

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

ELABORACIÓN DE UN ENVASE ACTIVO PARA  
EXTENDER LA VIDA DE ALMACENAMIENTO DE  
MELÓN CANTALOUPE 'COPA DE ORO'

Por:

ELIZABETH PERALTA

---

TESIS APROBADA POR LA  
DIRECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

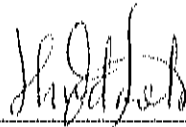
MAESTRÍA EN CIENCIAS

HEIMOSILLO, SONOIA

OCTUBRE DEL 2000

## APROBACIÓN

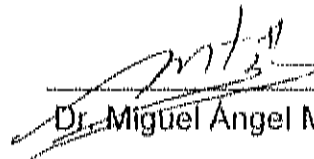
Los miembros del comité designado para revisar la tesis de la Q.B. Elizabeth Peralta, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.



---

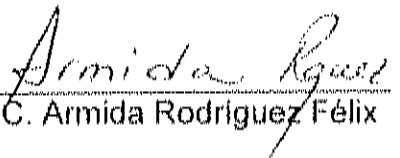
Dra. Herlinda Soto Valdez

Director



---

Dr. Miguel Ángel Martínez Téllez



---

M.C. Armida Rodríguez Félix



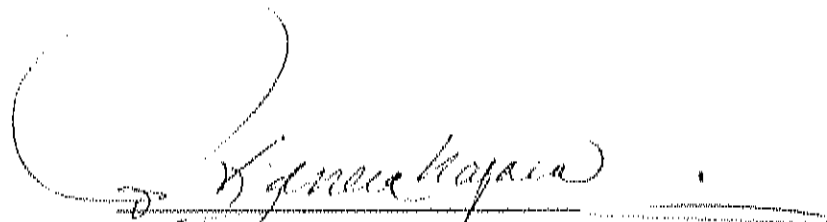
---

M.C. Rosalba Troncoso Rojas

## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se de el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD A.C.) Apartado postal # 1735, en Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83000.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos a CIAD, previa aprobación escrita del manuscrito en cuestión del director o directora de tesis.



Dr. Inocencio Higuera Clapara  
Director General

## DEDICATORIA

A la memoria de **mamá ADELINA**. Por que siento tu amorosa presencia a pesar del tiempo.

A mis tíos **RAYMUNDO Y GUILLERMINA**. Por todo el amor, cariño y apoyo. Todo mi respeto para ustedes.

A mis hermanos, **MABETO, EFRAÍN, MIREYA, BALO, FLOR Y NORA**. Les deseo todo lo mejor. Dios los bendiga.

A mis sobrinos: **MARCO ANTONIO, THELMITA, VIANNEYTH, MANUEL ALBERTO Y JOSÉ ALBERTO**. Por su sonrisa, ternura, alegría y amorosos abrazos.

A mis **AMIGOS** de ayer, de hoy y de siempre. Gracias por su amistad.

A **ERIC**, por darle sentido a mis proyectos y a mi vida. Gracias por todo tu apoyo e inmenso amor. Te amo, sólo y siempre a ti.

A la **Universidad de Sonora**. Del departamento de **Geología**, a Jessé Urrutia. De **Polímeros**, a Mérida Sotelo. De **Metalurgia**, a: Tiburcio Munive, Agustín Gómez. De **Ciencias Químicas**, a Leonel Servín y Juan Jimenez, por haber sido parte fundamental para el desarrollo de mi trabajo de tesis.

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)**, específicamente a Dra. Josefina Lozano y M. Jesús Villalpando.

A la **Asociación Agrícola de Productores de Melón y Frutas de Hermosillo (ALPH)**, principalmente a los productores de melón, Domingo y Vicente Danese, Lamberto Soto, Fausto Bay Rogel, por su disposición al brindarme los frutos requeridos en el proyecto.

A **todo el personal del Departamento de Alimentos de Origen Vegetal (DTAOV)** por toda la ayuda desinteresada que me brindaron.

Al **personal administrativo, de intendencia y servicio de copiado**.

A **todas las personas** que intervinieron directa e indirectamente para la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

	Página
<b>LISTA DE CUADROS</b>	x
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	xi
<b>RESUMEN</b>	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>OBJETIVOS</b>	5
<b>ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS</b>	6
Generalidades de Melón Cantaloupe	6
Cultivares	6
Composición Química	7
Agua	7
Carbohidratos	9
Proteínas	9
Lípidos	9
Ácidos Orgánicos	9
Fisiología y Bioquímica del Melón cantaloupe	10
Biosíntesis e Importancia del Etileno	11
Crecimiento, Maduración y Senescencia	14
Índice de cosecha	14
Grados de calidad	15
Cambios fisicoquímicos del melón durante el almacenamiento	16
Uso de Atmósferas Modificadas (AM) en Frutas y Hortalizas	16
Ventajas y Desventajas de las AMs	17
Uso de Películas Plásticas para el Envasado de Frutas y Hortalizas	20
Poliétileno de Baja Densidad (PEBD)	21
Envases Activos	22
Aditivos en Plásticos	23
Envases con Adsorbentes de Etileno	23
Zeolitas como Adsorbentes de Etileno	25
Características de las Zeolitas	25
Propiedades de las Zeolitas	28
Nomenclatura de las Zeolitas	28
Tipos de Zeolitas	29
Usos de las Zeolitas	30
Intercambio de iones	30
Tamices moleculares	30
Alimentación animal	30
Materiales de Adsorción	31

<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	32
Materiales	32
Métodos	33
1. Diseño y Evaluación del Envase Activo (EA)	33
Determinaciones realizadas	34
Adsorción de etileno por la zeolita	34
Absorción de agua	36
Espesor	36
Permeabilidad al oxígeno	38
Permeabilidad al vapor de agua	38
Adsorción de etileno por el EA	38
2. Evaluación del EA en el Envasado de Melón Cantaloupe	39
Aplicación de los tratamientos	39
Condiciones de almacenamiento	40
Determinaciones realizadas	42
Tasa respiratoria y producción de etileno	42
Concentración de etileno y CO <sub>2</sub> dentro de los envases activo y envase control (EC)	43
Determinaciones de calidad bajo condiciones de almacenamiento y mercadeo	44
Pérdida de peso	44
Firmeza	44
Contenido de sólidos solubles totales, pH y % de acidez titulable	44
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	45
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	46
1. Diseño y Elaboración del Envase Activo (EA)	46
Caracterización de la zeolita	46
Elaboración del EA	55
Caracterización de los envases empleados en el envasado de melón	57
Adsorción de etileno por el EA	61
2. Evaluación del EA Aplicado en Melón Cantaloupe	64
Estado de madurez del melón	64
Concentración de etileno y CO <sub>2</sub> dentro de los EA y EC	66
Calidad de melón reticulado bajo condiciones de almacenamiento y mercadeo	73
Pérdida de Peso	73
Firmeza	79
Sólidos Solubles Totales (SST)	83
% Acidez Titulable y pH	86
Producción de etileno y tasa respiratoria de los frutos de melón durante simulación de mercadeo	91
Apariencia externa de los frutos	95

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFÍA	103



## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición proximal de melón cantaloupe (100 gr)	8
2. Análisis composicional de la zeolita empleada para la fabricación del envase activo	47
3. Análisis de metales en la zeolita y valores estimados en el EA	48
4. Área superficial y tamaño de poro de la zeolita empleada en la elaboración del EA (A), comparada con otra zeolita natural (clinoptilolita) (B) y con una artificial (A4)(C)	54
5. Permeabilidad al oxígeno, vapor de agua y espesor de las películas preliminares elaboradas con diferentes proporciones de zeolita	56
6. Permeabilidad al oxígeno, vapor de agua y espesor de las películas empleadas en el envasado de melón reticulado ( <i>Cucumis melo</i> cv. 'Copa de Oro')	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ruta metabólica para la biosíntesis de etileno	13
2. Estructura de una zeolita	27
3. Diagrama del proceso para la obtención del EA	35
4. Esquema de toma de muestra para la determinación de adsorción de etileno por la zeolita	37
5. Diagrama del proceso de envasado, almacenamiento y muestreo de melón reticulado 'Copa de Oro'	41
6. Adsorción de etileno por la zeolita bajo condiciones estáticas ( <i>in vitro</i> ) a 5 °C	50
7. Absorción de agua por la zeolita a 25 °C y 52% de H.R.	52
8. Espectro infrarrojo del envase control (EC)	62
9. Adsorción de etileno por el EA a 5 °C	63
10. Producción de etileno y tasa respiratoria de melón reticulado ( <i>Cucumis melo</i> 'Copa de Oro') a 20 °C	65
11. Concentración de etileno dentro del envase activo y control de melón reticulado durante el almacenamiento a 4 °C y 85 % H.R.	67
12. Concentración de CO <sub>2</sub> dentro del envase activo y control de melón reticulado durante el almacenamiento a 4°C y 85% de H.R.	68
13. Comportamiento en las concentraciones de etileno y CO <sub>2</sub> producidos por melón reticulado en el espacio de cabeza del EA y EC	71
14. Pérdida de peso de melón reticulado ( <i>Cucumis melo</i> var. <i>reticulatus</i> ) en los tres tratamientos almacenados a 4 °C	74
15. Comportamiento en la pérdida de peso de melón reticulado durante el almacenamiento a 4 °C y 85% H.R. + 4 días a condiciones de mercadeo (20°C y 85 % H.R.)	78

16. Comportamiento en la firmeza de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C y posterior simulación de mercadeo (4 °C + 4 días a 20 °C y 85 % H.R.)	80
17. Comportamiento en los sólidos solubles totales de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C y 85 % H.R. y posterior simulación de mercadeo (4 °C + 4 días a 20 °C y 85 % H.R.)	84
18. Comportamiento en el % de acidez titulable de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C y posterior simulación de mercadeo (4 °C + 4 días a 20 °C y 85 % H.R.)	87
19. Comportamiento en el pH de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C y 85 % H.R. y posterior simulación de mercadeo (4 °C + 4 días a 20 °C y 85 % H.R.)	89
20. Producción de etileno de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C + simulación de mercadeo (4 °C + 2 y 4 días a 20 °C)	92
21. Tasa respiratoria de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C + simulación de mercadeo ( 2 y 4 días a 20 °C)	94
22. Apariencia externa de melón reticulado 'Copa de Oro' del tratamiento control. (A) después del almacenamiento por 17 días a 4 °C y (B) 20 días a 4 °C	97
23. Apariencia externa de melón cantaloupe 'Copa de Oro' a los 30 días de almacenamiento a 4 °C y 85 % H.R. (A) Control, (B) EC y (C) EA	98

## RESUMEN

La vida postcosecha de melón cantaloupe es de dos semanas a 5° C debido principalmente a pérdidas de humedad, pudriciones y/o aceleración en los procesos fisiológicos por efecto del etileno. La pérdida de agua puede reducirse empleando envases de plástico, las pudriciones pueden controlarse con métodos químicos y físicos y para retardar la velocidad de las reacciones metabólicas es necesario utilizar un agente externo que elimine el etileno. En este trabajo se elaboró un envase activo (EA) a base de polietileno de baja densidad (PEBD), adicionando zeolita con capacidad para adsorber etileno. El trabajo se realizó en dos etapas. La primera consistió en la elaboración del EA iniciando con la extracción, trituración, deshidratación y caracterización de la zeolita en cuanto a composición mineral, capacidad para eliminar etileno y absorber vapor de agua. El material resultó ser principalmente una mezcla de chabazita con impurezas. A 5 °C, 1 g de zeolita eliminó el 64.9% de 1 ppm de etileno en 24 hr; 30 g de zeolita absorbieron el 10% de su peso de vapor de agua en 4 días bajo una H.R. de 52%. Se elaboró el envase activo (EA) optimizando la formulación de PEBD con 15% de zeolita. El EA presentó un espesor de 92.2  $\mu\text{m}$ , una permeanza al O<sub>2</sub> de 2325 cc/m<sup>2</sup> día , una velocidad de transmisión de vapor de agua de 13.03 g/m<sup>2</sup> día y una capacidad de eliminar etileno de 26.6% de 1 ppm por cada 570 cm<sup>2</sup> de película. En la segunda etapa se evaluó el EA en melón cantaloupe (reticulado) durante el almacenamiento a 4°C y 85% H.R. Se aplicaron 3 tratamientos: envasado individual en EA, envase control a base de PEBD (EC) y sin envasar (control). Los tratamientos se almacenaron a 4 °C y 85% de H.R.; cada 5 días se trasladaron a 20°C donde se mantuvieron 4 días en condiciones de simulación de mercadeo.

donde se mantuvieron 4 días en condiciones de simulación de mercadeo. A 4 °C se evaluó: pérdida de peso, sólidos solubles, pH, % de acidez titulable y firmeza. La concentración de CO<sub>2</sub> y etileno en el interior de los envases se determinó por cromatografía de gases a 4 °C. A 20 °C se evaluó la calidad, la tasa respiratoria y la producción de etileno de los frutos. A los 30 días la mayor pérdida de peso (9%) se presentó en los melones control detectándose a los 17 días la presencia de hongos en la zona peduncular. En los melones EA y EC, las pérdidas de peso durante el almacenamiento por 35 días no alcanzaron el 1%. A partir de los 30 días se observó el inicio de cambios visuales (hundimientos y presencia de hongos) en los melones del EA. El empleo de los EA y EC tuvieron un efecto significativo en las variables de calidad evaluadas a 4 °C, excepto en la firmeza en donde no se observaron diferencias en los tres tratamientos. La calidad de los frutos se mantuvo, en cambio en los control, la calidad se perdió por efecto del tiempo de almacenamiento. No existieron diferencias significativas en la concentración de etileno dentro de los envases EA y EC, pero sí en la concentración de CO<sub>2</sub> siendo mayor en el EC. La tasa respiratoria y la producción de etileno en general, fue más alta al inicio del almacenamiento y en los frutos control. La vida de anaquel de los melones sin envasar fue de 20 días. El empleo del EC extendió la vida de anaquel a 35 días a 4 °C y 2 días a simulación de mercadeo, debido a las propiedades de permeabilidad a los gases del envase. El envasado en el EA, extendió la vida de anaquel de los melones hasta 30 días a 4 °C y 2 días en simulación de mercadeo.

## INTRODUCCIÓN

El territorio mexicano está conformado por aproximadamente 200 millones de hectáreas, de las cuales 27 millones son aptas para la agricultura. Anualmente se cultivan alrededor de 19 millones de hectáreas, de las cuales el sector frutas y hortalizas participa con el 23% del valor bruto de la producción agrícola (Schwentesiuss, 1997). La producción de melón cantaloupe durante el año agrícola 1997 fue de 590,237 toneladas, lo que significó más de 119,000 toneladas comparadas con el año anterior. El valor de la producción en pesos ascendió a 952'674,300 pesos (SAGAR, 1999).

El estado de Sonora ocupa unos de los primeros lugares en producción de este fruto a nivel nacional (SAGAR, 1999). Destaca por sus niveles de producción comercial y por su alto nivel tecnológico con orientación a mercados de exportación, contando con 26 del total de las 68 empresas exportadoras de melón (fresco o procesado) (Schwentesiuss, 1997; Bancomext, 1998). El estar situado en la frontera con E.U.A., lo coloca en un lugar estratégico para la exportación de diversos productos hortofrutícolas, por lo que el mayor porcentaje del volumen total de exportaciones se destina a este mercado.

El precio del fruto está sujeto a la demanda de E.U.A y a la competencia de países como Costa Rica y Honduras. La Secretaría de Agricultura,

Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR 2000), reportó que a principios del 2000 el precio promedio se ubicó en un nivel de US\$ 0.61/Kg, 29 centavos por debajo del promedio observado en los periodos 1995/2000. Los productores de la Costa de Hermosillo, señalan que los bajos precios de melón en el mercado internacional (EUA) les ocasionaron pérdidas cuantiosas (Arvizu, 2000). Por lo que se hace necesario diversificar los destinos finales, buscar nuevos nichos de mercados para no depender de uno solo. Japón y la Unión Europea significan mercados importantes para la exportación de hortofrutícolas y para la obtención de más divisas para el país. Por la distancia a recorrer el medio de transporte más utilizado es el marítimo.

Para poder acceder a mercados distantes con productos de óptima calidad se requieren de nuevas tecnologías que extiendan la vida de anaquel de este fruto y así mantener su calidad por más tiempo. Mayberry y Hartz (1992), indican que la vida de anaquel de melón no rebasa las dos semanas después de la cosecha, lo que limita su tiempo de comercialización, sobre todo si el tiempo de transporte es de más de 3 semanas. Las causas principales del deterioro de la calidad de melón Cantaloupe se deben a pérdidas de peso, manifestado como marchitamiento y ablandamiento, daño por frío, pudriciones y sobremaduración (Lester y Bruton, 1986; Ceponis *et al.*, 1986).

La utilización de películas plásticas y recubrimientos sobre las frutas y hortalizas disminuyen la pérdida de humedad y sus efectos en la calidad.

Mayberry y Hartz (1992), mostraron que mantener melones envasados en bolsas de polietileno minimizó pérdida de agua y se extendió la vida de almacenamiento. Lester y Dunlap (1985), reportaron que la aplicación de envases individuales minimizó los procesos fisiológicos de maduración y senescencia de melones. Por otro lado, Yahia y Rivera (1992) reportaron que cajas de melón envueltas en polietileno acumularon entre 5-30 ppm de etileno, gas que puede acelerar el deterioro de los frutos al ocasionar desórdenes fisiológicos en los mismos. Por lo que se hace necesario eliminar a este gas del ambiente que rodea a este fruto.

En la actualidad, el consumo de plásticos para su uso en envases de alimentos ha ido en aumento. Los plásticos son polímeros sintetizados a partir de derivados del petróleo, muy utilizados para conservar la frescura de alimentos debido a sus propiedades. En la formulación de los plásticos se le adicionan compuestos que tienen la capacidad de modificar las propiedades tanto químicas como físicas de los mismos (Rodríguez-Tarango, 1997). En los últimos 20 años se han realizado estudios encaminados a extender la vida útil de los alimentos envasados, obteniéndose nuevos diseños de envases, denominados activos. La función de éstos envases es preservar los atributos de calidad de los productos envasados mediante la adición de compuestos con un propósito específico (Rooney, 1995).



Debido a sus propiedades y versatilidad, las zeolitas pueden emplearse para atrapar o adsorber moléculas de un tamaño específico o con cierto comportamiento electrostático como el etileno. Por lo que, en este trabajo se elaboró un envase activo de PEBD conteniendo un tipo de zeolita natural como aditivo con la finalidad de eliminar al etileno. Para retardar los cambios fisiológicos por la acción de este gas y disminuir la pérdida de peso, el envase se evaluó en frutos de melón cantaloupe (reticulado) durante su almacenamiento a 4 °C y en simulación bajo condiciones de mercadeo (20 °C) por 4 días.

## OBJETIVO GENERAL

Elaborar un envase activo a base de polietileno de baja densidad, conteniendo un tipo de zeolita natural como aditivo y evaluar el efecto del envase sobre la calidad de melón cantaloupe durante su almacenamiento a 4 °C y 20 °C.

## OBJETIVOS PARTICULARES

1. Caracterizar a la zeolita para determinar su composición mineral e identidad.
2. Elaborar un envase activo conteniendo la zeolita natural en su formulación.
3. Determinar las propiedades del envase activo con respecto a la de un envase comercial (control).
4. Evaluar la calidad de melón envasado en el envase activo durante el almacenamiento y compararla con la de los frutos envasados en un envase comercial a base de polietileno de baja densidad y en frutos sin envasar.

## ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

### Generalidades de Melón Cantaloupe

El melón cantaloupe (*Cucumis melo*, var. *Reticulatis*, grupo *cantalupensis*) pertenece a la familia de las cucurbitáceas. Es un cultivo comercial importante que se consume como fruto maduro. Sus atributos de calidad lo hacen sumamente atractivo al consumidor y permiten su comercialización hacia mercados de exportación (Troncoso *et al.*, 1999). Se caracteriza por estar cubierto con una red altamente uniforme de tejido corchoso. Los frutos son redondos-ovalados y carnosos con un diámetro ecuatorial de aproximadamente 7.5-18 cm (Wien, 1997).

### Cultivares

Las variedades y cultivares cultivadas varían dependiendo de la región de producción (Musmade y Desai, 1998). Con la finalidad de obtener frutos más resistentes a insectos y a diversas situaciones de estrés, así como lograr una mayor producción y rendimiento, en la actualidad se están cultivando melones híbridos resultantes de la cruce de una o más variedades. Entre éstos se

encuentran los híbridos Copa de Oro, Magnum '45, Ovación, Impact, entre otros, los cuales se caracterizan por sus frutos de tamaño medianos a grandes. Poseen una cavidad de semilla compacta y pequeña y una red de tejido grueso y pronunciado (Gómez, 1999).

### Composición Química

La composición química del fruto varía dependiendo del cultivar, debido a las diferencias inherentes entre variedades y a los efectos de la madurez, estacionalidad y localidad (Wien, 1997). La composición proximal de melón cantaloupe se presenta en el Cuadro 1.

#### **Agua**

La mayoría de los productos hortofrutícolas contienen más del 80% de agua. Algunos frutos como el melón contiene aproximadamente 95% de agua. Las diferencias en el contenido de agua dependen de la variabilidad de las células individuales y de la disponibilidad de la misma en los tejidos al tiempo de la cosecha ya que el contenido de agua cambia durante el día (Wien, 1997).

Cuadro 1. Composición proximal de melón cantaloupe (100gr)

---

Agua	90%
Energía	34 Kcal
Proteína	0.5-0.6 %
Grasa	0.2-0.7 %
Carbohidratos	3.5-9.2 %
Fibra	0.6 mg
Calcio	6-32 mg
Fósforo	10-14 mg
Hierro	0.1-1.4 mg
Sodio	10 mg
Potasio	271 mg
Ácido Ascórbico	24.8-26 mg
Vitamina A	40 UI
Tiamina	0.04 mg
Rívoflavina	0.02 mg
Ácido Nicotínico	0.57 mg
Ácido Pantoténico	0.13 mg

---

Fuente: Musmade y Desai, 1998

## **Carbohidratos**

Los carbohidratos son generalmente los constituyentes más abundantes después del agua. Pueden estar presentes como azúcares de bajo peso molecular o como polímeros de alto peso. Constituyen aproximadamente del 2-40% del peso del tejido. Los principales azúcares presentes son sacarosa, glucosa y fructosa (Wien, 1997).

## **Proteínas**

Los productos hortofrutícolas no contribuyen de forma importante con proteínas para la dieta. El contenido de proteína varía de 1 a 2%. Las proteínas presentes son más bien funcionales (enzimas) (Wien, 1997).

## **Lípidos**

Constituyen menos del 1% de la mayoría de los frutos. Se asocian más bien con capas cuticulares protectoras en la superficie y en las membranas celulares (Wien, 1997).

## **Ácidos Orgánicos**

La mayoría de las frutas contienen ácidos orgánicos. Estos ácidos se emplean durante el ciclo de los ácidos tricarbóxicos y en otras rutas

metabólicas. El exceso de los ácidos se almacenan en las vacuolas, lejos de los otros componentes celulares (Wien, 1997).

En cuanto a su aportación a la dieta, los melones son naturalmente bajos en grasa y sodio y altos en nutrientes esenciales como potasio; son una fuente excelente de *beta*-caroteno o provitamina A y vitamina C. Además, son una fuente importante de fibra dietaria (Lester, 1997).

### Fisiología y Bioquímica de Melón Cantaloupe

En la mayoría de los frutos climatéricos como el melón, la madurez se asocia con un incremento en la respiración y en la biosíntesis de etileno y es acompañada por algunos cambios visuales y fisiológicos (Brady, 1987). El climaterio se refiere a los cambios físicos, químicos, fisiológicos y metabólicos que se asocian con un incremento en la velocidad de respiración. La respiración se refiere al proceso oxidativo en el cual sustancias complejas presentes en los tejidos se transforman en moléculas más simples con la consecuente producción de energía. Este proceso utiliza oxígeno y produce CO<sub>2</sub> y vapor de agua (Lee *et al.*, 1996). A 5 °C, la tasa de respiración de melón Cantaloupe varía entre 4-5 ml CO<sub>2</sub>/Kg-h, y a 20 °C la tasa aumenta a 45-65 ml CO<sub>2</sub>/Kg-h (Suslow *et al.*, 2000).

Durante la etapa del climaterio ocurren las fases de transición de desarrollo o crecimiento, maduración y senescencia de los frutos. Los melones reticulados llegan rápidamente al climaterio, con un intervalo entre el mínimo del preclimaterio y el pico climatérico de 24 a 48 horas. Cambios en la textura, color, desarrollo de sabores y olores, transformación de pigmentos, pectinas, carbohidratos, ácidos, etc, en el proceso de maduración, están asociados con esta etapa (Friend y Rhodes, 1981; Romani, 1984).

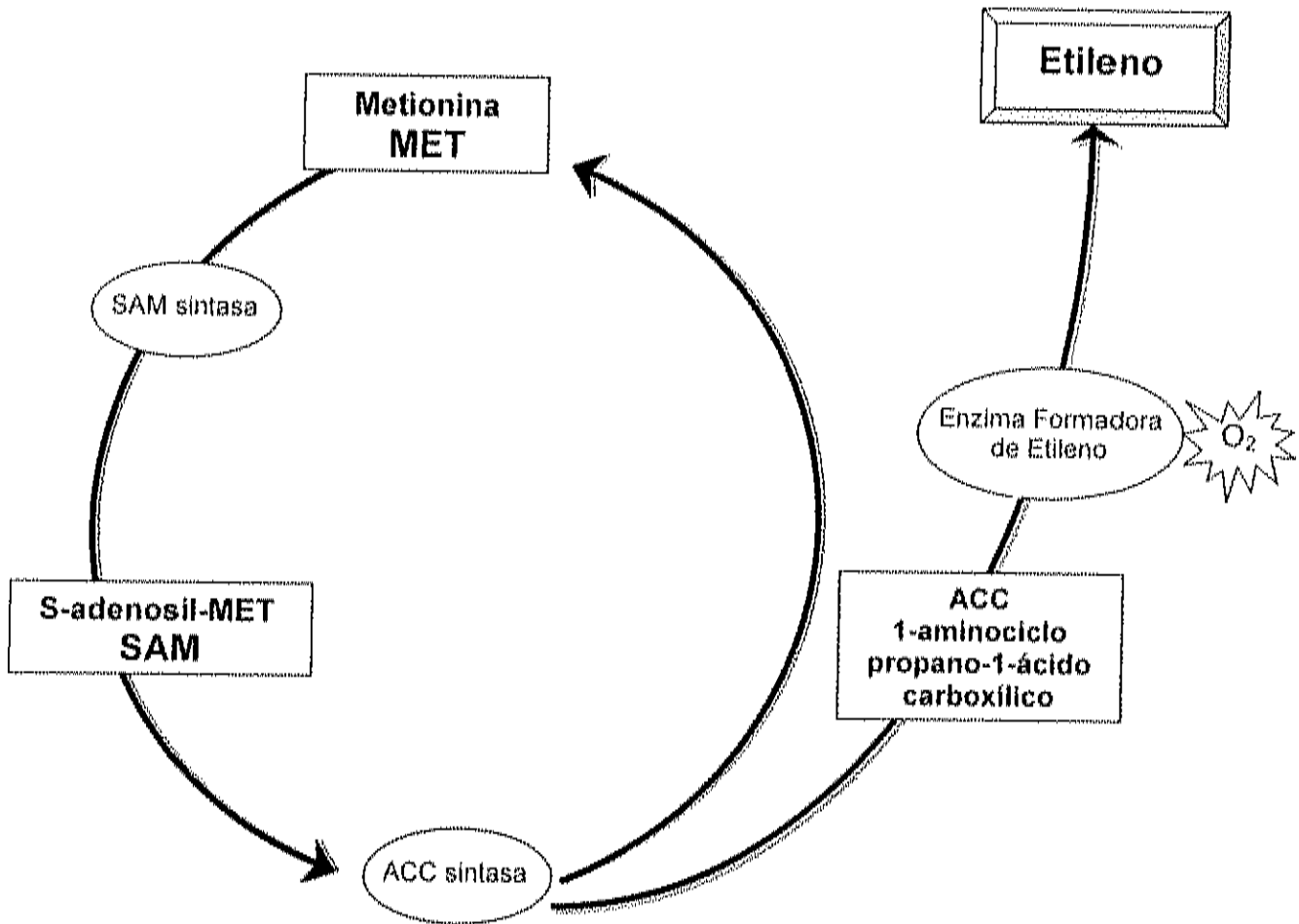
### **Biosíntesis e Importancia del Etileno**

El etileno es un compuesto químicamente simple que tiene profundos efectos sobre la fisiología de las plantas (Zagory, 1995). Este compuesto regula varios de los aspectos del desarrollo, crecimiento y senescencia de los vegetales. Sus efectos pueden ser benéficos o perjudiciales dependiendo de donde y cuando actúe (Yang, 1985). A pesar de que muchos de los efectos del etileno en vegetales son positivos económicamente, puede también ocasionar deterioro en la calidad, como el ablandamiento acelerado, que induce a desórdenes fisiológicos con un efecto directo sobre la calidad (Kader, 1985). Kader (1980), reporta que el melón cantaloupe se clasifica dentro de los productos que presentan una producción de etileno de moderada a alta (10-100  $\mu\text{l/Kg}\cdot\text{h}$  a 20 °C). Otros autores reportan tasas de producción de 40-80  $\mu\text{l/Kg}\cdot\text{h}$  a



la misma temperatura; sin embargo, en ninguno de los estudios se especifica el cultivar (Suslow *et al.*, 2000).

En años recientes, se han desarrollado formas de manipular la ruta bioquímica de la biosíntesis del etileno (Figura 1). La biosíntesis de este gas involucra varios pasos y diversas enzimas. El precursor es SAM (S-Adenosilmetionina), la cual es sintetizada a partir de metionina vía SAM sintasa. SAM también es precursor de poliaminas, las cuales presentan efectos fisiológicos opuestos al etileno. El siguiente paso es la síntesis de ACC (1-ácido carboxílico-1-aminociclopropano), el cual es considerado como el paso limitante en la síntesis del gas. La formación de ACC está relacionada con el patrón climaterico de los frutos que exhiben este comportamiento. En condiciones normales, los niveles son bajos pero se incrementan considerablemente durante la maduración de los frutos. El proceso de la síntesis de esta molécula puede ser estimulada por diversos factores tales como el estrés, daños y hormonas reguladoras como las auxinas. Finalmente, el etileno es formado de la ACC catalizada por la ACC oxidasa, requiriendo de oxígeno debido a que es una reacción oxidativa. Factores ambientales como la concentración de CO<sub>2</sub> y la temperatura pueden afectar esta transformación, por lo tanto, ACC es un paso esencial en toda la ruta de biosíntesis del etileno (Lee *et al.*, 1996).



Fuente.- Yang, 1985

Figura 1.- Ruta metabólica de la biosíntesis de etileno

### **Crecimiento, Maduración y Senescencia**

Conforme se da la maduración de melón, las redes inician el desarrollo alrededor del fruto; sin embargo, el fruto aun está inmaduro. El color de la piel cambia de verde oscuro a verde-grisáceo, después a verde-amarillento y finalmente cerca de la madurez a anaranjado. Cuando se completa la maduración, el fruto se separa fácilmente del tallo dejando una cicatriz grande (Musmade y Desai, 1998). La madurez usualmente comienza antes de que cese el crecimiento e incluye diferentes actividades. La senescencia puede definirse como el período donde los procesos anabólicos (sintéticos) dan lugar a los procesos catabólicos (degradativos). El fruto envejece y finalmente se da la muerte del tejido (Willis *et al.*, 1998).

Índice de cosecha. Los frutos de melón maduran en un período de 35 a 55 días después de floración, dependiendo de la variedad y de las condiciones ambientales. La cosecha se basa en el estado de madurez de los frutos y va a depender del tiempo que se requiera para llegar a los mercados, variedad, temperatura durante la cosecha y el método de transporte. Este fruto es cosechado en base a su madurez y no a su tamaño (Salunkhe y Desai, 1984). La madurez comercial puede estimarse por la formación de la red y el desarrollo de color en la superficie, por lo que el tiempo de corte se determina por el

cambio de color externo debajo de la red de verde a verde-amarillo. Por otro lado, Salunkhe y Desai (1984) y Kader (1992), señalan que la madurez "ideal" está marcada por la fácil separación del fruto de la planta en la zona de abscisión aplicando una ligera presión. Por lo tanto, los dos factores mencionados con anterioridad, son los que van a determinar el momento indicado de corte.

Una vez que la zona de abscisión empieza a formarse, la mayoría de los azúcares ya se han acumulado. La pulpa del melón es alta en sólidos solubles totales presentando un contenido mayor en el centro y disminuyendo gradualmente hacia la corteza. En este estado de madurez, el fruto contiene aproximadamente 9% de sólidos solubles y los frutos que presentan un contenido de sólidos solubles totales de 10-12% son los que presentan la mayor calidad. El color interno no cambia mucho y al igual que el contenido de azúcares, depende más del estado de desarrollo en el cual la fruta fue cosechada (Cantwell, 1998).

Grados de calidad. Los grados de calidad de este fruto se basan en la apariencia externa y en el contenido de sólidos solubles totales. En general, las características de calidad que deben presentar los frutos para ser comercializados exigen forma esférica, apariencia de red uniforme y libre de quemaduras de sol, deterioro y daño físico. Deben de ser firmes y sin

desprendimiento interno de semillas de la pulpa. Los estándares federales del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) especifican un mínimo de 11% de sólidos solubles para el grado superior y 9% de sólidos solubles para los grados 1 y 2 (Código de Regulaciones Federales, 1999).

Cambios fisicoquímicos del melón durante el almacenamiento Después de la cosecha, los melones se ablandan, presentan cambios de color externo y un incremento en los compuestos volátiles asociados con el aroma (Cantwell, 1998). Al no presentar reservas de almidón para transformarlos en azúcares, se presenta un perceptible decremento en el contenido de sólidos solubles totales durante el almacenamiento prolongado y/o a altas temperaturas, incrementándose a su vez las tasas de respiración (Cohen y Hicks, 1986).

#### Uso de Atmosferas Modificadas en Frutas y Hortalizas

La vida de anaquel de la mayoría de los productos hortofrutícolas frescos es muy corta, de ahí la necesidad de lograr que estos productos conserven su frescura y sus atributos de calidad por más tiempo. Exponerlos a bajas temperaturas inmediatamente después de la cosecha no es suficiente para mantener la calidad. Por esta razón, se han estudiado otras técnicas para

complementar al almacenamiento refrigerado (Riquelme *et al.*, 1999). La calidad del producto puede mantenerse modificando la atmósfera que lo rodea. Al variar las concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y etileno se reduce la actividad metabólica del fruto. La atmósfera modificada (AM) consiste en modificar los niveles de los gases del aire normal (20-21% O<sub>2</sub>, 0.03% CO<sub>2</sub>, 78-79% N<sub>2</sub>). Mientras que la atmósfera controlada consiste en un control más estricto y exacto de los porcentajes de gases. La AM se logra mediante el empleo de envases cerrados herméticamente (Kader *et al.*, 1989).

### **Ventajas y Desventajas de las AMs**

Los efectos benéficos y perjudiciales de las AMs para frutas y hortalizas frescas se han discutido ampliamente por diversos autores (Day, 1995; Kader *et al.*, 1989). Las pérdidas de peso fresco de las frutas es uno de los principales factores que limitan su vida de comercialización. Las pérdidas de agua, resultado de la transpiración del fruto, ocasionan cambios en apariencia, marchitamiento y reducción de tamaño, además de ablandamientos en los tejidos y variaciones en el sabor. Metabólicamente la tasa de transpiración también está asociada con la respiración, por lo que la velocidad de producción de agua esta relacionada directamente con la captación de oxígeno y la producción de calor. Se ha estimado que sólo el 42% del calor vital se utiliza

para reacciones de síntesis (Kader, 1986). El resto se libera en forma de vapor de agua (transpiración). Por lo tanto, cualquier método que reduzca la velocidad de respiración, puede contribuir a la reducción en la transpiración. No es posible prevenir la transpiración, pero ciertas prácticas pueden reducir las pérdidas de agua como un almacenamiento con una humedad relativa alta. Las AMs además de ocasionar una disminución en la velocidad de respiración, proporcionan una atmósfera con una humedad relativa alta debido a que el agua no se elimina al medio ambiente sino que se queda dentro del envase (Lee *et al.*, 1996).

Otra de las ventajas es que los niveles bajos de oxígeno con o sin enriquecimiento de dióxido de carbono, pueden reducir la velocidad de respiración, retardar la maduración y consecuentemente el ablandamiento. También decrece la producción de etileno, disminuyen los cambios composicionales asociados con la maduración, se reducen desórdenes fisiológicos y daño por frío, resultando en una extensión en la vida de anaquel del fruto (Kader *et al.*, 1989; Day, 1995). Sin embargo, si la fruta u hortaliza se expone a niveles de oxígeno y dióxido de carbono fuera de sus límites de tolerancia, puede dar como resultado el inicio de respiración anaeróbica (Day, 1995). Esto produce sabores y olores indeseables provocados por etanol y acetaldehído ocasionando también desórdenes fisiológicos (Portela *et al.*, 1997; Day, 1995). Suslow *et al.*, (2000) recomiendan para melón Cantaloupe

recomiendan niveles de 3% de O<sub>2</sub> y 10% de CO<sub>2</sub> durante el almacenamiento a 3 °C. Bajas concentraciones de O<sub>2</sub> (< 1%) o altas de CO<sub>2</sub> (>20%) pueden ocasionar deterioro en el fruto, así como desarrollo de olores y sabores desagradables.

Otra de las desventajas puede ser la acumulación de etileno dentro del envase, lo que ocasionaría a su vez un incremento en las reacciones fisiológicas de los frutos. El almacenamiento en AM y AC, que conlleva a una reducción en la concentración de oxígeno y un incremento en la de CO<sub>2</sub>, inhibe la formación de etileno por el fruto (Reid, 1995; Kader, 1992), ya que la producción del gas disminuye cuando la concentración de oxígeno se encuentra por debajo del 8%, siendo la disminución más significativa a niveles de oxígeno del 3% (Lee *et al.*, 1996). Sin embargo, la inhibición en la síntesis del etileno no se da por completo. Lo anterior puede afectar o acelerar las reacciones de deterioro debido a que el etileno es fisiológicamente activo aun en cantidades trazas (menos de 0.1 ppm) (Kader, 1992). Es por esta razón que se están realizando investigaciones con el fin de removerlo del medio ambiente que rodea a los productos hortofrutícolas (Zagory, 1995).



### Uso de Películas Plásticas para el Envasado de Frutas y Hortalizas

Se han empleado películas plásticas para el envasado de productos hortícolas desde 1930 y hasta ahora son los materiales más usados para este fin (Robertson, 1993). Debido a los diversos grados de permeabilidad que presentan, pueden considerarse como los materiales ideales para modificar atmósferas y en el envasado de frutas y hortalizas en forma individual (Ben-Yehoshua, 1985). En los últimos años, el consumo de plásticos como material de envase se ha incrementado debido a su bajo costo comparado con otros materiales de envase utilizados tradicionalmente (Rodríguez-Tarango, 1997).

Del total de plásticos producidos en nuestro país, más del 60% se destina para envasar y contener alimentos, ocupando las películas plásticas el 35% del total del mercado de envases (Blanco, 1999). El desarrollo de los diferentes materiales plásticos, principalmente en el área de alimentos, se debe tanto a su versatilidad como a las diversas propiedades que presentan tales como: resistencia a altas temperaturas, alta barrera a la humedad y a los gases (Rodríguez-Tarango, 1997). Entre los diversos tipos de polímeros para envasado de productos frescos se pueden mencionar al polietileno de baja densidad (PEBD), el cloruro de polivinilo (PVC) plastificado, el poliestireno (PS) y los copolímeros de acetato etileno vinílico (EVA) (Robertson, 1993).

### **Películas de Polietileno de Baja Densidad (PEBD)**

El PEBD fue uno de los primeros polímeros plásticos empleado para el envasado de alimentos. Estructuralmente es el más sencillo de todos los polímeros: posee una cadena larga y repetida de moléculas de etileno:



Su transparencia es buena, pero no excelente, presenta una buena barrera contra la humedad, pero pobre barrera al oxígeno. Además, no contribuye con olores y sabores desagradables a los alimentos (Faber y Doods, 1995). Las características mencionadas junto con su bajo costo por unidad de área hacen del PEBD el material plástico más ampliamente usado para el envasado de productos hortofrutícolas (Jenkins y Harrington, 1991; Faber y Doods, 1995).

Se han realizado numerosos avances en el diseño y manufactura de películas plásticas con un amplio rango de permeabilidades a los gases, ya que las películas sencillas, es decir, sin laminar o coextruir, tienen un rango limitado para preservar la frescura de los alimentos envasados. Por lo tanto, se requieren de películas plásticas que proporcionen una eficiente y adecuada protección a los alimentos vegetales debido a los diferentes niveles de respiración que presentan ( Riquelme *et al.*, 1994)

## **Envases Activos**

El envase es un elemento esencial en la conservación y comercialización de los alimentos. Además de sus funciones primarias de contención y protección, en las últimas décadas el envasado ha adquirido un papel esencial desde el punto de vista de la mercadotecnia y de la conveniencia para el consumidor. Todo ello ha determinado un desarrollo tecnológico del envasado de alimentos para intentar satisfacer estas demandas. Entre las innovaciones más recientes se encuentran las técnicas del envase activo (Fernández-Álvarez, 2000). Los envases activos desempeñan alguna otra función además de constituir una simple barrera física entre el producto y su entorno. Se diferencian de los convencionales en que van a interactuar directamente con el producto y/o su medio ambiente, con la finalidad de mejorar una o más características de calidad e inocuidad ( Hotchkiss, 2000; Rooney, 1997 ).

Las funciones de algunas películas plásticas activas son: adsorción de gases, prevención de la condensación de agua dentro del envase, reducción en el crecimiento de microorganismos, control y modificación de atmósferas por medio de incorporación de cerámicas porosas, etc. Se han efectuado numerosos avances para diseñar y manufacturar películas poliméricas con un amplio rango de permeabilidad a los gases. Paralelamente, también se han desarrollado estudios con adsorbedores de oxígeno, dióxido de carbono y

etileno para mantener una atmósfera adecuada dentro del envase de productos vegetales (Riquelme *et al.*, 1994). En lo que se refiere al etileno, en los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías para su adsorción en condiciones de alta humedad y para su remoción selectiva (Ishitani, 1993).

### **Aditivos en Plásticos**

Las películas plásticas para el envasado de alimentos pueden contener también otros ingredientes además de los ingredientes básicos. Algunas películas contienen polvos inorgánicos dispersos o embebidos finamente pulverizados que ofrecen múltiples beneficios para los productos hortofrutícolas (Rooney, 1995). Entre estos compuestos inorgánicos pueden mencionarse a aquellos que tienen la capacidad de eliminar etileno, por ejemplo:  $\text{KMnO}_4$  y minerales como cristobalitas, clinoptilolita, carbón activado, piedra de Oya y zeolitas (Zagory, 1995).

### Envases con Adsorbedores de Etileno

Existen varios estudios, en los cuales se ha reportado la incorporación a las películas plásticas de materiales que presentan la capacidad para eliminar etileno. Kazuhiro y Watada, reportaron en 1991 que el uso de carbón con

cloruro de paladio como adsorbedor de etileno previno la acumulación de éste gas. Además, el carbón con cloruro de paladio fue efectivo para reducir la velocidad de ablandamiento en kiwis y plátanos y previno pérdidas de clorofilas en espinacas. También en Japón, se realizaron estudios en envases de plástico empleando permanganato embebido en sílica gel; sin embargo, no se reportaron los resultados obtenidos (Labuza y Breene, 1989). Ishitani (1995), reporta que la zeolita incorporada a compuestos inorgánicos tiene la capacidad de adsorber gas. Además, la zeolita con plata (Ag) puede emplearse como antimicrobiano en materiales plásticos. Sin embargo, aún no está aprobado el uso de zeolita en materiales con Ag en contacto con alimentos.

Hampson y Rees (1994), mencionan que el uso de zeolitas sintéticas como las denominadas NaY y Tetra-1 pueden ser empleadas en la separación de mezclas simples de hidrocarburos de bajo peso molecular, entre los que se encuentra el etileno. Estos mismos autores concluyen que cuando los hidrocarburos insaturados son las moléculas a adsorber, se da una interacción fuerte entre los electrones  $\pi$  del doble enlace con el gradiente del campo eléctrico en las zeolitas. Esta interacción puede aprovecharse para eliminar etileno debido al doble enlace que presenta la molécula. Existen también reportes del uso de zeolitas hidrofóbicas en la remoción de compuestos volátiles del aire (Chandak y Lin, 1998).

Por otro lado, existen estudios previos que reportan que el empleo de adsorbedores de etileno en películas plásticas no es muy efectivo para remover dicho gas de vegetales envasados en esos materiales. Joyce (1988), evaluó el envasado de brócoli en polietileno de baja densidad al cual se le incorporó cristburita . Los resultados muestran que existieron diferencias mínimas en la concentración de etileno en las bolsas con cristburita y en las bolsas control, siendo aun más alta la cantidad de etileno en estas últimas.

Un estudio publicado recientemente por Soto-Valdez *et al.*, (1999) reveló, que 1 gr de un tipo específico de zeolita (chabazita) bajo condiciones estáticas, fue capaz de eliminar 0.043 mg de un total de 0.05 mg de etileno (86%). Es decir, se probó sólo el mineral colocándolo en viales herméticamente cerrados a los que se les introdujo una cantidad de etileno a una concentración conocida (10 ppm). Sin embargo, hace falta realizar más estudios con el fin de probar la efectividad potencial de la aplicación de este tipo de zeolita embebidos en materiales plásticos para el envasado de productos hortofrutícolas.

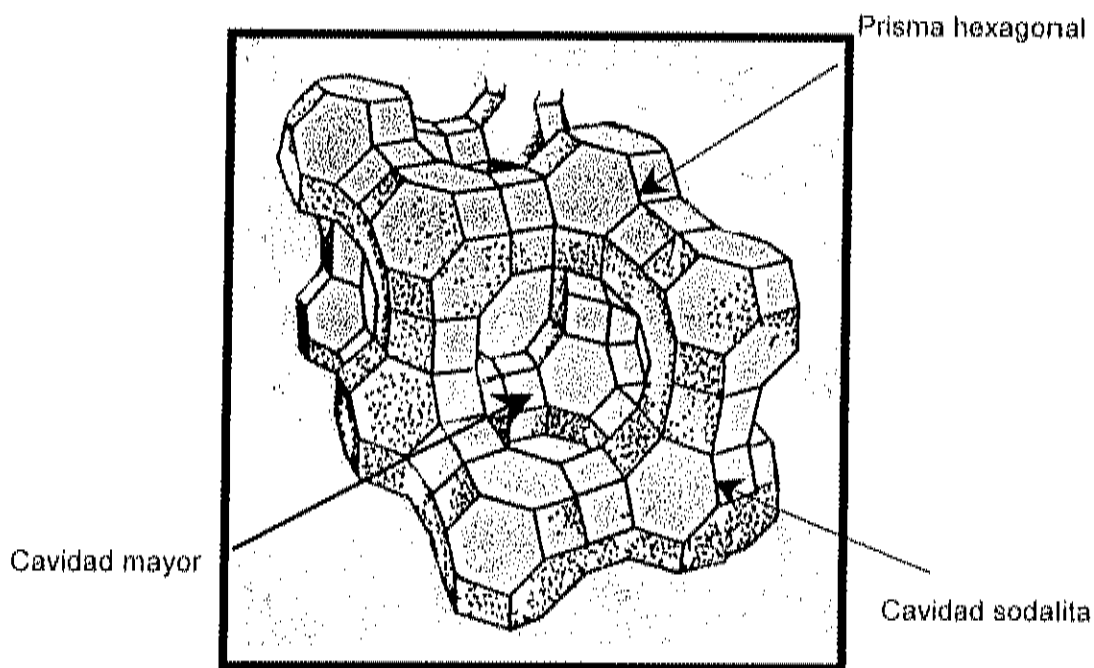
### Zeolitas como Adsorbedores de Etileno

#### **Características de las Zeolitas**

Nuestro país cuenta con amplios depósitos de zeolita naturales en Etla, Oaxaca y en Ixtlán de los Hervores, Oaxaca (Bosch y Schifter, 1988). Así

mismo, Gonzalez y Morales (1993) reportan depósitos de interés en las regiones de Ures, Rayón, Agua Prieta y Divisaderos en Sonora. Las zeolitas son sólidos cristalinos, tridimensionales, con microporos en una estructura bien definida que contiene aluminio, silicio y oxígeno. Este arreglo da como resultado una estructura tridimensional abierta y estable cargada negativamente debido a la presencia de los átomos de aluminio (Sheppard, 1980). En los poros o cavidades están localizados cationes y agua, neutralizando la carga negativa de los mismos. Los átomos de silicio y aluminio están tetraédricamente coordinados con átomos de oxígeno formando las estructuras tridimensionales (Sheppard, 1980; Breck, 1980).

En las zeolitas existen varios tipos de cavidades (gran cavidad, cavidad sodalita y prisma hexagonal), en las cuales se pueden encontrar alojados los diferentes cationes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , y  $\text{Ca}^{2+}$ ) y moléculas de agua. La cavidad de mayor tamaño tiene un diámetro de aproximadamente 12.5 Å. Por las caras hexagonales a través de aberturas de 2.2 Å se tiene acceso a la cavidad sodalita de aproximadamente 6.6 Å de diámetro (Figura 2). Los cationes que se encuentran en las cavidades, al contrario del agua, no tienen la libertad de abandonar los cristales. Sólo lo pueden hacer al sustituirlos por su equivalente electroquímico o por otros cationes, ya que es necesario neutralizar la carga aniónica de la red de aluminosilicatos (Bosch y Schifter, 1988).



Fuente: Bosch y Schiffter, 1988.

Figura 2. Estructura de una zeolita



### **Propiedades de las Zeolitas**

Las zeolitas se caracterizan por su alta estabilidad térmica, alta acidez y una gran selectividad debido a su composición, forma y tamaño de poros (Creighton, 1998). Se puede alterar su estructura regular, de tal modo que se obtenga un producto o los productos deseados o que adsorban una molécula o compuesto específico. Las propiedades de las zeolitas se deben principalmente a pequeñas diferencias naturales como temperatura de formación, localización geográfica y propiedades de los componentes. Estas diferencias son la razón por la cual tienen propiedades únicas (Bosch y Schifter, 1980; Breck, 1980).

### **Nomenclatura de las Zeolitas**

Etimológicamente zeolita proviene de las palabras griegas, *zeo*: hervir y *lithos*: piedra, es decir, "piedra que hierve". Actualmente, el término zeolita en una definición estricta, está reservada para materiales de aluminosilicatos cristalinos, naturales o sintéticos (Bosch y Schifter, 1988).

Las zeolitas tienen una gran variedad de nombres, dependiendo de las fuentes de donde se obtienen. Las de origen natural tienden a ser nombradas dependiendo del lugar o de la persona que hizo el descubrimiento, por ejemplo, Bikitaíta, de Bikita, Zimbawe. Las sintéticas tienen nombres, los cuales son abreviaturas de instituciones académicas u organizaciones industriales, por

ejemplo: EU = material preparado en la Universidad de Edimburgo, VPI-5 = Instituto Politécnico de Virginia y ECR = Exxon Corporate Research (Bosch y Schifter, 1988). Las zeolitas encontradas en Sonora se denominan: clinoptilolita, mordenita, chabazita, entre otras (González y Morales, 1993).

### **Tipos de Zeolitas**

Las zeolitas pueden ser de dos tipos: naturales y sintéticas. Las zeolitas formadas naturalmente son provenientes de rocas volcánicas que se generan a partir de magma basáltico rico en  $\text{SiO}_2$  cuando el magma se pone en contacto con soluciones alcalinas y salinas. Las zeolitas también pueden provenir de sedimentos y se caracterizan por ser aglomerados de cristales de muy pequeñas dimensiones y a menudo con caras cristalinas mal desarrolladas. Las zeolitas sintéticas se obtienen a partir de las ya existentes. Se tiene la ventaja de que se puede variar el tamaño de las cavidades, poros, alterar la composición, intercambiar iones (cationes). Así también se puede modificar la hidratación de las zeolitas dependiendo del uso al que se destinen (Bosch y Schifter, 1988).

## Usos de las Zeolitas

Las características de los poros de las zeolitas son de importancia primordial y dada la regularidad de su estructura, es posible aprovecharlas para tamizar moléculas, atrapar compuestos o adsorber gases (Bosch y Schifter, 1988; Breck, 1980). A continuación se presentan algunos usos atribuidos a las zeolitas:

Intercambio de iones. Por procedimientos clásicos de intercambio iónico se pueden sustituir parte de los iones (cationes) por moléculas de otro tamaño y carga y de esta manera modificar sus propiedades. Tiene aplicaciones especializadas, en tratamientos de desechos nucleares, tratamientos de aguas de desechos tanto industriales como los generados por la población (Bosch y Schifter, 1988; Mumpton, 1980).

Tamices moleculares. Las zeolitas, debido a que presentan diferentes tamaños y formas de poros pueden ser empleadas como tamices moleculares selectivos. (Bosch y Schifter, 1988).

Alimentación animal. Desde hace años, los yacimientos naturales de clinoptilolita y mordenita se han empleado en diversos países como parte de alimentación de animales, así como en el tratamiento de la contaminación generada por el excremento de los mismos. En Japón se añade en alimentos

de aves y cerdos. Los animales tratados con este material aumentaron de peso, calculado por unidad de alimento consumido (Bosch y Schifter, 1988; Mumpton, 1980).

Materiales de adsorción. Las zeolitas también pueden ser empleadas para adsorber una gran variedad de materiales, esto incluye aplicación en secado, purificación de agua y separación de compuestos. Pueden remover agua a presiones parciales bajas, actuando como desecantes muy efectivos ya que pueden absorber gran cantidad de moléculas de agua. Además, tienen la capacidad de remover compuestos químicos orgánicos volátiles del aire, separar isómeros y mezclas de gases (Mumpton, 1980). La capacidad y selectividad alta para adsorber se debe principalmente a dos razones. Pueden separar moléculas en base al tamaño y configuración molecular y adsorber moléculas, debido al momento dipolar y a otras interacciones efectivas que se dan entre las moléculas y la zeolita (Bosch y Schifter, 1988). Perry y Chilton (1986) señalan que la adsorción se da por fuerzas de atracción débiles (electrostáticas) y menos específicas que en la de los enlaces químicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrolló en dos etapas. La primera consistió en diseñar y elaborar las bolsas con zeolita (envase activo) empleando tres diferentes proporciones del mineral. La segunda en evaluar el envase activo fabricado, sobre el comportamiento postcosecha de melón cantaloupe (*Cucumis melo* var. *Reticulatus* 'Copa de Oro') almacenado a 4 °C (85% Humedad Relativa) y posteriores transferencias a 20 °C por 4 días para simular condiciones de mercadeo.

### Materiales

La zeolita se obtuvo de yacimientos localizados en la región de Divisaderos, Sonora, (González y Morales, 1993). El polietileno de baja densidad con el cual se trabajó fue obtenido de Petróleos Mexicanos. Los frutos de melón reticulado (calibre # 12) fueron proporcionados por el campo comercial "Kakullo", localizado en la Costa de Hermosillo.

## Métodos

### **1. Diseño y Elaboración del Envase Activo (EA)**

Se evaluaron tres porcentajes de zeolitas (5, 10 y 15% en peso) en la formulación de las películas de polietileno de baja densidad con la finalidad de optimizar la capacidad de adsorción de etileno y la permeabilidad a los gases (oxígeno y vapor de agua) de la película. Primeramente, la zeolita se trituró en el laboratorio de materiales de la Universidad de Sonora y tamizó a un tamaño de partícula de 325 mesh, utilizando una malla Fisherbrand (Fisher Scientific, EUA). Posteriormente, en el laboratorio de análisis proximal de CIAD, la zeolita se colocó en una mufla Thermolyne Sybron (Modelo 30400, EUA) a 300 °C durante 8 horas con la finalidad de eliminar el agua que pudiera estar presente en los poros y que pudiera interferir con la capacidad para adsorber etileno.

El tamaño de poro y área superficial del aluminosilicato se determinó por el Método Brunauer-Emmett-Teller (BET) en colaboración con la Universidad de Texas. Aproximadamente 1 g de zeolita se colocó en la cámara del equipo, se inyectó gas N<sub>2</sub> a presión y se registró la cantidad que fue adsorbida por efecto de los poros de la zeolita (Lowell y Shields, 1984). El análisis de BET calcula el área superficial y tamaño de poro de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{W ((P_0/P) - 1)} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

Donde: W = Peso del gas adsorbido (Nitrógeno)

P/P<sub>0</sub> = Presión relativa

W<sub>m</sub> = Peso del adsorbente (zeolita)

C = Constante BET

El área superficial se calcula con la pendiente de la curva obtenida al graficar:

$$\frac{1}{W ((P_0/P) - 1)} \text{ vs } \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

El análisis composicional se realizó en los laboratorios CHEMEX, S.A. de C.V. localizado en Hermosillo, Sonora. El rollo de plástico con la zeolita adicionada se obtuvo con un extrusor monohusillo (Killion Extruders, Alemania) utilizando PEBD con 5, 10 y 15% de zeolita en peso y aproximadamente 20 cm de diámetro de burbuja (Figura 3).

### **Determinaciones Realizadas**

Adsorción de etileno por la zeolita. Se determinó la capacidad de la zeolita para adsorber etileno bajo condiciones estáticas a 5 °C siguiendo el método reportado por Soto-Valdez *et al.*, (1999). Las determinaciones se realizaron por quintuplicado, empleando 1 gr del mineral seco en un vial de 40 ml con tapa horadada y septa de silicón, al cual se le desplazó el aire por medio de un

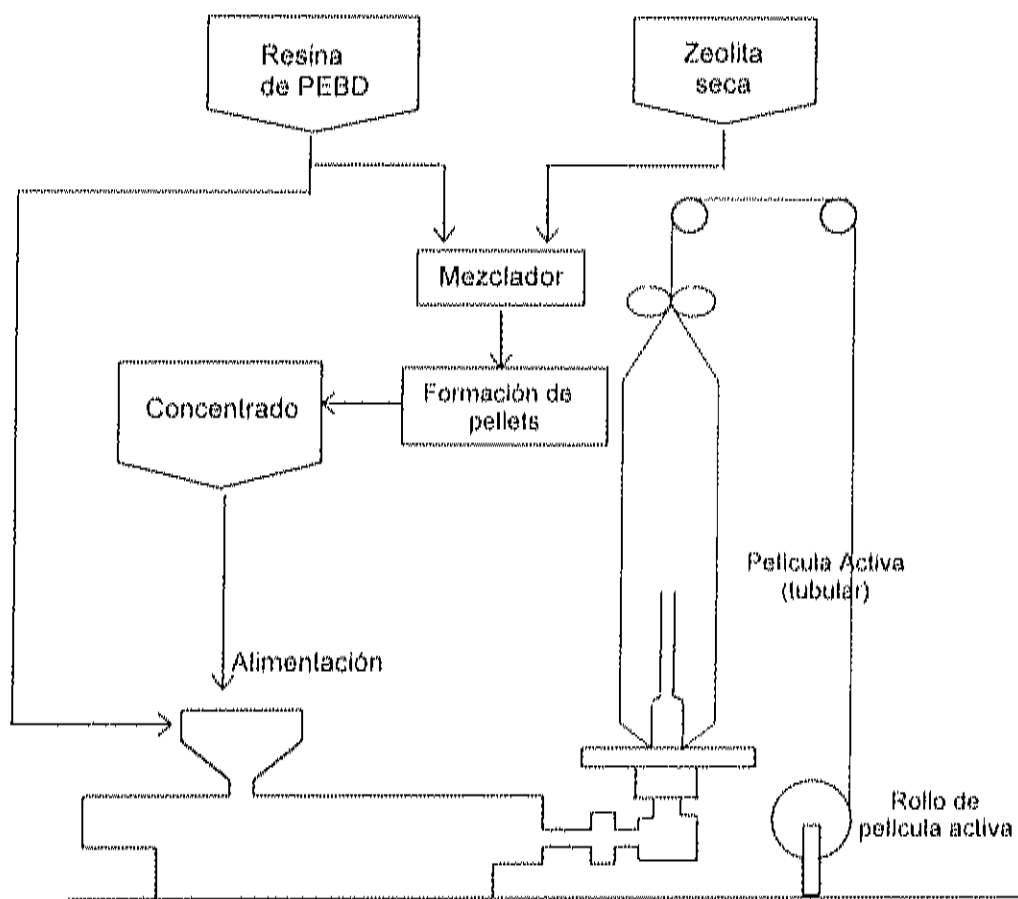


Figura 3. Diagrama del proceso para la obtención del envase activo.



estándar de etileno (1 ppm) balance con  $N_2$  a un flujo de 6.6 ml/seg (Figura 4). Además, se corrieron dos blancos (sin zeolita) bajo las mismas condiciones. Las mediciones se realizaron a diferentes tiempos tomando muestras de 1 ml del espacio de cabeza del vial, analizándose por cromatografía de gases en un cromatógrafo Varian Star 3400 CX (Varian Associates, Inc. EUA), equipado con una columna 8% NaCl en alúmina F-1 con un detector de ionización de flama. La cantidad de etileno adsorbida por el material se calculó por diferencia de la cantidad presente en el espacio de cabeza.

Absorción de agua. La capacidad de absorción de agua de la zeolita se cuantificó de acuerdo a una adaptación del método reportado por ASTM (1995). La determinación se realizó por sextuplicado, monitoreando diariamente, durante 10 días la ganancia en peso de 30 gr de zeolita deshidratada. Las muestras se mantuvieron a 20 °C en recipientes herméticamente cerrados bajo una humedad relativa de 52% (Rockland, 1960). La capacidad de absorción de agua se determinó en base a la tendencia presentada por la curva obtenida al graficar tiempo contra porcentaje de ganancia en peso.

Espesor. Para determinar el espesor de las películas se utilizó un micrómetro digital, modelo DTT (E. J. Cady & Co. Wheeling, Il. EUA). Se realizaron 7 repeticiones.

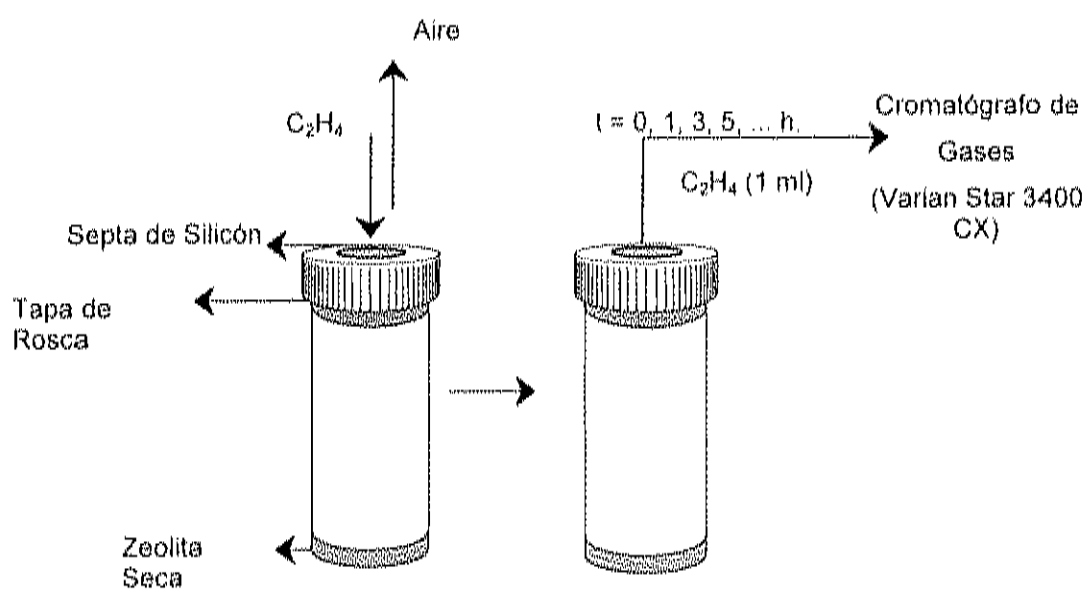


Figura 4. Esquema de toma de muestra para determinar la adsorción de etileno por la zeolita.

Permeabilidad al oxígeno. Para determinar la permeabilidad de las películas, se empleó un medidor de permeabilidad al oxígeno OXTRAN, modelo 100 A con una celda electroquímica de Ni-Cd (Modern Controls, Inc. Minneapolis, Mn. EUA), utilizando una resistencia de 5.3 ohms, de acuerdo al método reportado por la ASTM (1995). Los resultados en permeabilidad se reportaron como:  $\text{cc/m}^2 \cdot \text{día}$

Permeabilidad al vapor de agua. Se realizaron 6 repeticiones de cada bolsa siguiendo el método gravimétrico descrito por la ASTM (1995) y Robertson (1993). La permeabilidad se reportó en gramos de agua ganados por día por área ( $\text{g/m}^2 \cdot \text{día}$ ).

De acuerdo a los preliminares efectuados en melón cantaloupe 'Ovación' y a los resultados obtenidos en permeabilidad a los gases y espesor, se determinó la proporción de zeolita que debía contener el EA (15%). Posteriormente se procedió a fabricar la película definitiva.

Adsorción de etileno por el EA. Para determinar la capacidad del envase activo para eliminar etileno a 5 °C, se modificó la técnica descrita por Soto-Valdez *et al.*, (1999). En viales de 70 ml de capacidad con tapón horadado y septa de silicón, se colocó un trozo de película de aproximadamente 20 x 30 cm, desplazando el aire con un estándar de etileno (1 ppm) con un flujo de 1.1ml/min. Del espacio de cabeza se tomaron muestras de 1 ml para ser analizadas a diferentes tiempos en un cromatógrafo Varian descrito

anteriormente (Figura 4). Las determinaciones se realizaron por triplicado empleando la bolsa de PEBD como testigo bajo las mismas condiciones anteriormente señaladas. La cantidad de etileno adsorbido por el EA se calculó por diferencia.

## **2. Evaluación del EA en Melón Cantaloupe**

Las bolsas elaboradas con la película de PEBD con zeolita al 15 % en peso (EA), se evaluaron en melones cantaloupe (*Cucumis melo* var. *Reticulatus* 'Copa de Oro') cosechados en el campo comercial "Kakullo". El índice de cosecha utilizado fue el desarrollo de la red y el color debajo de ésta, así como el fácil desprendimiento del pedúnculo. El mismo día de la cosecha, se sometieron a un preenfriado a 5 °C durante una noche en cámaras del campo comercial. Posteriormente en los laboratorios del departamento de tecnología de alimentos de origen vegetal del CIAD, se realizó una selección en base a tamaño, peso, color y libre de daños visuales y a continuación se asperjaron con agua clorinada (400 ppm de cloro).

### **Aplicación de los Tratamientos**

Los frutos se sometieron al proceso de envasado como se describe a continuación. Los frutos se dividieron aleatoriamente en tres grupos:

Envase activo (EA). Los frutos de este grupo se envasaron en forma individual en el envase activo.

Envase control (EC). Al igual que el tratamiento anterior, los melones de este grupo se envasaron en forma individual, pero en bolsa comercial (envase o bolsa control). La bolsa comercial fue elaborada con PEBD. La identidad de este plástico fue confirmada por espectrofotometría IR con transformadas de Fourier con biblioteca integrada (Hummel polymer sample library) (Modelo Protege 460).

Control. Estos frutos no se sometieron al proceso de envasado.

Ambas bolsas (EA y EC) presentaron una dimensión de 29.5 x 38 cm sin sellar. Se envasaron frutos de 1,200 a 1,600 g. Para su almacenamiento, los frutos de cada tratamiento se colocaron en cajas de cartón encerado colocando 12 melones por caja. En la Figura 5, se puede observar el esquema general que se siguió para el envasado, almacenamiento y muestreo de los frutos.

### **Condiciones de Almacenamiento**

Los tres tratamientos, se sometieron a las siguientes condiciones de almacenamiento:

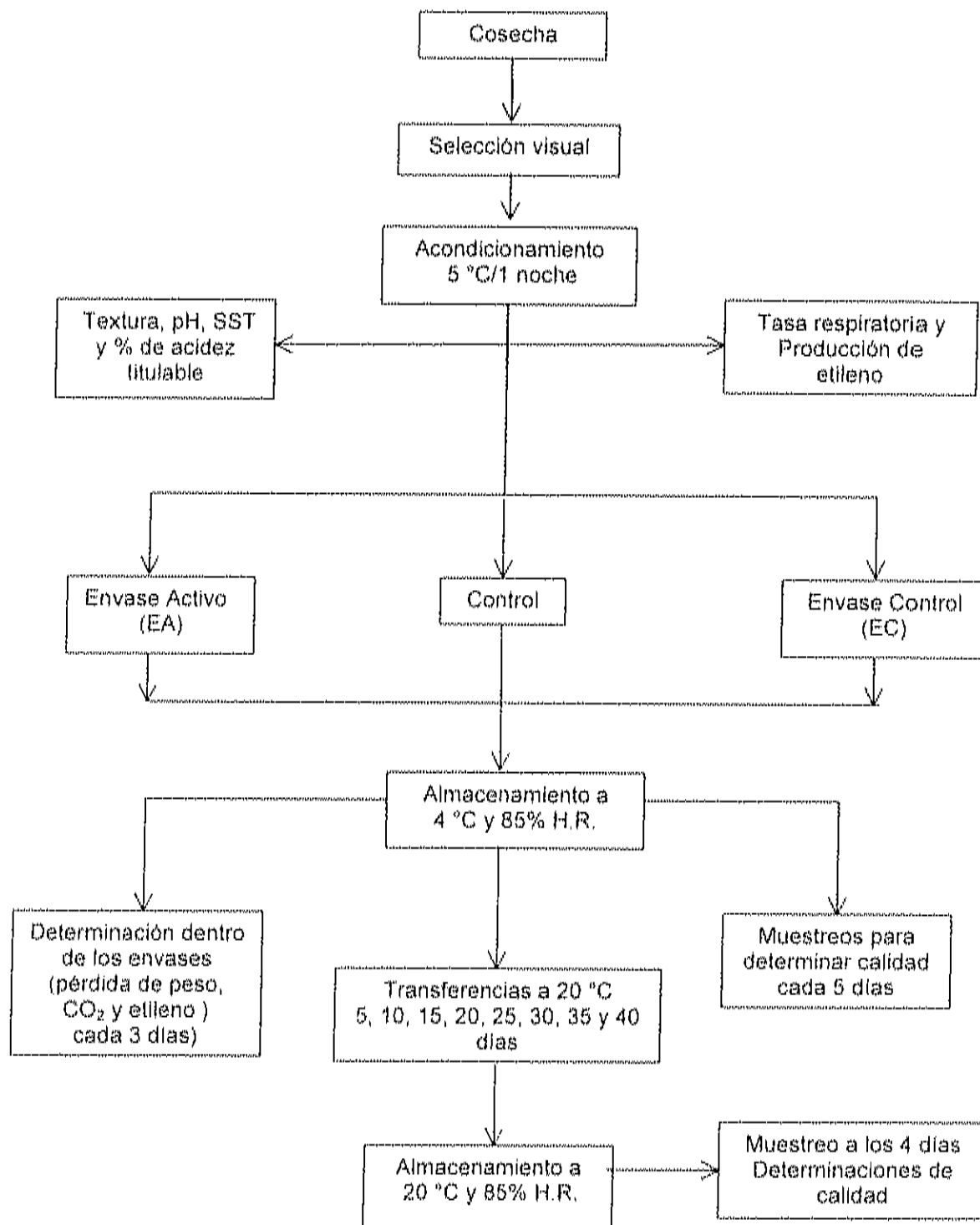


Figura 5. Diagrama del proceso de envasado, almacenamiento y muestreo de melón reticulado cv. 'Copa de Oro'.

Almacenamiento a 4 °C (85% H.R.). Para determinar calidad a diferentes tiempos, se muestrearon 5 frutos por tratamiento se realizó a los 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 días. Durante estos mismos muestreos, por tratamiento se tomaron otros 5 melones para trasladarse a 20 °C. En ambos casos, a los frutos envasados se les retiró previamente de la bolsa o envase.

Almacenamiento a 20 °C (85% H.R.). Para determinar la calidad de los melones bajo condiciones de mercadeo (20 °C), se realizó un sólo muestreo a los 4 días a esta temperatura.

### **Determinaciones Realizadas**

A los envases empleados durante el almacenamiento del fruto se les realizaron las mismas determinaciones de permeabilidad al vapor de agua, al oxígeno y espesor, descritas anteriormente, en el apartado 1.

Tasa respiratoria y producción de etileno. Para el establecimiento del estado de madurez de los frutos, se determinó la tasa respiratoria y la producción de etileno como se describe a continuación. Los frutos se colocaron en recipientes de plástico de 4.3 l de capacidad, los cuales se conectaron a trenes de respiración con flujo de aire húmedo y constante. Diariamente, se tomaron muestras de los gases en la manguera de salida (1 ml) para analizarse por cromatografía en un cromatógrafo de gases (Varian Star 3400 CX) equipado

con una columna Hayasep N (2 m x 2.03 cm. de diámetro interno). El cromatógrafo se equipó con dos detectores, uno de ionización de flama para determinar el etileno y otro de conductividad térmica para la detección de CO<sub>2</sub>. Para la cuantificación de los gases, se utilizaron estándares de concentración conocida (CO<sub>2</sub> al 5% y etileno a 10 ppm). Se emplearon las siguientes formulas:

$$\text{ml CO}_2/\text{Kg.h} = \frac{(\text{Altura pico de la muestra})(\text{Concentración del estándar}/100)(\text{Flujo ml/h})}{(\text{Altura del pico estándar})(\text{Kg de muestra})}$$

$$\mu\text{lC}_2\text{H}_2/\text{Kg.h} = \frac{(\text{Altura del pico de la muestra})(\text{Concentración del estándar})(\text{Flujo en l/h})}{(\text{Altura del pico estándar})(\text{Kg de muestra})}$$

Concentración de etileno y CO<sub>2</sub> dentro de los envases activo y envase control (EC). Seis frutos envasados por tratamiento, se monitorearon cada 3 días para determinar la concentración de los gases dentro de las bolsas o envases. Se tomaron muestras de 1 ml, del espacio de cabeza dentro de las bolsas. Los gases se analizaron por cromatografía de gases empleando el equipo descrito previamente. Se utilizaron estándares de CO<sub>2</sub> al 5% y etileno con una concentración de 10 ppm. Para la cuantificación de los gases analizados, se emplearon las fórmulas para sistema cerrado:

$$\text{mlCO}_2/\text{Kg.h} = \frac{(\text{Altura del pico de la muestra})(\text{Concentración del estándar}/100)(\text{Volumen})}{(\text{Altura del pico estándar})(\text{Kg de muestra})}$$



$$\mu\text{l Etileno/Kg.h} = \frac{(\text{Altura del pico de la muestra})(\text{Concentración del estándar})(\text{Volumen})}{(\text{Altura del pico estándar})(\text{Kg de muestra})}$$

#### Determinaciones de calidad bajo condiciones de almacenamiento y mercadeo.

Para monitorear la calidad del melón durante el almacenamiento, se realizaron los siguientes análisis:

**Pérdida de peso.** Para establecer el porcentaje de pérdida de peso de los frutos cada tercer día se monitoreó el peso de 20 melones previamente marcados por tratamiento, durante el almacenamiento a 4 °C y durante la simulación de mercadeo (20 °C). Se empleó una balanza de precisión Sartorius (Brinkmann Instruments Co., Westbury, New York). Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso fresco.

**Firmeza.** Se evaluó la firmeza de 5 frutos por tratamiento, con un penetrómetro Chatillon, modelo DFG-50 equipado con punzón cónico de 8 mm. Se retiró previamente el pericarpio según las recomendaciones de Bourne (1980). Los resultados se expresaron en Kg-fuerza.

**Contenido de sólidos solubles totales, pH y % de acidez titulable.** Estas variables se determinaron siguiendo las técnicas reportadas por la AOAC (1990). La toma de muestra se realizó de acuerdo a la técnica reportada por Mackey *et al.*, (1973), quienes señalan que el fruto se debe dividir en cuatro

partes empleando para los análisis las secciones alternas, es decir, un cuarto de la zona peduncular y el otro de la parte floral. El % de acidez titulable se expresó como % de ácido cítrico.

### Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se empleó un diseño de experimentos completamente al azar en el cual los tratamientos tuvieron un arreglo factorial, que se describe a continuación:

#### **Factores y Niveles**

Factor 1. Envase. Presentando tres niveles: envase activo, envase control y control.

Factor 2. Tiempo de almacenamiento a 4 °C, con 9 niveles (días de almacenamiento): 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 días.

Factor 3. Tiempo de almacenamiento a 4 °C + tiempo de almacenamiento a 20 °C, con 1 nivel: 4 días.

Para determinar el efecto de los factores sobre las variables respuesta se realizó un análisis de varianza y para establecer diferencias entre los tratamientos, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Tukey-Kramer, con un nivel de significancia del 5% analizándose mediante el protocolo establecido por el Sistema de Análisis estadístico NCSS (Hintze, 1997).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Diseño y Elaboración del Envase Activo (EA)

#### **Caracterización de la Zeolita**

La zeolita utilizada para elaborar el EA provino de depósitos minerales en los que predominan grandes cubos de la especie chabazita, con cantidades menores de clinoptilolita, heulandita, crionita y cuarzo. De acuerdo al análisis composicional, la zeolita presentó mayor proporción de calcio que de potasio y sodio (Cuadro 2), lo que hace suponer que se trata de chabazita (Meier y Olson, 1992; Bosch y Schifter, 1988; Breck, 1980), y concuerda con lo reportado por González y Morales (1993). La presencia de otros minerales se debe a que al ser de origen mineral y natural, estos presentan sistemas multifásicos complejos (Mir *et al.*, 1994).

Considerando que los componentes de un material de envase están controlados de acuerdo a su toxicidad, en este trabajo se trató de asegurar que el material elaborado cumpliera con especificaciones existentes en nuestro país para envases en contacto con alimentos. El material analizado contiene algunos metales dado su origen mineral. Al estimar la concentración final de los metales en el EA (Cuadro 3), se encontró que los

Cuadro 2. Análisis composicional de la zeolita empleada para la fabricación del EA<sup>1</sup>. (Datos expresados en porcentaje).

Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca	CaO	K	K <sub>2</sub> O	Na	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>
6.81	14.92	1.99	3.16	1.08	1.51	1.26	1.50	55.17

<sup>1</sup> Valores medios de 4 repeticiones.

Cuadro 3. Análisis de metales en la zeolita y valores estimados en el EA\*.

	Ag ppm	As ppm	Cd ppm	Cr ppm	Hg %	Pb ppm
Zeolita	0.4	14	<0.5	3	-	16
EA	0.006	0.233	<0.008	0.04	-	0.26

\* 2.501 g de zeolita por bolsa.

NOM-130-SSA-1-1995. Especifica como límite máximo 1 ppm de plomo, 1 ppm de arsénico y 0.2 ppm de cadmio en materiales de envase para vegetales y derivados.

niveles están dentro de los límites permitidos por la Norma Oficial Mexicana para envases metálicos en contacto con alimentos (NOM-130-SSA1-1995). La norma especifica en el material de envase para vegetales y derivados, un límite máximo de 1 ppm de plomo, 1 ppm de arsénico y 0.2 ppm para cadmio. Al no existir en México otra norma con que comparar los valores obtenidos, se observa que los niveles de estos metales en el EA están dentro de los límites especificados por la Norma Oficial.

Según reporte del Boletín de Contaminación y Toxicología Ambiental (1999), los niveles tóxicos de cadmio en agua para el cultivo de Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) se redujeron mediante el empleo de zeolita. De acuerdo a los resultados, no se encontró a este metal en el cuerpo del pez, no se observaron efectos colaterales en la salud del mismo y se mejoraron los parámetros bioquímicos y de crecimiento (James y Sampath, 1999). De acuerdo a Bosh y Schiffer (1988) y Mumpton (1980), las zeolitas se emplean en alimentación animal con la finalidad de incrementar la eficiencia alimentaria.

La zeolita utilizada en este trabajo fue la que presentó mejor capacidad para eliminar etileno de acuerdo a un trabajo previo donde se caracterizaron diferentes tipos de zeolitas (naturales y sintéticas) a 20 °C con respecto a esta propiedad (Soto-Valdez *et al.*, 1999). La Figura 6 muestra el comportamiento de adsorción de etileno a 5 °C de la zeolita. Se puede observar una disminución en la concentración de etileno de 1 a 0.35 ppm

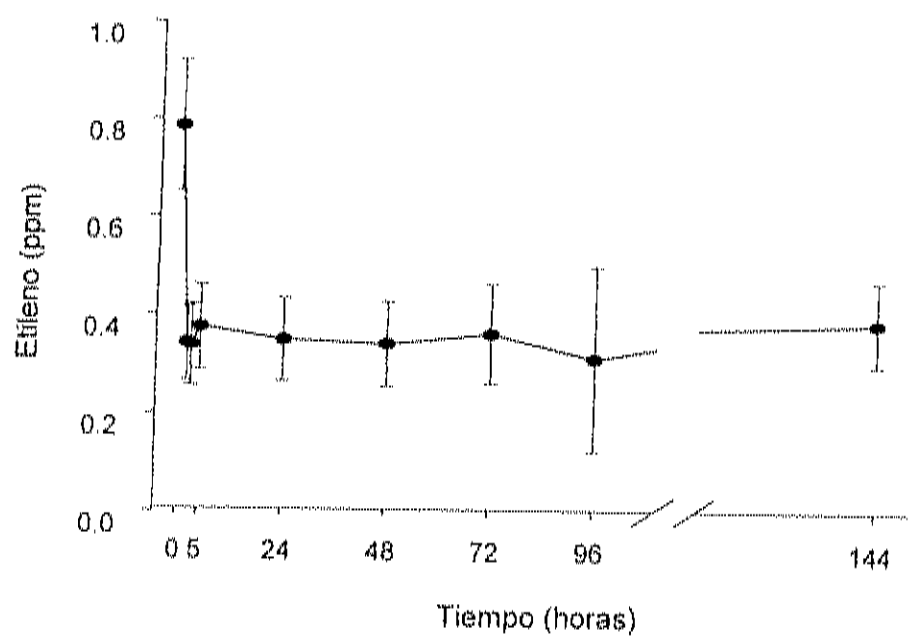


Figura 6. Adsorción de etileno por la zeolita bajo condiciones estáticas (*in vitro*) a 5 °C. Valores medios de 5 repeticiones.

(64.9%) durante las primeras 2 horas (equivalentes a 0.026  $\mu$ l) cuando se colocó 1 gramo de zeolita en un volumen de 40 ml a una concentración de 1 ppm del gas. El resto del tiempo, los niveles se mantuvieron constantes. El comportamiento de la zeolita en relación a la reducción de etileno, concuerda con lo reportado por Soto-Valdez *et al.*, (1999). Sin embargo, al comparar los resultados obtenidos en ambos estudios, se deduce que la temperatura tuvo un efecto directo en la adsorción de etileno. A 20 °C, durante las primeras 3 horas, los niveles alcanzaron 0.2 ppm de etileno, en cambio, a 5 °C, se alcanzaron valores ligeramente mayores a 0.3 ppm. Bosch y Schifter (1988), señalan que la capacidad de adsorción de las zeolitas aumenta proporcionalmente conforme aumenta la temperatura debido a la alta estabilidad térmica que presentan las zeolitas.

Debido a que la zeolita deshidratada tiende a absorber humedad del medio ambiente y esto podría provocar una competencia con el etileno por los sitios activos (poros), se determinó su capacidad de absorber vapor de agua (Figura 7). Se pudo observar que al día 4, la zeolita ganó aproximadamente el 10% de su peso bajo una humedad relativa del 52%. Posteriormente, la ganancia en peso debida a la absorción de agua, se mantuvo constante.

De lo anterior se deduce que el etileno, bajo condiciones *in vitro*, puede ser adsorbido antes de que los poros de la zeolita se saturen con las moléculas de agua presentes en el medio. La rápida adsorción del etileno



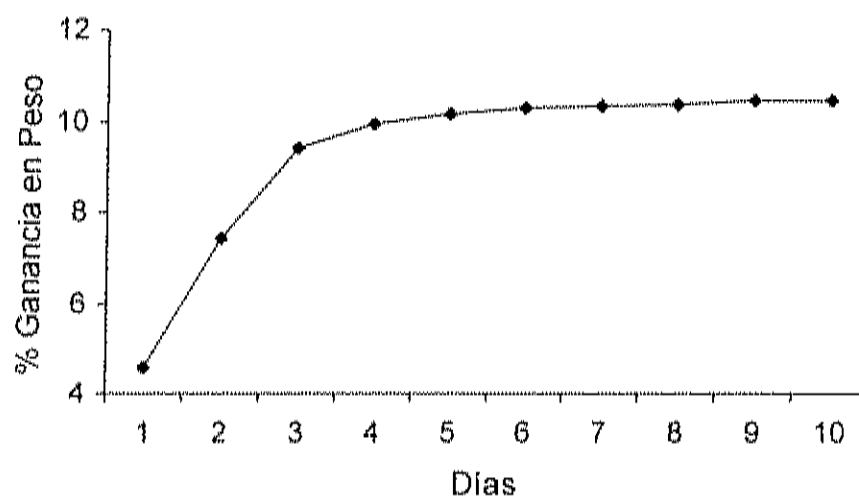


Figura 7. Absorción de agua por la zeolita a 25 °C y 52% de H.R.  
Valores medios de 6 repeticiones.

quizás se deba a que la zeolita empleada presenta una área superficial grande ( $175 \text{ m}^2/\text{g}$ ) (Cuadro 4), por lo que las moléculas del etileno (gas) van a interactuar o interaccionar con las cargas presentes en la superficie del material debido a la presencia de cationes como  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ , y  $\text{K}^+$ . Las moléculas de agua, en cambio, tienden a ligarse a moléculas del interior de la red de aluminosilicatos (Bosch y Schifter, 1988). Para fines comparativos en el cuadro 4, se presentan los datos para 2 tipos de zeolita, una natural (clinoptilolita) y otra sintética (A4).

Villberg *et al.*, (1998), demostraron que las zeolitas incorporadas a tuberías de PEAD tienen la capacidad de adsorber moléculas de compuestos que confieren malos olores y sabores al agua. De acuerdo a los resultados reportados, las zeolitas empleadas en contacto con el agua, aún cuando formaban parte del plástico, adsorbieron compuestos tales como aldehídos y cetonas. De la misma forma Gustafsson *et al.*, (1992), demostraron que moléculas que confieren malos olores y sabores a materiales de poliolefinas empleadas para envase también fueron eliminados mediante el empleo de zeolitas. Por otro lado, Nguyen y Tanner (1998), estudiaron la capacidad de 2 zeolitas naturales para adsorber nitrógeno amoniacal de agua de desecho en granjas. Los resultados indican que ambas zeolitas fueron efectivas para dicho efecto.

Cuadro 4. Área superficial<sup>1</sup> y tamaño de poro de la zeolita empleada en la elaboración del EA (A) comparada con otra zeolita natural (clinoptilolita) (B) y con una artificial (A4) (C).

	Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	Diámetro de Poro (Å)	Volumen de Poro (cc/Å/g)
A	174.90	38.24	3.94
B	11.60	45	0.15
C	12.96	40.63	0.51

<sup>1</sup> Área expuesta por 1 gr de material pulverizado.

## Elaboración del EA

Al analizar los resultados de la caracterización del EA con las diferentes proporciones de zeolita, se observó que la película elaborada con 5% presentó significativamente los valores más altos en espesor, y más bajos niveles de permeabilidad al oxígeno y al vapor de agua. Las películas elaboradas con el 10 y 15% no presentaron valores significativamente diferentes de espesor y permeabilidad a los gases (Cuadro 5). En base a esto, se optó por elaborar el EA con el 15% de zeolita con el fin de proporcionar al envase un mayor potencial para eliminar etileno. Además, la película con esta proporción fue la que presentó más homogeneidad en espesor en toda la extensión de la película. La variación en permeabilidad encontrada quizás se deba a que los lotes de las películas no eran uniformes en espesor. Según establece Soto-Valdez *et al.*, (1998), se ha observado que uno de los problemas que presentan algunas de las películas producidas en México es que no mantienen constante la calidad en los lotes producidos. Además, el equipo utilizado para obtener las películas es de planta piloto por lo que no tiene la precisión de un equipo industrial. La ventaja del equipo de planta piloto, es que se pueden procesar desde 2 Kg de plástico, mientras que en el industrial, el mínimo es de 400 Kg.

Cuadro 5. Permeanza\* al oxígeno, velocidad de transmisión de vapor de agua (VWTR) y espesor de las películas preliminares elaboradas con diferentes proporciones de zeolita<sup>1</sup>.

Proporción	Permeanza al Oxígeno <sup>2</sup> (cc/m <sup>2</sup> .día)	Espesor <sup>3</sup> (µm)	VWTR <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> .día)	Espesor <sup>3</sup> (µm)
5 %	3360 <sup>a</sup> ± 997.3	90.42 <sup>a</sup> ± 14.34	4.96 <sup>a</sup> ± 0.51	83.28 <sup>a</sup> ± 18.32
10 %	11483 <sup>b</sup> ± 4035.0	82.07 <sup>a</sup> ± 12.72	5.45 <sup>a</sup> ± 0.99	81.95 <sup>a</sup> ± 7.21
15 %	9630 <sup>b</sup> ± 2067.3	82.04 <sup>a</sup> ± 4.61	6.05 <sup>a</sup> ± 1.18	79.16 <sup>a</sup> ± 3.23

\*No incluye al espesor en las unidades

<sup>1</sup>Valores con letras diferentes dentro de cada columna son significativamente diferentes (p<0.05).

<sup>2</sup>Valores medios de 6 repeticiones por proporción de zeolita.

<sup>3</sup>Valores medios de espesor de muestras medidas

### **Caracterización de los Envases Empleados en el Envasado de Melón**

Los envases plásticos empleados en el envasado del fruto fueron: EA (15% peso de zeolita) y polietileno de baja densidad (PEBD) comercial como envase control (EC). Al comparar las permeabilidades a los gases y el espesor de ambas películas (EA y EC), se encontraron diferencias significativas en las variables evaluadas (Cuadro 6). El EA presentó menor permeabilidad al oxígeno, pero mayor permeabilidad al vapor de agua comparado con el EC. El espesor fue uno de los factores que determinó dicho comportamiento, debido a que según señalan Jenkins y Harrington (1991) y Robertson (1993), a mayor espesor, el paso de los gases a través de la estructura del plástico se ve restringida.

La permeabilidad está en función del acomodo o del arreglo de las cadenas del polímero plástico, además del tipo de atracción establecida entre éste y la molécula del permeante, regida principalmente por fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno (Guarda y Galotto, 2000), por lo que probablemente hubo una interacción, entre las moléculas del oxígeno y la zeolita en el plástico, restringiendo el paso del gas a través del polímero (EA).

Al comparar la permeabilidad al oxígeno de las películas elaboradas para el diseño del EA (Cuadro 5) con los resultados presentados en el Cuadro 6, se puede observar que a pesar de que la película contiene el mismo porcentaje de zeolita (15%) y espesores semejantes, los valores son

Cuadro 6. Permeanza\* al oxígeno, velocidad de transmisión de vapor de agua (VWTR) y espesor de las películas empleadas en el envasado de melón reticulado (*Cucumis melo* 'Copa de Oro')<sup>1</sup>.

Película	Permeanza al Oxígeno (cc/m <sup>2</sup> .día) <sup>2</sup>	Espesor (µm)	VWTR (g/m <sup>2</sup> .día) <sup>3</sup>	Espesor (µm)
Envase Activo	2325 <sup>a</sup> ± 201.86	92.2 <sup>a</sup> ± 1.43	13.03 <sup>a</sup> ± 0.65	97.74 <sup>a</sup> ± 6.14
Envase Control	8433.3 <sup>b</sup> ± 152.75	16.45 <sup>b</sup> ± 1.22	6.03 <sup>b</sup> ± 0.67	16.76 <sup>b</sup> ± 1.19

\*No incluye al espesor en las unidades.

<sup>1</sup>Valores con letras diferentes dentro de cada columna son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

<sup>2</sup>Valores medios de 7 repeticiones

<sup>3</sup>Valores medios de 6 repeticiones

10 veces diferentes. Las diferencias en los valores encontrados tal vez se deba a que durante el proceso de elaboración de las películas, la zeolita no se homogenizó bien a lo largo del polímero dando como resultado las variaciones presentadas. Es importante señalar, que de acuerdo a los valores presentados por el EA, se decidió realizar perforaciones (poros) de aproximadamente 50  $\mu$  de diámetro (25 de cada lado de la bolsa) para facilitar la difusión de los gases del interior del envase hacia el exterior y evitar de esta manera su acumulación y los daños que pudiera ocasionar a los frutos de melón (Exama *et al.*, 1993).

La protección de los alimentos al intercambio de gases con el medio ambiente depende de la integridad del envase y de la permeabilidad del material plástico. Robertson (1993) y Guarda y Galotto (2000), señalan que existen dos procesos por los cuales los gases y el vapor pueden pasar a través de materiales poliméricos. El efecto poro, en el cual los gases fluyen a través de poros microscópicos, agujeros y grietas en el material. El otro proceso es debido al efecto solubilidad-difusión. Este proceso implica tres etapas. Los gases (permeante) se disuelven en la superficie del polímero (adsorción), se difunden con un gradiente de concentración y a lo largo del espesor de la película. Finalmente, se evaporan en la otra superficie del material (desorción del permeante). Guarda y Galotto (2000), mencionan que si en un envase plástico se considera un poro capilar cilíndrico de diámetro ( $d$ ) y longitud ( $l$ ), igual al espesor de la pared del envase que separa dos gases o un gas a concentraciones diferentes, la permeabilidad va a



dependen de las características, radio de poro y de la compatibilidad permeante-polímero.

El EA presentó un diámetro de poro de  $50 \mu$  y un espesor de  $92.2 \mu$ , por lo tanto el valor  $d/l$  fue igual a 0.54. Guarda y Galotto (2000), señalan que en un valor  $d/l$  comprendido entre 0,2 y 20, se da simultáneamente la difusión molecular y el efecto poro, proceso que se dio en el EA dado el valor  $d/l$  que presentó.

Por lo anterior, se deduce que las perforaciones realizadas (poros) afectaron la permeabilidad de la película. Otro factor que afectó la permeabilidad es el grado de unión de las cadenas que forman la estructura del polímero. Si existen fuerzas que mantienen unidas a las cadenas, se producen menos cambios conformacionales en la estructura, traduciéndose en menos huecos, por lo tanto, el polímero presenta menor permeabilidad (Guarda y Galotto, 2000). Por lo que, la presencia del mineral dentro de la formulación provocó la existencia de menor cantidad de huecos por lo tanto, mayor obstáculo para el paso del oxígeno, contrario a lo que sucedió con el EC, es decir, no existen moléculas barreras por lo que el paso del gas es más libre, además el espesor presentado por este envase fue menor.

Para confirmar la identidad del EC, debido a que se obtuvo en un local comercial, se sometió a espectroscopía Infrarroja (IR). Según se observa en el espectro IR y de acuerdo a la biblioteca integrada al espectrofotómetro IR, la bolsa control está elaborada con polietileno

de baja densidad (Figura 8). También se detectó la presencia de señales en aproximadamente  $1000$  y  $500\text{ cm}^{-1}$  que pueden corresponder a aditivos (Willard *et al.*, 1984). Estos compuestos se adicionan con la finalidad de alterar las propiedades físicas del plástico para de esta manera, poder extruirlas a calibres pequeños, lograr un menor espesor y más flexibilidad (Morton, 1993), lo que se vió reflejado en su alta permeabilidad al oxígeno.

Adsorción de etileno por el EA. Se evaluó la capacidad de adsorción de etileno del EA a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a través del tiempo. La cantidad estimada de zeolita en el trozo de película ( $570\text{ cm}^2$ ) fue de  $0.6\text{ g}$ . En la Figura 9, se observa que la cantidad de etileno se redujo significativamente a partir del día 2. La concentración de etileno ( $1\text{ ppm}$ ), disminuyó  $26.6\%$ , alcanzándose valores de aproximadamente  $0.7\text{ ppm}$  conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento. Considerando que  $1\text{ g}$  de zeolita pura elimina  $0.45\text{ ppm}$  de etileno en  $48\text{ horas}$  y un área de película de  $570\text{ cm}^2$  ( $0.6\text{ g}$  de zeolita), como la utilizada en el experimento elimina  $0.12\text{ ppm}$ , un área de película conteniendo  $1\text{ g}$  de zeolita eliminará  $0.27\text{ ppm}$ . Lo anterior corresponde al  $44.4\%$  de la capacidad de la zeolita pura. Por lo tanto, la zeolita en la

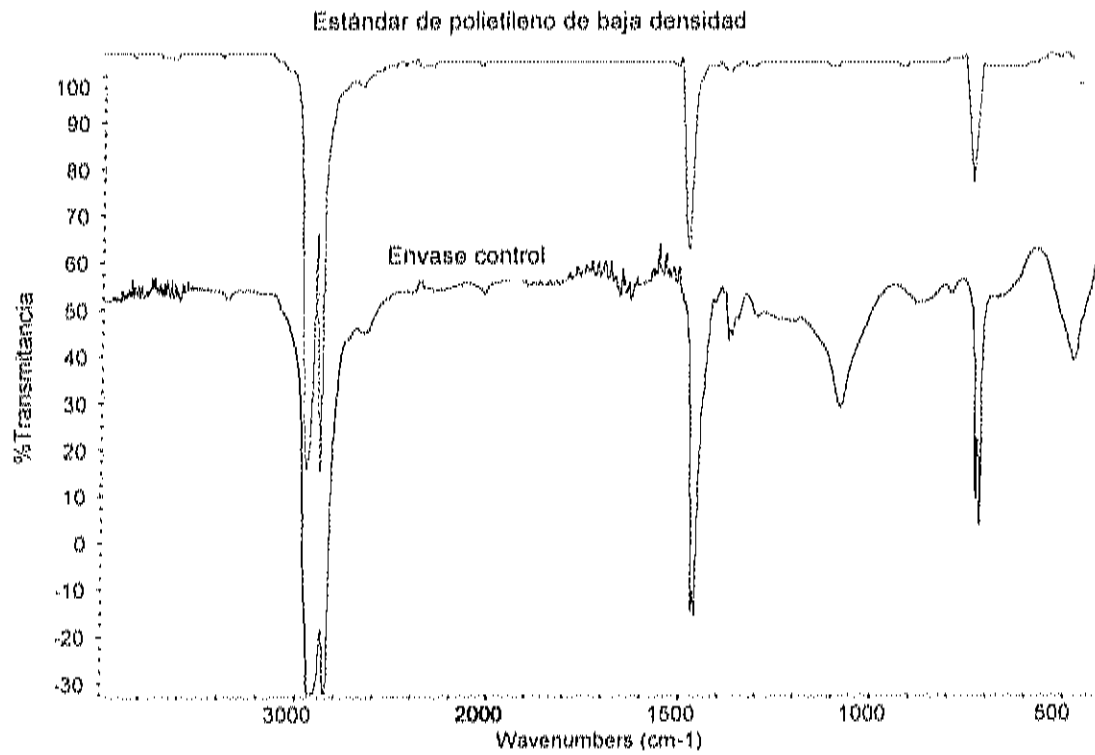


Figura 8. Espectro infrarrojo del envase control y del estándar de PEBD.

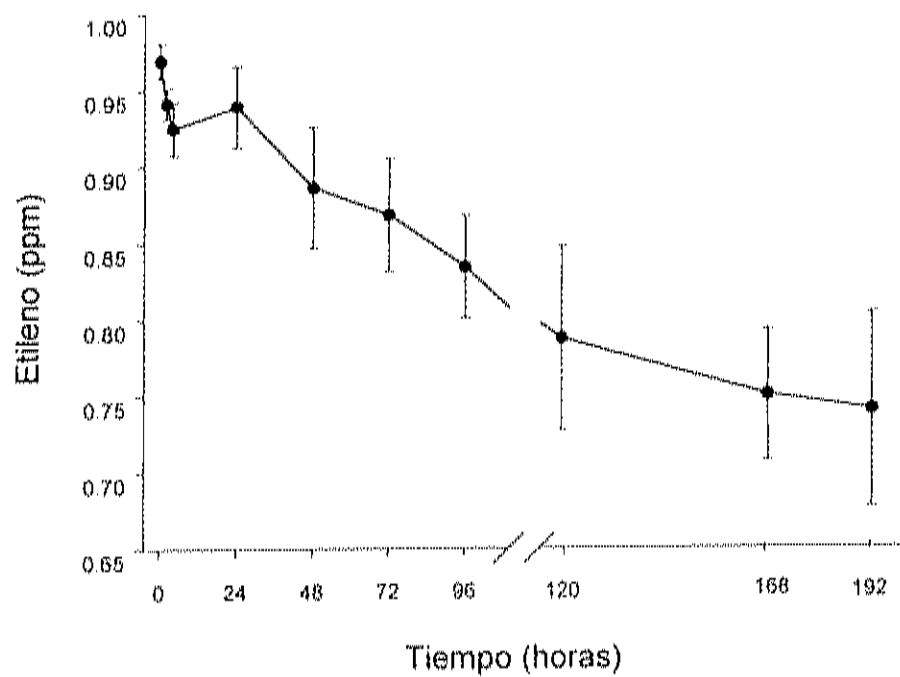


Figura 9. Adsorción de etileno por el EA a 5 °C. Promedio de 4 repeticiones.

película perdió un 65.6% de su capacidad original, comportamiento esperado debido a que la molécula de etileno tiene que difundirse a través del polímero antes de alcanzar a la zeolita. Además, durante la obtención de la película, parte de sus sitios activos pudieron haberse bloqueado.

## 2. Evaluación del EA Aplicado en Melón Reticulado

### **Estado de Madurez del Melón**

Los frutos de melón fueron cosechados con 10.8 % de sólidos solubles totales, presentando al momento de la cosecha la red bien desarrollada y un color verde-amarillo debajo de ésta. Además, se encontraban en el pico climatérico ya que los frutos de melón presentaron al primer día de la cosecha (20 °C) un incremento en la tasa respiratoria y un aumento en la producción de etileno durante el segundo día (Figura 10). Posteriormente los frutos mostraron una reducción en la producción de ambos gases, observándose un comportamiento climatérico. Por lo tanto, se considera que los frutos de melón había iniciado su madurez comestible.

Shellie (1999), señala que el inicio de la madurez en melones reticulados, está marcado por un incremento climatérico en el etileno endógeno, el cual coincide con el desarrollo de la zona de abscisión. Este mismo autor también

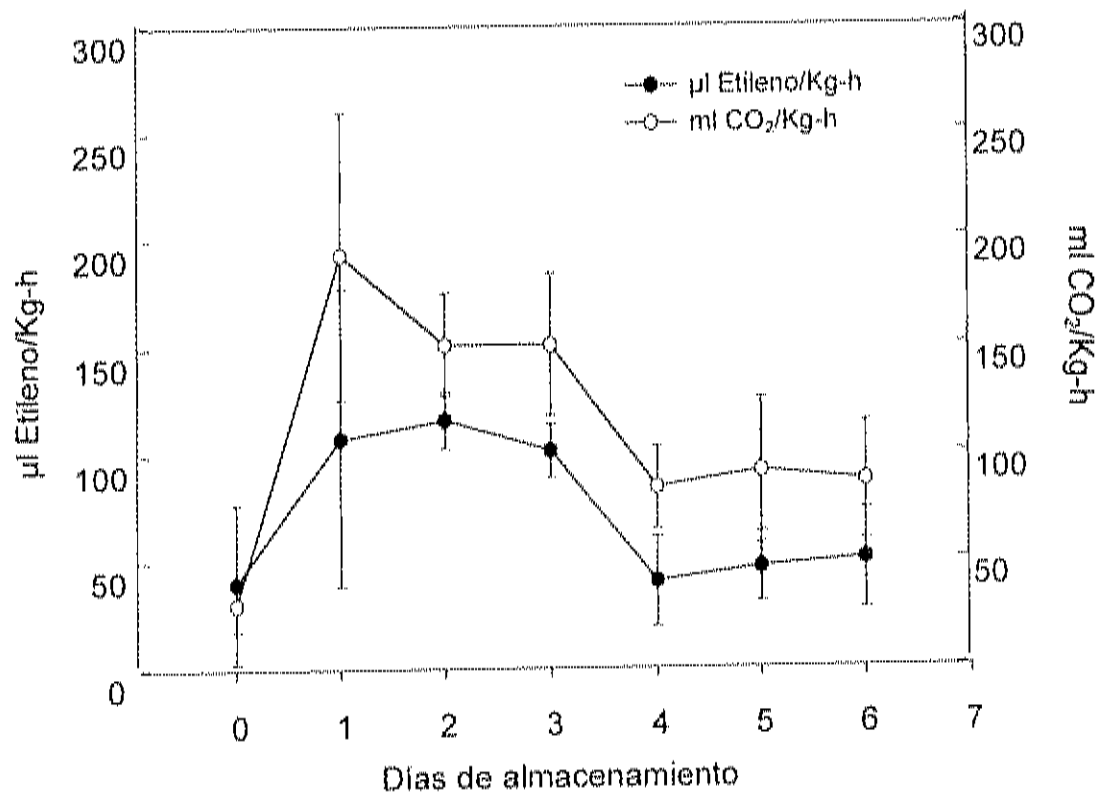


Figura 10. Producción de etileno y tasa respiratoria de melón reticulado (*Cucumis melo* 'Copa de Oro') a 20 °C. Valores medios de 6 repeticiones.

indica que la concentración interna de este gas se incrementa de 0.1 a 100 ppm, lo que se observó en los frutos de este estudio, los cuales presentaron un máximo en el etileno de 116  $\mu\text{l}/\text{Kg}\cdot\text{h}$  al tercer día, equivalente a 116 ppm/hr.

En lo referente a la producción de  $\text{CO}_2$ , los melones presentaron su máxima concentración al segundo día de almacenamiento a 20 °C con valores de 193.3 ml  $\text{CO}_2/\text{Kg}\cdot\text{h}$ . Estos valores son mayores a los que reporta Hardenburg *et al.*, (1990) para este tipo de frutos. Dichos autores reportan que la producción de  $\text{CO}_2$  de melón cantaloupe es de 45 a 65 ml/ $\text{Kg}\cdot\text{h}$ , dependiendo de la variedad, aproximadamente 25% menor a lo encontrado en los frutos empleados en este estudio. Las diferencias en la producción de  $\text{CO}_2$  tal vez pueda atribuirse a las diferencias en las variedades de los frutos.

### **Concentración de Etileno y $\text{CO}_2$ dentro de los EA y EC.**

Una de las consecuencias de la utilización de las películas plásticas es la modificación de la atmósfera que rodea a los frutos. En las figuras 11 y 12 se observa la concentración de etileno y de  $\text{CO}_2$ , respectivamente dentro de los envases EA y EC, almacenados a 4 °C. La concentración máxima de etileno se detectó al tercer día en ambas bolsas, siendo mayor en el EA; sin embargo, a partir del quinto día, se observó un decremento más pronunciado en éste envase, alcanzando los niveles más bajos a partir del día 19 (2.74 $\mu\text{l}$ , en cambio, en el EC el mínimo se alcanzó hasta el día 31 (3.04  $\mu\text{L}$ ). A pesar de lo

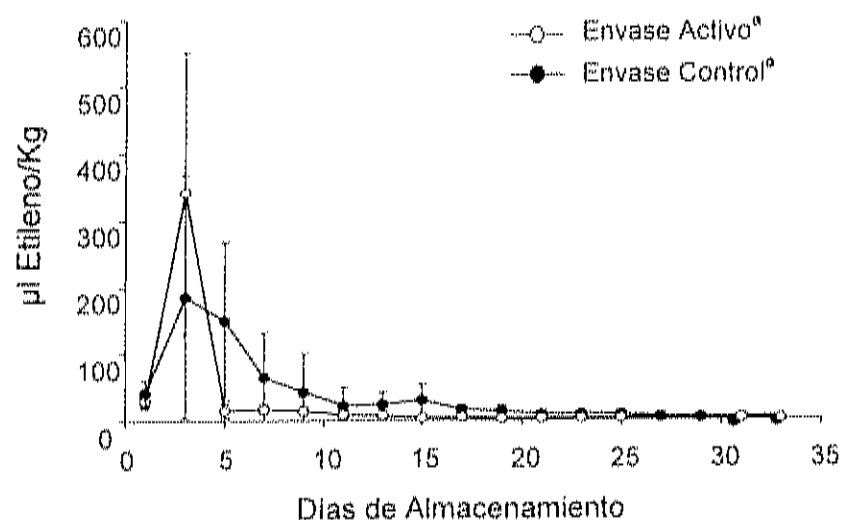


Figura 11. Concentración de etileno dentro del envase activo y control de melón reticulado durante el almacenamiento a 4 °C y 85% H.R. Promedio de 6 repeticiones.

<sup>a</sup>Tratamientos con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey.



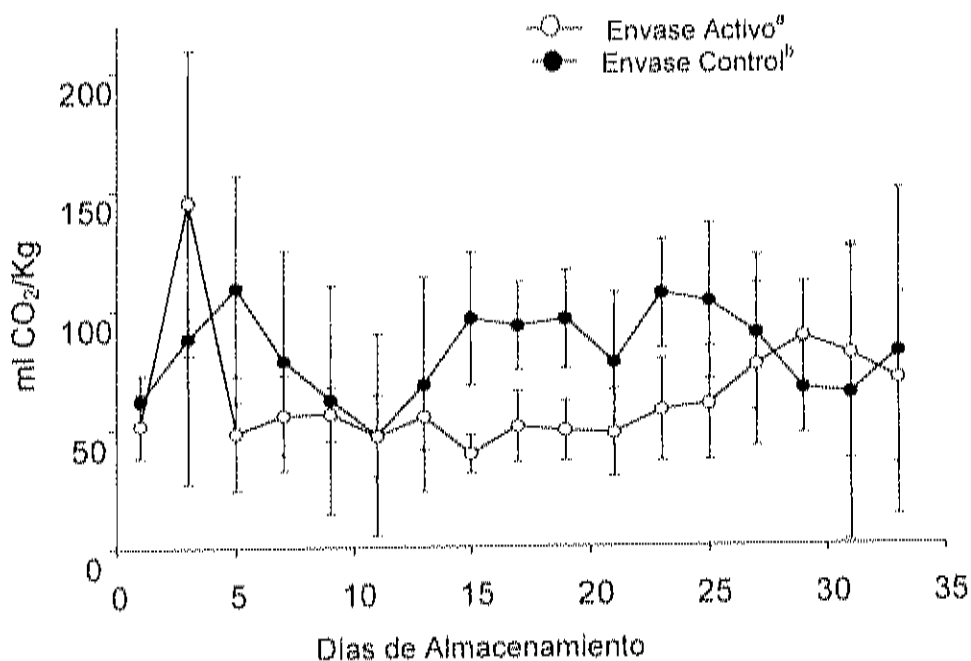


Figura 12. Concentración de CO<sub>2</sub> dentro del envase activo y control de melón reticulado durante el almacenamiento a 4 °C y 85% de H.R. Promedio de 6 repeticiones.

<sup>a</sup>Tratamientos con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey.

anterior, no se encontraron diferencias significativas para ambos envases. En general, la tendencia en la acumulación de etileno en ambos envases durante el almacenamiento fue similar.

Para el caso de  $\text{CO}_2$  en el EA, también se observó la máxima acumulación de este gas al tercer día y para el EC al quinto día, posteriormente los niveles de este gas disminuyeron, siendo también menores en el EA. De acuerdo al análisis estadístico realizado, la concentración de  $\text{CO}_2$  acumulado en el EC (85.35 ml  $\text{CO}_2$  /Kg-h) fue significativamente mayor comparada con el EA 66.48 ml  $\text{CO}_2$  /Kg-h. Considerando que los niveles de  $\text{CO}_2$  afectan la producción de etileno, el empleo de la zeolita en el EA pudo favorecer que los niveles de este gas disminuyeran más rápido comparado con el EC (día 5 al 25), propiciando además una menor acumulación de  $\text{CO}_2$  dentro de la atmósfera que rodeó a los frutos.

Inicialmente, la velocidad de respiración del producto es mucho más alta comparada con la velocidad de intercambio de los gases (permeación) en la película. Durante las primeras horas después del envasado, el flujo de intercambio de gases a través de la película no es suficiente para compensar la cantidad de gases producidos por el metabolismo del fruto (Lee *et al.*, 1996), ocasionando que los gases se acumulen dentro del envase, lo que se observó al tercer día. Eventualmente, las diferencias en los flujos de producción e intercambio de gases desaparece por efecto de un gradiente de concentración,

estableciéndose concentraciones de equilibrio dentro del envase, lo que ocurrió con el  $\text{CO}_2$ , a partir del séptimo día y para el etileno a partir del quinto.

Debido a que en las figuras 11 y 12 no es posible apreciar los niveles de etileno y  $\text{CO}_2$  en la atmósfera de las bolsas y los frutos presentan límites de tolerancia a estos gases, se calculó las concentraciones acumuladas dentro de los envases durante el almacenamiento (Figura 13). La cantidad de etileno en el espacio de cabeza del EA al día 5 disminuyó más drásticamente comparado con la concentración de este gas dentro del EC, ya que en este envase la disminución de dicho gas fue lenta.

Los niveles de etileno en el EA coinciden con valores reportados por Yahia y Rivera (1992). Los autores modificaron las atmósferas al envasar en forma individual frutos de melón cantaloupe 'Durango' durante su almacenamiento a 5 °C y 85% de H.R. Los envases empleados en dicho estudio fueron PEBD con diferente espesor y permeabilidad a los gases, incorporando  $\text{KMnO}_4$  para eliminar etileno. Al comparar los niveles mínimos alcanzados en dicho estudio con los encontrados en este trabajo, se observó que estos niveles se alcanzaron hasta el día 21, en cambio en el EA se alcanzaron al día 5, favorecidos por el empleo de la zeolita en el EA.

En lo que respecta al porcentaje de  $\text{CO}_2$ , en el EA se presentó el máximo porcentaje (4.68%  $\text{CO}_2$ ); sin embargo, al igual que en el caso del etileno, la

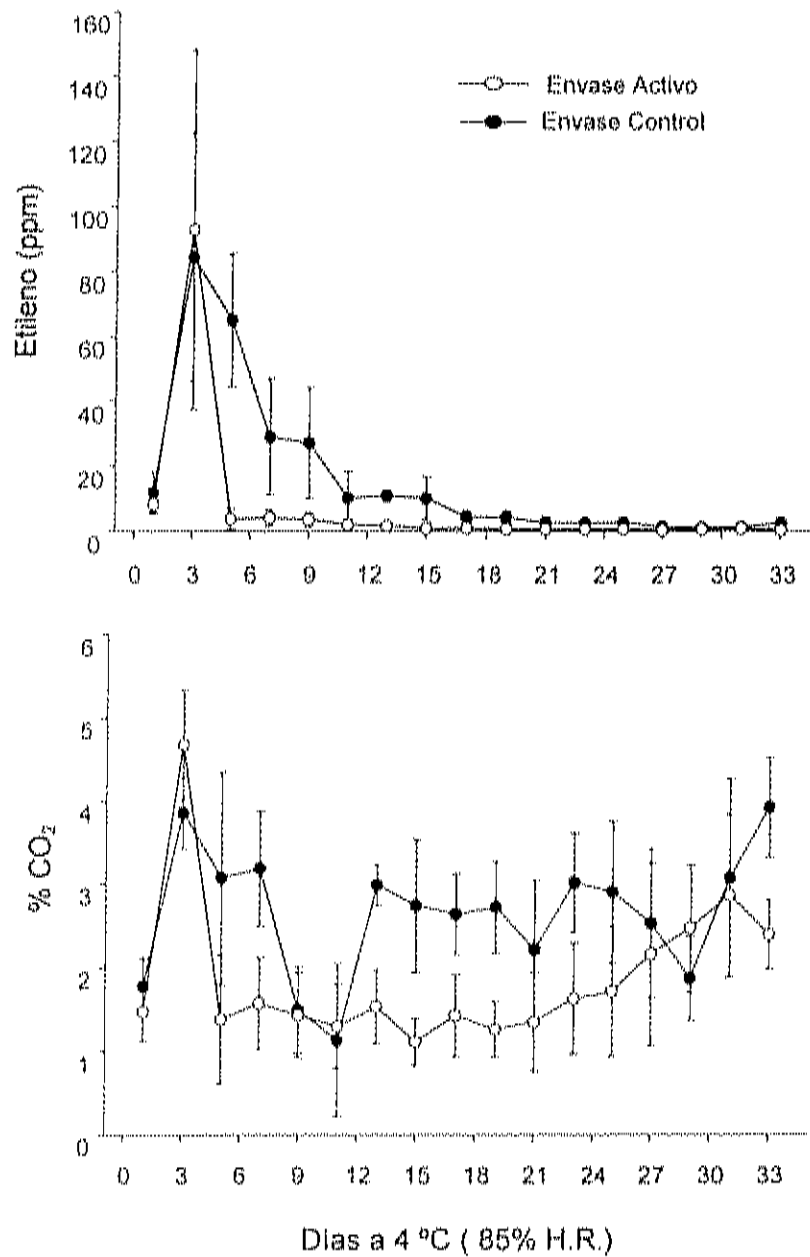


Figura 13. Comportamiento en las concentraciones de etileno y CO<sub>2</sub> producidos por melón reticulado en el espacio de cabeza del EA y EC. Valores medios de 6 repeticiones.

disminución del gas fue más rápida comparada con el EC. Los niveles acumulados de CO<sub>2</sub> en ambos envases se encuentran por debajo de los límites máximos recomendados para las AM del fruto. Suslow *et al.*, (2000), señalan que melón cantaloupe acepta 10% de CO<sub>2</sub>; concentraciones elevadas (11-20%) pueden causar desórdenes en el fruto. Los niveles (%) de CO<sub>2</sub> en el EA son inferiores a los porcentajes reportados por Yahia y Rivera (1992). Por lo tanto, la presencia de zeolita en el EA en combinación con las pequeñas perforaciones realizadas favorecieron que los niveles de etileno y CO<sub>2</sub> no se acumularan por mucho tiempo dentro del envase.

En estudios preliminares, se determinó la cantidad de etileno producido por melón reticulado 'Ovación' a 4 °C. De acuerdo a los resultados obtenidos, el fruto produjo como máximo 0.04 µl de etileno/Kg-h. Considerando que 1 gramo de zeolita elimina 0.026 µl de etileno a la misma temperatura, se calculó que con aproximadamente 0.03 gr de zeolita por bolsa se eliminaría el etileno producido en 24 horas por un melón de 0.950 Kg. El EA elaborado contenía mayor cantidad de zeolita (2.5g/bolsa) para asegurar la adsorción del etileno ya que según se observó, la zeolita perdía aproximadamente el 65% de su capacidad de adsorber etileno al difundirse en el polímero. Sin embargo, el melón reticulado 'Copa de Oro' utilizado en el experimento, produjo más de 1000 veces el etileno producido por el cultivar 'Ovación' utilizado en los preliminares. El EA contenía 2.5 g de zeolita, y de acuerdo a la cantidad de etileno producido por los frutos de la variedad 'Copa de Oro', se requerían de

aproximadamente 100 g por bolsa para eliminar el gas producido en 24 horas, por lo que la cantidad final en el EA, estuvo por debajo de la cantidad requerida. Sin embargo, el fruto mantuvo su calidad, al igual que los frutos envasados en el EC. No hubo acumulación de etileno ya que parte fue adsorbido por la zeolita y parte se difundió al exterior a través del plástico. Las Figuras 11 y 13 indican que existió una mayor disminución en la concentración de etileno en el EA comparado con el EC. Es importante notar que el gas no se acumuló por mucho tiempo en el EA. Este comportamiento es similar al encontrado en un estudio realizado con adsorbedores de etileno en bolsas de polietileno con manzanas 'Granny Smith', en el cual se observó que el etileno se acumuló en las bolsas, pero el incremento fue más lento en presencia del adsorbente, reduciéndose además daños superficiales (Shorter *et al.*, 1992).

### **Calidad del Melón Reticulado Bajo Condiciones de Almacenamiento y Mercadeo.**

Pérdida de Peso. La pérdida de peso durante el almacenamiento de melón reticulado ha sido identificada como uno de los factores que afecta la calidad durante el almacenamiento (Lingle *et al.*, 1987). Evidencias sugieren que las redes favorecen la transpiración, contribuyendo a que se de la pérdida de peso (Lester y Bruton, 1986). Las redes presentan espacios intercelulares libres, por donde se difunde la humedad del tejido y el intercambio de gases (Webster y Craig, 1976). En la Figura 14, se observa el comportamiento en pérdida de

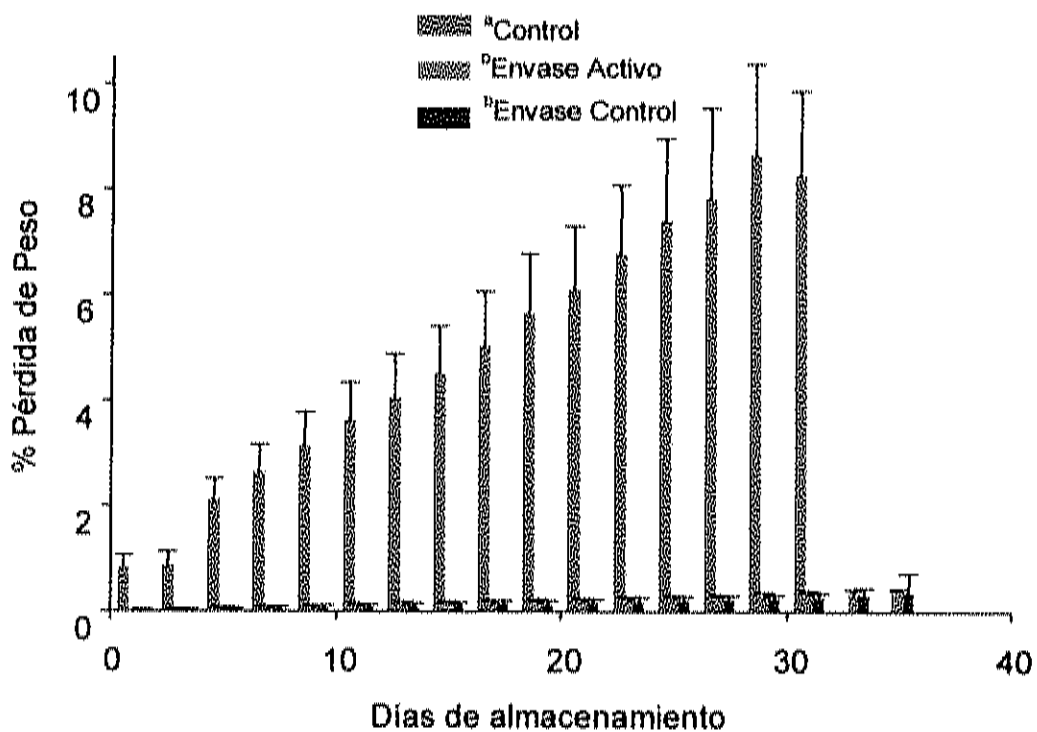


Figura 14. Pérdida de peso de melón reticulado (*Cucumis melo* var. reticulatus) almacenado a 4 °C y 85% H.R. Valores medios de 20 repeticiones.

<sup>a</sup>Tratamientos con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) según la prueba de rangos múltiples de Tukey.

peso mostrado por los frutos de melón cantaloupe durante el almacenamiento a 4 °C. Se puede apreciar que el fruto que se almacenó sin envasado individual mostró el mayor porcentaje de pérdida de peso fresco (8.66%), siendo significativamente mayor a los melones envasados. Las diferencias en apariencia (marchitamiento) fueron notables al inicio del almacenamiento a 4 °C, incrementándose conforme transcurrió el tiempo.

En varios frutos se ha reportado que pérdidas de 3-6%, causan un deterioro marcado en la textura y calidad (Hardenburg *et al.*, 1990), lo que se observó a los 17-19 días. Durante estos días, los melones sin envasar mostraron marchitamiento del tejido. A los 20 días, el daño fue más notorio, presentándose además zonas de color amarillo oscuro, hundimientos y desarrollo de hongos. Los resultados anteriores concuerdan con lo reportado por Ryall y Lipton (1979), quienes señalan que la vida de anaquel de melón reticulado es de 2 semanas bajo condiciones de almacenamiento con alta humedad relativa y bajas temperaturas. Los hundimientos presentados, de acuerdo a Lester (1988), coinciden con el tiempo reportado para la pérdida de peso fresco significativa y es cuando se da el rápido envejecimiento del fruto.

En lo que respecta a los frutos envasados, tanto en el EA como en el EC, las pérdidas de peso no superaron el 1%, no encontrándose diferencias significativas entre estos. A los 33 días de almacenamiento a 4 °C, el 100% de los melones del EC y el 40% del EA se encontraron en buenas condiciones. Las



diferencias en la permeabilidad al vapor de agua de ambos envases provocó una mayor condensación de agua en los frutos envasados en el EA, razón por la cual se deterioraron más rápido debido a la presencia de hongos comparados con los del EC. El aplicar envases de plástico en forma individual, minimizó pérdidas de humedad y ablandamientos. Esta extensión de la vida de anaquel, coincide con lo reportado por Lester y Bruton (1986) y Mayberry y Hartz (1992). De acuerdo a Lester y Bruton (1986), melones 'Magnum 45' envasados en películas termoencogibles, alcanzaron un porcentaje de pérdidas de peso fresco del 1% a los 40 días de almacenamiento a 4 °C. Además, indicaron que mantener frutos en microatmósferas saturadas con agua retrasa los cambios relacionados con la senescencia, como la deterioración de la integridad de la membrana y el ablandamiento. Por otro lado, Lingle *et al.*, (1987) establecieron que el envasado de frutos de melón 'Magnum 45' en bolsas de polietileno mantuvo la apariencia del fruto durante el almacenamiento a 4 °C. Wills *et al.*, (1998), establecieron que la pérdida de agua en los frutos representa una disminución en el peso comercial de los mismos y una disminución en el valor en el mercado. Por lo que, envasando los melones, se reducen las pérdidas económicas.

Aunque el pepino (*Cucumis sativus* L.) es una cucurbitácea que presenta una cutícula diferente a la del melón, Wang y Qi (1994) indican que la pérdida de peso de este fruto sin envasar fue de aproximadamente 9% a los 18 días de almacenamiento a 5 °C y 90-95% H.R. En cambio los pepinos envasados en

películas de PEBD, tanto perforado como sin perforar, perdieron menos del 1% durante el mismo período. Lo anterior, según señalan, se debió a las atmósferas modificadas aplicadas, (15-20% O<sub>2</sub> y 20% CO<sub>2</sub>), y a que se mantuvo una alta humedad alrededor del producto. Además se minimizó el daño por frío. Resultados similares se encontraron en chiles Bell (Meier y Olson, 1995), berenjena (Mohammed y Sealy, 1986) y aguacate (Yahia y González, 1998).

La Figura 15 se muestra el porcentaje de pérdida de peso de los melones a temperatura de refrigeración (4 °C) y de mercadeo (20 °C y 85 % H.R.). La deshidratación del tejido de los frutos control fue significativamente mayor comparada con la de los frutos envasados. A 20 °C los frutos control se notaban más deshidratados comparados con los melones envasados. La pérdida de agua, resultado de la transpiración del fruto ocasiona cambios en la apariencia, marchitamiento y ablandamiento de los tejidos, lo que se observó en los frutos control. Los melones que se mantuvieron envasados en el EC presentaron menor porcentaje de pérdida de peso; sin embargo, el porcentaje de pérdida de peso no fue significativamente diferente a los melones EA. El menor porcentaje de pérdida de peso de los frutos envasados se debe a que con el uso de las AMs, se reduce la actividad metabólica del fruto, ocasionando

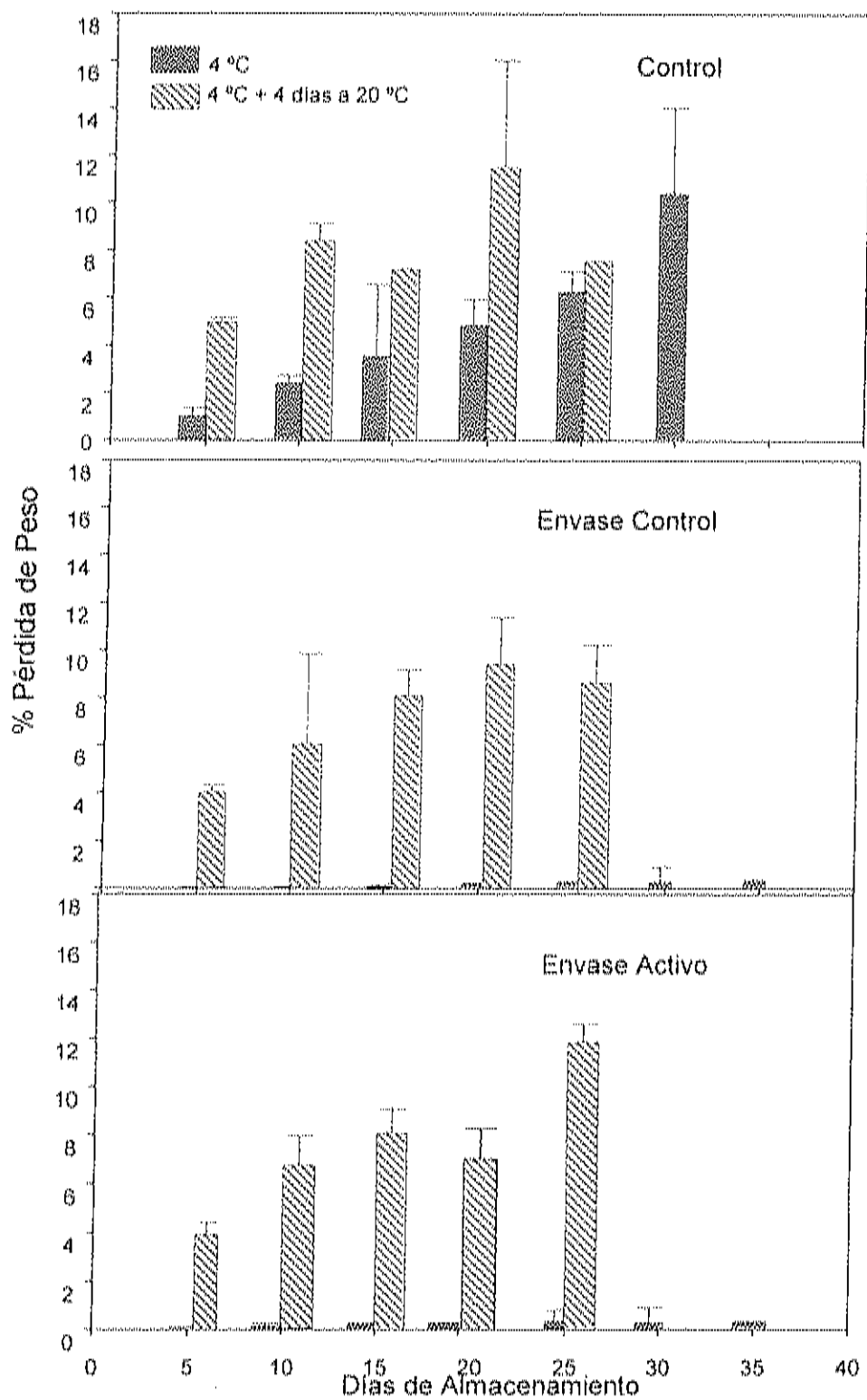


Figura 15. Comportamiento en la pérdida de peso de melón reticulado durante el almacenamiento a 4 °C y 85% H.R. + 4 días a condiciones de mercadeo (20 °C y 85% H.R.). Promedio de 5 repeticiones.

una disminución en la velocidad de respiración y proporcionando una atmósfera con una humedad relativa alta. Además se retardan los cambios relacionados con la senescencia (Lester y Bruton, 1986).

Firmeza. Generalmente los frutos se ablandan después de ser cosechados como resultado del proceso de maduración. Los frutos de melón reticulado no mostraron diferencias significativas por efecto de los días de almacenamiento a 4 °C ni por efecto de los tratamientos (control, envase control y envase activo), por lo que la firmeza se mantuvo durante el almacenamiento a esta temperatura; sin embargo, la firmeza de los frutos tendió a ser menor a la temperatura de simulación de mercadeo (20 °C y 85% H.R) (Figura 16). A esta temperatura, los melones control ya se notaban blandos y deshidratados después de 15 días de almacenamiento a 4 °C. Los frutos de melón que estuvieron envasados en el EC presentaron menor firmeza (0.50 Kg-f) siendo significativamente diferentes comparados con los del envase activo (0.646 Kg-f) y los melones sin envasar (0.575 Kg-f).

A pesar de que los frutos del EA presentaron mayor firmeza comparados con los controles, no fueron estadísticamente diferentes, es decir, presentaron el mismo comportamiento en los diferentes muestreos durante el almacenamiento a 4 °C y posterior simulación de mercadeo a 20 °C.

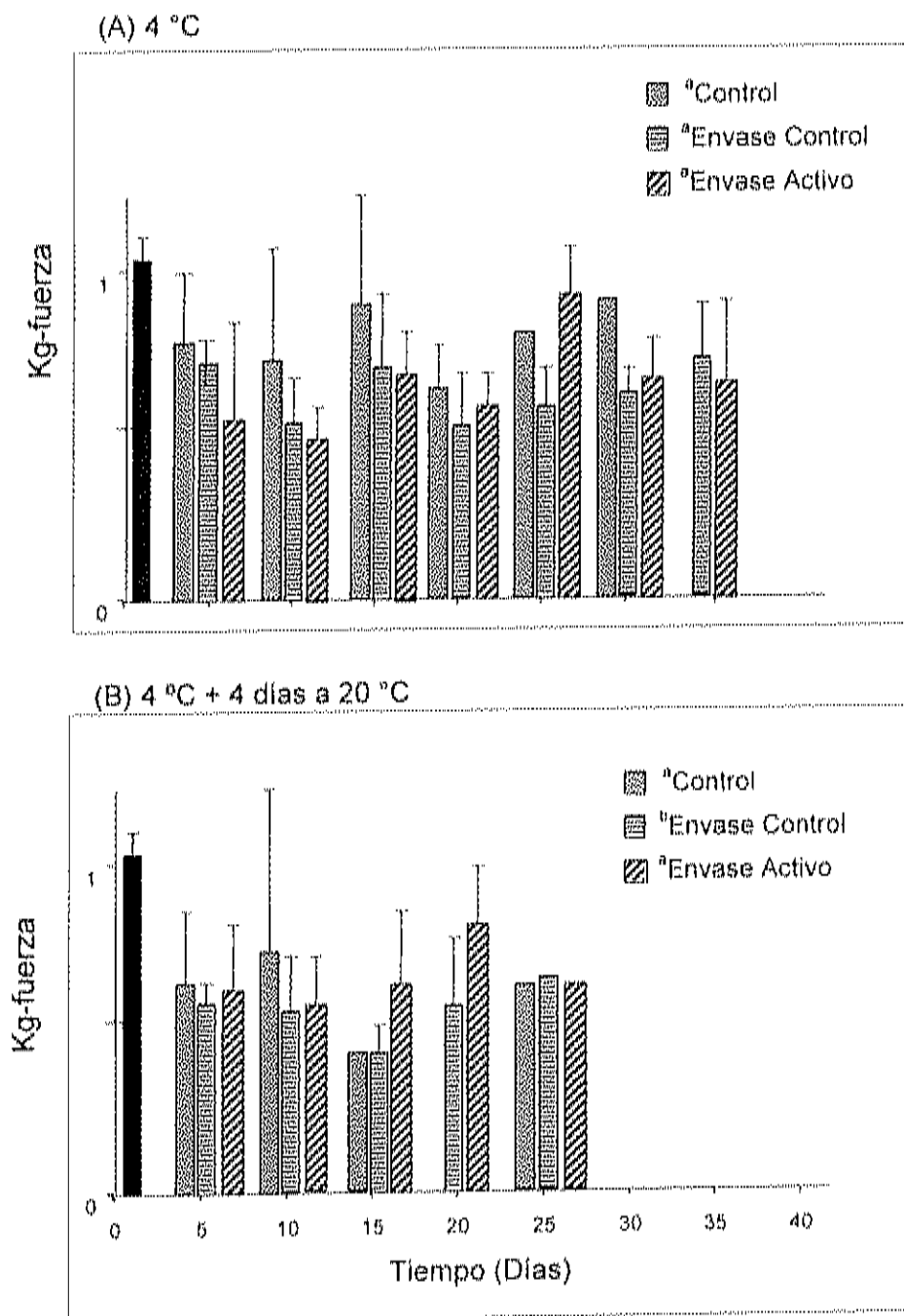


Figura 16. Comportamiento en la firmeza de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C (A) y posterior simulación de mercadeo (4 °C + 4 días a 20 °C y 85% H.R) (B). Promedio de 5 repeticiones.

<sup>a</sup>Tratamientos con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) según la prueba de rangos múltiples de Tukey.

El comportamiento en la firmeza mostrado por los frutos envasados coincide con lo reportado por Cantwell (1998). Este autor reportó que para melones reticulados 'Travelor', la firmeza disminuyó de 4.45 Kg-f a 3.14 Kg-f después de 22 días de almacenamiento en aire + 4 días a 20 °C y 2.73 Kg-f a los 22 días de almacenamiento en atmósferas controladas a 4 °C + 4 días a 20 °C. Los valores encontrados en el presente estudio fueron menores a 1 Kg-f debido a que se cosecharon con un grado de desprendimiento completo del pedúnculo y los melones del estudio reportado por Cantwell fueron cosechados a  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de desprendimiento, además las variedades son diferentes.

Los valores de firmeza obtenidos en este estudio son menores a los reportados por Troncoso *et al.*, en 1999, quienes evaluaron el comportamiento postcosecha de melón 'Magnum' tratado con cera y película plástica durante el almacenamiento a 0 °C y 95 % H.R. De acuerdo a sus resultados, los melones envasados en PEBD mantuvieron una firmeza de 3.47 Kg-f por 18 días a 0 °C y una pérdida de peso del 7% durante la transferencia por 6 días a 20 °C, para simular condiciones de mercadeo.

En otro estudio, se evaluó el efecto de las películas plásticas termoencogibles sobre la vida de anaquel de melón 'Magnum 45' durante el almacenamiento a 4 °C y 85-95% H.R. A los 30 días, la firmeza de los frutos envasados fue de 1.10 Kg-f. En cambio, los frutos sin envasar mostraron una disminución significativa (0.45 Kg-f) comparado con los frutos envasados en la

película termoencogible; el valor inicial de firmeza fue de 1.08 Kg-f para ambos tratamientos (Lester y Bruton, 1986). A su vez, Mayberry y Hartz (1992), notaron diferencias en la firmeza de melones 'Topmark' envasados individualmente en bolsas de polietileno y en los no envasados. La firmeza fue menor en los no envasados a los 28 días de almacenamiento a 3 °C.

El ablandamiento observado en los tejidos del fruto bajo las condiciones de mercadeo, principalmente en los frutos control se debe a que la integridad de las membranas se ve afectada, ya que según Lester y Dunlap (1985), en melones reticulados el ablandamiento y la senescencia del fruto no están asociados con la descomposición de la pared celular, pero si con la pérdida de la integridad en los tejidos de la membrana (Lester, 1988).

En general, la firmeza en los tres tratamientos tendió a disminuir por efecto del tiempo de almacenamiento debido a los procesos fisiológicos normales del melón; sin embargo, el envasado mantuvo la firmeza de los frutos. En base a lo anterior, los frutos control que permanecieron 20 días a temperaturas de refrigeración, no alcanzarían los 4 días en el mercado; en cambio, los frutos que se mantuvieron envasados alcanzaron el muestreo del día 35 (4 °C), pero tampoco durarían los 4 días en el mercado, por lo que se recomendaría comercializarlos antes de los 4 días a condiciones de mercadeo.

Sólidos Solubles Totales (SST). Los SST se han empleado como indicadores de la calidad comestible de melones reticulados, considerándose que valores por arriba del 9%, es indicativo de frutos de buena calidad comestible (Cohen y Hicks, 1986). Cantwell (1998), señala que al no tener reservas de almidón, los azúcares no aumentan más del 15% en la pulpa del fruto después de la cosecha. De los resultados obtenidos en este trabajo, se observó que los frutos de melón estudiados, independientemente del tratamiento aplicado y de la temperatura de almacenamiento, presentaron niveles de contenido de SST por arriba del 9%. Por lo que se consideran melones de buena calidad según los estándares establecidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en el Código de Regulaciones Federales (1999).

Los melones que se mantuvieron almacenados a 4 °C sin envasar (control), al día 5 presentaron el máximo contenido de SST (12.25 %). En general, los SST tendieron a disminuir; sin embargo, no existieron diferencias significativas por efecto de los tratamientos ni por los días de almacenamiento a 4 °C (Figura 17).

Los melones que se trasladaron a 20 °C para simular mercadeo, presentaron los niveles de SST más altos comparados con los de 4 °C (Figura 17). A esta temperatura (20 °C), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, es decir, los frutos sin envasar (control) presentaron valores



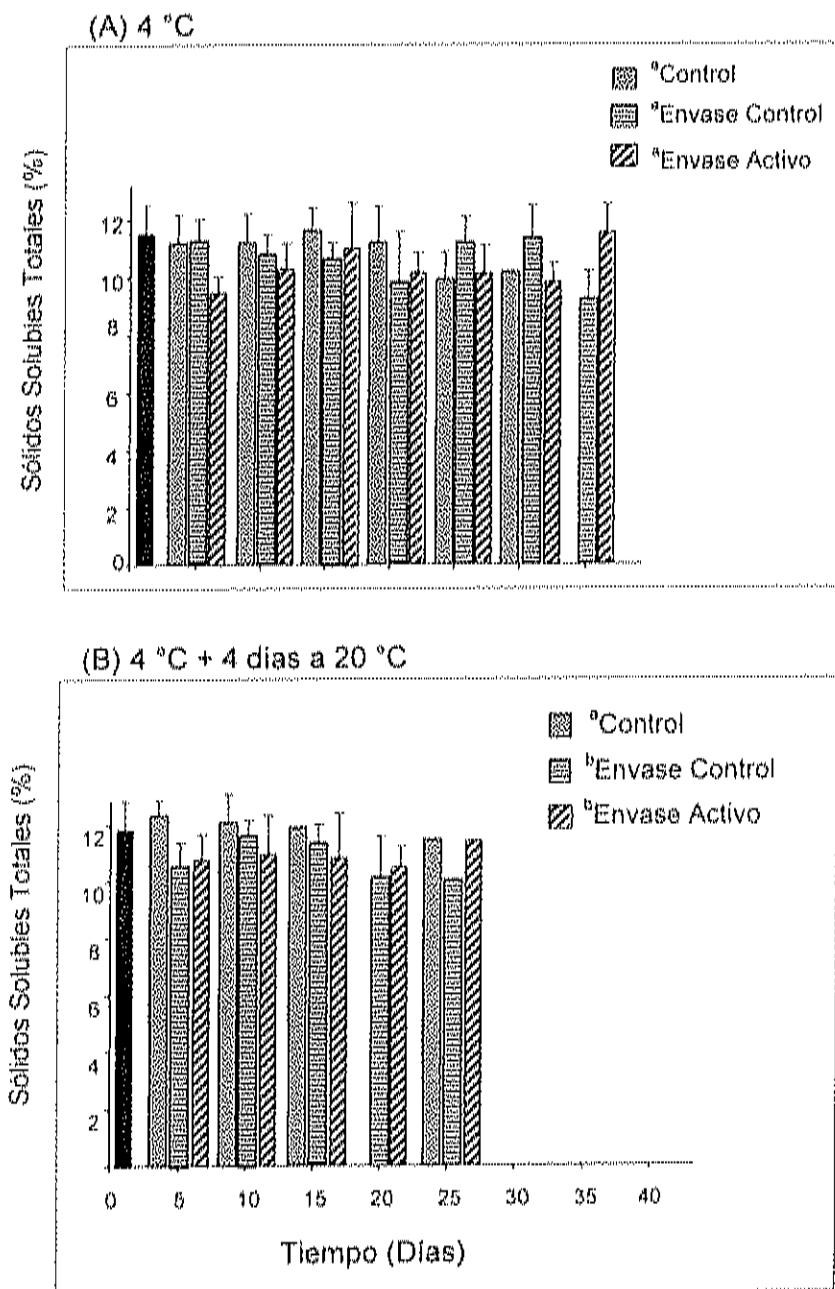


Figura 17. Comportamiento en los sólidos solubles totales de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C y 85% H.R. (A) y posterior simulación de mercadeo (4 °C + 4 días a 20 °C y 85% H.R.) (B). Valores medios de 5 repeticiones.

<sup>a</sup>Tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) según la prueba de rangos múltiples de Tukey.

mayores de SST que los que se mantuvieron envasados tanto en el envase control como en el activo. El comportamiento de los frutos envasados en ambos envases fue similar, por lo que el envasado mantuvo el contenido de SST. Wills *et al.*, (1998), señalan que a altas temperaturas se acelera el metabolismo del fruto aumentando la respiración utilizándose los azúcares como sustratos en el ciclo de la glicólisis y de Krebs para la obtención de energía y el mantenimiento de la organización celular.

En general, en los tres tratamientos se observó que el contenido de SST fue mayor en la temperatura de mercadeo comparada con las de refrigeración. La pérdida de agua de los melones, manifestada en deshidratación provoca una concentración de sólidos solubles en la pulpa del fruto, por lo que el contenido de SST fue mayor a 20 °C independientemente del tratamiento aplicado. Al comparar la media global, se pudo notar diferencias entre estas, siendo mayor el contenido de SST en los melones control (12.83%) comparado con el contenido de SST encontrado en los melones envasados. Lo anterior pudo deberse a que al presentar mayor pérdida de peso, los sólidos se concentraron en la pulpa del fruto.

% Acidez Titulable (% AT) y pH. Los ácidos orgánicos pueden considerarse como fuente de reserva de energía de las frutas. Usualmente disminuyen durante la maduración, ya que se emplean en el proceso de respiración (Wills *et al.*, 1998). En la Figura 18 se muestra el comportamiento en % AT, expresado en % de ácido cítrico, de los melones durante el almacenamiento a 4 °C y posterior simulación de mercadeo. En general los frutos mostraron diferencias significativas durante los días de almacenamiento a 4 °C: a los 5 (0.0306 % AT), 15 (0.029 % AT) y 25 (0.0307 % AT) días siendo menores a los valores obtenidos en el día 30 (0.0319 % AT). Por otro lado, los frutos control presentaron menor acidez (0.0298 % AT), siendo significativamente diferentes a los valores obtenidos para los frutos del EA (0.0329 % AT). Los frutos del EC presentaron un comportamiento similar a los frutos EA (0.0324 % AT). En general, los frutos control presentaron menor acidez comparados con los envasados.

Durante el periodo de simulación de mercadeo, existieron diferencias significativas entre los frutos control y los envasados. El % AT de los frutos control tendió a disminuir (0.031 %AT), siendo significativamente menor a los valores de acidez de los EA (0.41 %AT) y EC (0.039 %AT). Para los EA y EC el comportamiento de % AT fue similar. Los valores de acidez titulable a temperatura de mercadeo (20 °C), para los EC fueron mayores que durante el almacenamiento a los 4 °C. La misma tendencia se observó en los melones del

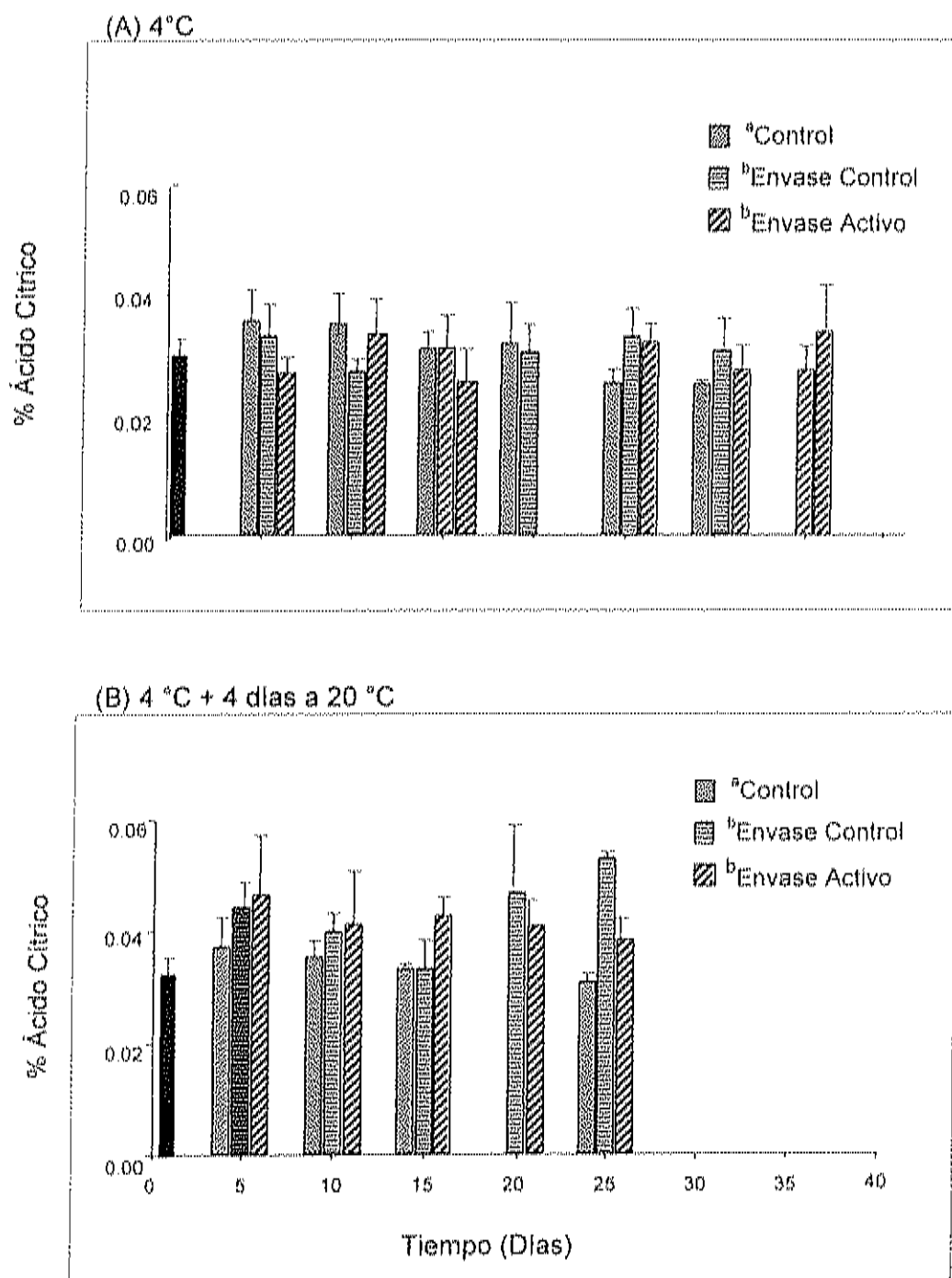


Figura 18. Comportamiento en % de acidez titulable (% ácido cítrico) de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C (A) y posterior simulación de mercadeo (4 °C+ 4 días a 20 °C y 85% H.R.) (B). Valores medios de 5 repeticiones.

<sup>a</sup>Tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey.

EA (Figura 18), debido tal vez a la pérdida de peso que presentaron los frutos a la temperatura de simulación de mercadeo.

El menor % AT observado en los frutos control, se debe a que los ácidos generalmente se emplean durante el proceso de respiración, disminuyendo conforme avanza la maduración; en cambio en los frutos envasados, el proceso de maduración se retrasó por efecto del empleo de las AM. En cuanto a los frutos envasados, los EA presentaron mayor acidez comparados con los EC, debido quizás al empleo conjunto de las AM con la zeolita en el EA, ya que ésta no permitió que el etileno se acumulara dentro del envase, favoreciendo a que se retardaran más los procesos metabólicos normales del fruto.

En la Figura 19 se presenta el comportamiento en pH de los melones durante el almacenamiento a 4 °C y simulación de mercadeo (4 días a 20 °C). A la temperatura de almacenamiento (4°C), no existieron diferencias por efecto ni de los tratamientos ni de los días de almacenamiento. En cuanto a la simulación de mercadeo (20 °C), los frutos control presentaron un valor de pH (7.33) significativamente mayor comparado con los frutos envasados en el EA (7.233) y EC (7.214). El comportamiento de los frutos EA y EC fue similar.

Los valores de pH para los frutos control aumentaron conforme transcurrió el almacenamiento y simulación de mercadeo, como un proceso normal en la maduración del melón, en cambio en los frutos envasados el pH se mantuvo, independientemente del tratamiento aplicado.

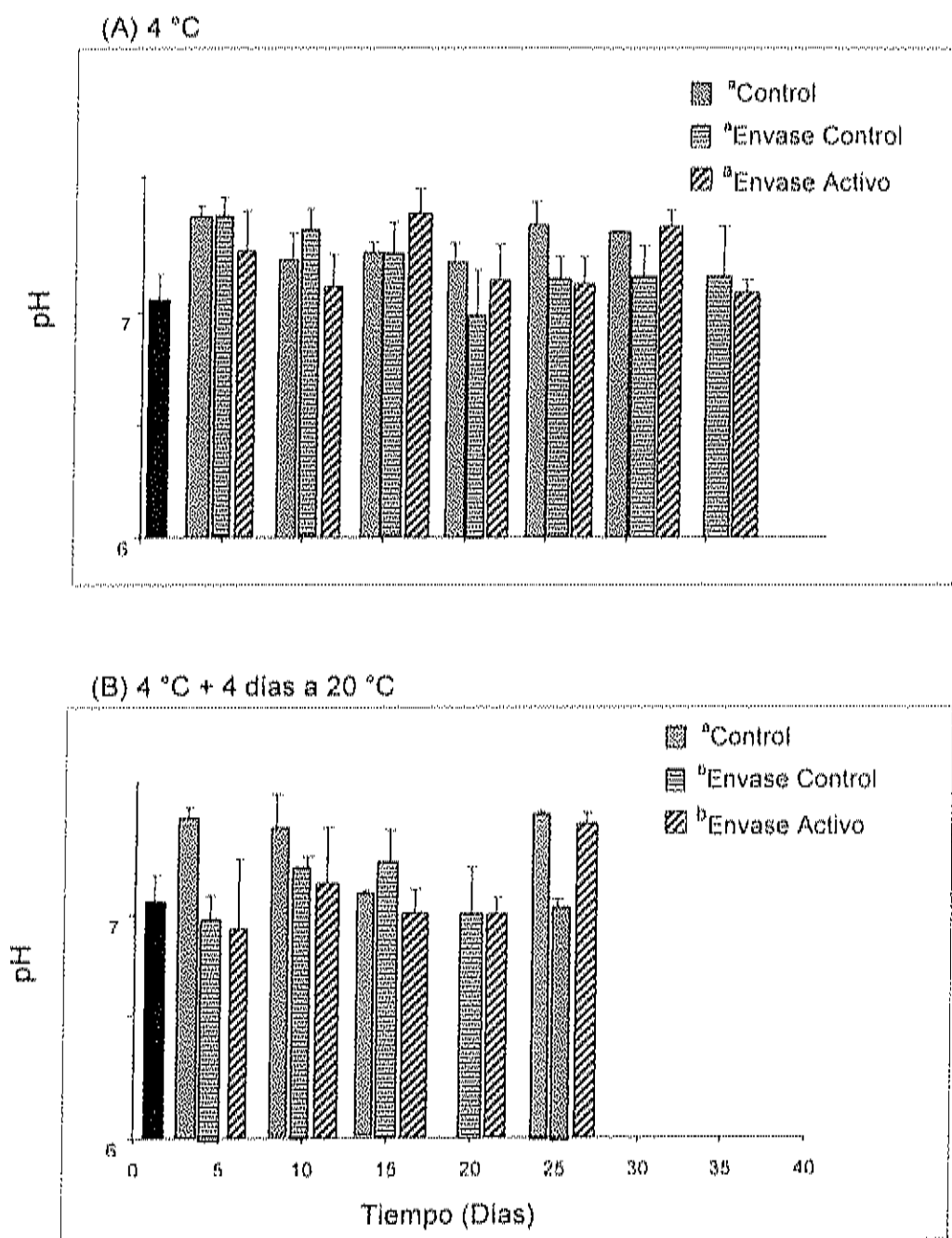


Figura 19. Comportamiento en el pH de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C y 85 % H.R. (A) y posterior simulación de mercadeo (4 °C + 4 días a 20 °C y 85% H.R.) (B). Valores medios de 5 repeticiones. <sup>a</sup>Tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey.

Simandjuntak *et al.*, (1996), en un estudio en donde evaluaron el efecto del cultivar y la madurez de melón en color, textura y composición de los polisacáridos de la pared celular encontraron que el porcentaje de acidez titulable disminuyó de 0.08 a 0.04 conforme avanzaron las etapas de maduración, en cambio, el pH aumentó de 6.19 a 6.49. Incrementos similares en los valores de pH reportaron Lester y Dunlap (1985) durante el desarrollo y maduración de frutos de melón 'Perlita' y una disminución similar en el % de AT fue reportado por Reddy (1986).

El aumento en el pH y disminución en el % de AT de los frutos control es indicativo de un proceso normal de maduración, en cambio el que la acidez y el pH se hayan mantenido en los frutos envasados, indican que el empleo de las AMs favoreció a que los procesos normales de maduración y senescencia se retrasaran.

Los resultados de las diferentes variables de calidad evaluados en los frutos de melón, indican que el empleo de los envases favoreció a un aumento en la vida de almacenamiento y anaquel de los frutos, a pesar del comportamiento irregular presentado por los mismos, ya que la calidad se mantuvo independientemente del tipo de envase aplicado. En cambio la calidad de los frutos control se vio más afectada durante el transcurso del tiempo de almacenamiento.

### **Producción de Etileno y Tasa Respiratoria de los Frutos de Melón durante Simulación de Mercadeo.**

La Figura 20 muestra el comportamiento en la producción de etileno de los frutos de melón trasladados a 20 °C para simular condiciones de mercadeo. Durante el traslado de los frutos que permanecieron 5 días a 4 °C y 85% H.R., se puede notar que la producción de etileno fue mínima y esta tendió a aumentar con el transcurso del tiempo a 20 °C. Durante los primeros 15 días de almacenamiento a 4 °C y 4 días a 20 °C, se alcanzaron los niveles significativamente más altos. Estos valores decrecieron en las etapas finales del experimento. La producción de etileno de los frutos recién trasladados a 20 °C (días a 4 °C + 0 días a 20 °C) presentaron significativamente los niveles más bajos del gas. Estos niveles sugieren que en los frutos, aún se presentaba el efecto de la baja temperatura y de las condiciones de las AMs logradas. Conforme transcurrió el tiempo a condiciones de mercadeo los niveles de etileno aumentaron.

Generalmente las tasas de producción del etileno, aumentan con la madurez, daños físicos y altas temperaturas, ya que según señalan Wills *et al.*, (1998), el metabolismo de los frutos involucra varias reacciones enzimáticas las cuales se incrementan exponencialmente conforme aumenta la temperatura.



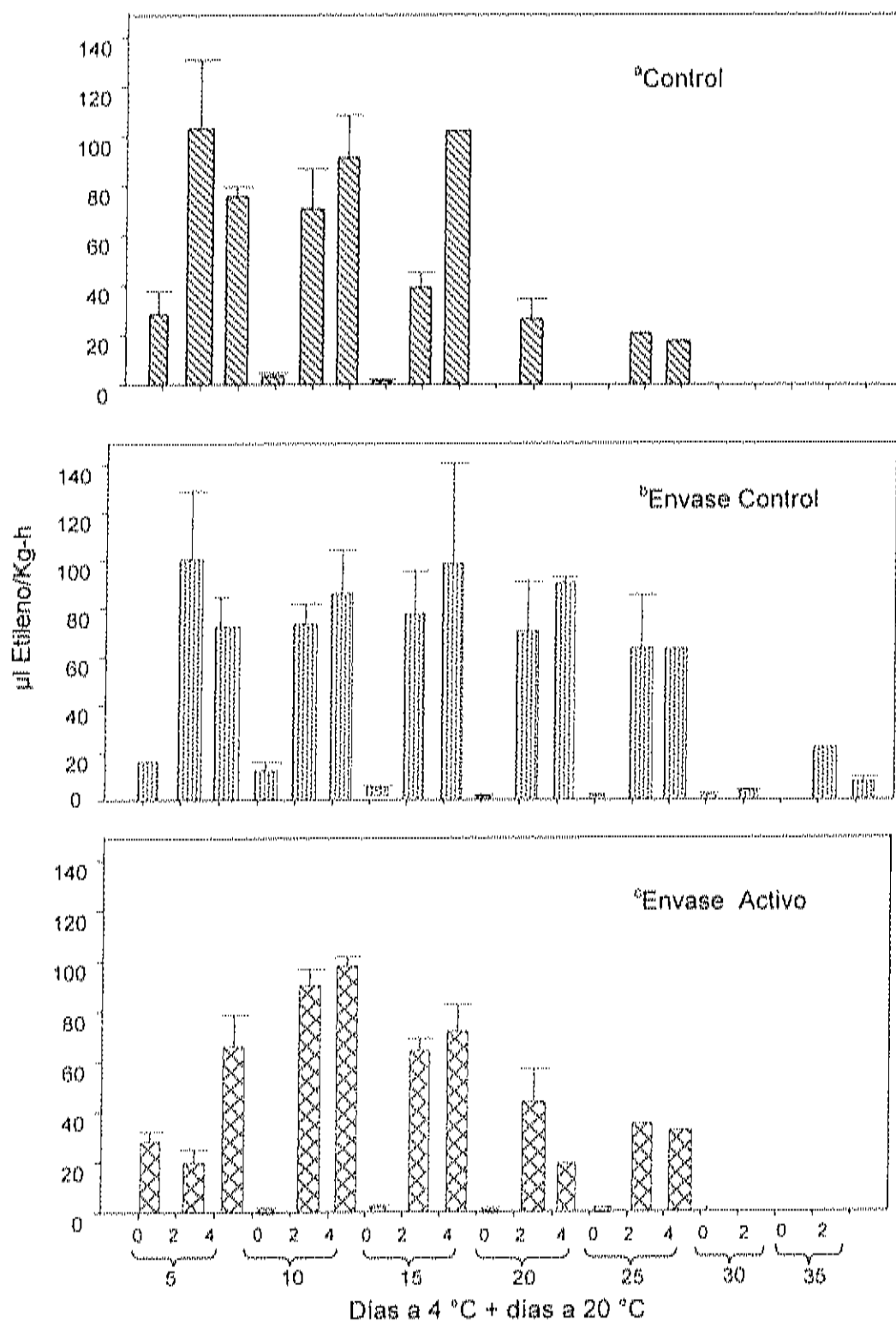


Figura 20. Producción de etileno de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C + simulación de mercadeo (4°C + 2 y 4 días a 20 °C). Promedio de 5 repeticiones. <sup>a</sup>Tratamientos con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey.

Al inicio de las transferencias a 20 °C y durante todo el periodo de almacenamiento, los frutos control presentaron valores de etileno significativamente mayores a los EC y EA. En lo que respecta a los frutos envasados, conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, los frutos EC presentaron los valores más altos con respecto a los EA. Lo anterior hace suponer que los frutos control se encontraban en estados de madurez más avanzados y en los envasados la madurez se vio retrasada por efecto del empleo de los envases (EC y EA). En lo que se refiere a los frutos envasados, el empleo de la zeolita en el EA, favoreció a que la madurez se retardara más en estos frutos comparados con los EC debido a que presentaron valores menores para etileno.

La tasa respiratoria de los frutos fue mayor en los frutos del tratamiento control (Figura 21). Los niveles de producción de CO<sub>2</sub> se mantuvieron por debajo de los presentados al inicio del experimento, debido a que los melones ya habían pasado el pico climatérico donde la respiración alcanza el valor máximo. Los frutos de melón control fueron estadísticamente diferentes a los envases control como activo (EC y EA). También se encontraron diferencias en los 3 días de almacenamiento a 20 °C y entre los días en que se realizaron los traslados de 4 a 20 °C. Las diferencias encontradas tanto en los días de almacenamiento como en los días en que se realizaron los muestreos, indican que la madurez de los melones iba avanzando siguiendo los procesos normales

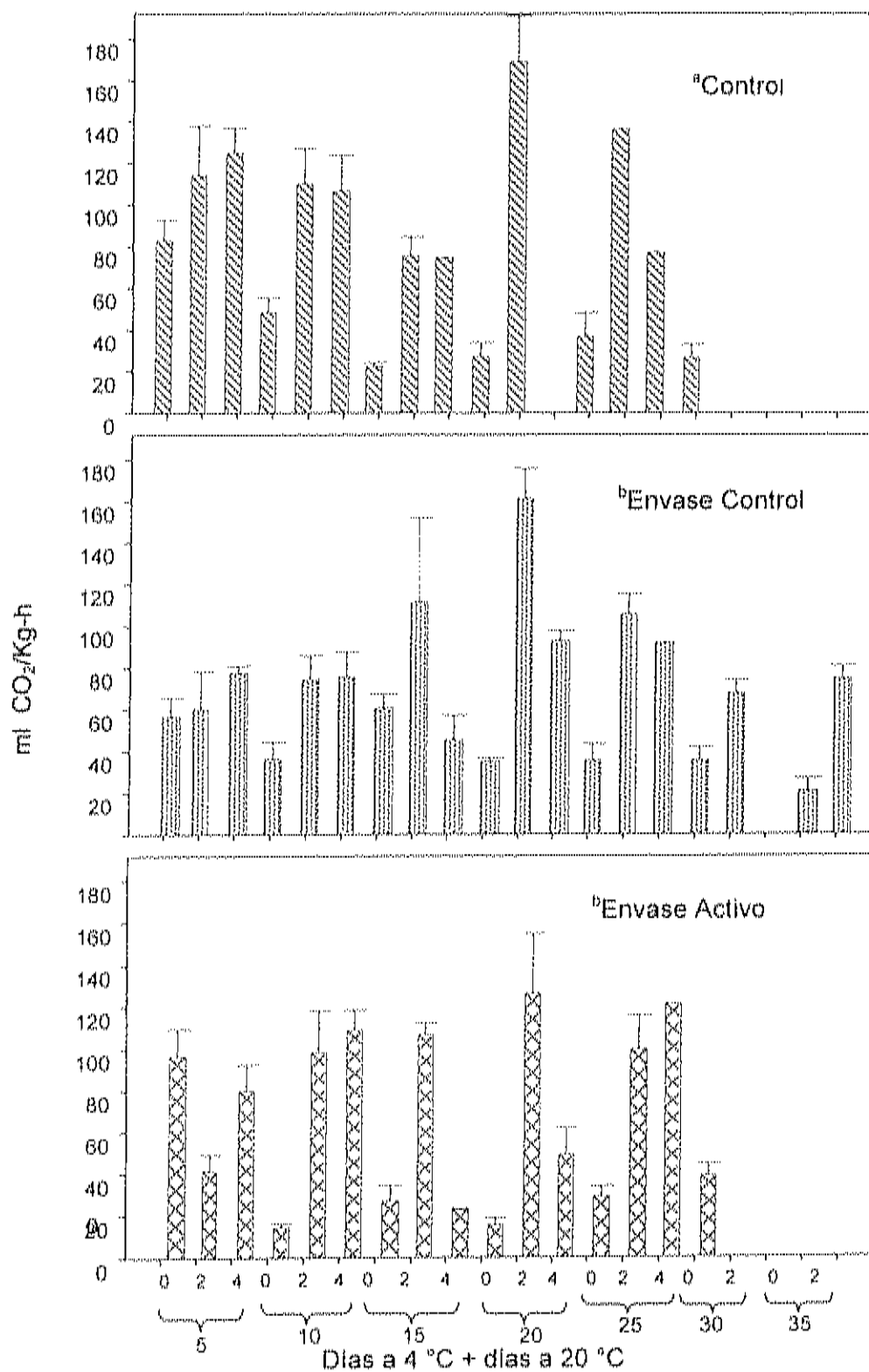


Figura 21. Tasa respiratoria de melón reticulado 'Copa de Oro' durante el almacenamiento a 4 °C + simulación de mercadeo (2 y 4 días a 20 °C). Promedio de 5 repeticiones. <sup>a</sup>Tratamientos con la misma letra no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey.

de maduración y senescencia. Wills *et al.*, (1998), reportan que el metabolismo de los frutos se incrementa con daños físicos, altas temperaturas y madurez, aumentando a su vez la velocidad de respiración y por lo tanto la producción de CO<sub>2</sub>, lo que se observó en este estudio.

En lo que respecta a los frutos que se mantuvieron envasados, los del EC, en general presentaron valores mayores para etileno y CO<sub>2</sub> comparados con los del EA. Los valores más altos indican que estos frutos se encontraban en estados de madurez más avanzados. En cambio, en los frutos del EA el proceso de maduración y senescencia se vio retrasado debido a que la presencia de zeolita favoreció a que el etileno no se acumulara dentro de la bolsa, disminuyendo el metabolismo de los melones.

### **Apariencia Externa de los Frutos**

A los 10 días de almacenamiento a 4 °C (85% H.R.) no se observaron cambios drásticos en la apariencia externa de los frutos, sólo los frutos control mostraron signos ligeros de deshidratación. A partir del día 10 a 4 °C + 2 días de simulación a temperatura de mercadeo (20 °C), la apariencia de estos frutos fue inferior a los envasados ya que la deshidratación del tejido fue perceptible. A los 15 días a 4 °C, en los frutos control la deshidratación se tornó intensa y se detectó además, presencia de zonas blandas, hundidas y de color amarillo obscuro debido quizás a golpes sufridos por el fruto durante la cosecha (Figura

22). Las zonas con hundimientos quizás se debieron al daño mecánico causado durante la cosecha y el empaque, las cuales no son evidentes en el momento de la cosecha. Estas zonas hundidas se apreciaron antes en los melones control incluso algunos se deterioraron muy rápidamente y no mostraron una apariencia aceptable a los 30 días (Figura 23).

En lo que respecta a los frutos envasados (EA y EC), a los 25 días del almacenamiento a 4 °C en algunos frutos se detectó la presencia de hongos en la zona peduncular; sin embargo, estos no se desarrollaron, observándose además con buena apariencia visual. A este tiempo, el color debajo de la red todavía se pudo apreciar de color verde-amarillo. Durante el muestreo realizado al día 30, el 100% de los melones de EC, se apreciaron en buenas condiciones. No se detectó la presencia de hongos ni hundimientos en la superficie de los frutos (Figura 23).

En cambio a los 30 días a 4 °C, el 60% de los frutos del EA, presentaron desarrollo de hongos, hundimientos y pudriciones. Durante el almacenamiento, se presentó condensación de agua en las bolsas y también sobre el producto, siendo notable esto último al sacar los melones de las bolsas (Figura 23). Lee *et al.*, (1996), señalan que la infección severa por presencia de hongos es un problema asociado con la condensación de humedad sobre el producto fresco. Los polímeros presentan generalmente buenas barreras a la transmisión de vapor de agua, por lo que la atmósfera dentro del envase puede saturarse de

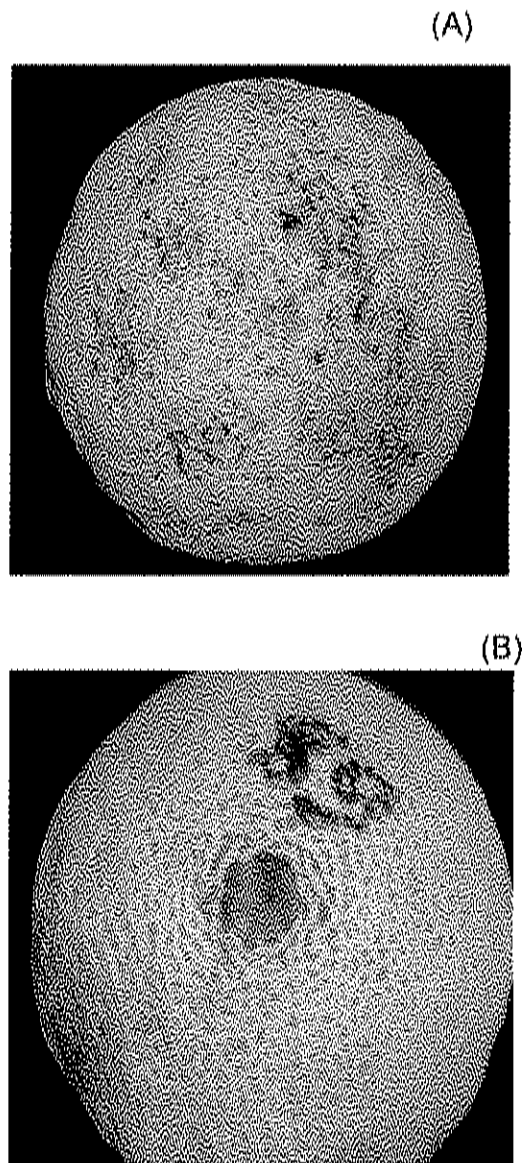


Figura 22. Apariencia externa de melón reticulado 'Copa de Oro' del tratamiento control. (A) después del almacenamiento a 17 días a 4 °C y 85% H.R. y (B) 20 días a 4 °C.

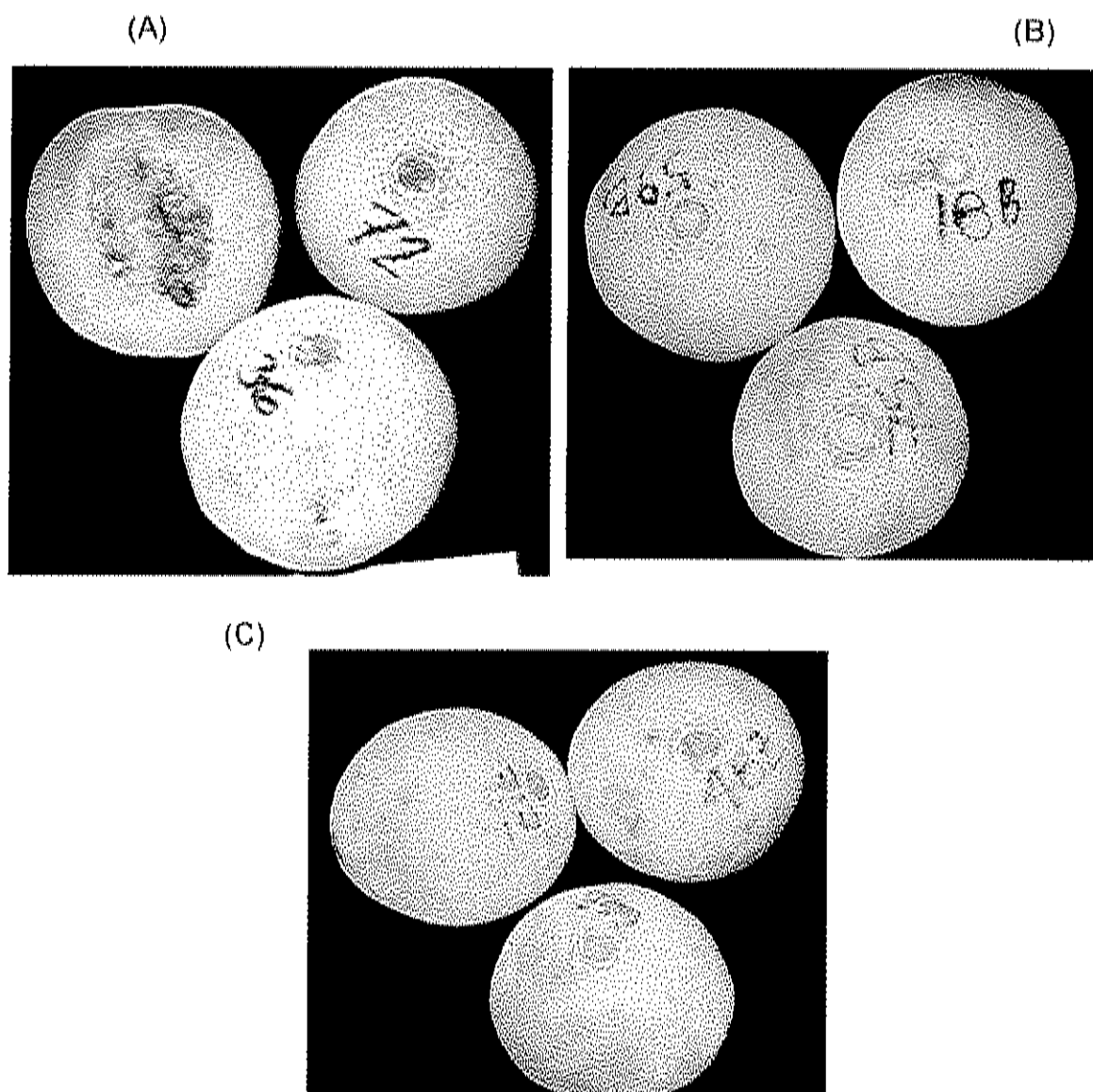


Figura 23. Apariencia externa de melón cantaloupe 'Copa de Oro' a los 30 días de almacenamiento a 4 °C y 85% H.R (A) Control. (B) EC. (C) EA.

humedad rápidamente. Lo anterior propicia o favorece el desarrollo de hongos. La condensación se debe a que las capas externas de la superficie del fruto y de la película se enfrían, ocurriendo la condensación. Por lo que se recomienda disminuir el espesor del EA para aumentar la permeabilidad al agua y reducir de esta manera, la condensación de humedad sobre el producto.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Chabazita fue el tipo de zeolita que predominó en el material analizado, encontrándose cantidades menores de otras clases de zeolitas. La cantidad estimada de minerales, en base al porcentaje de zeolita añadida al envase activo, se encuentra dentro de los límites permitidos para envases en contacto con alimentos. La presencia de zeolita como parte de la formulación del envase activo modificó la permeabilidad a los gases y la apariencia del polietileno de baja densidad.
2. La proporción final de zeolita natural en el envase activo fue del 15% en peso.
3. La zeolita en el polímero plástico perdió el 65,6% de su capacidad original para adsorber etileno. Por lo que para futuros estudios se recomienda añadir más mineral al polímero para mantener la capacidad de adsorción de etileno por el envase activo.
4. La presencia de zeolita en el envase activo favoreció que la concentración de etileno dentro del envase disminuyera más rápidamente que en el envase control.

5. Los niveles  $\text{CO}_2$  en la atmósfera del envase activo y del envase control se mantuvieron por debajo de los límites especificados para las atmósferas modificadas recomendadas para melón cantaloupe.
6. El empleo de los envases control y activo redujeron pérdidas de peso. Las pérdidas en peso no superaron el 1% mientras que en los melones control alcanzaron hasta el 9%.
7. El empleo de los envases activo y control mantuvo la apariencia externa de los frutos, ya que redujo los síntomas de deshidratación y la aparición de hongos.
8. El empleo de los envases EA y EC tuvo un efecto significativo en las variables de calidad: sólidos solubles totales, % de acidez y pH evaluadas en los frutos de melón, excepto en la firmeza. La calidad de los frutos se mantuvo. En cambio, en los frutos control la calidad se vio afectada en forma negativa por efecto del tiempo de almacenamiento tanto a 4 ° como a 20 °C.
9. La vida de anaquel de los melones sin envasar fue de 20 días. El empleo del envasado en el envase control extendió la vida de anaquel de melón reticulado 'Copa de Oro' a 35 días y el envasado en el envase activo a 30 días a 4 °C y 2 días a 20 °C.

Para futuros estudios se recomienda modificar las condiciones de proceso del envase activo. Lo anterior con la finalidad de disminuir el espesor de la película, aumentar la permeabilidad a los gases y de esta manera disminuir la condensación de humedad sobre el producto. Es importante también adicionar plastificantes para mejorar la maleabilidad del plástico y poder extruirlo a calibres más pequeños.

Es necesario continuar realizando estudios en melón y con otros frutos sensibles a la acción del etileno para comprobar la efectividad del EA. En lo que respecta a calidad, se recomienda aumentar el número de repeticiones para disminuir la variabilidad de los datos o valores obtenidos de las diferentes variables evaluadas. Así también se recomienda realizar evaluaciones sensoriales para ver el efecto del envase activo en la aceptación del fruto.

## BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Published by the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. pp 1141.
- Arvizu, C.A. 2000. Periódico El Imparcial. Sección Agromercados. 20 Junio.
- ASTM. 1995. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials (E 95-96). American Society for Testing Materials. Published in February.
- ASTM. 1995. Standard Test Methods for Oxygen Gas Transmission Rate through Plastic Film and Sheeting using a Coulometric Sensor (D 3985-95). American Society for Testing Materials Standar. Published in November.
- Bancomext. 1998. Página Web. [www.bancomext.gob.mx](http://www.bancomext.gob.mx).
- Ben-Yehoshua. 1985. Individual Seal Packaging of Fruit and Vegetables in Plastics Film. A Postharvest Technique. *HortScience*. 20:32-37.
- Blanco, Rafael. 1999. Desarrollo y Perspectivas del Envase Plástico. XV Congreso Latinoamericano de Envase y Embalaje. Memorias. México, D.F.
- Bosch, P. y Schifter, I. 1988. La zeolita, una Piedra que Hierve. Primera edición. Fondo de Cultura Económica, SEP y Conacyt. México. pp 13-67.
- Bourne, M. 1980. Texture Evaluation of Horticultural Crops. *HortScience*. 15(1):7.
- Brady, C.J. 1987. Fruit Ripening. Annu. Rev. Plant Physiol. *Plant. Mol. Biol.* 38:155-178.

- Breck, D.W. 1980. Synthetic Zeolites: Properties and Applications. En *Industrial Minerals and Rocks*. Editado por Stanley, J. Lefond. 5th Ed. Vol. 2. Society of Mining Engineering. Edit. Board. Maryland, USA. p. 1413.
- Cantwell, M. 1998. Procedimiento Óptimo para la Maduración de Melones, Maduración de Frutos Procedimientos y Recomendaciones. Series de Horticultura Postcosecha No. 9S. Marzo. pp. 22-23.
- Cantwell, M. 1996. Manejo Postcosecha del Melón para Garantizar una Alta Calidad. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Junio 3, pp. 25-26.
- Ceponis, M.J., Capellini, R.A. y Lightner, G.W. 1986. Disorders in Muskmelon Shipments to the New York Market. 1972-1984. *Plant Disease*. 70(6):605-607.
- Chandak, M.V. y Lin, Y.S. 1998. Hydrophobic Zeolites as Adsorbents for Removal of Volatile Organic Compounds from Air. *Environmental Technology*. 19:941-948.
- Cohen, R.A. y Hicks, I.P. 1986. Effect of Storage on Quality and Sugar in Muskmelon. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(4):553-557.
- Código de Regulaciones Federales. 1999. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica.
- Creyghton, E. 1998. Organic Groups Cling to the Pores. *Nature*. Vol. 393. p. 21-2.
- Day, B.F. 1995. Active Packaging for Fresh Produce. Editado por P. Ackerman, M. Jägerstad y T. Ohlsson, en *Foods and Packaging Materials, Chemical Interactions*. Royal Society of Chemistry. Cambridge, U.K. pp. 190-199.
- Dunlap, J.R., Lingle, S.E. y Lester, G.E. 1990. Ethylene Production in Netted Muskmelon Subjected to Postharvest Heating and Refrigerated Storage. *HortScience*. 25(2):207-209.

- Exama, A., Arul, J., Lencki, L.Z. y Toupin, C. 1993. Suitability of Plastics Films for Modified Atmospheres Packaging of Fruit and Vegetables and Food Science. *Journal of Food Science*. 58(6):1365
- Faber, J.M. y Doods, K.L., (editores). 1995. Principles of Modified Atmospheres and Sous Vide Product Packaging. Technomic Publishing Co., Inc. New York, U.S.A. pp. 4-13.
- Fernández-Álvarez, M. 2000. Revisión: Envasado Activo de los Alimentos. *Food Sci. Tech. Int.* 6(2):97-108.
- Friend, J. y Rhodes, M.,J. 1981. Recent Advances in the Biochemistry of Fruits and Vegetables. Academic Press. London.
- Geeson, J.D., Genge, P.M. y Sharples, R.O. 1994. The Application of Polymeric Film Lining System for Modified Atmosphere Box Packaging of English Apples. *Postharvest Biology and Technol.* 4. 35-48.
- Gómez, B.J. 1999. II Seminario Internacional de Tecnología en Producción de Melones. Más y Mejores Alternativas en la Producción de Melones Cantaloupes. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Abril 30. p. 30.
- González, S.J.R. y Morales, M. M. 1993. Ocurrencia de Zeolitas Lacustres en Sonora, México. Boletín del Departamento de Geología. Universidad de Sonora. 10(2):51-62.
- Grierson, D. y Tucker, G.A. 1983. Timing of Ethylene and Poligalacturonase Synthesis in Relation to the Control of Tomato Fruit Ripening. *Planta* 57(1):174-179.
- Guarda, A y Galotto, M.J. 2000. Aspectos Teóricos de la Permeabilidad en Envases Plásticos para Alimentos. Soto-Valdez, H., (Editor). Memorias del II Congreso Internacional de Envases de Alimentos RISEA-2000. Hermosillo, Sonora. 74-78.

- Gustafsson, B., Olson, S. y Friman, B. 1992. WO part 13, 029. SE Appl. 91/181.
- Hampson, J.A. y Rees, L.V.C. 1994. Adsorption of Lower Hydrocarbons in Zeolite NaY y Tetha-1. Comparison of Low and High Pressure Isotherm Data. Editado por Hattori, T. y Yashima, T. En *Zeolites and Microporous Crystals*. Elsevier, London. U.K.
- Hardenburg, R., Watada, A. E. y Wang, Ch.Y. 1990. Commercial Storage of Fruits, Vegetables, Florist and Nursery Stocks. USDA Agriculture Hanbook # 66. p. 6.
- Hintze, J. L. 1997. NCSS 97 Quick Start & Self Help Manual. Statistical System for Windows. Published gy NCSS. Kayville, Utha, USA.
- Hotchkiss, J.H. 2000. Current and Future Trends in Active Food Packaging. Soto-Valdez, H., (Editor). *Memorias del II Congreso Internacional de Envases de Alimentos RISEA-2000*. Hermosillo, Sonora . pp. 39.
- Ishitani, T. 1993. Packaging for Freshness Preservation, Fresh Fruits and Vegetables. The Present State and Problems of Freshness Preservation Form the Viewpoint of Packaging Technology (Review). *Packaging Japan*. Vol. 14 (77):30-37.
- Ishitani, T. 1995. Active Packaging for Food Quality Preservation in Japan. Editado por Ackerman, M. Jagerstad & Ohlsson T. *Food & Packaging Material, Chemical Interactions*. Special Publication No. 162. Published by the Royal Society of Chemistry. Cambridge. pp .177-187.
- James, R. y Sampath, K. 1998. Effect of Zeolite on the Reduction of Cadmium Toxicity in Water and a Freshwater Fish, *Oreochromis mossambicus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 62:222-229.
- Jenkins, W.A., y Harrington, J.P. 1991. *Packaging Foods with Plastics*. Technomic Publishing Co., Inc. New York. U.S.A. p. 36-38.

- Joyce, D. 1988. Evaluation of a Ceramic-impregnated Plastic Film as a Postharvest Wrap. *HortScience*, 23 (6):1088.
- Kader, A.A. 1980. Prevention of Ripening in Fruits by Use of Controlled Atmospheres. *Food Technology*. 51-53.
- Kader, A.A. 1985. Ethylene-induced Senescence and Physiological Disorders in Harvest Horticultural Crops. *HortScience*, 20(1):54-6.
- Kader, A.A., Zagory, D. y Kerbel, E.L. 1989. Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. *CRC Critical Review in Food Science and Nutrition*, 28:1-30.
- Kader, A.A. 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. 2da. Edición. U.S.A. p. 126.
- Kazuhiro, A., y Watada, A. 1991. Ethylene Adsorbent to Maintain Quality of Lightly Processed Fruits and Vegetables. *Journal of Food Science*. 56 (6): 1589.
- Labuza, T.P. y Breene, W.M. 1989. Applications of "Active Packaging" for Improvement of Shelf-life & Nutritional Quality of Fresh & Extended Shelf-life Food. *Journal of Food Processing & Preservation*. Vol 13, pp 1-69.
- Lee, L., Arul, J., Lencki, R. y Castaigne, F. 1996. A Review on Modified Atmosphere Packaging and Preservation of Fresh Fruits and Vegetables: Physiological Basis and Practical Aspects. Part I and II. *Packaging Technology and Science*. 9:1-17.
- Lester, G. 1988. Comparisons of "Honey Dew" and Netted Muskmelon Fruit Tissues in Relation to Storage Life. *HortScience*. 23(1):180-182.
- Lester, G. 1997. Melon (*Cucumis melo* L.) Fruit Nutritional Quality and Health Functionality. *HortTechnology*. 7(3):222-227



- Lester, G.E. y Bruton, B.D. 1986. Relationship of Netted Muskmelon Fruit Water Loss to Postharvest Storage Life. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(5):727-731.
- Lester, G.E., y Dunlap, J.R. 1985. Physiological Changes during Development and Ripening of 'Perlita' Muskmelon Fruits. *Scientia Hort.* 26:323-331.
- Lester, G. y Stein, E. 1993. Plasma Membrane Physicochemical Changes during Maturation and Postharvest Storage of Muskmelon Fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(2):223-227.
- Lingle, S.E., Lester, G.E. y Dunlap, J.R. 1987. Effect of Postharvest Heat Treatment and Storage on Sugar Metabolism in Polyethylene-wrapped Muskmelon Fruit. *HortScience.* 22(5):917-919.
- Lowell, S. y Shields, J.E. 1984. Powder Surface Area and Porosity. Powder Technology Series. 2da. Ed. Chapman and Hall. Bristol. U.K.
- Mackey, C.A., Hard, M.M. y Zaehring, V.M. 1973. Measuring Textural Characteristics of Fresh Fruit and Vegetables-Apples, Carrots and Cantaloupes. Technical Bulletin 123. Agricultural Experiment Station. Oregon State University Corvallis.
- Mayberry, K.S. y Hartz, T.K. 1992. Extension of Muskmelon Storage Life through the Use of Hot Water Treatment and Polyethylene Wraps. *HortScience.* 27(4):324-326.
- Meier, W.M. y Olson, D.H. 1992. Atlas of Zeolite Structure Types. 3th. Ed. Butterworth-Heinemann. pp. 72-73.
- Miccolis, V. y Salveit, M. 1995. Influence of Storage Period and Temperature on the Postharvest Characteristics of Six Melon. *Postharvest Biology and Technol.* 5(3):211-219.

- Mir, M., Sierra, L.R., Fuentes, L., Rodríguez, G. y Montero, L.A. 1994. Estudio de la Reactividad Química en Zeolitas a partir de Estructuras Refinadas. *Fol. Chim. Theoret. Lat.* Vol.XXII. 113-125.
- Mohammed, M. y Sealy, L. 1986. Extending the Shelf-life of Melongene (*Solanum melongena* L.) using Polimeric Films. *Trop. Agric.* (Trinidad). 63(1)36.
- Morton, J. 1993. Procesamiento de Plásticos. Edit. Limusa. México. p. 73.
- Mumpton, F. 1980. Commercial Utilization of Natural Zeolites. En *Industrial, Minerals and Rocks*. Editado por Stanley, J. Lefond. 5th Ed. Vol.2 Society of Mining Engineering. Edit. Board. Maryland. USA. pp. 1425-1426.
- Musmade, A.M. y Desai, B. 1998. Handbook of Vegetables Science and Technology Production, Composition, Storage and Processing. Edit. Por Salunke, D. y Kadam. S.S. Marcel Dekker, Inc. USA.
- NCSS. 1997. Quick Start and Self Help Manual. Statistical System for Windows. Published by NCSS. Dr. Jerry L. Hintze. Kayville, Utha.USA.
- Nguyen, M.L. y Tanner, C.C. 1998. Ammonium Removal from Wastewaters using Natural New Zealand Zeolites. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 41:427-446.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-130-SSA1-1995. 1997. Secretaría de Salud. Bienes y Servicios. Alimentos Envasados en Recipientes de Cierre Hermético y Sometidos a tratamientos térmicos. 21 de Noviembre.
- Perry, R y Chilton, C. 1986. Biblioteca del Ingeniero Químico. 5ta. Ed. Vol. IV. McGraw-Hill. Secc. 16.
- Portela, S., Xunli, N., Trevor, S. y Cantwell, M. 1997. Changes in Sensory Quality and Fermentative Volatile Concentrations of Minimally Processed cantaloupe Stores in Controlled Atmospheres. Gorny, J. (Editor). En

- Proceedings Volume 5: Fresh-cut Fruits and Vegetables and Map. *Postharvest Horticulture* Serie No. 19. Davis, Calif. U.S.A. p. 123-127.
- Reedy, C. K. 1986. Effects of Fruit Maturity, Prefreezing Treatments, Freezing Time and Frozen Storage duration on Muskmelon Quality. MS. Thesis. Department of Food Science, University of Maryland, MD. USA.G
- Reid, M.S. 1985. Ethylene and Abscission. *HortScience*. 20(1)45. ✓
- Riquelme, F., Pretel, M., Martinez, G., Serrano, M., Amorós, A y Romojaro, F. 1994. Packaging of Fruits & Vegetables: Recent Results. Editado por Mathlouthi, M. Food Packaging & Preservation. Blackie Academic & Professional. Glasgow, U.K. pp. 141-157.
- Robertson, G.L. 1993. Food Packaging. Principles & Practice. Marcel Dekker, Inc. N.Y., U.S.A. pp. 470-505.
- Rockland, L.B. 1960. Saturated Salt Solutions for Static Control of Relative Humidity between 5 °C and 40 °C. Fruit and Vegetables Chemistry. Lab. Analytical Chemistry. 32(10).
- Rodríguez -Tarango, I.A. 1997. Manual de Ingeniería y Diseño en Envases y Embalajes para la Industria de los alimentos, Química, Farmacéutica y Cosméticos. 3ra. Ed. México. Cap. 6.
- Romani, R.J. 1984. Respiración, Etileno, Senescencia y Homeostásis como Vista Integral de la Vida Postcosecha. *Can. Journ. Bot.* 62:2950-2955.
- Rooney, M.L. 1997. Active Packaging. En: Brody, A.L. y Marsh, K.S. (Editores). The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Son. New York. USA. pp. 2-8.
- Rooney, M. (Editor). 1995. Active Food Packaging. Blackie Academic & Professional. Glasgow, U. K. Pp. 9-12.

- Ruiz-López, L. 1999. Aislamiento e Identificación de Especie de Fusarium y su Control en Frutos de Melón Reticulado (*Cucumis melo* L.). Tesis de Maestría. Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora.
- Ryall, A.L. y Lipton, W.J. 1979. Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. Vol. 1 2<sup>nd</sup>. Ed. Vegetables and Melons. AVI, Westport, Conn.
- SAGAR. 2000. [www.cea.sagar.gob.mx/diagro/Docs/2000/Meln0128.htm](http://www.cea.sagar.gob.mx/diagro/Docs/2000/Meln0128.htm). Centro de Estadística Agropecuaria. 28 de Enero.
- SAGAR. 1999. [www.sagar.gob.mx](http://www.sagar.gob.mx). Centro de Estadística Agropecuaria. 12 de Noviembre.
- Salunke, D. y Desai, B. 1984. Postharvest Biotechnology of Vegetables. Vol. II. CRC Press, England.
- Saltveit, M.E. y Sharaf, A.R. 1992. Ethanol Inhibits Ripening of Tomato Fruit Harvested at Various Degrees of Ripeness without Affecting Subsequent Quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(5):793-798.
- SAS. 1990. SAS Language and procedures. Introduction, version 6. First edition. SAS institute, Inc. Cary, N.C. USA.
- Schwentesius, R., (Editora). 1997. Sistemas Agroindustriales de México. Indicadores, Situación Actual y Tendencias. CIESTAAM. Rabobank. México. pp. 133-142.
- Shellie, K.C. 1999. Muskmelon (*Cucumis melo* L.) Fruit Ripening and Postharvest Quality after a Preharvest Spray of aminoethoxyvinylglycine. *Postharvest Biology and Technology.* 17:55-62.

- Sheppard, R.A. 1980. Zeolites in Sedimentary Rocks. En *Industrial, Minerals and Rocks*. Editado por Satnley, J. Lefond. 5th Ed. Vol.2 Society of Mining Engineering. Edit. Board. Maryland. USA. p. 1413.
- Shorter, A.J., Scott, K.J., Ward, G. y Best, D.J. 1992. Effect of Ethylene Absorption on the Storage of Granny Smith Apples Held in Polyethylene Bags. *Postharvest Biology and Technol.* 1:189-194.
- Simandjuntak, V., Barrett, D.M. and Wrolstad, R. E. 1996. Cultivar and Maturity Effects on Muskmelon (*Cucumis melo*) Colour, Texture and Cell Wall Polysacchacaride Composition. *J. Sci. Food Agric.* 71, 282-290.
- Soto-Valdez, H. y Mendoza-Wilson, A.M. 1998. Permeabilidad al Oxígeno y al Vapor de Agua de Películas Plásticas Utilizadas en el Envasado de Productos Hortofrutícolas y Cereales. *Hort. Mex.* 6(2):81-90.
- Soto-Valdez, H., Moreno-Vasquez, D., Mendoza-Wilson, A. y Fortiz-Hernández, J. 1999. Capacidad de Zeolitas para Eliminar Etileno. VIII Congreso de Horticultura. *Hort. Mex.*. 7(1):295.
- Suslow, T.V., Cantwell, M. y Mitchell, J. 2000. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality, Cantaloupe. Department of Vegetable Crops. University of Davis, CA.
- Troncoso-Rojas, R., Sánchez, E.A., Bringas, T.E., Ojeda, C.J. y Báez, S.R. 1999. Comportamiento Postcosecha de Melón cantaloupe Tratado con Cera, Película Plástica y Almacenamiento Refrigerado. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*. Vol 1(2):186-192.
- Villberg, K., Veijan, A. y Gustafsson, I. 1998. Identification of Off-Flavor Compounds in Hih-Density Polyethylene (HDPE) with Different Amounts of Abscents. *Polymer Engineering and Sciences*. 38(6):922-925.

- Wang, Ch.Y. y Qi, L. 1994. Modified Atmosphere Packaging Alleviates Chilling Injury in Cucumbres. *Postharvest Biology and Technology*. 10:195-200.
- Webster, B.D. y Craig, M.E. 1976. Net Morphogenesis and Characteristics of the Muskmelon Fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101:412-415.
- Wien, H.C. 1997. The Cucurbits: Cucumber, Melon, Squash & Pumpkin. Cap. 9. Editado por Wien, H.C. *The Physiology of Vegetable Crops*. CAB International, Oxon, U.K. pp 345.
- Willard, H., Merrit, L. y Dean, J. 1984. Métodos Instrumentales de Análisis. Cia. Edit. Continental. México. pp. 198-199.
- Willis, R., McGlasson, B., Graham, D., y Joyce, D. 1998. Postharvest of Fruits, Vegetables and Hortamentals. 4 ed. Rab International. p. 45-75.
- Yahia. E.M. y González, A.G. 1998. Use of Passive and Semi-active Atmospheres to Prolong the Postharvest life of Avocado Fruit. *Lebensmittel Wissenchast & Technologie*. 31:602-606.
- Yahia, E.M., y Rivera, M. 1992. Modified Atmosphere Packaging of Muskmelon. *Lebensmittel Wissenchast & Technologie*. 25:38-42.
- Yang, S.F. 1985. Biosynthesis and Action of Ethylene. *HortScience*. 20(1):41-45.
- Zagory, D. 1995. Ethylene Removing Packaging. Rooney, M (Editor), en *Active Food Packaging*. Blackie Academic & Professional. Glasgow, U.K. p. 38-52.

- Wang, Ch.Y. y Qi, L. 1994. Modified Atmosphere Packaging Alleviates Chilling Injury in Cucumbres. *Postharvest Biology and Technology*. 10:195-200.
- Webster, B.D. y Craig, M.E. 1976. Net Morphogenesis and Characteristics of the Muskmelon Fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101:412-415.
- Wien, H.C. 1997. The Cucurbits: Cucumber, Melon, Squash & Pumpkin. Cap. 9. Editado por Wien, H.C. *The Physiology of Vegetable Crops*. CAB International. Oxon, U.K. pp 345.
- Willard, H., Merrit, L. y Dean, J. 1984. Métodos Instrumentales de Análisis. Cía. Edit. Continental. México. pp. 198-199.
- Willis, R., McGlasson, B., Graham, D., y Joyce, D. 1998. Postharvest of Fruits, Vegetables and Hornamentals. 4 ed. Rab International. p. 45-75.
- Yahia. E.M. y González, A.G. 1998. Use of Passive and Semi-active Atmospheres to Prolong the Postharvest life of Avocado Fruit. *Lebensmittel Wissenchast & Technologie*. 31:602-606.
- Yahia, E.M., y Rivera, M. 1992. Modified Atmosphere Packaging of Muskmelon. *Lebensmittel Wissenchast & Technologie*. 25:38-42.
- Yang, S.F. 1985. Biosynthesis and Action of Ethylene. *HortScience*. 20(1):41-45.
- Zagory, D. 1995. Ethylene Removing Packaging. Rooney, M (Editor), en *Active Food Packaging*. Blackie Academic & Professional. Glasgow, U.K. p. 38-52.