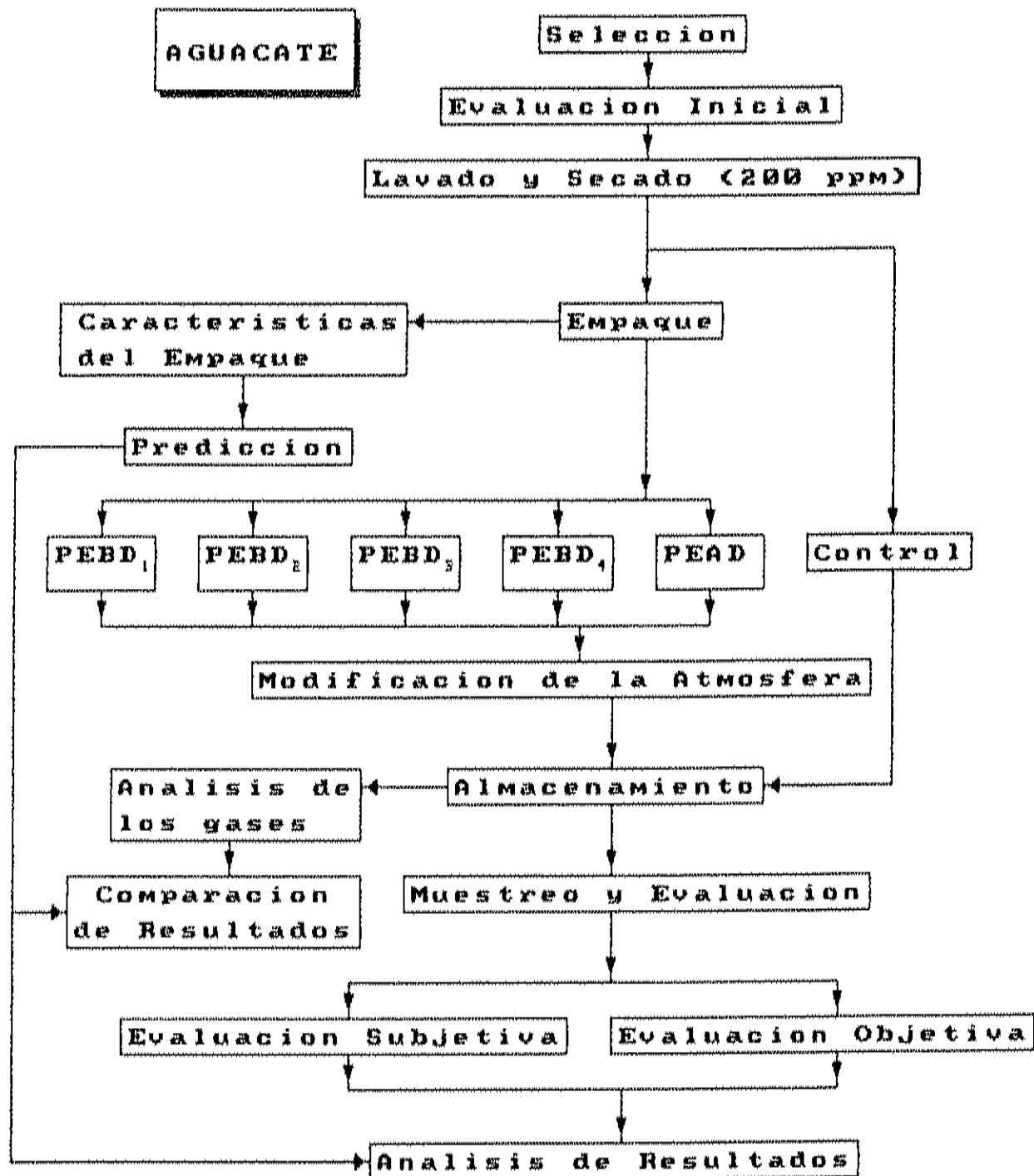


Fig. 2. Esquema del diagrama de flujo del experimento de aguacate.

(13-15°C), llegando a Hermosillo, Sonora 4 días después del corte. Se trasladó hasta el laboratorio, donde se seleccionó visualmente por color, tamaño y peso, desechándose aquellas frutas que presentaban daños mecánicos y deformaciones genéticas.

3.1.2.2. Evaluación inicial

Al inicio del experimento se tomaron 40 frutas y se determinó el color, apariencia general, peso y firmeza de la fruta.

3.1.2.3. Lavado y secado

Las frutas fueron sumergidas por 15 minutos en una tina conteniendo agua clorinada (200 ppm) a temperatura ambiente, con el fin de eliminar la tierra y desinfectar los frutos. Posteriormente se secaron con un abanico y se separaron en grupos de 32 frutas.

3.1.2.4. Empaque

Las frutas fueron pesadas, evaluadas subjetivamente por color y apariencia general y empacadas individualmente utilizando 4 diferentes películas de polietileno de baja densidad y una de alta densidad, las cuales fueron obtenidas de Industrias Plásticas del Noroeste, en Hermosillo, Sonora. Los empaques se sellaron utilizando una selladora manual eléctrica (General Electric). Se seleccionaron por su bajo

costo, disponibilidad, baja permeabilidad al O_2 y al CO_2 y además de proporcionar buena apariencia al producto.

3.1.2.5. Tratamientos utilizados

Se utilizaron 3 sistemas de atmósferas modificadas: una pasiva y dos tratamientos semi-activas además del control (sin empacar).

- a) Atmósfera pasiva: consistió en empacar la fruta en las diferentes películas sin un cambio inicial de la atmósfera dejando que la atmósfera fuera modificada por la fruta, debido al efecto de la respiración.
- b) Atmósfera semi-activa 1: en este sistema, se introdujo una cantidad de 100 ml de CO_2 inmediatamente después de sellar los empaques, con el fin de modificar la atmósfera inicial dentro del mismo.
- c) Atmósfera semi-activa 2: de la misma manera que en b) se introdujo una cantidad de 100 ml de CO_2 y 200 ml de N_2 al empaque.

3.1.2.6. Almacenamiento

Después de realizar la modificación de la atmósfera, las frutas empacadas y el control fueron almacenadas en una cámara de refrigeración a $5^{\circ}C$ y una HR de 85%, durante un período de 4 semanas.

3.1.2.7. Análisis de los gases

Se midieron los cambios en la atmósfera alrededor del producto (O_2 , CO_2 y C_2H_4) dos veces por semana en cada uno de los tratamientos. Durante la primera semana, dichas concentraciones fueron analizadas diariamente para los tratamientos con atmósferas semi-activas, con el fin de seguir más de cerca el comportamiento de los gases con respecto al tiempo.

3.1.2.8. Muestreo y evaluación

Cada semana se tomaron 8 frutas de cada tratamiento, con el propósito de evaluar objetivamente los cambios de peso y textura y subjetivamente los cambios de color y desarrollo de daño por frío.

3.1.2.9 Determinación de las características de las películas.

Se determinaron las características de las películas como grosor, permeabilidad al O_2 y al vapor de agua.

3.1.3. Papaya

3.1.3.1. Selección

Se utilizó papaya (*Carica papaya* L.) variedad "Solo" proveniente del estado de Chiapas. La fruta fue transportada en camión refrigerado a 13-15°C, llegando a Hermosillo 8 días después del corte. Se seleccionó visualmente por color, tamaño y por peso.

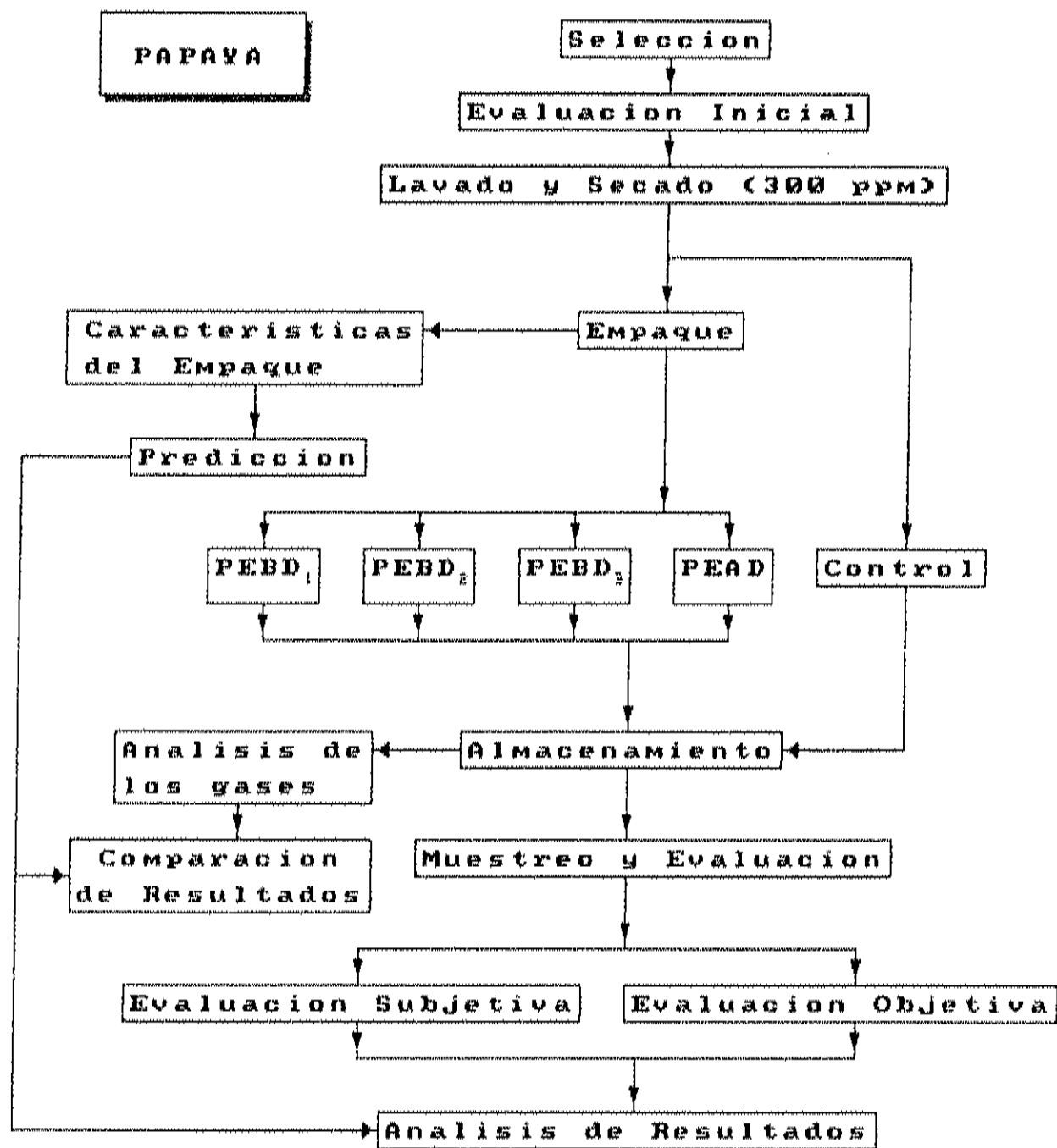


Fig. 3. Esquema del diagrama de flujo del experimento de papaya.

3.1.3.2. Lavado y secado

Las frutas fueron sumergidas en una tina conteniendo agua clorinada (300 ppm) a temperatura ambiente por 15 minutos, con el propósito de eliminar residuos de tierra y desinfectar la fruta.

3.1.3.3. Evaluación inicial

Inicialmente se tomaron 22 frutas con el fin de medir la tasa de respiración, utilizando un sistema con flujo continuo de aire de la misma manera que en mango. Se utilizaron 30 frutas para medir las características iniciales como peso, color, firmeza y apariencia general del fruto.

3.1.3.4. Empaque y almacenamiento

Las frutas fueron evaluadas subjetivamente según su color y apariencia general. Posteriormente se empacaron en las diferentes películas de polietileno y se almacenaron en una cámara de refrigeración con una temperatura de 10°C y una HR de 74% durante 2 semanas.

3.1.3.5. Análisis de los gases

Diariamente se analizaron las concentraciones de O₂, CO₂ y C₂H₄ dentro de los empaques de los diferentes tratamientos.

3.1.3.6. Muestreo y evaluación

Se tomaron 15 frutas 2 veces por semana de cada tratamiento, para evaluar:

- a) Pérdida de peso
- b) Cambio de color
- c) Evaluación externa e interna
- d) Firmeza
- e) Evaluación sensorial

Primeramente las frutas fueron pesadas, evaluándose los cambios de color y apariencia externa o deterioro. Posteriormente se midió la firmeza de estas frutas en 6 puntos. Se tomaron muestras representativas de cada tratamiento que fueron evaluadas informalmente por 8 panelistas sin entrenar, con el propósito de detectar el desarrollo de sabores y aromas desagradables.

3.1.3.7 Evaluación de las características de las películas.

Se evaluaron las características de las películas como grosor, permeabilidad al O_2 y al vapor de agua.

3.1.3.8 Comparación de los datos experimentales con los datos obtenidos con un modelo de predicción.

Los datos experimentales de O_2 y de CO_2 fueron comparados con datos de predicción, obtenidos a partir del modelo empleado por Deily y Rizvi (1981).

3.2. Métodos

3.2.1. Medición de las características de las películas

3.2.1.1. Grosor y permeabilidad al vapor de agua

Se midió el grosor de las películas, utilizando un micrómetro digital (Modelo DDT, E.J. Cady and CO., Wheeling, IL) con un rango de 0 a 1.25 mm. Se utilizaron 20 réplicas para cada medición. Se determinó la permeabilidad al vapor de agua, de acuerdo al método descrito por la ASTM (1979) utilizando 40 g de CaCl₂ como desecante. Las condiciones de la cámara fueron ajustadas a 25 ± 1°C y 50 ± 2% de HR, utilizando una solución sobresaturada de nitrato de magnesio. Después de que la cámara se equilibró, se efectuaron pesadas cada 24 hrs hasta obtener una velocidad constante de ganancia de peso. Las pruebas se efectuaron por cuadruplicado, determinándose la permeabilidad al vapor de agua de acuerdo a la siguiente formula:

Velocidad de transmisión al vapor de
agua de la película (VTVA)

$$VTVA = \frac{g}{(\text{Area de la Taza})(24 \text{ Hrs})} = \frac{g}{m^2.h}$$

g = Promedio de la ganancia en peso

3.2.1.2. Permeabilidad al oxígeno

Se midió la permeabilidad al oxígeno de las películas con un equipo OXTRAN 100 A (Mocon, Modern Controls Inc.,

Minneapolis, Min.). El material fué colocado en una celda de difusión de un área de 100 cm², haciendo pasar por una de las caras de la película un flujo de oxígeno y por la otra cara, uno de gas acarreador (nitrógeno), el cual acarrea el oxígeno que se permea a través de la película a un detector coulométrico específico para oxígeno, que tiene una celda de Niquel-Cadmio, que funciona de acuerdo a la ley de Faraday.

3.2.2. Análisis de los gases

Se analizó la tasa de respiración (ml CO₂/Kg.h) de las frutas durante 2 semanas a 20°C. Se analizó la concentración de CO₂, inyectando 1 ml con una jeringa hipodérmica de las muestras tomadas de la salida del aire del sistema de flujo de aire, en un analizador infrarrojo (Horiba PIR-2000) con un flujo de nitrógeno como gas acarreador. La concentración de CO₂ dentro de las bolsas se analizó con el mismo equipo. Para cuantificar la velocidad de respiración de las frutas, se empleó la siguiente formula:

$$\text{ml CO}_2/\text{Kg.h} = \frac{(h \times F \times C)}{H_s \times W}$$

Donde:

h= altura de la muestra (cm)

F= Flujo de aire (ml/h)

C= Concentración de la muestra (%)

Hs= Altura del estándar (cm)

W= Peso de la fruta (Kg)

El contenido de oxígeno fue determinado tomando muestras (5-7 ml) de la atmósfera interna de los empaques con el uso de una jeringa hipodérmica y se inyectó a un analizador de oxígeno portátil (Mocon LC 700F). La acumulación de C_2H_4 dentro de las bolsas fue analizado en un cromatógrafo de gases HATCH CARLE Serie 400, equipado con una columna con 8% de NaCl en alumina (80/100 mesh) de 4 pies y un detector de ionización de flama (FID). La temperatura del cromatógrafo de gases se llevó a 100°C y posteriormente se realizaron las mediciones. Se compararon los picos obtenidos con picos de estándares de concentración conocida utilizando la siguiente ecuación.

$$C_m = \frac{H_m}{H_s} \times C_s$$

Donde:

C_m = Concentración de la muestra (ppm)

C_s = Concentración conocida del estándar (ppm)

H_m = Altura de la muestra (cm)

H_s = Altura del estándar (cm)

3.2.3. Evaluación de calidad de la fruta

3.2.3.1. Peso

Los cambios de peso de la fruta fueron determinados utilizando una balanza digital Mettler PE 2000 (Mettler Instrument Corp. Hightstown/NY), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Pérdida de Peso} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

3.2.3.2. Firmeza

Los cambios de textura fueron evaluados con un penetrómetro Chatillon (DFG 50, Jhon Chatillon & Sons, Inc., New York, N.Y.) con un punzón cónico de 8 mm de diámetro en 6 puntos de la fruta después de haber removido la cáscara.

3.2.3.3. Apariencia externa

Los daños que presentaron los frutos como el desarrollo de hongos y encogimiento fueron analizados subjetivamente, así como el % de cambio de color del fruto de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Cambio de color} = \frac{\text{Color inicial} - \text{Color final}}{\text{Color inicial}} \times 100$$

3.2.3.4. Sólidos solubles totales, % de acidez titulable y pH.

Se determinó el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) colocando una gota de jugo en un refractómetro de ABBE con temperatura corregida (American Optical, modelo 10450).

La determinación de acidez titulable se realizó con un potenciómetro (Corning pHmeter 140), utilizando 10 ml de jugo y titulando con una solución de NaOH 0.1 N hasta lograr un pH

de 8.2, el cual nos indica la neutralización ácido-base. Se calculó el contenido de ácido expresado como % de ácido cítrico, con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Acidez Titulable} = \frac{T \times V \times A \times 0.067 \times 100}{N \times P}$$

Donde:

T = ml de NaOH gastados en la titulación

V = Volumen total de la muestra (ml)

N = Normalidad de la solución de NaOH

A = Alícuota de la muestra

P = Peso de la muestra (g)

0.067 = Peso equivalente del ácido cítrico

Se determinó el pH de la pulpa a temperatura ambiente con un potenciómetro Corning pHmeter modelo 140.

3.2.4. Evaluación subjetiva

3.2.4.1. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo utilizando un Diseño Balanceado de Bloques Incompletos (DBBI) como muestra el Cuadro 11 (Cochran y Cox, 1957). Se utilizaron panelistas sin entrenar a los cuales se les preguntó de acuerdo a una escala hedónica la intensidad de la aroma, sabor (gusta, disgusta) y textura (blanda, firme) de la pulpa, color de la

Cuadro 11. Tratamientos evaluados de acuerdo al diseño balanceado de bloques incompletos utilizado.

# de Panelista	Tratamiento #						
	1	2	3	4	5	6	7
1	-	x	x	x	-	x	-
2	-	-	x	x	x	-	x
3	x	-	-	x	x	x	-
4	-	x	-	-	x	x	x
5	x	-	x	-	-	x	x
6	x	x	-	x	-	-	x
7	x	x	x	-	x	-	-

Número de tratamientos evaluados por panelista $b = 4$

Número de panelistas por tratamiento $r = 4$

Número de tratamientos o tamaño del block $k = 7$

Número de panelistas $t = 7$

cáscara y pulpa (amarilla, anaranjada) y aceptabilidad general (excelente, muy mala) (Apendice A), con el fin de comparar los tratamientos entre sí y saber cual era mejor.

3.2.4.2. Daño por Frío

El daño por frío (DF) fué determinado después de sacar la fruta de los empaques y haber estado por 2 días a 20°C. Se determinó subjetivamente de acuerdo al grado de oscurecimiento de la pulpa alrededor del hueso, de acuerdo al siguiente sistema; 0 = no presenta síntomas, 1 = muy ligero, 2 = ligero, 3 = moderado, 4 = severo, 5 = muy severo.

3.2.5. Modelo utilizado para predecir las concentraciones de O₂ y de CO₂.

Los resultados obtenidos experimentalmente fueron comparados con un modelo de predicción, el cual utiliza ecuaciones diferenciales (Rizvi y Deily, 1981). Este modelo toma en cuenta: la velocidad de respiración de la fruta, peso de la fruta, permeabilidad al O₂ y al CO₂ de los empaques, espacio libre de cabeza del empaque, área por donde pueden permear los gases y supone que el coeficiente de respiración (CR) es 1.

La difusión de los gases a través de las películas poliméricas, puede ser representada por un balance de masa tomando en cuenta los principales componentes (O₂ y CO₂), por las siguientes ecuaciones de predicción:

$$y = \frac{Ya - W \times Ry}{S \times Ky} \quad z = \frac{Za - W \times Rz}{S \times Kz}$$

$$y(t) = y + (Ya - y) \cdot \text{EXP}(-SKyt/V)$$

$$z(t) = z + (Za - z) \cdot \text{EXP}(-SKzt/V)$$

Donde:

- W = peso de la fruta (Kg)
- S = Area del empaque (m²)
- Ky = Permeabilidad de la película al O₂ (cc/m²/h)
- Kz = Permeabilidad de la película al CO₂ (cc/m²/h)
- Ya = Concentración inicial de O₂ (21%)
- Za = Concentración inicial de CO₂ (0.003%)
- y = Concentración de O₂ en el equilibrio
- z = Concentración de CO₂ en el equilibrio

3.5.6 Análisis estadístico de los datos obtenidos.

Todos los datos fueron analizados estadísticamente utilizando el sistema SAS versión 6.03 (SAS, 1988) y comparando las medias de cada una de las características analizadas en los intervalos utilizados para cada fruta. Las medias fueron comparadas de acuerdo a la prueba de Tukey. Para todas las pruebas se utilizó un nivel de significancia de (p < 0.05).

4. RESULTADOS

4.1. Mango

Los siguientes resultados describen los tratamientos 1, 4 y 7, ya que no se encontró diferencias significativas entre las medias de los tratamientos con los mismos empaques (Cuadro 10) al aplicar cierto vacío. Debido a que las películas de polietileno no mantienen el vacío. Por lo que se optó por tomar estos 3 tratamientos.

4.1.1. Características de las películas utilizadas.

El Cuadro 12 muestra las características de las películas utilizada en el empaque de mango. La película de PEBD utilizada tuvo un menor grosor y permeabilidad al O₂ que la película de PEAD, pero mayor permeabilidad al vapor de agua.

4.1.2. Tasa de respiración

La Figura 4A muestra la tasa de respiración (TR) de las frutas iniciales y nos indica que las frutas utilizadas en el presente experimento estaban en su etapa inicial de maduración. La TR fue aumentando hasta alcanzar su máximo climatérico después de 3 a 4 días de estar expuestas a un flujo constante de aire a una temperatura de 20°C.

Se midió la TR a frutas después de haber estado por 1 y 2 semanas en EAM (Figura 4B y 4C). Las frutas almacenadas en

Cuadro 12. Características de las películas utilizadas en el empaque de mango.

Película	Grosor (mm)	Permeabilidad	
		O ₂ (CC/m ² .hr.atm)	H ₂ O (gr/m ² .hr.atm)
PEBD	0.010	700	0.257
PEAD	0.020	800	0.166

* El volumen de las bolsas fue de 750 ml.

PEBD = Polietileno de baja densidad

PEAD = Polietileno de alta densidad

el empaque de PEAD por una semana y después expuestas a aire, tuvieron una TR más alta, alcanzando su máximo pico a los 4 días, mientras que aquellas frutas almacenadas en PEBD tuvieron una TR menor alcanzando su máximo pico después de 10 días. Las frutas almacenadas en EAM por 2 semanas y después expuestas a aire tuvieron una TR menor, la cual aumentó alcanzando su máximo climatérico después de 6 días para las frutas almacenadas en PEAD y 8 días para las frutas en PEBD. Se pudo observar que las frutas que no estuvieron almacenadas en EAM (frutas control) alcanzaron su máximo climatérico más rápido que aquellas almacenadas en EAM por 1 y 2 semanas respectivamente (Figura 4).

4.1.3. Concentración de O₂ y CO₂ dentro de los empaques.

La Figura 5 muestra los cambios de las concentraciones de O₂ y CO₂ dentro de los empaques utilizados. Se puede observar que la concentración de O₂ disminuyó de un 21% hasta 8-10% en las dos películas, en los 2 a 3 primeros días de almacenamiento, manteniéndose relativamente estable durante las primeras 2 semanas. Después de este período de tiempo, la concentración de O₂ aumentó lentamente en la película de PEAD hasta llegar alrededor de un 14% al final del experimento. No se presentaron cambios notorios en la película de PEBD.

La concentración de CO₂ aumentó hasta un 3% y 7% en la película de PEAD y PEBD respectivamente, después de 2 días de almacenamiento, alcanzando un máximo de 8 y 10%

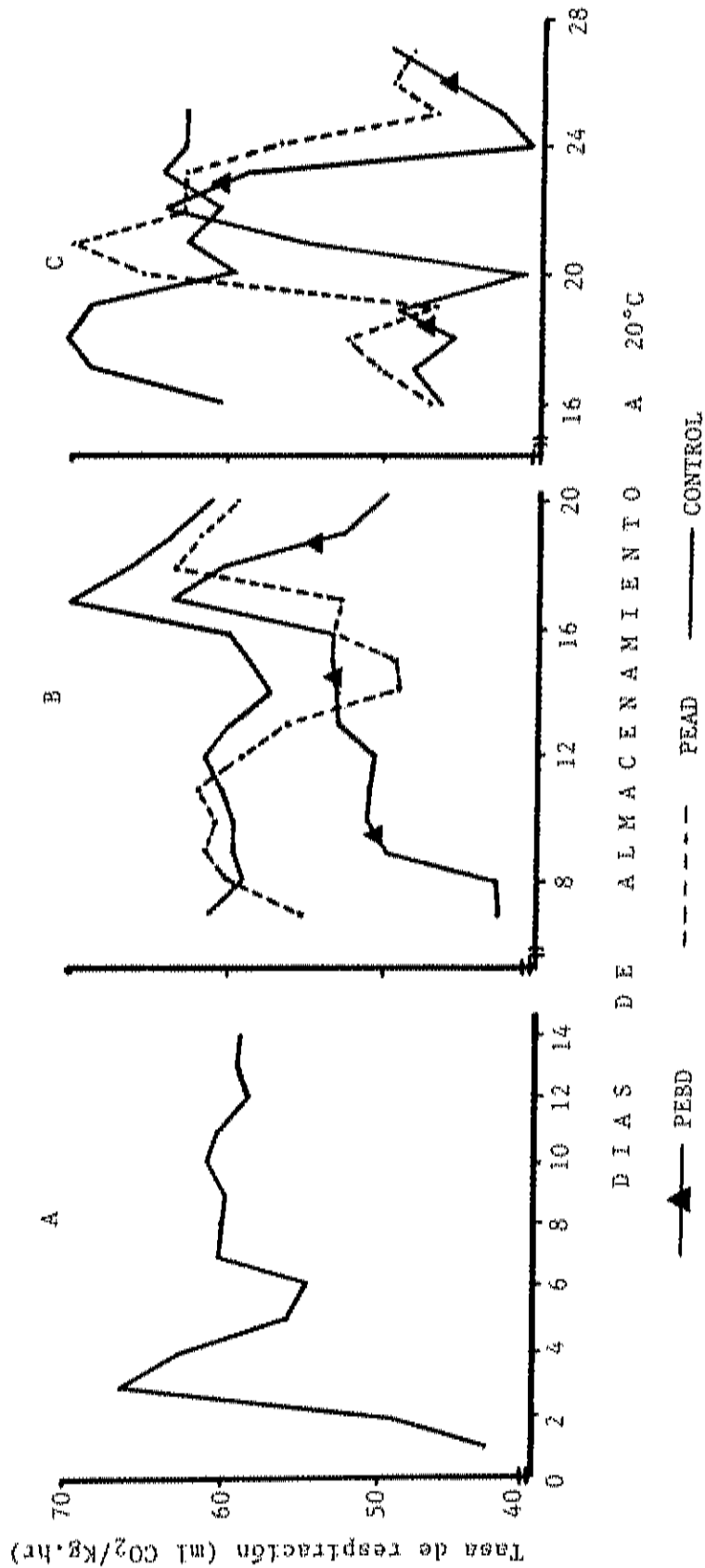


Fig. 4. Velocidad de respiración de mango almacenado a 20°C. A - Inmediatamente después de la cosecha, B - Después de haber estado 1 semana en EAM, C - Después de haber estado 2 semanas en EAM.

respectivamente después de 10 días de almacenamiento. Posteriormente disminuyó y se mantuvo alrededor de 3 y 5% en la película de PEAD y PEBD, respectivamente.

Las concentraciones experimentales de O_2 y CO_2 se compararon con valores teóricos del modelo de Deily y Rizvi (1981). Se puede observar en la figura 5, que los datos de predicción se acercan a los datos obtenidos experimentalmente, siendo mayor la aproximación en la película de PEBD. Los datos de predicción de O_2 y CO_2 fueron mayores que los experimentales para las dos películas utilizadas. No hubo diferencias entre las medias de los datos de O_2 y CO_2 experimentales y de predicción de las dos películas ($p < 0.05$). El cuadro 13 muestra las ecuaciones de ajuste de los datos de O_2 y CO_2 experimentales y de predicción de las dos películas utilizadas. El apéndice B muestra un ejemplo de los datos experimentales y los datos obtenidos con las ecuaciones de ajuste.

4.1.4. Características físicas y químicas

El análisis estadístico realizado demostró la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos en EAM y las frutas control, con lo que respecta al porcentaje de pérdida de peso, pero no entre las frutas almacenadas en EAM (PEAD y PEBD) (Figura 6B). Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en EAM y el control, para firmeza, % de sólidos solubles totales y acidez titulable, pero no para pH en la primera semana de

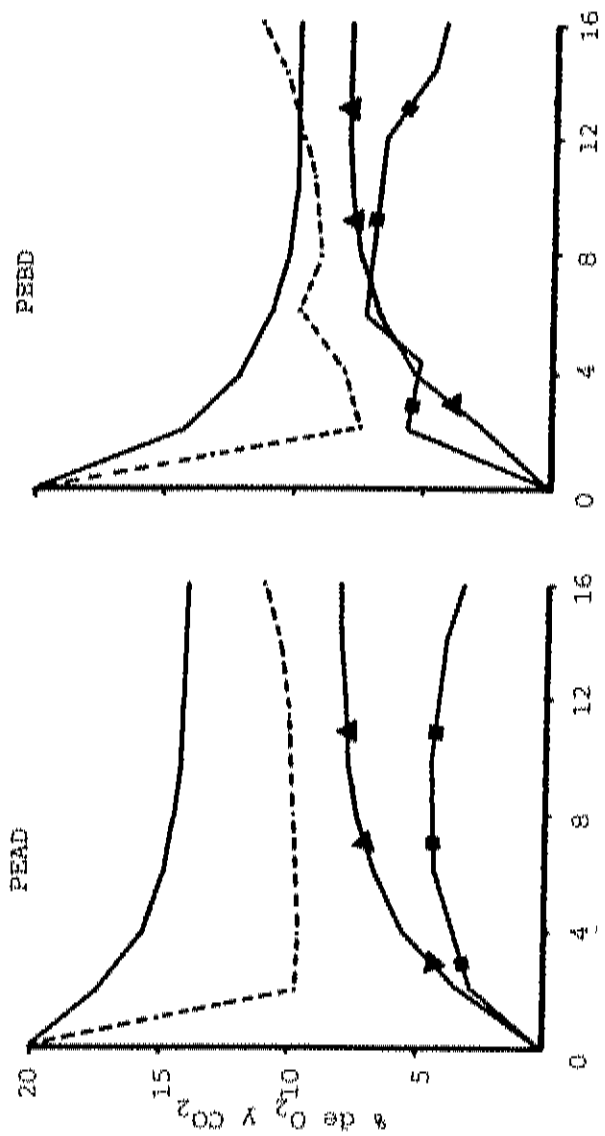


Fig. 5. Datos de predicción (—, ▲) y experimentales (---, ■) de O₂ y CO₂ respectivamente dentro de los envases de mango en EAM a 20°C.

Cuadro 13. Ecuaciones del modelo de predicción y de ajuste de los datos obtenidos experimentalmente de O₂ y CO₂, en las dos películas de PEBD y PEAD en mango.

AJUSTE		
	O ₂	CO ₂
PEAD	$Y=10.196+10.97*EXP(-0.677X)$	$Y=-10.894+12*EXP(0.01018X)$
PEBD	$Y=9.319+11.785*EXP(-0.783X)$	$Y=-8.15+12.126*EXP(0.0256X)$
PREDICCIÓN		
	O ₂	CO ₂
PEAD	$Y=14.99+6.01*EXP(-0.03332X)$	$Y=4.66-4.63*EXP(-0.0428X)$
PEBD	$Y=13.62+7.37*EXP(-0.027X)$	$Y=5.28-5.25*EXP(0.038108X)$

X = TIEMPO
Y = RESPUESTA

almacenamiento. No se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos en la segunda, tercera y cuarta semana con lo que respecta a firmeza, pH, % de sólidos solubles totales y acidez titulable (Figura 6A, 7A, 7B y 7C).

4.1.5. Evaluación sensorial

La Figura 8 muestra los resultados de la evaluación sensorial de las frutas almacenadas en EAM (PEAD Y PEBD) y control (sin empacar). Los resultados obtenidos en la evaluación sensorial revelan la ausencia de olores y sabores desagradables en los diferentes tratamientos. Los valores para aceptabilidad general en la primera semana fueron bajos en los 3 tratamientos (entre 2 y 3), obteniéndose valores bajos para sabor y aroma, y altos para textura. Lo que significa que la fruta no había alcanzado su madurez comercial.

En la segunda y tercera semana, las frutas recibieron los valores mas altos para aceptabilidad general (entre 2-4), obteniéndose valores altos para sabor, aroma y valores mas bajos para textura que las frutas evaluadas en la primera semana. Las frutas evaluadas la cuarta semana recibieron valores mas bajos para aceptabilidad general (entre 2.5 y 3). Sin embargo, a pesar de que estos valores son menores que los obtenidos en la segunda y tercera semana, no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 8). Los valores de aroma, sabor y firmeza fueron iguales estadísticamente en la segunda y tercera evaluación. No se

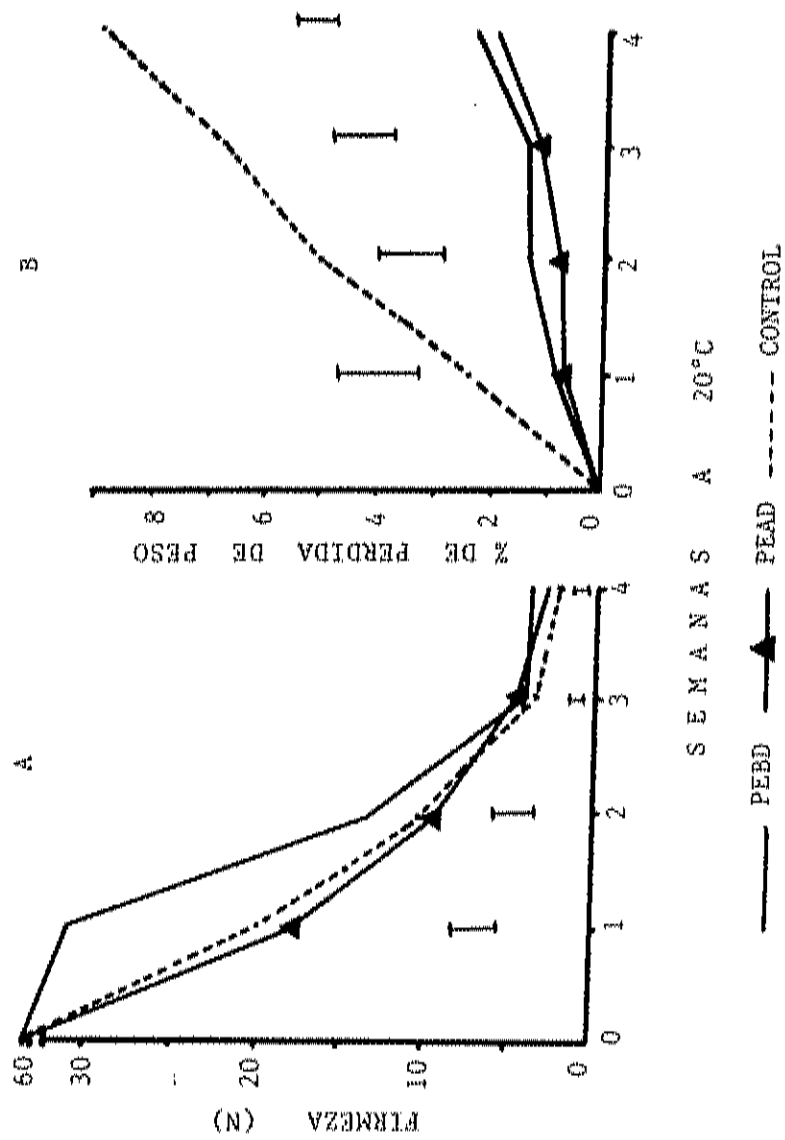


Fig. 6. Firmeza (N) y % de Pérdida de peso de mango almacenado en EAM por 4 semanas a 20°C.

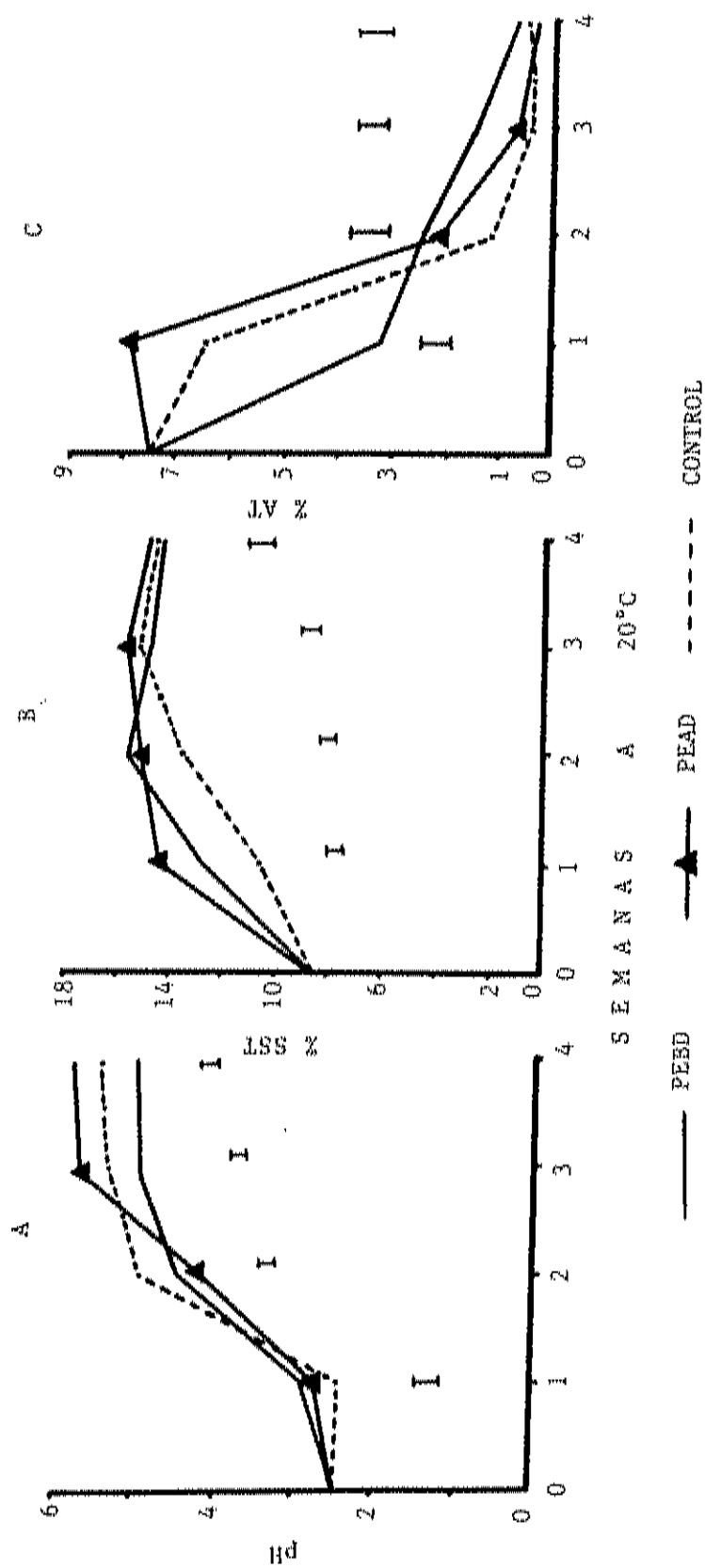


Fig. 7. pH, sólidos solubles totales y % de acidez titulable (ácido cítrico), de mango almacenado en EAM por 4 semanas a 20°C.

encontraron diferencias estadísticas en cuanto al color de la cáscara, entre los 3 tratamientos durante las 4 semanas. Sin embargo, los valores para el color de la pulpa aumentaron con el tiempo encontrándose diferencias en la segunda y tercera semana entre los tratamientos en EAM y el control. En general no se observaron diferencias significativas en todas las características sensoriales entre los tratamientos en EAM (PEAD y PEBD) y las frutas control (sin empacar), o entre los tratamientos almacenados en EAM.

Los datos obtenidos en la evaluación sensorial de los diferentes atributos de calidad evaluados se correlacionaron entre sí para las cuatro evaluaciones realizadas. Se puede observar que se obtuvo una correlación de 0.4283, 0.7633 y 0.7448 para aroma, sabor y textura contra aceptabilidad general respectivamente. Sin embargo se tuvo una baja correlación de 0.2199 y 0.1166 para pulpa y cáscara contra aceptabilidad general. Estos valores bajos se deben a que se utilizaron panelistas sin entrenar, pero son de gran ayuda para nosotros ya que nuestro propósito era encontrar si los tratamientos afectaban la calidad de la fruta además del desarrollo de aromas y sabores desagradables. (Cuadro 14).

4.2 Aguacate

4.2.1. Características de las películas utilizadas

El cuadro 15 muestra las características de las películas utilizadas. El rango en grosor de las películas de PEBD fue entre 0.015 a 0.066 mm, y con un rango de

Quadro 14. Correlación entre los atributos de calidad evaluados en la evaluación sensorial realizada en mango.

	Aroma	Sabor	Textura	Color		Aceptabilidad General
				Cáscara	Pulpa	
Aroma	- -	0.2082	0.3985	0.015	0.027	0.4283
Sabor	0.2082*	- -	0.5627	0.2117	0.0394	0.7633
Textura	0.3985	0.5627	- -	0.1166	0.2199	0.7448
Color						
- cáscara	0.015	0.2117	0.1166	- -	0.6105	0.1166
- pulpa	0.027	0.0394	0.2199	0.6105	- -	0.2166
Aceptabilidad General	0.4283	0.7633	0.7448	0.1166	0.2166	- -

* Coeficiente de correlación global ($p < 0.05$) de las 4 evaluaciones realizadas.

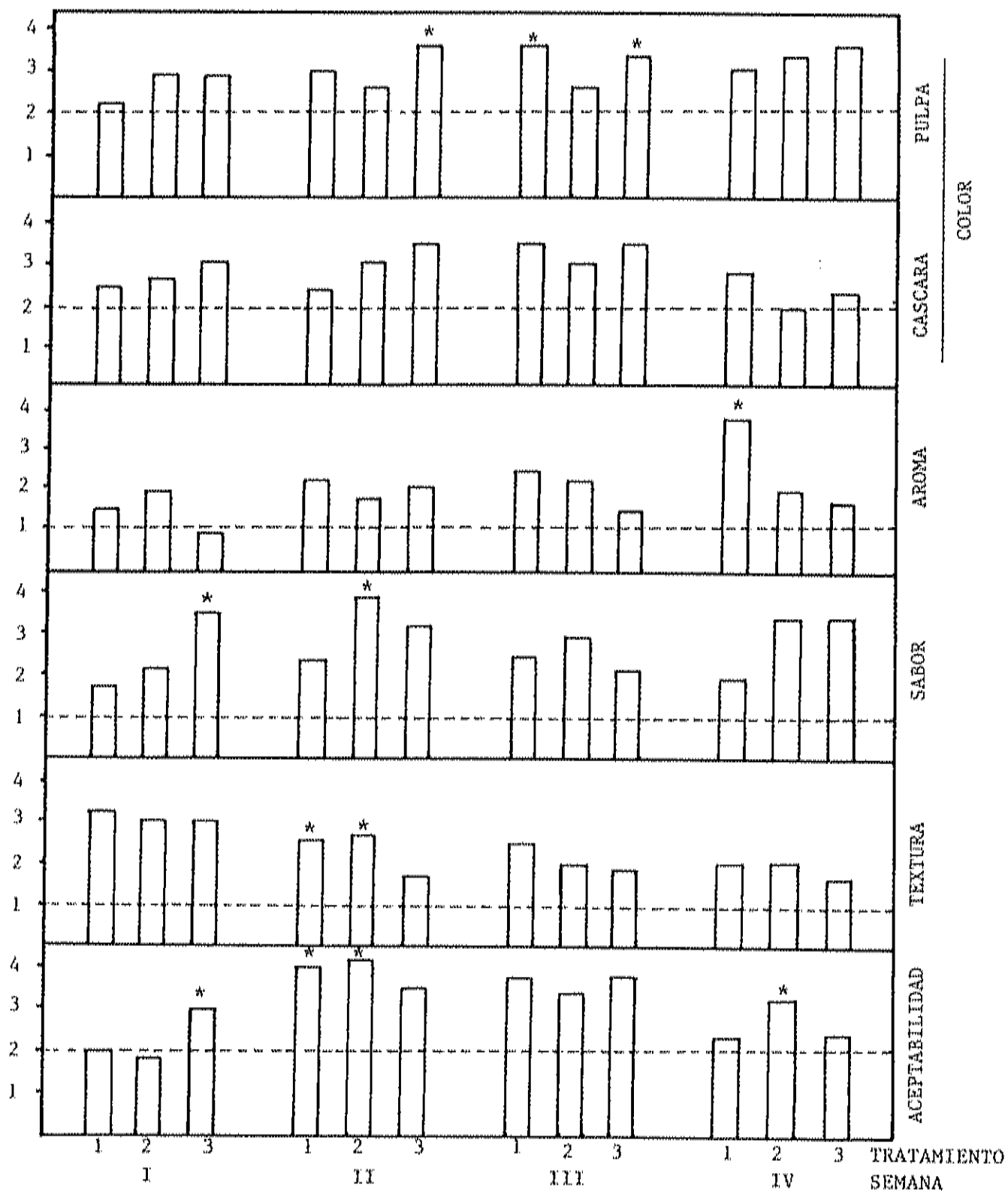


Fig. 8. Evaluación sensorial de los diferentes atributos de calidad de mango expuesto en los diferentes tratamientos. * Diferencias significativas ($p < 0.05$). 1= PEAD, 2= PEBD y 3= Control. ---- Calidad mínima aceptable de acuerdo al cuestionario utilizado en la evaluación sensorial.

Cuadro 15. Características de las películas utilizadas para el empaque de aguacate.

Película	Grosor (mm)	Permeabilidad	
		O ₂ (CC/m ² .hr.atm)	H ₂ O (gr/m ² .hr.atm)
PEBD ₁	0.066	111	0.167
PEBD ₂	0.043	225	0.182
PEBD ₃	0.028	416	0.186
PEBD ₄	0.015	605	0.246
PEAD	0.013	631	0.206

PEBD = Polietileno de baja densidad
 PEAD = Polietileno de alta densidad

permeabilidad al O_2 entre 111 a 605 cc $O_2/m^2.hr.atm$ y al vapor de agua de 0.167 a 0.246 g de $H_2O/m^2.hr.atm$. La película de polietileno de alta densidad utilizada tuvo el menor grosor (0.013 mm), la mayor permeabilidad al O_2 y muy baja permeabilidad al vapor de agua..

4.2.2. Concentraciones de O_2 , CO_2 y C_2H_4 dentro de los empaques.

La concentración de O_2 dentro del empaque en el tratamiento de atmósfera pasiva (Figura 9) después de 2 días fue menor de 5% en la película de PEBD-1, 7.5% en PEBD-2, 13% en PEBD-3, 12% en PEBD-4 y 18% en la película de PEAD. Dichas concentraciones empezaron a disminuir durante la primera semana y posteriormente aumentaron lentamente, excepto para la película de PEBD-1, la cual se mantuvo alrededor de 10% durante todo el experimento. La concentración de O_2 empezó a estabilizarse después de la segunda semana manteniéndose alrededor de 10% en la película de PEBD-1, 11% en PEBD-2, 14% en PEBD-3, 16% en PEBD-4 y cerca de 17.5% en la película de PEAD.

Con lo que respecta a la concentración de CO_2 en este tratamiento, se obtuvo la máxima acumulación de CO_2 en la película de PEBD-1 (Alrededor de 8%) y la mas baja en la película de PEAD (Alrededor de 2-3%) después de 2 días de almacenamiento. En la película de PEBD-2 se obtuvo una acumulación de CO_2 alrededor de 7%, 5% en la PEBD-3 y 3.5% en la película de PEBD-4 (Figura 10). Las concentraciones de O_2 y CO_2 en las películas de PEBD₁ y PEBD₂ del tratamiento de

atmósfera pasiva, fueron diferentes estadísticamente ($p < 0.05$) a las concentraciones de las películas de PEBD₃, PEBD₄ y PEAD.

La introducción de CO₂ y N₂ semi-activas 1 y 2, dió como resultado pocas variaciones de las concentraciones de O₂ y CO₂ durante el periodo de almacenamiento, siguiendo las diferentes películas el mismo patrón. La adición de estos gases a los empaques, modificó inicialmente la atmósfera interna, obteniéndose inicialmente concentraciones muy altas de CO₂ y muy bajas de O₂ (Figuras 9 y 10). Inicialmente en el tratamiento de atmósfera semi-activa 1 se obtuvieron concentraciones de CO₂ de alrededor de 18-23% las cuales disminuyeron continuamente hasta que se mantuvo alrededor de 7% en las películas de PEBD-1 y PEBD-2, 5% en PEBD-3, 3.5% en PEBD-4 y alrededor de 2.5% en la película de PEAD (Figuras 9 y 10). La concentración inicial de O₂ en este tratamiento fue de 13 a 16%. La introducción de 100 ml de CO₂ mantuvo la concentración de O₂ menos del 15%, durante el periodo de almacenamiento excepto para las películas de PEBD-4 y PEAD después de 3 semanas de almacenamiento. Sin embargo en el tratamiento de atmósfera semi-activa 2, se obtuvieron las concentraciones iniciales de O₂ mas bajas (3.5-5%) con concentraciones de CO₂ entre 16.5 y 20% (Figuras 9 y 10). La concentración de O₂ empezó a aumentar paulatinamente hasta llegar a tenerse concentraciones de 12% en la película de PEBD-1, 13% en PEBD-2, 14.5% en PEBD-3, 16% en PEBD-4 y 17% en PEAD después de dos semanas de almacenamiento. La

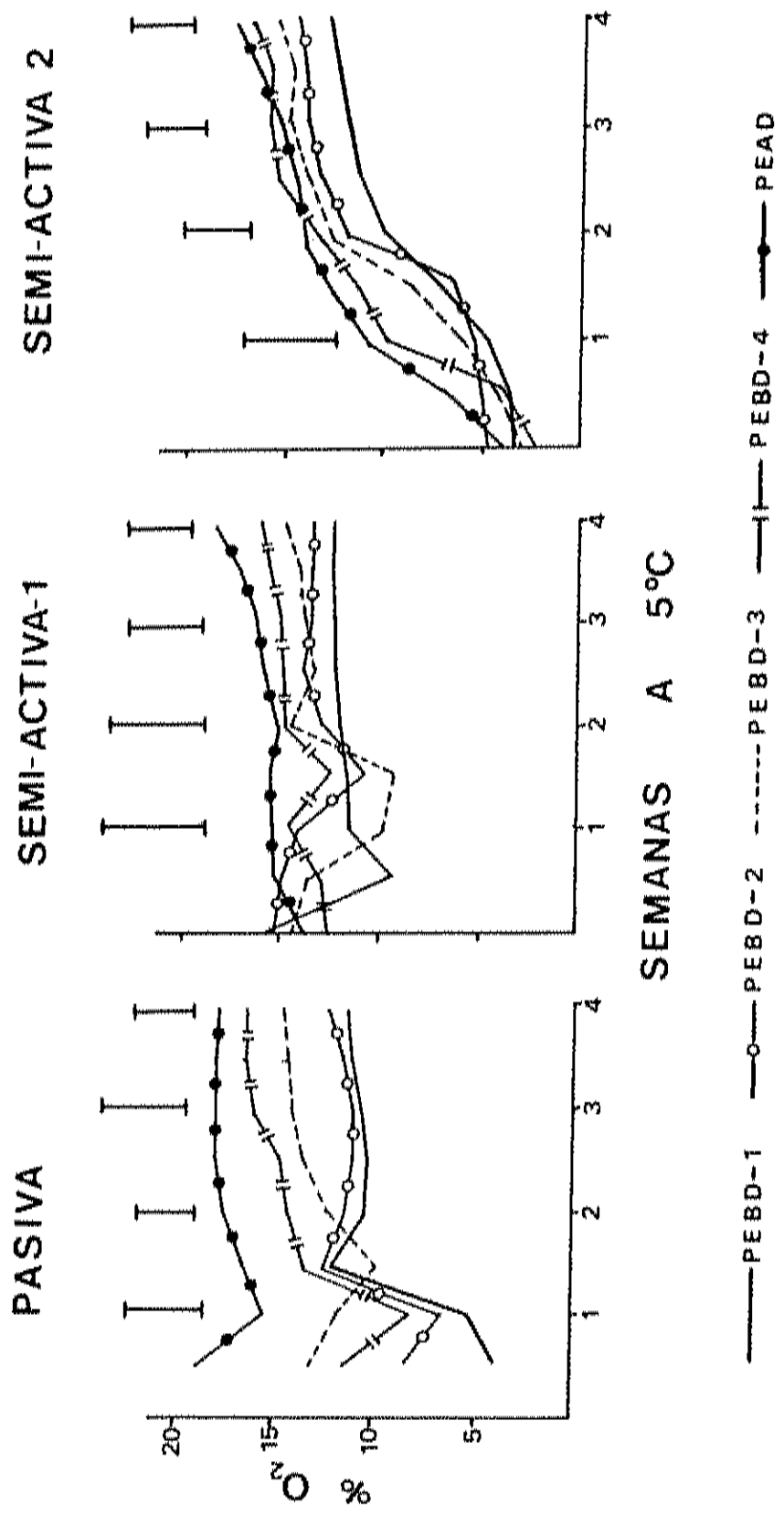


FIG. 9. Concentración de oxígeno dentro de los empaques en los 3 tratamientos de atmósfera modificada durante las 4 semanas de almacenamiento a 5°C.

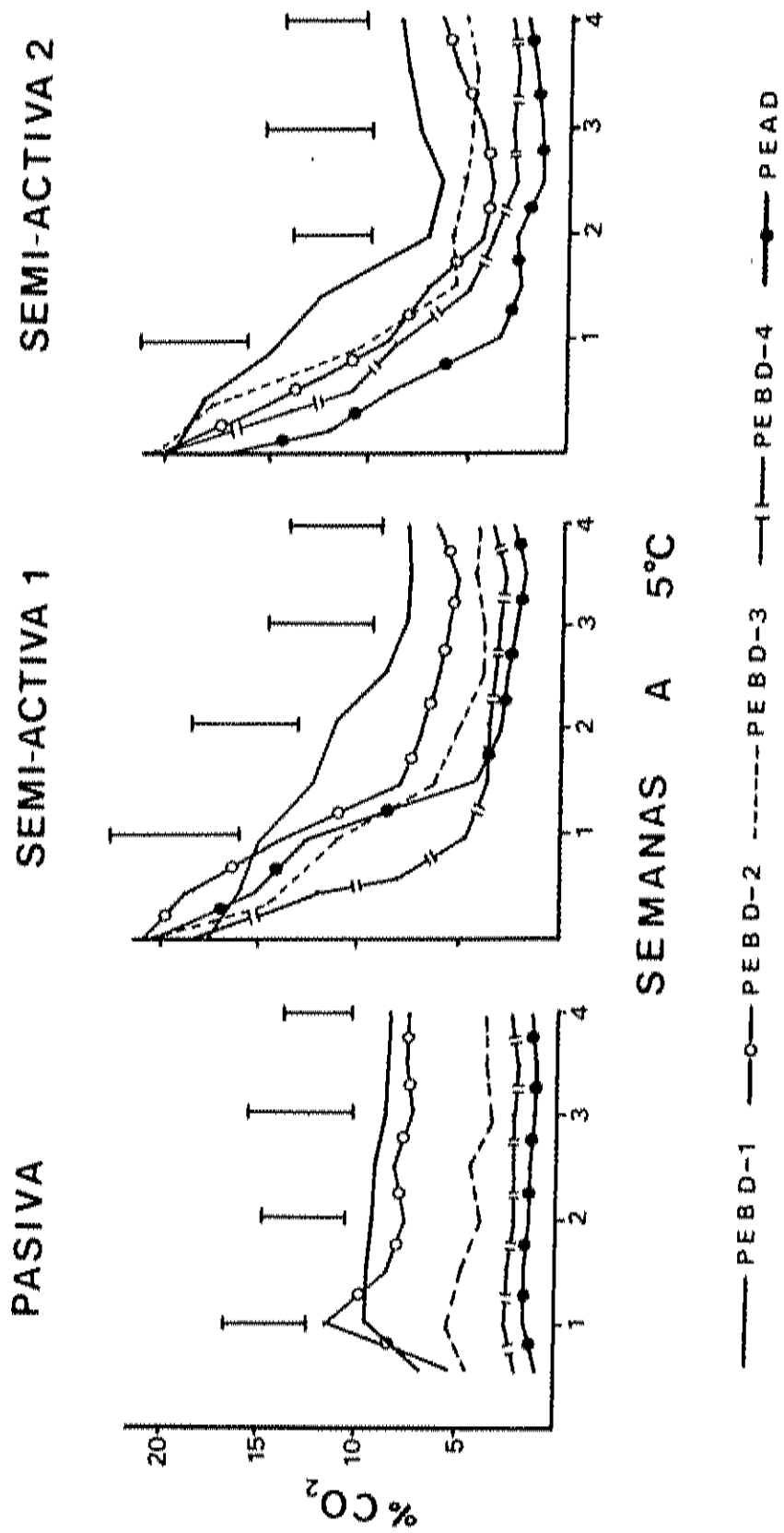


Fig. 10. Concentración de CO₂ dentro de los empaques en los 3 tratamientos de atmósfera modificada durante 4 semanas de almacenamiento a 5°C.

concentración de CO₂ en este tratamiento empezó a disminuir lentamente estabilizándose después de dos semanas en 8% en la película de PEBD-1, 6% en PEBD-2, 5% en PEBD-3, 4% en PEBD-4 y 3% en la película de PEAD (Figuras 9 y 10).

Se compararon los datos de O₂ y CO₂ obtenidos a partir del modelo de predicción con los datos experimentales de O₂ y CO₂ de la atmósfera pasiva. Los valores más cercanos entre los datos de predicción y experimentales fueron aquellos obtenidos con la película de PEBD₃ para CO₂ y la película de PEAD para O₂. Teóricamente las concentraciones de O₂ y CO₂ deberían de haber llegado al equilibrio en la primera semana de almacenamiento. Sin embargo, los datos experimentales demuestran que el equilibrio se obtuvo después de dos semanas de almacenamiento (Figura 11). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), al comparar los datos experimentales y de predicción de O₂ y CO₂ de las películas (no se muestran en la Figura 11). Esta Figura muestra nada más los datos de predicción de O₂ y CO₂ de las películas de PEAD, PEBD₂ y PEBD₃, ya que con el modelo utilizado no fue posible predecir los datos para las películas de PEBD₁ y PEBD₄.

Después de comparar los datos experimentales y de predicción de O₂ y CO₂ gráficamente, se encontró la ecuación de ajuste para los datos experimentales. El Cuadro 16 muestra las ecuaciones teóricas de los datos obtenidos del modelo de predicción y de ajuste de los datos obtenidos experimentalmente.

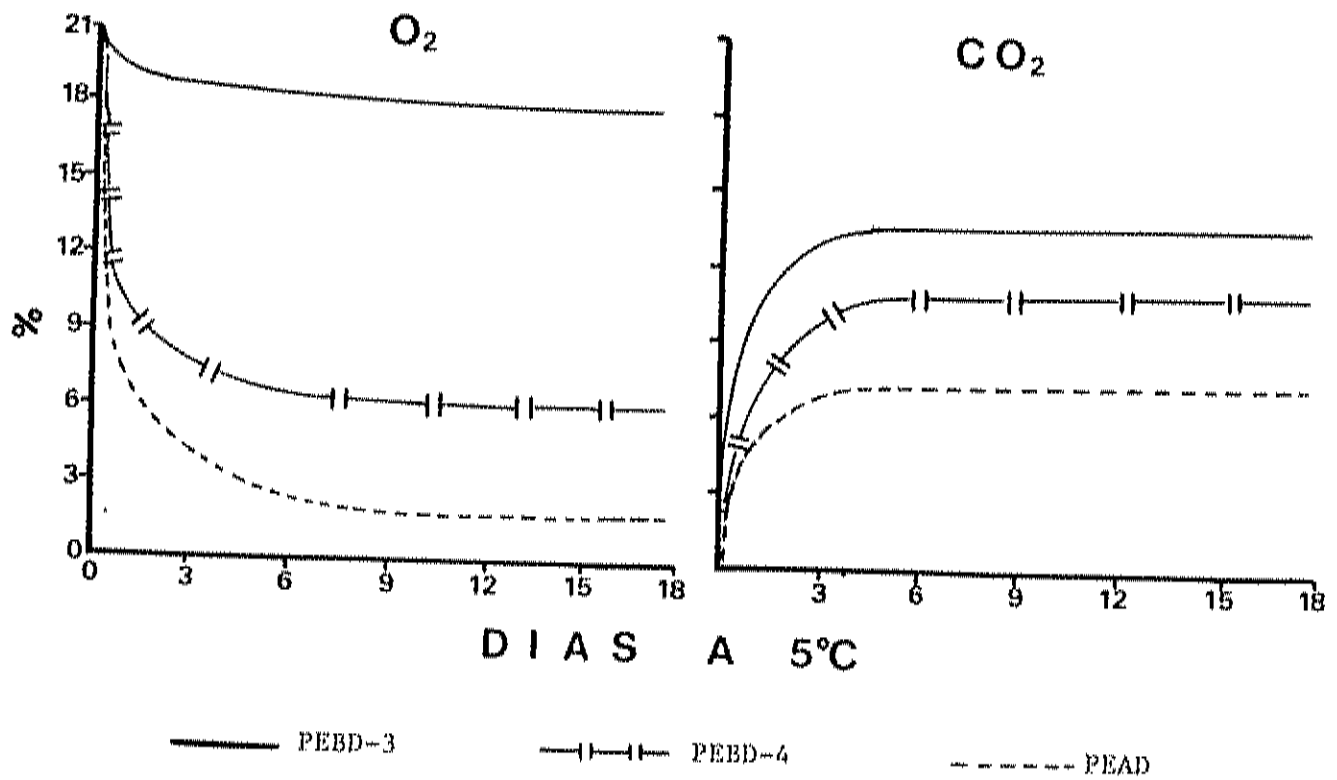


Fig.- 11. Datos de predicción de O_2 y CO_2 de las películas utilizadas en el EAM de aguacate.

Cuadro 16. Ecuaciones de predicción y de los datos experimentales de O₂ y CO₂, obtenidos en las dos películas de PEED y PEAD en aguacate.

AJUSTE		
	O ₂	CO ₂
PEAD	$Y=10.8823*EXP(0.01233X)$	$Y=1.720*EXP(0.0092136X)$
PEED-3	$Y=10.8823*EXP(0.02133X)$	$Y=5.7887*EXP(-0.01546X)$
PEED-4	$Y=9.9599*EXP(0.02024X)$	$Y=2.1905*EXP(0.004628X)$
PREDICCIÓN		
	O ₂	CO ₂
PEAD	$Y=15.32+5.38*EXP(-0.0.75X)$	$Y=4.215-4.185*EXP(0.102X)$
PEED-3	$Y=5.07+15.63*EXP(-0.027X)$	$Y=9.684-9.654*EXP(0.044X)$
PEED-4	$Y=12.38+8.32*EXP(-0.050X)$	$Y=6.921-6.89*EXP(0.0624X)$

X = TIEMPO
Y = RESPUESTA

La máxima acumulación de C_2H_4 se obtuvo durante los primeros días de almacenamiento, la cual empezó a disminuir rápidamente hasta llegar a tenerse concentraciones de 1 a 3 ppm dentro de los empaques (Figura 12). La acumulación de C_2H_4 dentro de los empaques fue mayor a medida que aumentaba el grosor de la película, obteniéndose la mayor acumulación en la película de PEBD-1 y la menor en la de PEAD. La introducción de CO_2 o CO_2 y N_2 en los tratamientos de atmósfera semi-activa 1 y 2 (Figura 12), redujo notablemente la acumulación de C_2H_4 dentro de los empaques. La mayor acumulación se obtuvo en la primera semana de almacenamiento disminuyendo hasta 1 a 3 ppm después de 2 semanas (Figura 12).

En el tratamiento de atmósfera pasiva, la acumulación de C_2H_4 fue mayor que la atmósfera semiactiva a medida que el grosor de la película aumentaba. Sin embargo, la acumulación en los tratamientos en EAM en la atmósfera semi-activa 1, semi-activa 2 y pasiva fue similar después de dos semanas de almacenamiento.

4.2.3. % de Pérdida de Peso, Firmeza y Daño por Frío (DF).

El EAM redujo notablemente la pérdida de peso de las frutas dependiendo del tipo de empaque utilizado, obteniéndose las menores pérdidas de peso en las frutas empacadas en la película de PEBD-1, PEBD-2 y PEBD-3 (Figura 13). Sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas

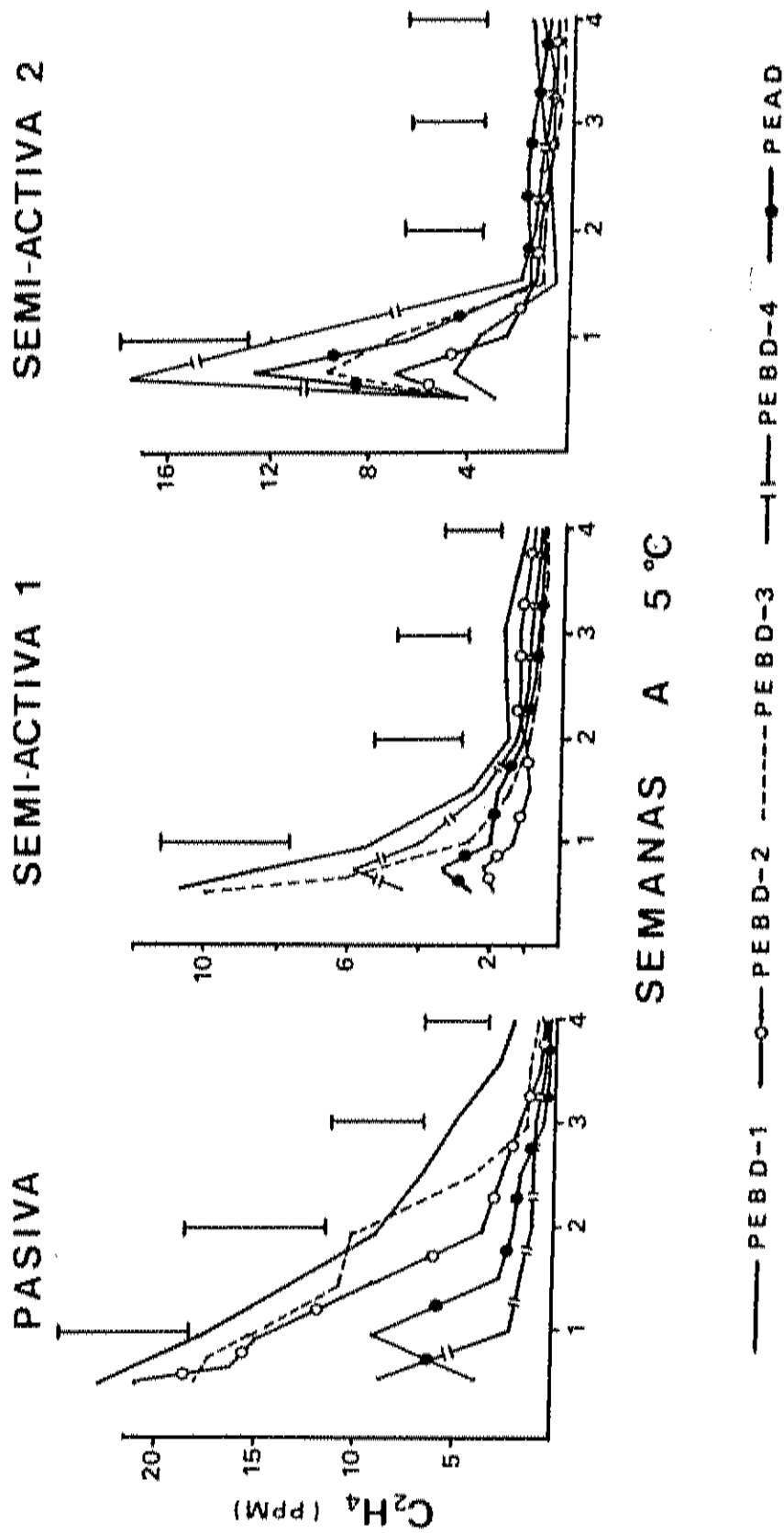
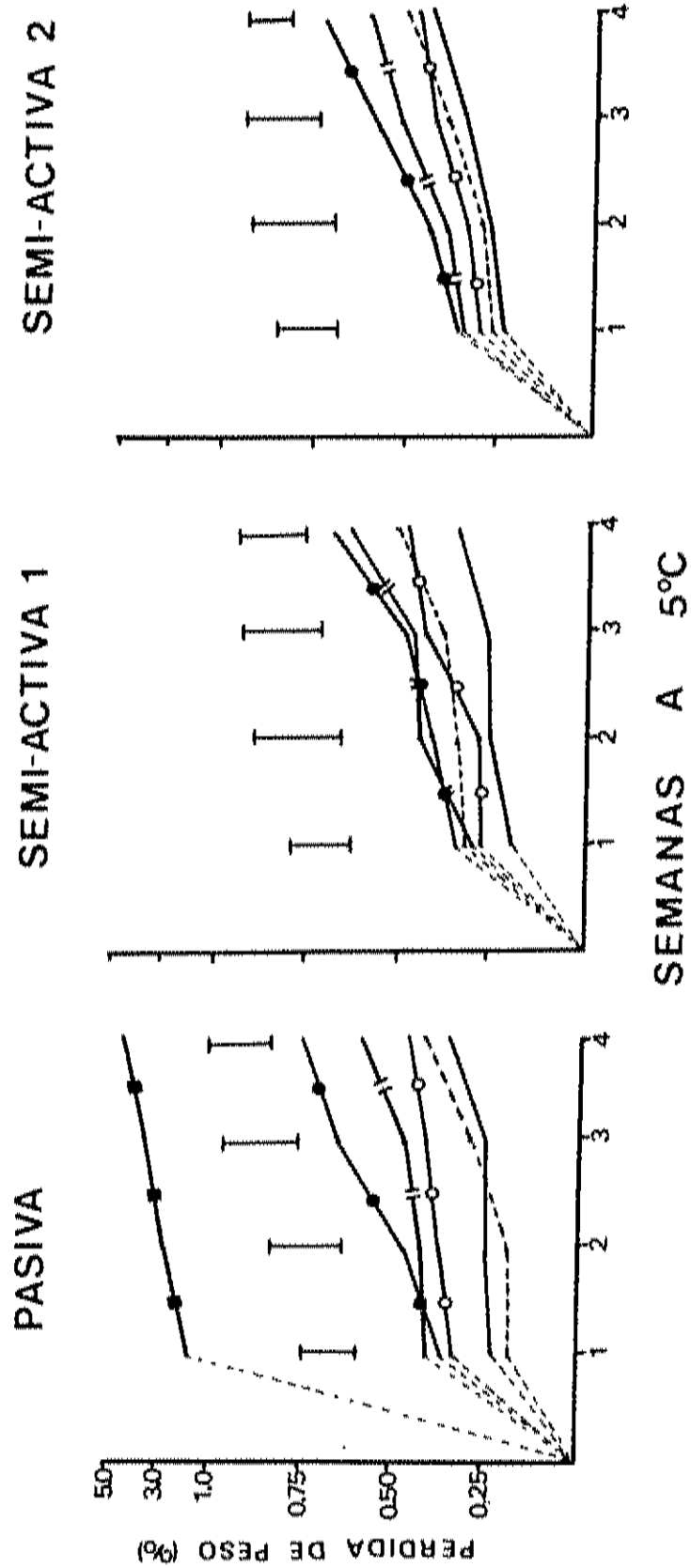


Fig. 12. Acumulación de C_2H_4 dentro de los empaques para los 3 tratamientos de atmósfera modificada durante las 4 semanas de almacenamiento a 5°C.

($p < 0.05$) entre los tratamientos de atmósfera semi-activa 1, semi-activa 2 y pasiva durante las 4 semanas de almacenamiento, pero sí entre las frutas control y las frutas en EAM. Después de 4 semanas de almacenamiento se tuvieron pérdidas significativas de peso de aproximadamente del 5% en las frutas control (Figura 13). En cambio las frutas empacadas en las diferentes películas perdieron solamente de un 0.25 a 0.60% de peso después de las 4 semanas de almacenamiento.

Se observó que el EAM redujo las pérdidas en firmeza especialmente en las películas de mayor grosor (> 0.03 mm). Se encontraron diferencias significativas entre las frutas empacadas en las películas de PEBD-1 y PEBD-2 en el tratamiento de atmósfera pasiva y diferencias entre las frutas empacadas en la película de PEBD-1 en los tratamientos de atmósfera semi-activa 1 y 2 (Figura 14). Se tuvo el mismo comportamiento en las pérdidas de peso en las frutas empacadas en las diferentes películas, en los tratamientos de atmósfera semi-activa 1, semi-activa 2 y pasiva.

El cuadro 17 muestra el desarrollo del daño por frío (DF) presentado en las frutas control y empacadas en las diferentes sistemas de EAM. Se puede observar que el DF fue muy poco en las frutas de los diferentes tratamientos, sin embargo fue aumentando conforme aumentaba el tiempo de almacenamiento. La presencia de DF fue mas notoria en las frutas control, obteniendose el menor DF en las frutas empacadas en las películas de mayor grosor. La presencia de



— PEBD-1 —○— PEBD-2 —--- PEBD-3 —|— PEBD-4 —●— CONTROL

Fig. 13. Pérdida de peso (\bar{x}) de las frutas empacadas en los 3 tratamientos de atmósfera modificada y de las frutas control durante las 4 semanas de almacenamiento a 5°C.

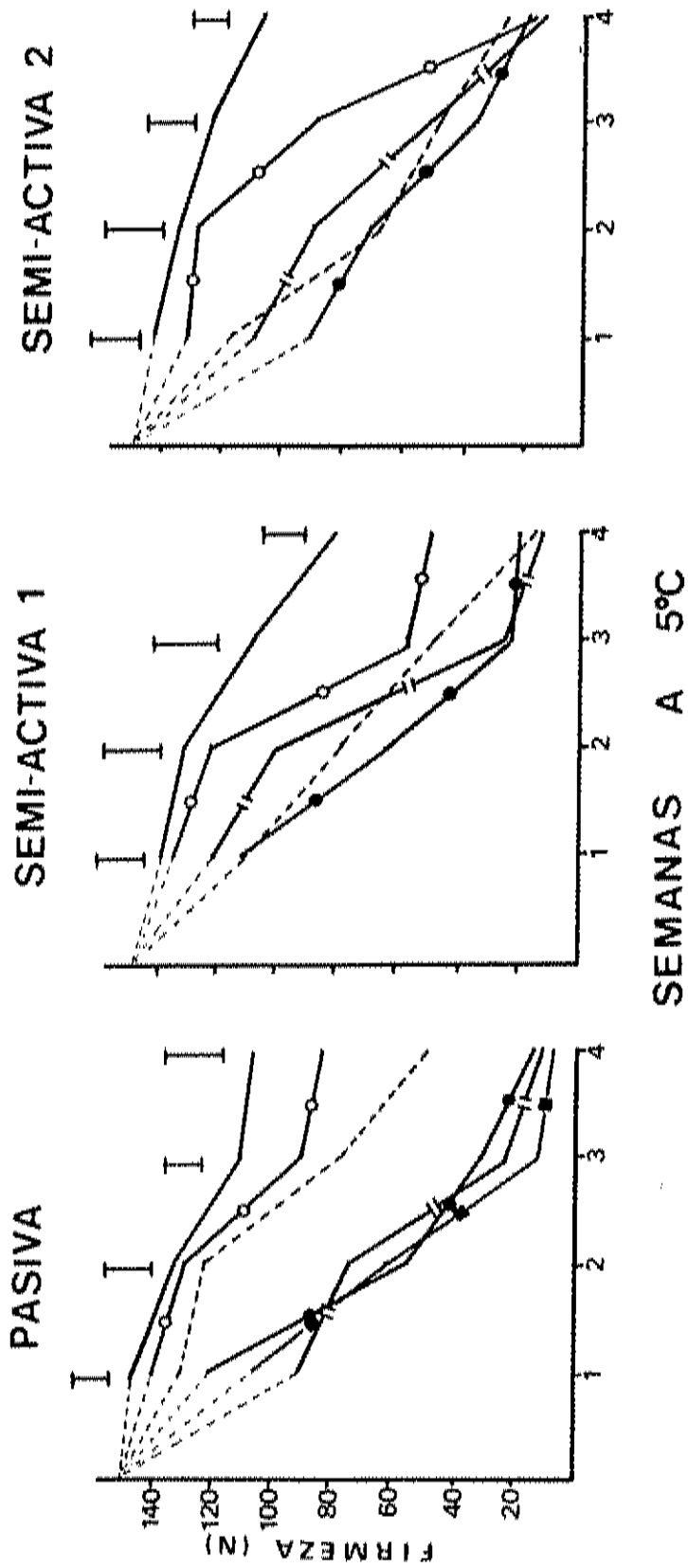


Fig. 14. Firmeza en Newtons de las frutas empacadas en los 3 tratamientos de atmósfera modificada y de las frutas control durante las 4 semanas de almacenamiento a 5°C.

Cuadro 17. Evaluación de Daño por frío* presentado en Aguacate Almacenado en Atmósferas Modificadas Durante 4 Semanas a 5°C.

Semana	1			2			3			4		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PEBD-1	0	0.13	0.13	0	0.13	0	0.38	0.5	0.38	1	0.50	0.50
PEBD-2	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.38	0.13	1.40	0.05
PEBD-3	0	0.25	0	0	1.13	0	0.25	2.00	0.88	1.25	1.38	1.13
PEBD-4	0.25	0	0.25	0.13	0.13	0.63	1.50	2.00	1.30	2.10	2.00	2.40
PEAD	0.25	0	0.25	0.13	0.13	0.25	0.75	1.60	1.10	1.40	2.90	1.40
Control	0.5			1.13			1.9			1.6		

* El daño por frío fue evaluado subjetivamente de acuerdo al siguiente sistema 1= no presenta síntomas, 1= muy ligero, 2= ligero, 3=moderado, 4=severo, y 5=muy severo.

** 1= Pasiva, 2=Semi-activa 1, y 3=Semi-activa-2.

DF fue muy similar en las frutas empacadas en las películas de PEBD-3, PEBD-4, PEAD y las frutas control, después de 4 semanas de almacenamiento.

4.3 Papaya

4.3.1 Características de las películas utilizadas.

El Cuadro 13 muestra el rango de las películas utilizadas para el empaque de papaya. Se utilizaron las mismas películas que en el empaque de aguacate a excepción del PEBD-4.

4.3.2 Tasa de respiración

El Cuadro 18 muestra la tasa de respiración (TR) de papaya a 20°C, inmediatamente después de ser recibida. Se puede observar que las frutas ya habían pasado el pico característico de las frutas climatéricas. La TR se mantuvo alrededor de 24 a 32 ml CO₂/Kg.hr., datos que fueron utilizados en el modelo de predicción.

4.3.3. Concentración de O₂ y CO₂ dentro de los empaques.

La concentración de O₂ dentro de los empaques (Figura 15) disminuyó hasta 6.7% en la película de PEBD₁, 10% para el PEBD₂, 13% en PEBD₃ y 15% en el PEAD después de 2 a 4 días en EAM. La concentración de O₂ se estabilizó después de 6 días en 11% en la película de PEBD₁, 13% PEBD₂, 15% en PEBD₃ y 16% en la película de PEAD. Después de este período de tiempo,

Cuadro 18. Tasa de respiración (ml CO₂/Kg.hr) de papaya a 20⁰C.

Días	1	2	3	4	5	6	7
ml CO ₂ /Kg.hr	24.02	28.32	28.21	27.43	28.41	32.89	31.65

* Cada valor es la media de 22 frutas.

las variaciones de O_2 y CO_2 dentro de los empaques fueron pocas. La concentración de O_2 fué menor en las películas de mayor grosor y de menor permeabilidad al O_2 .

La acumulación de CO_2 aumentó los primeros días hasta llegar a 8.5% en la película de $PEBD_1$, 6% en $PEBD_2$, 3% en $PEBD_3$ y 2.5% en PEAD. Posteriormente disminuyó lentamente y se estabilizó después de 6 días alrededor de 6% en $PEBD_1$, de 4 a 5% $PEBD_2$, 3% en $PEBD_3$ y 2% PEAD.

La Figura 15 también muestra las concentraciones de predicción de O_2 y CO_2 dentro de los empaques. Al compararlos se puede observar un ligero acercamiento en la concentración de O_2 en la película de $PEBD_3$ y PEAD pero no para el $PEBD_2$. Sin embargo, no se tuvo una buena comparación para los datos experimentales y de predicción de CO_2 para ninguna de las películas, siendo la más cercana la película de PEAD.

Los datos de predicción teóricamente se estabilizaron en 6% en la película de $PEBD_2$, 12% en $PEBD_3$ y 15.4% en PEAD y el CO_2 se estabilizó en 9 a 10% en $PEBD_2$, 7% en $PEBD_3$ y 4.5% en PEAD. No se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los datos experimentales y de predicción de O_2 y CO_2 en la película de PEAD. Los datos experimentales y de predicción de O_2 para el $PEBD_3$ fueron iguales estadísticamente, sin embargo, fueron diferentes los datos de CO_2 (los resultados estadísticos no se muestran en la Figura). Además, se encontraron diferencias significativas entre los datos experimentales y de predicción de O_2 y CO_2 en

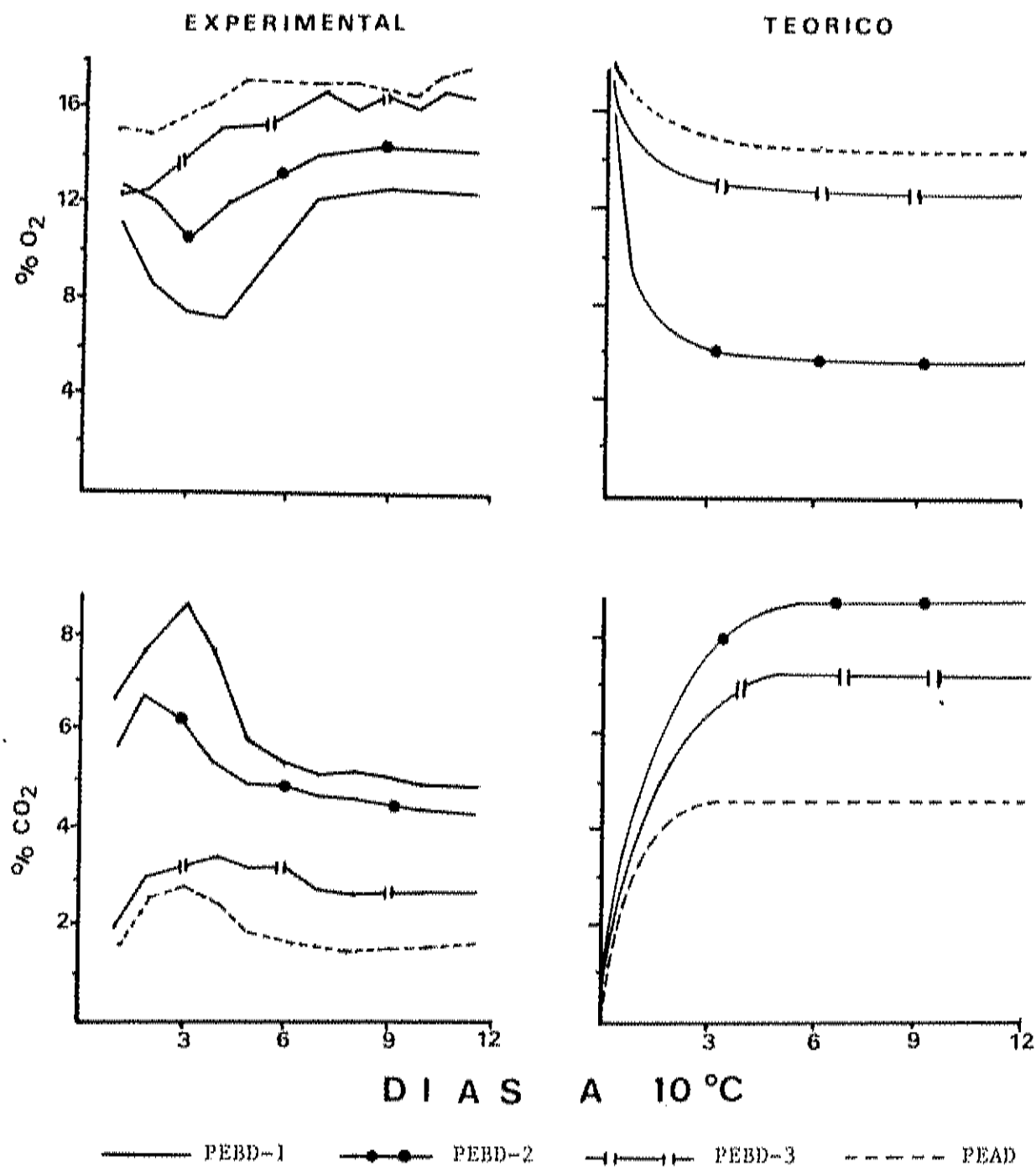


Fig. 15. Comparación de los datos experimentales y de predicción de O₂ y CO₂ de papaya almacenada en AM a 10°C.

PEBD₂. No fue posible predecir las concentraciones de O₂ y CO₂ de la película de PEBD₁.

El Cuadro 19 muestra las ecuaciones que representan los datos de predicción y experimentales de O₂ y CO₂ de las películas utilizadas para el empaque de papaya. Al analizar los datos se encontró que los datos se ajustaban a una ecuación exponencial, esta ecuación es parecida a la desarrollada por Deyli y Rizvi, (1981).

La acumulación de C₂H₄ dentro de los empaques fue mayor en los primeros 5 días en AM (Figura 16), siendo mayor en las películas de mayor grosor con una acumulación máxima de 16 ppm en el PEBD₁, 9 ppm en PEBD₂, 5 ppm en PEBD₃, y 3 ppm en PEAD, después de estar de 3-4 días en AM. Se puede observar que la acumulación fue mayor en estos días, para posteriormente disminuir paulatinamente y estabilizarse después de 10 días entre 1-3 ppm en las películas utilizadas hasta el final de experimento.

Las frutas almacenadas en EAM perdieron significativamente menos peso comparado con las frutas control (Figura 17) y tuvieron menor pérdida de textura. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con lo que respecta a la firmeza de las frutas almacenadas en EAM en las películas de PEBD₁, PEBD₂, PEBD₃, PEAD y las frutas control (sin empacar), después de 12 días de almacenamiento.

El análisis estadístico demuestra que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en EAM comparados con las frutas control con lo que respecta a

Cuadro 19. Ecuaciones de predicción y de los datos experimentales de O_2 y CO_2 , obtenidos en las películas de PEBD y PEAD en papaya.

AJUSTE		
	O_2	CO_2
PEAD	$Y=10.8823*EXP(0.01232X)$	$Y=2.446*EXP(-0.021218X)$
PEBD-2	$Y=10.8823*EXP(0.01232X)$	$Y=6.2871*EXP(-0.03348X)$
PEBD-4	$Y=13.003*EXP(0.022074X)$	$Y=3.1342*EXP(-0.00696X)$
PREDICCIÓN		
	O_2	CO_2
PEAD	$Y=8.057+8.057*EXP(-0.107X)$	$Y=7.845-7.813*EXP(-0.172X)$
PEBD-2	$Y=2.146+2.1463*EXP(-0.0707X)$	$Y=12.9-12.83*EXP(-0.104X)$
PEBD-4	$Y=8.035+8.03*EXP(-0.1028X)$	$Y=10.25-10.229*EXP(-0.13X)$

X= TIEMPO
Y= RESPUESTA

firmeza, pero sí entre los tratamientos en EAM y el control con lo que respecta a las pérdidas de peso, teniéndose pérdidas de aproximadamente de 5% al final del experimento en las frutas control (Figura 17).

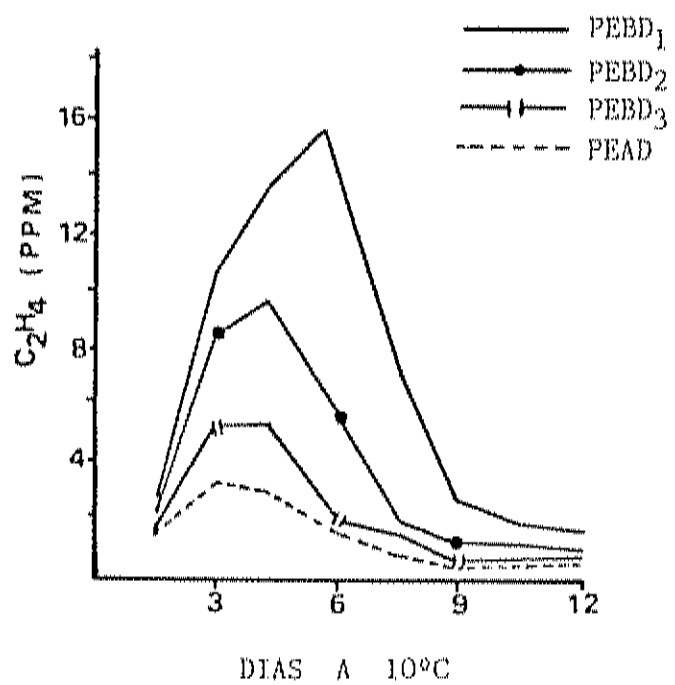


Fig. 16 . Acumulación de etileno dentro de los empaques en papaya almacenada a 10°C y 67% de HR por 2 semanas.

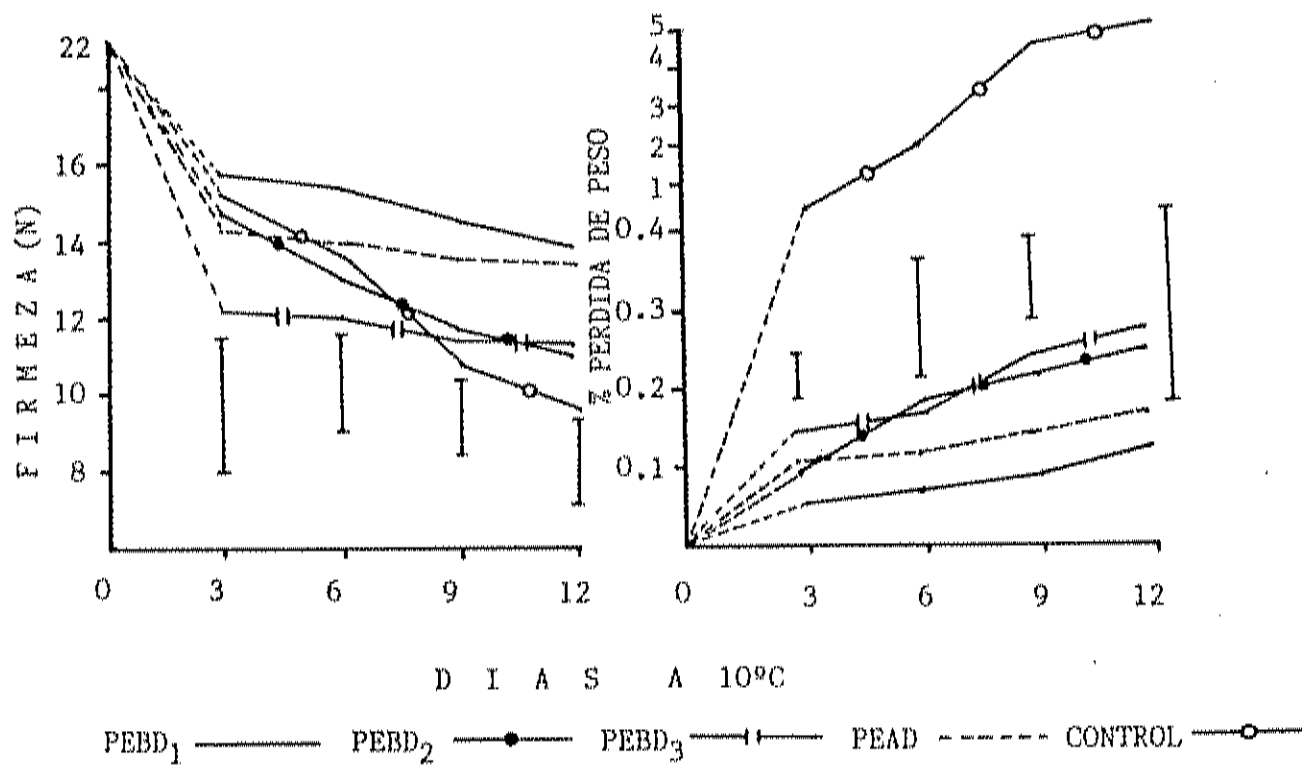


Fig. 17. Pérdida de peso (%) y Firmeza (N) de papaya empacada en EAM y almacenada a 10°C.

5. DISCUSION

Mango

El uso de PEAD y PEBD redujo significativamente las pérdidas de peso en mango, pero no mejoró las demás características de calidad evaluadas (pH, °Brix, % de acidez titulable y firmeza). La fruta después de estar en EAM se observó que maduró normalmente. Resultados similares fueron obtenidos por Esguerra et al., (1978), al almacenar mango a 10°C por 3 semanas. Sin embargo, otros investigadores no recomiendan esta técnica ya que se producen sabores y olores desagradables y madura anormalmente después de estar en EAM (Miller et al., 1986; Chaplin et al., 1982; Miller et al., 1983). La evaluación sensorial realizada en el presente estudio, demostró la ausencia de sabores y olores desagradables en la fruta almacenada en atmósfera modificada.

Se ha encontrado que el EAM no beneficia significativamente esta fruta. Sin embargo, los grandes avances tecnológicos en la manufactura de películas plásticas, nos proporcionan herramientas adicionales para seleccionar la película que proporcione los mejores beneficios.

Aguacate

Varios investigadores han reportado que el EAM mantiene la calidad, prolonga la vida de anaquel y reduce el daño por frío en

aguacate (Chaplin y Hawson, 1981; Oudit y Scott, 1973; Scott y Chaplin, 1978; Thompson et al., 1971). En el presente experimento, el EAM redujo significativamente las pérdidas de peso y de textura, además redujo el daño por frío comparadas con las frutas control. Zauberman et al., (1977) encontró que la fruta presentaba sabores y olores desagradables y maduró anormalmente al almacenarla a temperatura ambiente en EAM. En nuestro estudio se obtuvieron muy buenos resultados con lo que respecta a las características de calidad de la fruta.

Papaya

Se han realizado pocos estudios de EAM para esta fruta. Los principales estudios de poscosecha han sido encaminados a evitar enfermedades causadas por patógenos, debido a la alta susceptibilidad de esta fruta a ser atacada.

En el presente estudio, el EAM redujo significativamente la pérdida de peso. Además, no se presentaron problemas con lo que respecta a la calidad. Lazan (1989) encontró resultados similares al utilizar películas de PEBD, obteniendo concentraciones de O₂ y CO₂ (3-6% CO₂ y 10-15% O₂) parecidas a las de nuestro estudio.

Hasta la fecha son pocos los trabajos de investigación realizados que involucren el uso de modelos matemáticos para estas frutas, con el fin de predecir las concentraciones de O₂ y CO₂ dentro del empaque. En el presente se utilizó el modelo de Deily y Rizvi (1981), y se realizó la predicción de dichos gases y se compararon con datos experimentales.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mango

1. El EAM redujo significativamente la pérdida de peso.
2. Las mediciones de respiración indicaron que el EAM retardó la maduración de la fruta.
3. No se presentaron diferencias significativas con lo que respecta a pH, SST, % AT y Firmeza.
4. La evaluación sensorial no reveló la presencia de sabores y olores desagradables.

Se concluye que el uso adecuado de EAM mantiene la calidad de la fruta por un período de tiempo mayor. Además se recomienda utilizar la película de polietileno de baja densidad utilizada en el presente trabajo, ya que mantuvo concentraciones de O₂ y CO₂ que no afectaron la calidad de la fruta. La fruta empacada en esta película maduró normalmente, no presentó desórdenes fisiológicos, daños externos e internos, ni excesiva condensación de vapor de agua dentro del empaque. Sin embargo, a pesar de que el desarrollo de hongos en la fruta fue mínimo, fue mayor en las frutas empacadas en la película de PEAD, ya que la condensación de vapor de agua fue mayor que en el PEBD.

Aguacate

1. El uso de EAM redujo notablemente las pérdidas de peso y textura, teniéndose menores pérdidas en las películas de grosor > 0.03 mm.
2. Al evaluar el daño por frío de aguacate en los diferentes tratamientos se observó que el uso de EAM redujo este desorden fisiológico.
3. Las películas de mayor grosor mantuvieron los niveles de O_2 mas bajos, así como los de CO_2 mas altos.
4. La introducción de CO_2 ó CO_2 y N_2 (EAM semi-activas) redujo la acumulación de C_2H_4 dentro de los empaques.
5. El EAM (semi-activas) no proporcionó beneficios adicionales con lo que respecta a pérdidas de peso y textura, debido al corto período de tiempo en que se mantuvo la atmósfera modificada inicialmente.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar las películas de PEBD de grosor > 0.03 mm, ya que fueron en las que se obtuvieron los mejores resultados. Las frutas en AM no presentaron daños internos ni desarrollo de sabores y olores desagradables. Con el fin de evitar la acumulación de etileno, es posible utilizar absorbedores de etileno dentro del empaque, siendo mas fácil, práctico y redituable si se utilizan en cajas o en pallets.

1. Las películas de mayor grosor mantuvieron los niveles de O₂ mas bajos, así como los de CO₂ mas altos.
2. La acumulación de etileno fue mayor en las películas de mayor grosor.
3. El uso de EAM redujo notablemente las pérdidas de peso y textura, teniéndose menores pérdidas en las películas de mayor grosor.
4. La comparación de los datos experimentales y de predicción fue buena para las películas de PEED₃ y PEAD para O₂ y la de PEED₂ para CO₂.

Los resultados demuestran que es difícil obtener muy buenos resultados al empacar frutas en estado de madurez comercial. Sin embargo, las frutas almacenadas en AM presentaron menores pérdidas en las características de calidad que las frutas control, teniendo mejor apariencia física y un menor deterioro.

En general, al utilizar el EAM para mango, aguacate y papaya, se recomienda utilizar frutas en estado sazón como índice de madurez fisiológico, con el fin de obtener mejores resultados. Además se recomienda evitar las fluctuaciones de temperatura durante el período de almacenamiento y transporte, para mantener estable el sistema de empaque.

El uso de modelos matemáticos, tomando en cuenta todas las variables que afectan al sistema de empaque nos pueden

ayudar a seleccionar las características de permeabilidad de la película que proporcione los mejores beneficios a estas frutas.

En el presente estudio se utilizó el modelo matemático desarrollado por Dailly y Rizvi (1981), con el fin de predecir las concentraciones de O_2 y CO_2 dentro de los empaques y comparar estos datos de predicción con datos experimentales. Al comparar estos datos se observó que los valores de predicción y experimentales no eran muy cercanos. Tal vez se deben a que el modelo utilizado no toma en cuenta todas las variables que afectan al sistema de empaque, obteniéndose valores cercanos al realizar la comparación entre los datos de las películas utilizadas en mango y papaya pero no muy cercanos en aguacate.

De acuerdo a los resultados obtenidos y las recomendaciones sugeridas, es posible mantener estas frutas en estado fresco por periodos de tiempo mayores en el mercado, además pueden ser transportadas a mercados distantes con una buena calidad, abriendo nuevos mercados y ofreciendo nuevas alternativas a los productores. El establecimiento de esta técnica para el manejo postcosecha de mango, aguacate y papaya, es requerido con el fin de disminuir las grandes pérdidas que se tienen actualmente en México. Por lo tanto el EAM vendría a resolver en una gran parte los problemas que se tienen en el manejo de estas frutas.

7. BIBLIOGRAFIA

- Anónimo. 1988. Horticultural products review. USDA Foreign Agricultural Service.
- Anzueto, C.R. y S.S.H. Rizvi. 1985. Individual packaging of apples for shelf life extension. *J. Food Sci.* 50:897-900 y 904.
- ASTM. 1979. WVTR of materials in sheet form. American National Standard. E 96-22. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. E.E.U.U.
- Becerra, S. 1989. Daños en frutos de mango "Tommy Atkins" tratados con agua caliente. Memorias del III Congreso Nacional de Horticultura. Oaxtepec, Morelos. Julio 30-Agosto 3. p. 13.
- Ben-Yehoshua, S., B. Shapiro, Z. Chen y S. Lurie. 1983. Mode of action of plastic film extending life of lemon and bell pepper fruit by alleviation of water stress. *Plant Physiol.* 73:87-93.
- Ben-Yehoshua, S. 1985. Individual seal packaging of fruit and vegetables in plastic film-A new postharvest technique. *HortScience* 20 (1): 32-37.
- Ben-Yehoshua, S., B. Shapiro y R. Moran. 1987. Individual Seal-packaging enables the use of curing at high temperatures to reduce decay and heat injury of citrus fruits. *Hortscience* 22(5):777-782.
- Biale, J.B. y A.J. Olmstead. 1960. Fruit respiration and ethylene production. *Plant Physiol.* 29:168-174.
- Biale, J.B. and R.E. Young. 1971. In: the Biochemistry of fruits and their products. (Hulme, A.C. Ed.). Academic Press. London. 2:1.
- Blanpied, D.G., S.F. Yang, M.S. Reid, W.B. McGlasson, A.A. Kader y M. Sherman. 1985. Ethylene in postharvest biology and technology of horticultural crops. *HortScience* 20(1):39-60.
- Brecht, P.E. 1980. Use of controlled atmospheres to retard deterioration of produce. *Food Technol.* 34(3):45-50.

- Chaplin, G.R. y M.G. Hawson. 1981. Extending the postharvest life of unrefrigerated avocado (*Persea americana* Mill) fruit by storage in polyethylene bags. *Scientia Horticulturae* 14:219-226.
- Chaplin, G.R., K.J. Scoot y B.I. Brown. 1982. Effect of storing mangoes in polyethylene bags at ambient temperature. *Singapore J. Pri. Ind* 10(2):84-88.
- Cochran, W.G. y G.M. Cox. 1957. *Experimental Design*. John Willey and sons, Inc. New York. p. 439-483.
- Conafrut. 1988. *Inventario Frutícola 1987*. Comisión Nacional de Fruticultura, Subdirección de Planeación y Evaluación de la Conafrut.
- Couey, H.M. y C.F. Hayes. 1986. Quarantine procedure for Hawaiian papaya using fruit selection and two-stage hot water immersion. *J. Econ. Entomology* 79:1307-1314.
- Deilly, K.R. y S.S.H. Rizvi. 1981. Optimization of parameters for packaging of fresh peaches in polymeric films. *J. Food Proc. Eng.* 5:23-41.
- El-Goorani, M.A. y N.F. Sommer. 1981. Effects of modified atmosphere on postharvest pathogens of fruits and vegetables. *Hortic. Review* 3:412.
- Esguerra, E.B., D.B. Mendoza Jr. y E.R.B. Pantastico. 1978. Use of Perlite-KMnO₄ insert as an ethylene absorbent. *The Philipp. J. Sci.* 107:23-31.
- Hardenburg, R.E. 1971. Effects of in-package environment on keeping quality of fruits and vegetables. *HortScience* 6(3):198-202.
- Hardenburg, R.E., A.E. Watada y C.Y. Wang. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks. *USDA Agriculture Handbook #66*. p. 23-25.
- Hatton, T.T., Jr. y N.F. Reeder. 1972. Quality of "LuLa" avocados stored in controlled atmosphere with or without ethylene. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97:339-341.
- Hatton, T.T., Jr. y N.F. Reeder. 1966. Controlled atmosphere storage of keitt mangos. *Proc. Trop. Reg. Amer. Soc. Hort. Sci.* 10:114-119.
- Hayakawa, K., Y. Henig, S. Henig y G.S. Gilbert. 1975. Formulae for predicting gas exchange of fresh produce in polymeric films package. *J. Food Sci.* 40:186.

- Henig, Y.S. y S.G. Gilbert. 1975. Computer analysis of the variables affecting respiration and quality of produce packages in polymeric films. *J. Food Sci.* 40:1033-1035.
- Hotchkiss, J.H. 1990. Empacado de Productos Hortícolas. En: Yahia, E.M. e I. Higuera (Eds). *Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas*. Editorial Limusa, México (En prensa).
- Hulme, A.C. 1971. The Mango en: *The Biochemistry of Fruits and their Products*. Academic Press Vol.II. 233-250.
- Jurin, V. y M. Karel. 1963. Studies on control of respiration of McIntosh apples by packaging methods. *Food Technol.* 17(6):104-108.
- Kader, A.A. 1980. Prevention of ripening of fruits by use of controlled atmospheres. *Food Technol.* 34(3):51-54.
- Kader, A.A., R.F. Kasmire, F.G. Mitchell, M.S. Reid, N.F. Sommer y J.F. Thompson. 1985. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Univ. of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Special Publication 3311.
- Kader, A.A. 1985. Ethylene-induced senescence and physiological disorders in harvested horticultural crops. *HortScience* 20:54-57.
- Kader, A.A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruits and vegetables. *Food Technol.* 40(5):99-104.
- Kader, A.A., D. Zagory y E.L. Kerbel. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 28(1):1-30.
- Karel, M. 1975. Protective Packaging of Food. *Principles of Food Science part II*. Chapter 12. 2:399-464.
- Lazan, H. 1989. Retardation of ripening and development of water stress in papaya fruit seal-packaged with polyethylene film. Presentado en el Congreso Tropical Fruit in International Trade. Honolulu, Hawaii. 4-9 de Junio de 1989.
- Liu, F.W. 1970. Storage of bananas in polyethylene bags with an ethylene absorbent. *HortScience* 5(1):25-28.
- Lakin, W.D. 1987. Computer aided hermetic package design and shelf life prediction. *J. Packag. Technol.* 13:82.

- Mannapperuma, J., R.P. Singh, D. Zagory y A.A. Kader. 1988. Unpublished results. University of California. Davis.
- Marcelin, P. 1974. Conservation de legumes en atmosphere controlled dans des sacs en polyethylene avec fenetre de elastomere de silicone. Acta Hort. 38:33-45.
- Meigh, D.F., J.D. Jones y A.C. Hulme. 1967. The respiration climateric in the apple. Phytochem. 6:1507-1515.
- Miller, W.R., D.H. Spalding y P. Davis. 1983. Quality and decay of mango fruit wrapped in heat-shrinkable film. HortScience 18(6):957-958.
- Miller, W.R., D.H. Spalding y P.W. Hale. 1986. Film wrapping mangos at advancing stages of postharvest ripening. Trop. Sci. 26:9-17.
- National Academy of Sciences. 1978. Postharvest food losses in developing countries. Board of Science and Technology for International Development, NAS. Perishables. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 206 p.
- Oudit, D.D. y K.J. Scott. 1973. storage of "Hass" avocados in polyethylene bags. Trop. Agric. (Trinidad) 50:241-243.
- Purvis, A.C. 1983. Effect of film thickness and storage temperature on water loss and internal quality of seal-packaged grapefruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108(4):562-566.
- Parkin, K.L., A. Marangoni, R.L. Jackman, R.Y. Yada y D.W. Stanley. 1989. Chilling injury. A review of possible mechanisms. J. Food Biochem. 13(2):127-153.
- Reeder, W.F. y T.T. Hatton. 1971. Storage "Lula" avocados in controlled atmosphere. Proc. Fla. State. Hort. Soc. 83:403-405.
- Risse, L. A., W.R. Miller y S. Ben-Yehoshua 1985. Weight loss, firmness colour and decay development of individually film wrapped tomatoes. Trop. Science. 25: 117-121.
- Rizvi, S.S.H. 1981. Requeriments for Foods Packaged in Polymeric Films. Food Science and Nutrition 14(2):111-113.
- SAS. 1988. SAS: Statistics User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, N.C. USA.

- Scott, K.J. y G.R. Chaplin. 1978. Reduction of Chilling injury in avocados stored in sealed polyethylene bags. *Trop. Agric. (Trinidad)*. 55(1):87-90.
- Shewfelt, R.L. 1986. Postharvest treatment for extending the shelf life of fruits and vegetables. *Food Technol.* 40(5):70-80 y 89.
- Spalding, D.H. y W.F. Reeder. 1972. Quality of "Booth 8" and "Lula" avocados stored in a controlled atmosphere. *Proc. Fla. State. Hort. Soc.* 85:337-341.
- Spalding, D.H. 1977. Current recommendations of atmosphere for transport and storage of tropical fruits. En: Dewey, D.H., R.C. Herner and D.R. Dilley (Eds). *Controlled atmospheres for the storage and transport of perishables agricultural commodities. Proc. 2nd. Natl. CA. Res. Conf. Mich. State University, Horticultural Report #28: 242-249.*
- Spalding, D.H. y W.F. Reeder. 1977. Low pressure (Hypobaric) storage of mangos. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102(3):367-369.
- Thompson, A.K., G.F. Mason y N.S. Hakon. 1971. Storage of west Indian seedling avocado fruits. *J. Hort. Sci.* 46:83-88.
- Thönges, H. y H. Rinder. 1984. Raw materials for the fruit juice industry. *Confructa* 28:48-49.
- Tolle, W.E. 1962. Variables affecting film permeability requirements for modified-atmosphere storage of apples. *USDA Tech. Bull.* 1422.
- UNPH. 1988. Unión Nacional de Organismos de Productores de Hortalizas y Frutas. *Boletín Anual Temporada 1986-1987.*
- Veeraju, P. y M. Karel. 1966. Controlling atmosphere in a fresh-fruit package. *Mod. Packag.* 39(12):168.
- Woodruff, R.E. 1969. Modified atmosphere storage of banana. En: Dewey, D.H., R.C. Herner and D.R. Dilley (Eds). *Controlled atmosphere for the storage and transport of horticultural crops. Mich. State Univ. Hort. Rept.* 9:80-94.
- Yahia, E.M., Nelson, K.E. y Kader, A.A. 1983. Postharvest quality and storage life of grapes as influenced by adding carbon monoxide to air or controlled atmosphere. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:1067-1071.

- Yahia, E.M. 1989. Resultados sin publicar.
- Yahia, E.M. 1990. B-Avocados. En: Yahia, E.M. e I. Higuera (Eds). Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas. Editorial Limusa, México (En prensa).
- Zagory, D. y A.A. Kader. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. Food Technol. 42(9):70-74 & 76-77.
- Zauberman, G., M. Schiffman-Nadel y V. Yanko. 1977. The response of avocado fruits to different storage temperatures. HortScience 12:353-354.35.

APENDICE A

FORMATO UTILIZADO PARA LA EVALUACION SENSORIAL REALIZADA EN EL
EXPERIMENTO DE MANGO

Nombre _____

Fecha _____

Utilizando las muestras proporcionadas evalúa los siguientes atributos sensoriales.

- 1- AROMA: acerque la mitad de la fruta a su nariz por el lado de la cáscara primero y después por la pulpa y evalúe el aroma característico de acuerdo a la siguiente escala.

0 = no presenta 1 = muy ligero 2 = ligero
3 = moderado 4 = fuerte 5 = muy fuerte

En caso de detectar aroma extraño defínalo (A.E.)

No. de muestra	0	1	2	3	4	5	A.E.
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----

- 2- SABOR CARACTERISTICO: evalúe el sabor característico de la pulpa de cada plato de acuerdo a la escala siguiente.

0 = no presenta 1 = muy ligero 2 = ligero
3 = moderado 4 = fuerte 5 = muy fuerte

En caso de detectar sabor extraño, defínalo y enjuague la boca con agua después de cada evaluación.

No. de muestra	0	1	2	3	4	5	Sabor extraño
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----

3- TEXTURA: evalúe la firmeza de la pulpa de acuerdo a la siguiente escala.

- | | | |
|----------------|---------------|----------------|
| 1 = muy blando | 2 = blando | 3 = intermedio |
| 4 = firme | 5 = muy firme | |

No. de muestra	1	2	3	4	5
-----	---	----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----

Espera la luz blanca para continuar

4- COLOR: evalúe el color de la cáscara y pulpa de acuerdo a su escala correspondiente.

- | <u>Cáscara</u> | | <u>Pulpa</u> |
|--------------------------|--|--------------|
| 1 = verde | | 1 = blanca |
| 2 = ligeramente amarillo | | 2 = crema |
| 3 = ligeramente verde | | 3 = amarilla |
| 4 = amarillo | | 4 = naranja |

No. de muestra	1	2	3	4	1	2	3	4
-----	---	----	-----	-----	---	----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	---	----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	---	----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	---	----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	---	----	-----	-----

5- ACEPTABILIDAD: de acuerdo a los parámetros anteriores evalúe la aceptabilidad utilizando la escala siguiente.

0 = disgusta mucho	1 = disgusta poco	2 = ni gusta
3 = gusta poco	4 = gusta	5 = gusta mucho

No. de muestra	0	1	2	3	4	5
-----	---	----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----
-----	---	----	-----	-----	-----	-----

APENDICE B

EJEMPLO DE LOS DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE UNA ECUACION DE AJUSTE
EN LA PELICULA DE PEBD EN EL EXPERIMENTO DE MANGO

EJEMPLO DE LA ECUACION DE AJUSTE DE LOS DATOS DE OXIGENO EN LA PELICULA DE PEBD EN MANGO.

$$Y = 9.319 + 11.785 * \text{EXP} (-0.783X)$$

Y = respuesta

X = tiempo

OXIGENO

DIAS	EXPERIMENTAL	AJUSTE
0	21.0	21.1045
0	21.0	21.1045
0	21.0	21.1045
0	21.0	21.1045
2	13.0	11.7804
2	12.5	11.7804
2	14.0	11.7804
2	11.5	11.7804
4	7.0	9.8331
4	8.0	9.8331
4	8.5	9.8331
4	7.6	9.8331
6	8.3	9.4264
6	8.5	9.4264
6	8.6	9.4264
6	8.0	9.4264
8	9.0	9.3415
8	9.5	9.3415
8	12.0	9.3415
8	10.0	9.3415
12	8.0	9.3200
12	10.5	9.3200
12	12.2	9.3200
12	10.0	9.3200
16	9.5	9.3191
16	9.8	9.3191
16	8.0	9.3191
16	12.5	9.3191