

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

EFFECTO DE LAS APLICACIONES PRECOSECHA DE CALCIO Y  
ACIDOS CARBOXILICOS EN EL CONTENIDO HIDRICO Y LA  
VIDA DE ANAQUEL DE CHILE BELL

POR

MANUEL ALONZO BAEZ SAÑUDO

TESIS APROBADA POR LA

UNIDAD CULIACAN DEL CIAD EN FISIOLOGIA Y TECNOLOGIA  
POSTCOSECHA DE FRUTAS, HORTALIZAS Y GRANOS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
NUTRICION Y ALIMENTOS

C.I.A.D., A.C.

RECIBIDO

24 FEB. 2001

12740

BIBLIOTECA

ABRIL DEL 2001

CULIACAN, SINALOA.

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

Efecto de las Aplicaciones Precosecha de Calcio y Ácidos  
Carboxílicos en el Contenido Hídrico y la Vida de Anaquel  
de Chile Bell

POR

Manuel Alonzo Báez Sañudo

---

Tesis aprobada por la

UNIDAD CULIACAN DEL CIAD EN FISIOLOGIA Y TECNOLOGIA  
POSCOSCHA DE FRUTAS, HORTALIZAS Y GRANOS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
NUTRICION Y ALIMENTOS

Culiacán Sinaloa

Abril de 2001.

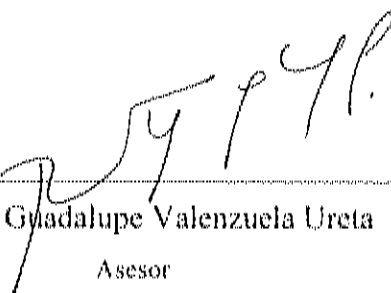
## APROBACION

Los miembros del comité designado para revisar la tesis del Ing. Manuel Alonzo Báez Sañudo, la han encontrado satisfactoria y recomiendan sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.



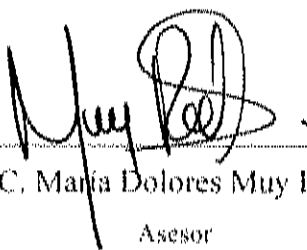
---

Dr. Jorge Humberto Siller Cepeda  
Director de Tesis



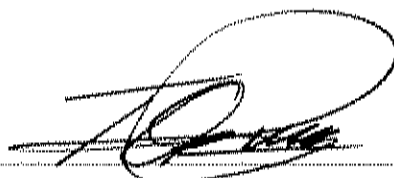
---

Dr. José Guadalupe Valenzuela Ureta  
Asesor



---

M.C. María Dolores Muy Rangel  
Asesor



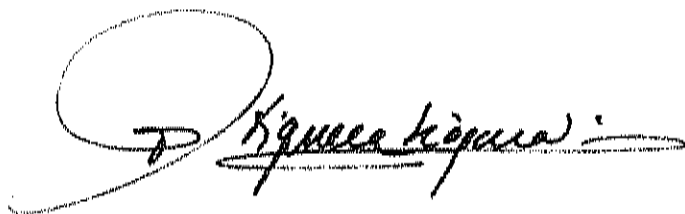
---

Dr. Tomás Osuna Enciso  
Asesor

## DECLARACION INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé 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, A.C. (CIAD).

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dr. Inocencio Higuera Ciapara', with a large, stylized initial 'D' on the left.

Dr. Inocencio Higuera Ciapara

Director General

## DEDICATORIAS

Con un profundo cariño y amor a Margarita por darme tantas satisfacciones y compartir momentos muy gratos en mi vida.

A mi Padre, donde quiera que se encuentre, sé que le hubiera gustado compartir este logro conmigo.

De manera muy especial a toda mi familia que siempre me exhorta a superarme.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi gratitud al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. unidad Culiacán por permitirme realizar mis estudios de posgrado y obtener así el grado de maestría que representa una de mis metas en la vida.

A un gran amigo y compañero, Dr. Jorge Siller, quién además de fungir como director de tesis, me ha demostrado siempre su disposición y entusiasmo para trabajar conjuntamente.

De igual manera, mi agradecimiento a los investigadores que se desempeñaron como asesores de tesis por sus acertadas observaciones y sugerencias para un mejor desarrollo del trabajo.

A todos los investigadores que participaron dentro del programa de docencia por compartir desinteresadamente sus conocimientos y experiencias.

Con gratos recuerdos de mis compañeras de posgrado: Marina, Ma. Elena, Mireya y Susana por ofrecerme también parte de sus experiencias y su amistad.

A todo el personal del CIAD unidad Culiacán, en especial a las personas que contribuyeron de alguna manera en la realización de este trabajo: Adriana Sañudo, Evelia Araiza, Laura Contreras y Verónica Pérez, gracias por su gran apoyo. No menos importante, un agradecimiento sincero para Víctor Araña (El Memín) quién hace que el trabajo en laboratorio sea menos cansado, al igual que Raúl Reyes (El Rules).

A todos, sinceramente muchas gracias .....

## INDICE

LISTA DE CUADROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xi
INTRODUCCION .....	1
OBJETIVOS .....	5
Objetivo General .....	5
Objetivos Particulares .....	5
METAS .....	6
HIPOTESIS .....	6
REVISION DE LITERATURA.....	7
Generalidades del Cultivo de Chile Bell.....	7
Botánica.....	7
Producción.....	8
Comercialización.....	9
Cosecha .....	10
Composición Química y Valor Nutricional .....	11
Factores de Calidad .....	13
Almacenamiento y Conservación .....	14
Pérdida de Agua en Frutas y Hortalizas.....	15
Factores que Influyen en la Pérdida de Agua.....	18
Relación superficie:volumen.....	19
Naturaleza y estructura de la superficie del fruto.....	19
Daño mecánico.....	20
Relación entre cociente de temperatura ( $Q_{10}$ ) y deterioro de los frutos .....	20
Relación entre temperatura y humedad relativa (HR).....	21
Movimiento de Aire y Presión Atmosférica .....	22
Control del Marchitamiento en Poscosecha .....	22
Temperatura y Humedad Relativa .....	24
Humedad relativa (HR).....	24
Temperatura .....	25

Estatus Hídrico en Frutas y Hortalizas.....	26
Potencial hídrico ( $\psi_w$ ).....	27
Potencial osmótico ( $\psi_s$ ).....	27
Contenido relativo de agua (CRA).....	29
Aplicación en fisiología poscosecha.....	30
Permeabilidad de Cutículas.....	32
Fisiología Poscosecha.....	35
Respiración.....	35
Etileno.....	37
Desordenes Fisiológicos.....	38
Daño por frío.....	38
Pudrición del ápice (Blossom end rot).....	39
Moteado del pimiento (Pepper speck).....	40
Enfermedades.....	40
Pudriciones blandas.....	40
Moho gris o pudrición por Botrytis.....	40
Pudrición por Alternaria.....	41
Tratamientos Alternativos para Prolongar Vida de Anaquel.....	41
Uso de ceras.....	42
Uso de películas plásticas.....	42
Utilización de atmósferas controladas y/o modificadas.....	43
Ácidos carboxílicos (AC).....	44
Aspersiones de calcio.....	45
<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>47</b>
Material Vegetal y Tratamientos.....	47
Análisis Físicos.....	48
Pérdida de peso.....	48
Tasa de transpiración normalizada.....	48
Firmeza.....	49
Color.....	50
Análisis Físicoquímicos.....	51
Medición del Estatus Hídrico.....	51
Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ).....	51
Contenido relativo de agua (CRA).....	51
Análisis Fisiológicos.....	52
Respiración y producción de etileno.....	52
Análisis Químicos.....	53
Extracción de cutículas.....	53
Permeabilidad de cutículas.....	53
pH y acidez titulable.....	54
Sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix).....	55
Análisis de Calcio Total.....	55



Cenizas y preparación de solución muestra .....	55
Determinación .....	56
Cuantificación .....	56
Diseño del Experimento .....	57
<b>RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>58</b>
Pérdida de Peso .....	58
Transpiración Normalizada .....	59
Permeabilidad de Cutículas al Vapor de Agua .....	62
Potencial Hídrico .....	69
Contenido Relativo de Agua (CRA) .....	71
Firmeza .....	73
Color .....	76
Respiración (Producción de CO <sub>2</sub> ) .....	77
Producción de Etileno .....	80
pH, Acidez Títulable y Sólidos Solubles Totales .....	82
Contenido Total de Calcio .....	84
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>86</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>87</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales estados productores de hortalizas a nivel nacional (1998). Superficie total: 439,489 ha .....	9
Cuadro 2. Composición y valor nutrimental de frutos de chile pimiento verdes y de color (USDA, 1998; FDA, 1992). .....	12
Cuadro 3. Contenido relativo de agua (%) en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C.....	72
Cuadro 4. Cambios en color en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C .....	77
Cuadro 5. pH, acidez titulable (AT), y sólidos solubles totales (SST) en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C.....	83

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rutas comunes de pérdida de agua en productos hortofrutícolas frescos. ....	16
Figura 2. Círculo de color que expresa la cromaticidad o dirección del color por medio de las coordenadas a* y b*. ....	50
Figura 3. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. ....	61
Figura 4. Transpiración normalizada (% pérdida de peso/g de agua) en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. ....	61
Figura 5. Transpiración diaria normalizada en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. ....	63
Figura 6. Pérdida de peso normalizada promedio durante el experimento en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. ....	63
Figura 7. Permeabilidad al vapor de agua de cutículas de frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. ....	68
Figura 8. Potencial hídrico en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. ....	68
Figura 9. Cambios en firmeza por compresión en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. ....	75
Figura 10. Modelos de regresión entre firmeza y pérdida de peso en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. ....	75
Figura 11. Comportamiento respiratorio en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. ....	79
Figura 12. Producción de etileno en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. ....	79

## RESUMEN

La exportación nacional de productos hortofrutícolas durante la temporada 1997-1998, superó los 2000 millones de dólares, de los cuales 138 millones correspondieron a chile bell pepper. Si bien es cierto que al chile se le conoce por su pungencia o picor, existen variedades del género *Capsicum* que no los son y por el contrario son un tanto dulces. Los frutos de pimiento dulce o tipo bell pepper pertenecen a éste grupo, y en los últimos años han conquistado los mercados internacionales por su bajo grado o casi nada de pungencia, su atractiva forma, su gran tamaño, la diversidad de colores y su alto contenido nutricional. Estas variedades son utilizadas principalmente en ensaladas para darle color y sabor a los platillos, en donde la turgencia y la apariencia han jugado un papel fundamental para la selección por el consumidor. Cuando los frutos pierden del 6 al 8% de su peso se observan síntomas evidentes de marchitez y ablandamiento, lo cual reduce significativamente su calidad visual (apariciencia).

Con el fin de minimizar la deshidratación y el marchitamiento de los frutos en poscosecha ocasionado por la pérdida de agua, distintos métodos son utilizados en la actualidad, tales como el uso de ceras, películas plásticas, películas comestibles, aplicación de productos químicos, y atmósferas controladas y modificadas, entre otros. El objetivo general de éste estudio fue determinar el efecto que tienen las aplicaciones precosecha de ácidos carboxílicos (AC) individuales y combinados con calcio en el contenido hídrico y la vida de anaquel de chile bell. Frutos de color amarillo del cultivar Ori fueron asperjados con soluciones de AC y calcio durante su crecimiento y desarrollo. Bajo condiciones de simulación mereadeo (20°C y 80% HR), cada tercer día se midió el contenido hídrico (potencial hídrico y contenido relativo de agua), la permeabilidad de la cutícula al vapor de agua, así como los parámetros de calidad (firmeza, sólidos solubles totales, color, acidez titulable y pH). Diariamente se determinó la tasa de transpiración y el comportamiento fisiológico ( $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$ ). La meta de esta

investigación fue generar información sobre el efecto que tienen estos productos en la calidad y vida útil de los frutos de chile bell.

Las aplicaciones de calcio mantuvieron una buena apariencia de los frutos por 12 días en mercadeo con una pérdida de peso cercana al 8%. Este mismo porcentaje se presentó el 9<sup>vo</sup> día en los frutos tratados solo con AC. De igual manera, después de 14 días los frutos tratados con calcio (con y sin AC) mostraron una menor permeabilidad de agua con valores entre 3 y 4 mg/cm<sup>2</sup>/hora. En firmeza, deformaciones de hasta 12 mm fueron consideradas aceptables en los frutos bajo estudio existiendo una fuerte correlación con los valores de transpiración. El tratamiento solo de AC mostró el potencial de agua más negativo, la mayor tasa de transpiración y respiración, así como una mayor deformación en la firmeza. Las aplicaciones precosecha de calcio incrementaron un 23% el contenido de calcio en el fruto comparado con los frutos testigo. El desarrollo del color amarillo, la acidez titulable, el pH y los sólidos solubles totales no se vieron afectados significativamente por los diferentes tratamientos, aunque el tratamiento con AC mostró una mayor acumulación de grados brix al final del experimento.

## INTRODUCCION

La mayoría de las exportaciones de frutas y hortalizas mexicanas son enviadas para abastecer la demanda de los mercados estadounidenses y en una menor proporción los de Canadá. Sin embargo, la búsqueda de nuevos mercados de exportación en los últimos años ha dado resultados positivos hacia algunos países de Europa y Japón. Estos acontecimientos han mostrado que para competir en esos mercados, es necesario llegar con productos de excelente calidad que permitan mantener su condición durante mercadeo.

En la actualidad, México ocupa el cuarto lugar en la producción de chiles con un volumen superior a las 900 mil toneladas por año, producidos en una superficie de 80 mil hectáreas (Gómez, 1997). En la temporada 1997-1998, la exportación de productos hortofrutícolas en general superó los 2000 millones de dólares, de los cuales 138 millones correspondieron a chile bell pepper. Esta cantidad corresponde al 6.9% del total de divisas generadas al país en este rubro. En comparación con la temporada 1996-1997, el volumen disminuyó de 156 a 147 mil t, sin embargo, el precio presentó un incremento del 18.2% al pasar de 117 a 138 millones de dólares por los volúmenes correspondientes (CNPH, 1998).

Existen diferentes variedades de chile bell que en años recientes han sido demandadas por los mercados internacionales, principalmente por la diversidad de colores que presentan así como por su alto contenido nutricional. Estas variedades de chile bell pepper son utilizadas para consumirse en ensaladas o bien para darle color a los platillos. Sin embargo, el chile bell pepper es un fruto altamente perecedero que requiere de un amplio conocimiento del manejo poscosecha, especialmente para reducir la deshidratación y pérdida de calidad durante la maduración y mercadeo (Santiago, 1996). Además, estos frutos requieren de un mejor entendimiento de las características que presentan durante el almacenamiento, así como también de los factores que lo afectan (Lownds *et al.*, 1993).

A pesar de que es ampliamente reconocida la importancia del agua para presentar frutos turgentes que se reflejen en una buena apariencia de los productos hortícolas frescos, todavía existe un enorme desconocimiento sobre la relación que existe entre el contenido hídrico del producto hortofrutícola, su maduración y su comportamiento poscosecha. El estrés hídrico provocado por una transpiración excesiva ha mostrado en ciertos casos acelerar el proceso de maduración de frutos como aguacate (Adato and Gazit, 1974). De la misma manera, se ha encontrado que frutos de chile bell pepper y limón con un bajo estatus hídrico presentan un mayor ablandamiento y una mayor desintegración de las membranas celulares ocasionando una pérdida progresiva de firmeza (Ben-Yehoshua *et al.*, 1983).

Todos los productos hortofrutícolas continúan perdiendo agua en forma de vapor después de ser cosechados. Si la pérdida de agua no se reduce, el producto se marchita rápidamente, se lignifica o presenta consistencia floja y eventualmente estará en condiciones no comercializables (Ryall and Lipton, 1983). En chile bell pepper, la calidad poscosecha y la vida de anaquel de los frutos está directamente relacionada con la pérdida de agua; una pérdida de peso entre 6 y 8% da como resultado frutos con baja firmeza y pobre calidad visual o apariencia (Cantwell, 1994). Esta pérdida de agua está muy relacionada con las propiedades físicas del fruto, incluyendo el contenido inicial de agua, el área de la superficie, la relación superficie:volumen y la morfología propia del fruto (Lownds *et al.*, 1993). Por lo tanto, es importante considerar los índices mínimos de calidad al momento de la cosecha para minimizar los efectos de la deshidratación durante el almacenamiento y mercadeo. Una buena calidad en chiles bell pepper verdes o de color se basa en la uniformidad de los tamaños; que estén bien desarrollados en cuanto a forma y tamaño, que tengan un adecuado desarrollo de la cutícula, que sean firmes y además que tengan una coloración uniforme (Cantwell, 1994).

La pérdida de agua en la mayoría de las frutas y hortalizas ocurre por difusión a través de los estomas y lenticelas localizados en la epidermis de los frutos (Salisbury y Ross, 1994). En algunas especies, particularmente tomate, esta pérdida de agua ocurre a través de la cicatriz del pedúnculo con el fruto, aunque en mayor proporción a través de la

piel del mismo (Cameron and Reid, 1982). En estudios con chile bell pepper con el pedúnculo adherido al fruto y sellando la herida de corte, no hubo efecto alguno en el porcentaje de pérdida de peso comparada con los frutos sin sellar la herida, esto demuestra que la pérdida de agua está más asociada con la cutícula del fruto, con las características físicas del mismo o con ambas (Lownds *et al.*, 1993). En algunos frutos, la pérdida de agua está en función del número y tamaño de estomas, sin embargo en chile bell pepper no se encontraron estomas, por lo que las diferencias en la pérdida de agua están más asociadas a otras características físicas, tales como el contenido inicial de agua y la relación superficie:volumen (Lownds *et al.*, 1993).

Este movimiento de agua del interior del fruto hacia la superficie (difusión) no solo depende de la estructura y composición del producto, sino también de la temperatura, la humedad relativa, el movimiento de aire y la presión atmosférica circundante al producto hortofrutícola (Ryall and Lipton, 1983). Un diferencial en la presión de vapor de la cámara de almacenamiento y el producto hortícola induce a la pérdida de agua en forma de vapor (Díaz-Pérez y Araiza, 1997).

En frutas y hortalizas frescas, la difusión del vapor de agua puede ser determinada por medio de la ley de Fick. De acuerdo a esta ley, el flujo de difusión de un gas a través de una barrera está en función del grosor y área de la misma, de la resistencia que presente la barrera a la difusión y del gradiente en la concentración del gas (Salisbury y Ross, 1994). Basado en esta ley, la transpiración de los frutos es directamente proporcional a la permeabilidad de la cutícula (inversa a la resistencia de difusión del gas), al déficit en la presión de vapor entre el fruto y el aire circundante, así como también al área superficial del fruto (Díaz-Pérez y Araiza, 1997).

Con el fin de reducir la deshidratación y marchitamiento de los frutos en poscosecha ocasionado por la pérdida de agua, distintos métodos son utilizados en la actualidad, tales como el uso de ceras, películas plásticas, películas comestibles, atmósferas controladas y modificadas, entre otros. Sin embargo, las aplicaciones precosecha de productos a base de calcio y ácidos carboxílicos (AC) han mostrado efectos benéficos en incrementar la síntesis y deposición de materiales que intervienen



en la composición de la pared celular y que por lo tanto reducen el ablandamiento de los frutos (Proquisa, 1998). Actualmente, existe poca información acerca de cómo estos productos influyen en la deshidratación y en la pérdida de firmeza de los frutos, de modo que permitan extender la vida de anaquel de los mismos.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo general de este estudio fue evaluar el efecto que tienen las aplicaciones precosecha de ácidos carboxílicos y calcio sobre las relaciones hídricas de los frutos de chile bell y la calidad después de cosecha. Como meta, se pretende generar información que permita reducir el marchitamiento y el ablandamiento que normalmente presentan los frutos durante el almacenamiento y la comercialización.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Determinar el efecto que tienen las aplicaciones precosecha de ácidos carboxílicos (AC) individuales y combinados con calcio sobre el contenido hídrico y la vida de anaquel de chile bell pepper.

### Objetivos Particulares

- Determinar el contenido hídrico (potencial hídrico y contenido relativo de agua) de los frutos durante el período de mercadeo (20°C).
- Cuantificar la permeabilidad de la cutícula al vapor de agua y la tasa de transpiración de los frutos expuestos a 20°C.
- Conocer los principales cambios asociados con la calidad (firmeza, sólidos solubles totales, color, acidez titulable y pH) en los frutos durante su maduración.
- Conocer el comportamiento fisiológico (  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  ) de los frutos bajo estudio.
- Establecer una relación entre los parámetros anteriores.

## **METAS**

- Extender el período de comercialización de chile bell mediante la aplicación de ácidos carboxílicos y calcio en la etapa precosecha.
- Predecir vida de anaquel en frutos de chile bell pepper en función de los cambios en las propiedades físicas, el comportamiento fisiológico y los parámetros de calidad.

## **HIPOTESIS**

- Las aplicaciones precosecha de calcio y ácidos carboxílicos individuales y/o en combinación incrementan la vida de anaquel de chile bell pepper.

## REVISION DE LITERATURA

### Generalidades del Cultivo de Chile Bell

El chile bell pepper es una hortaliza perenne de producción bianual en climas tropicales y de producción anual cuando se cultiva en climas subtropicales o templados. Esta hortaliza pertenece a la familia de las Solanáceas y su fruto es una baya seca y ahuecada por dentro que consta de pulpa, receptáculo y semilla (Nuez *et al.*, 1996). El tamaño y la forma del fruto (alargado, corto, cuadrado, cónico y aplanado), así como su color (verde, rojo, amarillo, naranja, púrpura, crema y café) dependen de la variedad (Rottenberg, 1999). Además de estar influenciado por sus caracteres genéticos, el desarrollo del tamaño y forma del fruto depende también del número de semillas en el mismo, de la temperatura cuando el ovario está en formación, de la duración del tiempo que toma para su crecimiento y del número de frutos en la planta (Rottenberg, 1999).

### **Botánica**

Todas las formas de pimiento, chile o ají utilizadas por el hombre pertenecen al género *Capsicum*. El nombre científico del género deriva del griego: según unos autores de *kapsō* (picar), y de acuerdo a otros de *kapsakes* (cápsula) de donde se deriva *Capsicum* (Nuez *et al.*, 1996). Dentro de las especies utilizadas por el hombre, se considera que cinco son las que han sido domesticadas y cultivadas: *C. annuum* donde se encuentra el chile tipo bell pepper, *C. frutescens* (tipo tabasco), *C. chinense* (tipo habanero), *C. pendulum* (tipo escabeche) y *C. pubescens* (tipo rocoto) (Nuez *et al.*, 1996). En todas las especies existen diferencias entre sí, principalmente en el color de las flores y semillas, en la forma del cáliz, así como también en la orientación y número de flores por nudo (OSU, 2000). De las especies mencionadas anteriormente, *C. annuum*

es la especie más importante económicamente, ya que agrupa a un número considerable de variedades hortícolas (Salunkhe and Desai, 1984). Anatómicamente, el fruto es una baya que está constituido por un pericarpio grueso y jugoso y un tejido placentario al que se le unen las semillas (Nuez *et al.*, 1996).

## **Producción**

La producción mundial de chiles puede dividirse en dos grandes grupos. En el primero, están ubicados China, Turquía, India, México, Nigeria, Indonesia, Corea, Egipto, Túnez y Ghana, cuya producción se concentra principalmente en los chiles pungentes. Estos países en conjunto producen un volumen superior a las 10.6 millones de toneladas en una superficie de un poco más de un millón de hectáreas. Por otra parte, el segundo grupo es mucho más compacto. Cuenta con una superficie de cultivo mucho menor (alrededor de 220 mil hectáreas) y algunos de estos países sólo cultivan chiles tipo pimiento de invernadero. Este grupo está encabezado por España, Estados Unidos, Italia, Bulgaria, Holanda, Rumania y Japón, de donde se obtiene una producción de casi 3.5 millones de toneladas, principalmente de los llamados pimientos dulces (NMSU, 1999).

En nuestro país, alrededor de 450,000 ha se destinan exclusivamente a la siembra y cultivo de hortalizas, de las cuales, los chiles (verdes y secos) ocupan la mayor superficie con 93,558 ha que representan el 21.2% del total. Le siguen en importancia los tomates (rojo y verde) con un 16.8%, la papa con 14.9% y con superficies cercanas al 10% (45,000 ha) sandía y cebolla. Estos cultivos se distribuyen a nivel nacional en 10 estados productores principalmente, donde destaca la participación del Estado de Sinaloa como líder en la siembra de hortalizas con una superficie de alrededor de 60,000 ha. (Cuadro 1). En la temporada de producción 1997-1998, Sinaloa distribuyó la siembra de hortalizas principalmente en tomates (37.2%), chiles (17%), pepinos (14.3) y calabacitas

(9.9%) entre otras. Del total de chiles, cerca del 60% correspondió a los tipo bell pepper o dulces (CAADES, 1998).

Cuadro 1. Principales Estados Productores de Hortalizas a Nivel Nacional (1998).  
Superficie Total: 439,489 ha

Estado	Porcentaje (%)
Sinaloa	15.4
Chihuahua	10.3
Guanajuato	9.8
Sonora	7.3
Michoacán	6.2
Puebla	5.3
Baja California Norte	3.9
Zacatecas	3.7
Jalisco	3.7
Estado de México	3.3
Otros	31.1

### Comercialización

En México, la exportación de productos hortícolas durante la temporada de producción 1997-98 ascendió a 2.5 millones de toneladas. Los principales volúmenes correspondieron, en orden de importancia, a los diferentes tipos de tomates (30.2%), pepino (11.2%), chiles bell pepper y picosos (9.9%), melones y sandías (9.7% cada uno), calabazas (8.4%) y cebollas (7.7%) principalmente (USDA, 1999). En este mismo ciclo hortícola, el Estado de Sinaloa comercializó en el mercado norteamericano 70.17 millones de bultos (13.5 kg aprox./bulto) de 14 diferentes variedades de productos. Del total exportado, el 34% correspondió a tomate bola, el 17% a tomate saladette, el 15% a chile bell pepper y un 12% a pepino de mesa. En bell pepper, la mayor cantidad

exportada fue de chiles de color verde con 7.56 millones de cajas, seguidas de frutos de color rojo con 2.61 millones de cajas. Chiles de color amarillo totalizaron en esta misma temporada 430 mil cajas y los chiles de color café o chocolate solo 20 mil cajas (CAADES, 1999).

Los rendimientos obtenidos por unidad de superficie son variables, éstos dependerán de la región y el país de producción, así como también de la tecnología utilizada, es decir si son producidos en invernadero o campo abierto. En invernaderos de México, la producción de chile bell oscila entre 40 y 50 ton/ha contra 7 ton/ha en campo abierto (Rottenberg, 1999).

### Cosecha

La cosecha de chiles pimiento se realiza en varios estados de madurez, dependiendo del tipo y el propósito para el cual fueron producidos. Chiles del tipo bell pepper o pimiento dulce generalmente se cosechan cuando reúnen características tales como una buena forma, que sean firmes, cerosos y brillantes (Salunkhe and Desai, 1984). Definiciones para forma, firmeza y algunos tipos de daños son dadas en los estándares de grados de calidad utilizados para pimiento dulce (USDA, 1997). Aquí se define como "firme" a un fruto que no está blando, arrugado o flácido, aunque pueda ceder al aplicar una presión ligera. Un fruto "bien formado" significa que el pimiento no es mas que ligeramente curvo o deforme. En bell pepper de color verde, el tamaño del fruto, la firmeza y el color son los principales índices de madurez al momento de cosecha. En chiles de color (rojo, amarillo, naranja, etc.), además de las características anteriores, estos deben presentar al menos un 50% de su coloración varietal (Cantwell, 1996). Si los frutos son cosechados completamente coloreados, la vida de anaquel se reduce en comparación con los verdes aunque los frutos presentan un aumento

considerable en dulzura y sabor que repercute en obtener mayores precios en los canales de comercialización (OSU, 2000).

En general, los chiles bell pepper (verdes y de color) deben reunir ciertas características para calificar como grado "U.S. Fancy" para el mercado en fresco de los Estados Unidos de Norteamérica. Además de ser firmes, bien formados y libres de defectos, los chiles deben tener un diámetro no menor de 3 pulgadas y una longitud mínima de 3.5 pulgadas. Algunas tolerancias son permitidas en este grado o clasificación pero no debe exceder del 10% en defectos y frutos fuera de tamaño (USDA, 1997).

La recolección de los frutos de chile bell se debe realizar con cuidado ya que son susceptibles al magullamiento (Rottenberg, 1999). Los frutos deben ser cortados limpiamente de la planta utilizando tijeras de mano o alguna navaja afilada, dejando aproximadamente 1 pulgada de pedúnculo unida al fruto, independientemente si es para mercado en fresco o para almacenarse. Si el corte se realiza de ésta manera, los frutos cicatrizarán más rápido, reduciendo así la incidencia de deterioro en almacenamiento y transporte (OSU, 2000). También, es necesario no exponer la fruta de manera directa a los rayos del sol para evitar daños por quemaduras o deshidratación (Rottenberg, 1999).

### Composición Química y Valor Nutricional

El contenido nutricional del pimiento es alto en comparación con otras hortalizas de amplio consumo, como por ejemplo el tomate (Nuez *et al.*, 1996). En años recientes, el interés por consumir pimientos ha crecido de forma considerable, principalmente por su valor nutritivo y medicinal ya que son considerados fuente importante de vitaminas C y E, además de poseer un alto contenido de antioxidantes. Estos compuestos, son asociados a la prevención de ciertos desórdenes cardiovasculares, así como también a



algunos tipos de cáncer y aparición de cataratas (OSU, 2000). La composición química y el valor nutrimental de los frutos de chile pimiento se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición y valor nutrimental de frutos de chile pimiento verdes y de color

Composición	En 100 g de porción comestible
Energía (Kcal)	25
Proteína (g)	0.8
Grasa (g)	0.4
Carbohidratos (g)	5.9
Fibra (g)	1.2-1.6
Vitamina A (UI) verdes – rojos	581-5700
Vitamina C (mg) verdes – rojos	82-190
Calcio (mg)	6-8
Hierro (mg)	0.5-1.3
Magnesio (mg)	9-14
Potasio (mg)	162-195

Fuente: USDA, 1998 y FDA, 1992.

De manera general, las frutas y hortalizas frescas como grupo contribuyen con el 91% de vitamina C, el 48% de vitamina A y el 27% de vitamina B<sub>6</sub> en la dieta de la población estadounidense (Kader, 1992). Además, las frutas y las hortalizas son fuente importante de pigmentos, fenoles y compuestos aromáticos (IFT, 1990). Sargent (1998), menciona que los frutos de chile pimiento de color rojo contienen 50% más azúcar que los frutos de color verde, así como también 10 veces más vitamina A. De la misma manera, el contenido de vitamina C o ácido ascórbico en frutos de color rojo y amarillo es hasta tres veces mayor en comparación con los chiles de color verde con valores hasta

de 190 mg/100 g de porción comestible (Mencarelli *et al.*, 1989; USDA, 1998). El contenido de minerales en frutos de chile bell, particularmente hierro, es superior a la mayoría de las frutas y hortalizas frescas con valores alrededor de 1.3 mg/100 g de peso fresco. Por otro lado, el contenido de magnesio es muy similar a los reportados para zanahoria y tomate (USDA, 1998; Chin and Dudek, 1988).

### Factores de Calidad

Existen ciertos atributos de calidad que el consumidor toma en cuenta al momento de realizar alguna compra de frutas y hortalizas frescas. Características tales como el color, el tamaño, la forma, la ausencia de defectos, la firmeza al tacto y los aromas son de los parámetros más importantes que determinan la aceptabilidad de un fruto en particular y presumiblemente la decisión de volver a comprar dicho producto (IFT, 1990). En el comercio mundial de chiles pimiento tipo bell, el consumidor prefiere frutos de forma cilíndrica mas o menos simétrica, ligeramente aguzados y que estén libres de irregularidades. Un fruto de chile bell fresco y deseable tiene que ser brillante, libre de daño mecánico, con cáliz y pedúnculo de color verde, fresco y brillante, además, que las paredes del fruto estén firmes (Krarup *et al.*, 1987). También, los frutos deben tener un color típico de la variedad y con buen desarrollo de cutícula y que se encuentren libres de defectos tales como quemaduras de sol, rajaduras y deterioro (Cantwell, 1996). Por el contrario, frutos con una superficie opaca indican una senescencia avanzada; así como los daños mecánicos predisponen a las pudriciones y un cáliz y pedúnculo descolorido indican envejecimiento, deterioro y posiblemente daño por frío. También la pérdida de firmeza es el resultado de una pérdida excesiva de agua (Krarup *et al.*, 1987).

En Estados Unidos, considerado el principal comprador de chile bell producido en México, diversos factores son los que determinan las preferencias del consumidor al momento de comprar chiles pimiento. Un análisis de 436 entrevistados mostró que el

color (75%) y el precio (23%) fueron aspectos más importantes que la vitamina C (3%) en la decisión de compra de los consumidores. También, se observó que los chiles de color verde son preferidos por encima de los anaranjados, amarillos y rojos, (Frank *et al.*, 1999) de ahí que la mayor cantidad de chile bell exportado sea precisamente de color verde (CAADES, 1999).

### Almacenamiento y Conservación

La vida poscosecha de productos perecederos, como las hortalizas frescas, puede prolongarse controlando apropiadamente las condiciones de almacenamiento y minimizando las enfermedades y plagas con el uso de ciertos químicos, irradiación y bajas temperaturas. Actualmente, la refrigeración es la única tecnología económicamente factible para almacenar hortalizas frescas por cortos periodos; algunos otros métodos para regular el deterioro de frutos en poscosecha son mas bien complementarios al almacenamiento a bajas temperaturas. Es decir, otros métodos para mantener calidad en poscosecha no trabajarán satisfactoriamente sin la refrigeración (Pantastico *et al.*, 1975).

Las condiciones óptimas de almacenamiento como la temperatura y la humedad relativa (HR) difieren grandemente entre frutas y hortalizas. Las temperaturas abajo del punto óptimo de almacenamiento, por lo común ocasionan daño por frío en los tejidos, especialmente en hortalizas producidas en las regiones tropicales y subtropicales, mientras que las temperaturas arriba de lo óptimo, reducen la calidad del producto (Krarup *et al.*, 1987).

En un clima húmedo, los frutos de chile pimiento suelen almacenarse a temperaturas entre 7 y 9°C, mientras que en un clima seco, donde el potencial de pudriciones es menor, un rango entre 9 y 11°C resultará más seguro para el distribuidor (Krarup *et al.*, 1987).

Para el almacenamiento, comercialización y exportación de hortalizas, muchos países desarrollados han adoptado diversos niveles de tecnificación para prolongar al máximo la vida de anaquel de los productos después de ser cosechados. Tales tecnologías incluyen prácticas como el preenfriado, la irradiación, el uso de fungicidas, la aplicación de ceras y algunas técnicas especiales de empaque. También, el uso de sistemas de almacenamiento mejorados (frío, hipobárico, atmósferas controladas y modificadas) (Pantastico *et al.*, 1975).

### Pérdida de Agua en Frutas y Hortalizas

El principal constituyente químico en la mayoría de las frutas y hortalizas frescas es el agua, la cual varía desde un 50-65% en maíz dulce hasta un 95% del peso fresco en pepino, lechuga y ciertos melones. Para la mayoría de los productos, es importante cosecharlos cuando presentan el máximo contenido de agua, con el propósito de obtener frutos de textura crujiente (Wills *et al.*, 1998).

Todas las hortalizas continúan perdiendo agua después de ser cosechadas, ya sea a través de la evaporación o transpiración de los frutos. Si esta pérdida de agua o transpiración no es reducida, el producto rápidamente se marchita, se lignifica y adquiere una consistencia floja, hasta llegar en ocasiones a ser no apto para el consumo humano (Ryall and Lipton, 1983). En la mayoría de los productos hortícolas frescos, las células se encuentran unidas entre sí dejando espacios intercelulares considerables que se conectan a las aberturas naturales del fruto (estomas y lenticelas). Estos espacios, generalmente se encuentran llenos de vapor de agua proveniente de las células manteniendo así una atmósfera saturada dentro del producto. De esta manera, el vapor de agua puede moverse hacia la atmósfera exterior a través de estomas, pedúnculo o cicatriz del mismo, cualquier área dañada del fruto, o directamente por la cutícula (Figura 1) (Mitchell, *et al.*, 1972).

En hortalizas de hoja, la pérdida de agua en forma de vapor ocurre principalmente a través de los estomas, aunque existen otras aberturas naturales por donde se pierde vapor de agua como las lenticelas, la cicatriz del pedúnculo y la propia superficie cerosa de los frutos. En general, entre más grande sea la superficie con relación al volumen, más fácilmente las hortalizas pierden humedad en un ambiente dado (Ryall and Lipton, 1983). En el caso del tomate, la cicatriz del pedúnculo es una importante vía de la pérdida de agua en forma de vapor, aunque el mayor porcentaje (90%) se da a través de la superficie del fruto (Cameron and Reid, 1982). Otra vía importante de pérdida de agua en hortalizas se presenta a través de microfisuras superficiales que se desarrollan durante el crecimiento del fruto o que son el resultado de algún daño mecánico ocasionado al producto durante su manejo. Las abrasiones, magulladuras y otros daños que remueven o debilitan las capas externas que protegen a los frutos, como la piel de las papas, también incrementan la pérdida de agua (Ryall and Lipton, 1983).

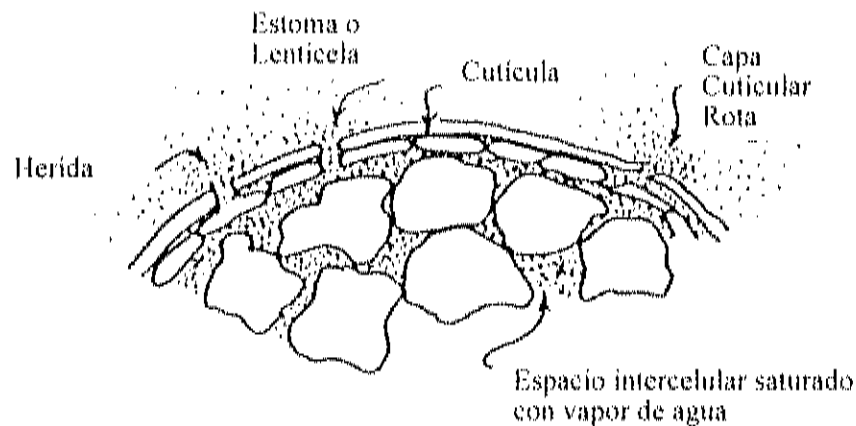


Figura 1. Rutas comunes de pérdida de agua en productos hortofrutícolas frescos. La cutícula es una cubierta cerosa que presentan algunas frutas y hortalizas.

Ryall and Lipton (1983), establecieron que la pérdida de agua de una hortaliza está fuertemente influenciada por la estructura y condición de la misma, la cual dependerá principalmente de tres factores: (1) la temperatura y humedad relativa del cuarto de almacenamiento, (2) el movimiento de aire dentro del mismo cuarto, y (3) la presión atmosférica circundante al producto.

La mayoría de las hortalizas y frutas frescas dejan de ser comestibles cuando pierden del 5 al 10% de su peso debido a la transpiración mostrando signos evidentes de marchitamiento (Salunkhe and Desai, 1984); aunque en algunos casos el marchitamiento ocasionado por la pérdida de peso puede variar desde 3 hasta 23% dependiendo del producto (Huschka, 1977).

Huschka (1977) realizó un estudio en cinco tipos de hortalizas almacenadas a 24°C y 25% HR con el propósito de cuantificar la pérdida de peso y su relación directa con los síntomas moderados de marchitamiento. El promedio en la pérdida de peso de las diferentes hortalizas que coincidía con el marchitamiento de los frutos fue: 41% en ejotes, 10.9% en repollo, 12.2% en pimientos, 23.9% en calabacita y 6.2% en tomates. Para cada producto, los valores promedio diario en pérdida de peso fueron de 10.2%, 1.3%, 2.2%, 2.3% y 0.5% respectivamente. De esta manera, se puede determinar a los cuantos días la hortaliza muestra los síntomas moderados de marchitamiento y que influirán en la comercialización del producto. En ese sentido, los ejotes en tan solo 4 días alcanzarán una pérdida del 41% que los convierte en frutos marchitos y difícilmente vendibles. Este autor, concluyó que la pérdida de peso en frutas y hortalizas frescas, además de causar una pérdida cuantitativa directa en dinero, también causa una pérdida cualitativa en apariencia del producto lo que ocasiona su rechazo. También existe una pérdida de valor nutricional donde se involucra el sabor y el contenido de vitaminas.

La deshidratación constituye el primer síntoma evidente de un inadecuado nivel de humedad, que da como resultado una pérdida de calidad en la mayoría de los productos hortícolas. Esta deshidratación se asocia comúnmente con el arrugamiento de la piel en los frutos, siempre y cuando las membranas se mantengan intactas. Si las membranas pierden su integridad, la deshidratación se presenta en los frutos sin mostrar

signos evidentes de arrugamiento en la piel (Grierson and Wardowski, 1975). El grado en el cual los tejidos pueden perder agua antes de mostrar los primeros signos de marchitamiento (capacidad de almacenar agua) dependerá de los niveles iniciales de hidratación de los frutos así como también de la elasticidad de las paredes celulares que conforman el tejido. En algunos productos hortícolas, pérdidas del 5% de su peso causan un marchitamiento pronunciado, aun en frutos voluminosos que presentan una baja relación superficie:volumen (Wills *et al.*, 1998).

La mayoría de los frutos presentan un 'empaque' natural que les proporciona una alta resistencia contra la pérdida de agua. Este empaque natural involucra la presencia de barreras estructurales tales como la cutícula cerosa (que actúa como una 'bolsa plástica') y los controles fisiológicos como es el cierre de estomas (que trabajan como microperforaciones de apertura variable) (Wills *et al.*, 1998).

En frutos no climatéricos como uva y naranja, los efectos de la HR sobre la deshidratación, se manifiestan mayormente en las propiedades físicas de los frutos y no en las propiedades fisiológicas (Grierson and Wardowski, 1978).

#### Factores que Influyen en la Pérdida de Agua

Existen diversos factores que intervienen en la pérdida de agua de las hortalizas después de que son cosechadas y que dan como resultado un marchitamiento del producto. Estos son: la relación superficie:volumen, la naturaleza y estructura de la cubierta superficial, la temperatura y humedad relativa de almacenamiento, el movimiento de aire, la presión atmosférica y el daño mecánico (Salunkhe and Desai, 1984).

### **Relación Superficie:Volumen**

De todos los factores que intervienen en la pérdida de agua de las frutas y hortalizas frescas, la relación superficie:volumen es por si solo el factor mas importante que influye en la pérdida de peso. Entre mayor sea el área superficial de una hortaliza en relación al volumen de la misma, mayor será la pérdida de agua que se presentará por evaporación. Tal es el caso de las hortalizas de hoja, las cuales pierden agua y peso más rápido que los frutos. También, los frutos pequeños, raíces y tubérculos pierden más agua que un fruto de mayor tamaño (Ryall and Lipton, 1983).

### **Naturaleza y Estructura de la Superficie del Fruto**

La pérdida de agua en los frutos esta influenciada en gran medida por el número de estomas en la epidermis, por el tipo de superficie y tejido adyacente al producto, así como también por la estructura y grosor de la cubierta cerosa en la superficie (cutícula) (Salunkhe and Desai, 1984)

En papaya, una pérdida del 8% del peso inicial produce frutos "elásticos", con poco brillo y moderadamente marchitos que los hace comercialmente inaceptables. Esta pérdida de peso se debe principalmente a la pérdida de agua del fruto, la cual durante el período de mercadeo ocurre en mayor cantidad a través del pedúnculo (3480 mg/cm<sup>2</sup>/día), en comparación con la cutícula (16.4 mg/cm<sup>2</sup>/día). Sin embargo, la mayor pérdida de peso se presenta principalmente por la piel debido a su gran área superficial. En frutos encerados, la permeabilidad de la cutícula se reduce hasta un 72% presentando valores de 4.4 mg/cm<sup>2</sup>/día (Paull and Chen, 1989).

En hortalizas de hoja y algunos frutos, la pérdida de agua y el intercambio de gases que intervienen en la respiración (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) se realiza a través de pequeñas aberturas que se localizan en la epidermis de los frutos llamadas estomas. Normalmente, los estomas se cierran después de que este tipo de hortalizas han perdido pequeñas cantidades de agua, pero bajo ciertas circunstancias (un rápido enfriamiento o tejidos



sensibles al frío) los estomas pueden mantenerse abiertos. En algunas hortalizas como papa, la pérdida de agua se presenta a través de lenticelas y no de estomas (Salunkhe and Desai, 1984).

### **Daño Mecánico**

El daño físico y mecánico, en forma de magulladuras, raspones, punciones, heridas, etc., acelera en gran medida la pérdida de agua de los productos hortícolas después de cosecha. Los frutos que muestran heridas abiertas y/o cortaduras, presentan una severa pérdida de agua, ya que el tejido adyacente a la superficie esta directamente expuesto a la atmósfera. Esta pérdida es mayor si el daño ocurre durante o después de cosecha y no en los estados tempranos de crecimiento y desarrollo, ya que la capacidad de sellar las heridas disminuye a medida que los órganos de las plantas maduran (Wills *et al.*, 1998). En chile bell, el daño mecánico (golpes, rajaduras, punciones, daños en el pedúnculo, etc.) es muy común durante las operaciones de cosecha y empacado de los frutos. Además de perder calidad visual (apariencia), el daño físico ocasiona que se incremente la pérdida de agua y el deterioro de los frutos durante poscosecha (Cantwell, 1996).

### **Relación entre Cociente de Temperatura ( $Q_{10}$ ) y Deterioro de los Frutos**

Factores tales como la humedad relativa (HR), la temperatura, el movimiento de aire y la presión atmosférica son importantes en determinar las tasas de respiración y pérdida de agua de los productos hortícolas frescos.

La tasa de respiración de las hortalizas varía de acuerdo a la temperatura. Los cocientes de temperatura ( $Q_{10}$ ) han sido utilizados para estudiar las tasas relativas de respiración y la vida de anaquel en diversas frutas y hortalizas. Los  $Q_{10}$  establecen que la

velocidad de las reacciones químicas se duplica aproximadamente por cada 10°C de aumento en la temperatura (Salunkhe and Desai, 1984).

Los valores  $Q_{10}$  difieren ampliamente entre hortalizas sobre un rango dado de temperatura, y una tasa alta de respiración no necesariamente implica un alto  $Q_{10}$  o viceversa (Ryall and Lipton, 1983)

### **Relación entre Temperatura y Humedad Relativa (HR)**

La cantidad de humedad que el aire puede mantener antes de ser saturado aumenta a medida que la temperatura aumenta, es decir, se requiere mayor cantidad de agua para saturar un aire a 15.6°C que a 4.4°C. De acuerdo a lo anterior, un cuarto a 15.6°C y 90% HR es más seco que un cuarto a 4.4°C y 90% HR (Salunkhe and Desai, 1984).

Aun cuando la humedad relativa es un factor importante en preservar por mayor tiempo las frutas y hortalizas frescas, ésta por sí sola no es un indicador satisfactorio en determinar la pérdida de agua de los diferentes productos hortícolas, ya que un nivel de HR dado es "más seco" a una alta temperatura que a una baja. Esta limitación de la humedad relativa es particularmente evidente cuando se necesita conocer bajo que condiciones de temperatura y HR la pérdida de agua será mayor, por ejemplo a 84% HR y 1.7°C o a 90% HR y 4.4°C. En ambos casos, la solución más precisa es calcular el Déficit de Presión de Vapor (DPV) o diferencial de presión en las dos condiciones (Salunkhe and Desai, 1984), lo cual determina la velocidad de evaporación y por lo tanto la transpiración de los productos hortícolas (Talbot and Baird, 1998).

Williams and Brochu (1969), desarrollaron un nomograma que relaciona DPV con temperatura y HR. En los ejemplos del párrafo anterior, el DPV en milibars (1 mbar = 0.03 pulg. Hg o 0.74 mm Hg) sería de 1.1 y 0.85 mbars respectivamente, por lo tanto, la pérdida de agua sería mayor en la primera condición (84% HR y 1.7°C). Desde otro punto de vista, al dividir 1.1 entre 0.85 mbar encontramos que la pérdida de agua en el primer caso sería hasta 1.3 veces más rápida que en la segunda condición. De esta

manera, se puede conocer bajo que condición, no sólo la pérdida de agua es mayor, sino también cuanto más grande es esa pérdida (Ryall and Lipton, 1983).

### Movimiento de Aire y Presión Atmosférica

El movimiento de aire y la presión atmosférica son factores que afectan de manera significativa la pérdida de agua de los productos hortícolas. Entre mayor sea el movimiento del aire a través de la superficie de un fruto mayor será la pérdida de agua, a menos que el aire en movimiento esté saturado de agua. Apeland and Baugerod (1971), citan el caso de zanahoria expuesta a 20°C y 55% HR donde un aumento en la velocidad del aire de 20 a 40 cm/seg incrementó la transpiración cerca de un 25%. El aire a alta velocidad causa una rápida pérdida de agua dado que continuamente remueve la delgada capa de aire saturado que cubre a los frutos u hojas. En consecuencia, se presenta un gradiente de humedad que se mueve del interior del fruto hacia el cuarto relativamente seco. Este movimiento de aire en el cuarto de almacenamiento sólo debe ser suficiente para remover el calor de la respiración de los frutos (Salunkhe and Desai, 1984).

### Control del Marchitamiento en Poscosecha

Existen dos maneras básicas de reducir la deshidratación de frutas y hortalizas durante poscosecha:

(1) *Minimizar la Diferencia de Humedad entre el Producto y el Aire a su Alrededor.* Esto se logra manteniendo la HR del aire lo más cerca posible a la saturación, mediante

aspersiones de agua en forma de niebla, es decir, reducir la diferencia entre la humedad o presión de vapor del aire de los espacios intercelulares y el aire externo alrededor de los frutos. Generalmente, los métodos adoptados para reducir esta pérdida de humedad involucran bajar la temperatura o aumentar la humedad dentro del cuarto de almacenamiento (Ryall and Lipton, 1983). Gaffney (1978), menciona que la pérdida de agua en frutas y hortalizas es directamente proporcional a la diferencia que existe entre la presión de vapor en la superficie del fruto y en el aire circundante, es decir a mayor DPV mayor deshidratación.

(2) *Proteger el Producto de la Exposición al Aire Seco.* Otro método utilizado para reducir la pérdida de agua es la colocación o aplicación de barreras físicas en el fruto; tal es el caso de las ceras y recubrimientos resistentes al agua así como la utilización de empaques apropiados (Salunkhe and Desai, 1984; Talbot and Baird, 1998). Diferentes tipos de bolsas plásticas o películas adherentes son utilizados en la actualidad con el propósito de reducir significativamente la pérdida de agua. El sistema de hidrofriado o enhielado es una práctica común que suministra humedad a los frutos en poscosecha protegiéndolos así del aire seco. También, el uso de cubiertas impermeables al agua como las ceras reducen la pérdida de agua en forma de vapor (Ryall and Lipton, 1983).

La utilización de ceras comerciales ha mostrado efectos benéficos en reducir la respiración y pérdida de agua de diversos frutos (pepino, tomate, pimiento, melón, etc.) lo que permite prolongar su vida poscosecha. Frutos encerados reducen su actividad metabólica y pérdida de agua hasta en un 50% bajo condiciones comerciales, particularmente si la herida de corte y algunos otros daños son cubiertos por la cera. El propósito fundamental de la aplicación de ceras es reemplazar algunas de las ceras naturales que son removidas durante las operaciones de lavado de los frutos, así como también para reducir la pérdida de agua y mejorar la apariencia de los mismos durante la comercialización (Wills *et al.*, 1998; Kader, 1992).

### Temperatura y Humedad Relativa

La temperatura y la humedad relativa durante el almacenamiento son los dos factores más importantes en regular todos los procesos bioquímicos y fisiológicos que intervienen durante la maduración y senescencia de las hortalizas frescas. El motivo principal de almacenar los productos hortícolas frescos es controlar la tasa de transpiración, la respiración y la infección de enfermedades, con el objetivo de preservar los productos en su manera más utilizable para los consumidores (Salunkhe and Desai, 1984).

#### **Humedad Relativa (HR)**

Diversos aspectos de la horticultura poscosecha son afectados por la humedad existente durante el almacenamiento y/o mercadeo, incluyendo pérdida de agua del producto, condensación de humedad en los frutos, curado de heridas; supervivencia, crecimiento y patogenicidad de microorganismos, así como también textura, color y sabor de los frutos (Gaffney, 1978).

La humedad puede ser expresada de diferentes maneras: humedad relativa (HR), humedad absoluta, punto de rocío, vapor de presión, y varias combinaciones de éstos (Grierson and Wardowski, 1975).

De todos los anteriores, la HR es el término mejor conocido y quizás el más utilizado para expresar la cantidad de vapor de agua en un aire determinado. La HR es definida como la cantidad de presión de vapor de agua en el aire con relación a la presión de vapor de un aire saturado a la misma temperatura, y normalmente se expresa como porcentaje (Talbot and Baird, 1998, Gaffney 1978).

El aire húmedo es la mezcla de aire seco y vapor de agua. La cantidad de vapor de agua en el aire húmedo varía de cero (aire seco) a un nivel máximo (saturación) y depende de la temperatura y la presión. Aun cuando el vapor de agua representa

solamente del 0.4 a 1.5% del peso del aire, este juega un papel muy significativo en los efectos que tiene el aire en la vida poscosecha de los productos perecederos (Talbot and Baird, 1998).

El uso de tablas psicométricas es una herramienta importante para determinar muchas de las relaciones funcionales que existen entre algunas propiedades físicas y térmicas del aire (Gaffney, 1978). Conociendo las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo, otras variables psicrométricas pueden ser determinadas con el uso de estas tablas como son humedad relativa, presión de vapor y punto de rocío, entre otras (Talbot and Baird, 1998).

Para muchos investigadores, los frutos de chile pimiento han sido el material favorito para determinar el efecto de la humedad relativa sobre la calidad y vida de anaquel de diferentes frutas y hortalizas. Diversas investigaciones han mostrado de manera convincente que el mantener atmósferas cercanas a la saturación de vapor durante el almacenamiento mantienen el fruto de chile bell fresco, en mejores condiciones que niveles de HR por debajo del 95% (Krarup *et al.*, 1987).

Durante el almacenamiento de frutos de chile bell, una HR muy alta claramente minimiza la pérdida de peso, ayuda a mantener la firmeza (menor deformación al aplicar una fuerza dada), mantiene los tejidos en una condición más turgente, disminuye la solubilización de pectinas; todo esto sin afectar la tasa de respiración y sin aumentar los niveles internos de CO<sub>2</sub> a valores críticos (Lurie *et al.*, 1986). En la práctica comercial, una humedad relativa del 90% suele utilizarse para la conservación de los frutos de chile bell, manteniendo así, una solución de compromiso entre una humedad lo suficientemente alta para evitar el marchitamiento de los frutos y lo bastante moderada para reducir el desarrollo de patógenos (Nuez *et al.*, 1996).

## **Temperatura**

La temperatura del aire es la variable más importante a considerar en el almacenamiento de frutas y hortalizas ya que tiende a controlar la temperatura de la

pulpa de los frutos. Todos los productos perecederos tienen un rango óptimo de temperatura de almacenamiento. Arriba del óptimo, los frutos respiran a mayor velocidad y son más susceptibles al etileno y las enfermedades, por otro lado temperaturas abajo del óptimo ocasionarán algunos desórdenes fisiológicos como el daño por frío o el congelamiento de los frutos (Kader, 1992). Por lo anterior, un buen control de temperatura durante el preenfriado y almacenamiento es de vital importancia para mantener la calidad y prolongar la vida de anaquel de los productos hortícolas.

Considerando que los frutos de chile bell son muy sensibles a la pérdida de agua, es necesario enfriarlos lo más pronto posible después de cosecha. Temperaturas cercanas a los 7.5°C durante el almacenamiento permiten prolongar la vida de anaquel del producto hasta por 5 semanas. Arriba de 7.5°C, los frutos pierdan más agua y se marchitan prematuramente. Cantwell (1996), reporta que cuando los chiles se almacenan a 5°C, la pérdida de agua se reduce pero los síntomas de daño por frío se pueden mostrar después de 2 semanas.

#### Estatus Hídrico en Frutas y Hortalizas

Una célula viva se considera un sistema osmótico donde se presentan dos situaciones: primero, dos o más volúmenes de solución o agua pura están aislados entre sí por una membrana que restringe el movimiento de las partículas de soluto, en mayor proporción que las partículas de solvente. Segundo, por lo común hay manera de permitir que la presión se eleve en al menos uno de los volúmenes. En la célula vegetal, la rigidez de la pared celular es la causa del incremento en la presión de uno de los volúmenes (Salisbury y Ross, 1994). Para conocer el estado hídrico que guardan los productos vegetales en relación con sus requerimientos fisiológicos, es necesario determinar dos parámetros: a) el contenido de agua del tejido, y b) la energía libre del agua dentro de los tejidos o potencial hídrico. Determinando ambos parámetros, se

obtiene una caracterización completa del estado hídrico del producto en estudio (Larqué y Trejo, 1990).

### **Potencial Hídrico ( $\psi_w$ )**

El Potencial hídrico ( $\psi_w$ ) es la actividad o disponibilidad físicoquímica que tiene el agua para participar en las funciones de las plantas y determinar la tendencia o potencial de transferencia del agua neta dentro de un sistema (Spomer, 1985). En la célula vegetal, considerada como un sistema, el potencial hídrico expresa la capacidad de realizar trabajo, en relación con la capacidad que hay en un sistema con una cantidad comparable de agua pura a la misma temperatura y presión atmosférica. Por acuerdo, el potencial hídrico del agua pura es igual a cero (100% disponible) de ahí que el potencial hídrico en las células sea negativo y se usan unidades de presión para expresarlo, tales como Bars, MPa, N, lb/pulg<sup>2</sup>, Atm, etc. El potencial hídrico se compone del *potencial de presión o de turgencia* ( $\psi_p$ ), causado por el incremento en la presión, y que es igual a la presión real en la parte del sistema que se considera, y el *potencial osmótico* ( $\psi_s$ ) (también llamado potencial de soluto), causado por la presencia de partículas de soluto (Salisbury y Ross, 1994). Normalmente, los gradientes de potencial hídrico entre órganos y tejidos son creados por diferencias en pérdidas evaporativas, por la acumulación de solutos y por la demanda de agua causada por la expansión celular (Nonami and Boyer, 1993).

### **Potencial Osmótico ( $\psi_s$ )**

Uno de los componentes del potencial hídrico en los vegetales es el potencial osmótico, el cual se basa en el cambio de las propiedades físicas y químicas del agua. La presencia de solutos en una solución o en la célula vegetal conlleva a que se ejerza un potencial osmótico. El incremento en la concentración de los solutos eleva el potencial



osmótico, esto está basado en una de las propiedades coligativas de las soluciones, que es aquella que establece que "al incrementarse la concentración de solutos en una solución se provoca una disminución en la presión de vapor" (Larqué y Trejo, 1990). El potencial osmótico de una solución es negativo con relación al agua pura ( $\psi=0$ ) dado que algunos solutos orgánicos (azúcares) o inorgánicos (sales) que se encuentran disueltos en el agua celular tienen menor energía libre para realizar un trabajo que el agua pura debido a los puentes de hidrógeno (Wills *et al.*, 1998). A medida que aumenta la presión sobre la solución, también aumenta la capacidad del solvente de realizar trabajo (y por lo tanto el potencial hídrico de la solución). Estos tres parámetros se esquematizan en la siguiente ecuación:

$$\psi_w = \psi_p + (-\psi_s)$$

donde:

$\psi_w$  = potencial hídrico

$\psi_p$  = potencial de presión

$\psi_s$  = potencial osmótico

Así como los solutos se difunden en respuesta a diferencias en el potencial químico del propio soluto, el agua se difunde en respuesta a diferencias en el potencial hídrico. Cuando el potencial hídrico es mayor en una región del sistema (célula) que en otra, y no hay una barrera impermeable que impida la difusión del agua, ésta se difunde desde la región con potencial elevado (menos negativo) a la de bajo potencial (más negativo). El proceso es espontáneo; se libera energía libre hacia los alrededores y la energía libre del sistema disminuye (Salisbury y Ross, 1994).

En la determinación de este parámetro fisiológico se utilizan varias técnicas, las más comunes son: refractométrica, crioscópica y psicrométrica. El método refractométrico se basa en el cambio del índice de refracción, el crioscópico en el

cambio del punto de congelación y el psicrométrico, en el cambio en la presión de vapor de las soluciones. Para medir el potencial osmótico del contenido celular, es necesario reducir la presión de turgencia de las células a cero, lo cual se obtiene cuando el tejido se rompe por congelación y poder así extraer la solución de la célula (Larqué y Trejo, 1990).

### **Contenido Relativo de Agua (CRA)**

El contenido de agua en los tejidos vegetales, se define como la cantidad de agua que los tejidos tienen almacenada, en relación con la máxima cantidad que pueden almacenar (Larqué y Trejo, 1990). En otras palabras, expresa la cantidad de agua en la muestra original como un porcentaje del agua en el tejido completamente hidratado (Salisbury y Ross, 1994). El contenido de agua, está determinado por las características de capacitancia de los tejidos y el balance entre el movimiento de agua dentro y fuera del vegetal. Este parámetro está interrelacionado con el potencial hídrico, generalmente ambos varían simultáneamente, es decir, si el contenido de agua de un tejido disminuye debido a una tasa alta de transpiración, el potencial hídrico del tejido también disminuye (Larqué y Trejo, 1990).

Normalmente, el contenido de agua en los tejidos vegetales se expresa en términos relativos, en relación con la máxima capacidad de agua que los tejidos pueden almacenar. De manera sencilla, este parámetro se expresa con base en peso seco (Ps) o peso fresco (Pf) del tejido, sin embargo, estas dos expresiones subestiman o sobrestiman el contenido de agua. Al expresarlo con base en peso seco, éste tiende a cambiar diaria o estacionalmente, y al expresarlo con base a peso fresco, los problemas de cambio de peso se reducen, pero también tiende a minimizar cambios importantes en el contenido de agua. Para corregir estos errores, el contenido de agua en los tejidos vegetales se expresa con base en su peso túrgido (Pt) que es el peso del tejido a su máxima turgencia, combinado con el peso seco y el peso fresco. De esta manera, el contenido de agua se le

llama ahora "Contenido Relativo de Agua (CRA)" o "Déficit de Saturación de Agua (DSA)" (Larqué y Trejo, 1990).

### **Aplicación en Fisiología Poscosecha**

En la fisiología de las frutas y hortalizas frescas, se observa que cuando los frutos son cosechados y no cuentan con una fuente de abastecimiento de agua, los tejidos empiezan a perder agua por el proceso de transpiración debido, principalmente, a que el potencial hídrico del aire cálido y relativamente seco es mucho menor que el del fruto. Sin embargo, los síntomas de marchitamiento pueden no ser evidentes en todos los tejidos, especialmente en aquellos que poseen un alto grado de soporte mecánico asociado a células de pared gruesa (células de colénquima) (Wills *et al.*, 1998). Igualmente, una rápida deshidratación se presenta cuando los frutos frescos son almacenados en condiciones de baja humedad y alta temperatura. Generalmente, el potencial hídrico del aire en un cuarto de almacenamiento es relativamente bajo en comparación con un producto hortícola cosechado (ejm,  $-14.2$  MPa a 90% HR y  $-93.6$  MPa a 50% HR; ambos a  $20^{\circ}\text{C}$ ) (Wills *et al.*, 1998). De esta manera, el fruto tiende a perder agua hacia su medio circundante, aunque este proceso pudiera ser grandemente reducido si la piel de los frutos presenta una barrera suficiente al flujo de agua (Cook and Papendick, 1978).

Como se mencionó en párrafos anteriores, el potencial osmótico se compone de diversos solutos disueltos en las células de los tejidos y forma parte importante del potencial hídrico. En frutos maduros de mango, la suma de potenciales osmóticos de cada soluto disuelto es igual a  $-1.7$  MPa y de  $-0.6$  MPa en frutos de aguacate (Wills *et al.*, 1998). También, en bayas de uva de mesa del cultivar 'Cardenal' el potencial osmótico oscila alrededor de  $-3.0$  Mpa cuando los frutos tienen aproximadamente 20° Brix (Matthews *et al.*, 1987). Esto demuestra que existe una fuerte correlación negativa entre el índice de refracción (° Brix) y el potencial osmótico o de solutos. Es decir, a medida que aumentan los grados Brix por efecto de la maduración, el potencial osmótico

disminuye con un valor  $r^2 = 0.989$ . Durante el crecimiento de la baya, potenciales osmóticos de  $-0.6$  a  $-0.9$  Mpa se presentan durante los estados I y II. Posteriormente, existe una disminución de  $0.067$  Mpa por día hasta que los frutos maduran, cuando la baya presenta un potencial osmótico de  $-3.15$  Mpa (fase III) (Matthews *et al.*, 1987). En frutos de rambután, también se presenta una estrecha correlación negativa entre el potencial hídrico y el encafecimiento de la piel, los valores más altos de encafecimiento corresponden a los valores más bajos de potencial de agua (Landrigan *et al.*, 1996). Este autor, propone que la pérdida excesiva de agua y el desarrollo de plasmólisis, ocasionan una pérdida en la permeabilidad de la membrana del fruto induciendo un encafecimiento del mismo.

El potencial hídrico, considerado como un determinante final en el movimiento difusional de agua dentro de las células, presenta valores de  $-0.5$  a  $-1.3$  Mpa en frutos de chile bell pepper cuando son almacenados a  $17^{\circ}\text{C}$  y  $85\%$  HR. Al momento de cosecha, los frutos de color verde muestran los valores más altos de potencial hídrico (menos negativos) en comparación con los de color rojo. También, a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento el potencial de agua en los frutos de ambos colores disminuye (Lurie *et al.*, 1986). En zanahoria, el potencial hídrico es una manera rápida y confiable para cuantificar los cambios en el estatus hídrico de los frutos. Zanahorias recién cosechadas, presentan valores de potencial hídrico entre  $-0.2$  y  $-0.6$  Mpa. Sin embargo, después de 2 días a  $18^{\circ}\text{C}$  y aun con alta humedad relativa ( $> 98\%$ ), el potencial hídrico disminuye arriba del  $20\%$ , independientemente si las hojas son desprendidas. Asimismo, el potencial de presión disminuye de  $0.7$  a  $0.3$  MPa mientras que el potencial osmótico no se ve afectado por el almacenamiento (Herppich *et al.*, 1999). En manzana cv. Granny Smith, los golpes y magulladuras después de cosecha también causan una disminución en el potencial hídrico de los frutos, sobre todo cuando son expuestos una semana a  $20^{\circ}\text{C}$  (Samim and Banks, 1993).

En precosecha, diversos factores intervienen en el estatus hídrico de los frutos. La carga o número de frutos/árbol es un parámetro importante que determina el crecimiento y calidad de los frutos. En árboles de durazno con mucha carga ( $450 - 560$

frutos/árbol), los frutos mostraron potenciales hídricos más negativos y potenciales osmóticos superiores que los frutos de árboles con poca carga (310 frutos/árbol). En consecuencia, el potencial de turgencia fue menor en duraznos de árboles con mayor número de frutos (McFadyen *et al.*, 1996). Por otro lado, en pera asiática, también el estrés de agua durante el riego ocasionó una baja en el potencial hídrico de los frutos en comparación con los frutos de árboles testigo (Behboudian and Lawes, 1994). Igualmente, frutos de mandarina cv. Satsuma provenientes de árboles con deficiencia de humedad tuvieron un potencial hídrico del pericarpio de -0.5 a -0.7 Mpa menos que en frutos control. Aun en frutos de árboles bien irrigados, el potencial hídrico del pericarpio disminuyó hasta -1.8 Mpa al tercer mes de cosecha mostrando el mayor decremento después del primer mes de producción. Esta caída en el potencial hídrico del pericarpio de los frutos control, no fue relacionada con un estrés hídrico sino con el proceso normal de maduración de los frutos. También, el potencial osmótico fue menos negativo en el jugo de frutos control y disminuyó a medida que los sólidos solubles totales aumentaron (Yakushiji *et al.*, 1996). El estrés por agua en plantas de fresa, también dio como resultado frutos con menor potencial osmótico (-1.4 MPa) en comparación con los frutos control (-0.82 MPa) (Pomper and Breen, 1997).

#### Permeabilidad de Cutículas

La permeabilidad de una sustancia que se difunde es el recíproco a la resistencia. Las unidades de permeabilidad son unidades de distancia por unidad de tiempo (por ejemplo,  $m s^{-1}$ ). Un medio, como una membrana celular, con alta resistencia a la difusión de solutos o solventes, tiene baja permeabilidad (Salisbury y Ross, 1994).

Las frutas y hortalizas frescas, así como otras partes aéreas de las plantas (hojas, tallos, flores, etc) son cubiertas, a excepción de las aperturas estomáticas o glandulares, por una continua membrana lipídica extracelular llamada cutícula. El grosor de ésta puede variar desde 0.5 hasta 15  $\mu m$  y está constituida principalmente por cutina

(polímero insoluble formado de ácidos grasos unido a grupos hidroxilo y ceras que constituyen los lípidos cuticulares solubles). Estos últimos compuestos se encuentran inmersos dentro de la cutina y cubren, en diversas formas, la capa externa de la cutícula. Los lípidos cuticulares solubles son una mezcla compleja de componentes cíclicos y alifáticos de larga cadena incluyendo alcoholes primarios (C26, C28, C30), hidrocarburos (C29, C31), alcoholes secundarios (C29), dicetonas (C31, C33), triterpenoides y ácidos grasos (Holloway, 1982). Las cutículas también contienen componentes no lipídicos tales como polisacáridos (celulosa, pectinas) y compuestos fenólicos. También, la presencia de polipéptidos ha sido reportada (Holloway, 1982). Dependiendo de la distribución y cantidad de estos compuestos en el fruto, así como de factores ambientales externos la permeabilidad del producto se verá afectada.

La principal función de la cutícula es minimizar la pérdida de agua de los vegetales cuando los estomas están cerrados (Chamel *et al.*, 1991). Existe evidencia considerable que las ceras que se encuentran en la cutícula son el principal componente que limita la difusión del vapor de agua (Schonherr, 1976). La cutícula de diversas hortalizas como tomate (Shirazi and Cameron, 1993) y chile bell pepper (Lownds *et al.*, 1993) no contiene estomas, lenticelas u otras fisuras obvias, por lo tanto, dicha cutícula puede ser considerada como una membrana polimérica continua. Shirazi and Cameron (1993) establecen que la difusión del vapor de agua en frutos de tomate ocurre principalmente a través de un polímero (cutícula) y no a través de la cicatriz del pedúnculo (abertura), ya que la difusión del gas a través de los huecos en la cicatriz del pedúnculo es menos dependiente de la temperatura que la difusión a través del polímero.

La difusión del vapor de agua en los frutos puede ser determinada por medio de la ley de Fick. De acuerdo a esta ley, el flujo de difusión de un gas a través de una barrera está en función del grosor y área de la misma, de la resistencia que presente la barrera a la difusión y del gradiente en la concentración del gas (Salisbury y Ross, 1994). Basado en esta ley, la transpiración de los frutos es directamente proporcional a la permeabilidad de la cutícula (inversa a la resistencia de difusión del gas), al déficit en

la presión de vapor entre el fruto y el aire circundante, así como también al área superficial del fruto (Díaz-Pérez y Araíza, 1997).

En frutos de tomate, la cicatriz del pedúnculo ha mostrado ser el principal sitio por donde se realiza el intercambio de gases, principalmente  $O_2$ , aunque >90% del vapor de agua escapa a través de la piel del fruto (Cameron and Reid, 1982). En chile bell pepper, también la mayor pérdida de vapor de agua ocurre por difusión a través de la cutícula del fruto (Lownds *et al.*, 1994) y a través del cáliz en frutos de berenjena (Díaz-Pérez y Araíza, 1997). En papaya, la tasa más alta de pérdida de agua ocurre a través de la cicatriz del pedúnculo ( $3500 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}$ ) en comparación con la piel ( $4.4 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}$ ). Sin embargo, la mayor pérdida de agua se presenta por la piel debido a su gran área superficial. Al inicio de la maduración, la resistencia de la piel al movimiento de agua se incrementa, por lo tanto la permeabilidad se reduce (Paul and Chen, 1989).

Se ha demostrado que las cutículas tienen muy baja permeabilidad y es generalmente asumido que la cutícula se hincha en presencia de agua a medida que aumenta la HR. Dependiendo del contenido de agua en un ambiente dado será la permeabilidad de la cutícula (Chamel *et al.*, 1991). Shirazi and Cameron (1993), encontraron que la permeabilidad al vapor de agua en frutos de tomate se incrementa sustancialmente cuando aumenta la HR (50 a 90%), aunque esta relación no fue consistente entre frutos. Algunos investigadores citados por este autor, sugieren que cuando la HR es alta, las células epidérmicas pudieran hincharse incrementando así la efectividad de los poros del área a la difusión. Otros autores mencionan que a baja HR, el enfriamiento evaporativo reduce la fuerza conductora y por lo tanto la estimación de la permeabilidad del vapor de agua. También, el incremento en pH ocasiona un mayor coeficiente de permeabilidad en frutos de manzana y tomate, incluso minerales como el calcio se difunden mayormente a través de la cutícula con el aumento del pH (Chamel, 1989).

## Fisiología Poscosecha

### **Respiración**

El proceso de respiración es considerado como el evento metabólico principal que se lleva a cabo en cualquier producto cosechado o parte viva de una planta. Se describe como la degradación oxidativa de materiales complejos que normalmente se encuentran presentes en las células, tales como, almidones, azúcares y ácidos orgánicos, en moléculas más simples como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua. Durante este proceso existe una producción de energía y de otras moléculas que la célula utiliza para realizar otras reacciones de síntesis (Wills *et al.*, 1998).

La tasa respiratoria de un producto hortofrutícola representa un excelente indicador de la actividad metabólica que presenta un tejido en particular, lo cual sirve como guía para estimar la vida poscosecha de un producto. Tasas respiratorias altas por lo común dan como resultado una vida de anaquel más corta del producto, y contrariamente, productos con tasas de respiración baja tienen una vida de anaquel más larga (Ryall and Lipton, 1983). La respiración puede ser cuantificada midiendo la cantidad de oxígeno consumido o el dióxido de carbono producido durante las etapas de desarrollo, maduración y senescencia de los frutos, dando como resultado un patrón de respiración característico.

Un importante grupo de frutos en los que se incluye tomate, mango, plátano, papaya, aguacate y manzana muestran variaciones en su patrón respiratorio. Estos frutos presentan un incremento marcado en la respiración, el cual coincide con la etapa de maduración. A este incremento en la respiración se le conoce como respiración climatérica, y los frutos que presentan este comportamiento se les conoce como frutos climatéricos. La intensidad y duración de la respiración climatérica varía grandemente entre las diferentes especies de frutos. Por otro lado, frutos que no muestran un incremento repentino en la actividad metabólica se les conoce como frutos no climatéricos. En este grupo se encuentran la mayoría de las hortalizas, los frutos cítricos,



la piña, la fresa etc., que al igual que los frutos climatéricos muestran cambios durante la maduración aunque de manera mucho menos intensa (Wills *et al.*, 1998).

Los chiles tipo bell o pimiento dulce han sido clasificados como frutos no climatéricos (Villavicencio *et al.*, 1999; Lurie *et al.*, 1986) al igual que algunos tipos de chile picante como *C. annuum* L. 'Changjiao' (Lu *et al.*, 1990) y pimientos del tipo nuevo México como *C. annuum* L. 'New Mexico 6-4' (Biles *et al.*, 1993). En estudios realizados por Saltveit (1977), menciona que la maduración de chiles tipo bell de color verde tampoco mostró un aumento climatérico en la concentración de etileno o CO<sub>2</sub> antes o después del desarrollo de color, aunque su contenido de etileno se duplicó y el CO<sub>2</sub> aumentó un 10% cuando el fruto cambió de verde a rojo. Ambos cambios fueron significativos, aunque no tan pronunciados como en otros miembros de la familia de las Solanáceas, que se consideran climatéricos como el tomate. Una posible explicación a este hecho, sugerida por el mismo autor, podría estar ligada a la historia de domesticación de los *Capsicum*. Los pimientos cultivados tienen frutos persistentes y normalmente péndulos, en tanto que los pimientos silvestres tiene frutos erectos y caducos. Otros tipos de *Capsicum*, como los frutos de chile picante del cultivar *C. annuum* L. 'Choorachong' mostraron un patrón de respiración climatérico cuando los frutos se cosecharon con un 50% de color rojo (Gross *et al.*, 1986). En estudios realizados por Villavicencio *et al.* (1999), con frutos tipo bell pepper ('Camelot' y 'King Arthur') cosechados en 5 diferentes estados de madurez, mostraron un decremento uniforme en la respiración a medida que transcurrió la maduración, es decir, los valores más bajos en la producción de CO<sub>2</sub> se presentaron cuando los frutos estaban completamente rojos. Coincidentemente, la respiración no mostró un incremento significativo cuando los frutos cambiaron de color verde maduro a rojo (Villavicencio *et al.*, 1999), de ahí que las tasas de respiración no muestren grandes rangos en la producción de CO<sub>2</sub> con valores similares para frutos verdes y de color de 18-20 mL/Kg-h cuando son almacenados a 20°C (Cantwell, 1996).

## Etileno

Los frutos climatéricos y no climatéricos se diferencian por el patrón que presentan en la producción de etileno durante la maduración, así como también por su respuesta a la aplicación de etileno exógeno. Está claramente establecido que todos los frutos producen pequeñas cantidades de etileno durante el desarrollo. Sin embargo, los frutos climatéricos producen cantidades mucho mayor de etileno durante la maduración que los frutos no climatéricos (Wills *et al.*, 1998). También, la producción de etileno aumenta por efecto de algún daño mecánico sobre el fruto, por la incidencia de enfermedades, por estrés hídrico y por aumento de la temperatura arriba de 30°C (Nuez *et al.*, 1996).

Considerando que los chiles tipo bell pepper son no climatéricos, ellos producen muy bajos niveles de etileno: de 0.1-0.2  $\mu\text{L}/\text{Kg}\cdot\text{h}$  a temperatura entre 10 y 20°C (Cantwell, 1996). Aun cuando los frutos rojos de pimiento dulce producen la mayor cantidad de etileno en comparación con otros estados de madurez, la cantidad no es suficiente para inducir la producción autocatalítica de etileno (Lurie *et al.*, 1986).

Se ha observado que las aplicaciones de productos liberadores de etileno en plantas de chile bell han incrementado el desarrollo de color en los frutos, lo cual sugiere que el etileno está involucrado en el proceso de maduración (Osterli *et al.*, 1975). Sin embargo, las aplicaciones de etileno en poscosecha muestran poco efecto en el desarrollo del color de chile pimiento. Frutos cosechados en diferentes estados de madurez ('breaker', 10-30% color rojo; 'turning', 30-60% de color y >60% de color rojo) no mostraron un adelanto en el cambio de color con la aplicación de etileno. De igual forma, los frutos en estado verde-maduro nunca alcanzaron a colorear completamente con o sin la exposición al etileno (Cantwell, 1994). Caso contrario es el estudio realizado por Saltveit (1977), donde menciona que los frutos de chile pimiento verde mostraron una respuesta positiva a los tratamientos con etileno y etefón, es decir, maduraron parcialmente incrementando la pigmentación roja de los frutos, sin inducir un aumento climatérico en etileno y  $\text{CO}_2$ .

Temperaturas de 20 a 25°C y humedad relativa alta (90-95%) resultan ser el método más efectivo para un rápido desarrollo de color en frutos de chile bell. A temperaturas debajo de 10°C el cambio de color se inhibe, de manera que si el objetivo es mantener los frutos en un estado verde-maduro sin cambiar de color, temperatura de 7.5°C es recomendada (Cantwell, 1994).

### Desórdenes Fisiológicos

#### **Daño por Frío**

El daño por frío es un desorden, relacionado a daño fisiológico, inducido por la exposición de plantas o partes de plantas a temperaturas bajas cercanas al punto de congelación. Este desorden afecta solamente a las hortalizas que tienen su origen en las áreas tropicales o subtropicales del mundo (Ryall and Lipton, 1983).

La severidad del daño por frío está determinado por tres factores: (1) temperatura, (2) duración de la exposición del producto a una temperatura dada, y (3) la sensibilidad del cultivo al frío.

Los síntomas de daño por frío son difíciles de percibir cuando los frutos están expuestos a temperaturas de enfriamiento, sin embargo, cuando son transferidos a temperatura ambiente, los daños empiezan a ser evidentes. Estos daños se manifiestan como deterioro, picado de la superficie, decoloración de los frutos e incapacidad para madurar normalmente.

Chile bell, al igual que otras hortalizas como ejote, pepino, okra, calabacita y tomate son sensibles al daño por frío, por lo tanto deben ser almacenadas a temperaturas de 4.4 a 10°C (Salunkhe and Desai, 1984). Otros autores mencionan que temperaturas abajo de 5°C son suficiente para inducir daño por frío en chile bell después de 7 días de almacenamiento, aunque las variedades de color rojo por ser menos sensibles al frío

podrían almacenarse a temperaturas menores a 5°C (Krarup *et al.*, 1987). Por otro lado, temperaturas entre 11.1 y 12.8°C inducirán una maduración más rápida y un pronto deterioro de los frutos (Salunkhe and Desai, 1984). En frutos de chile bell pepper, el principal síntoma de daño por frío es inequívoco: la superficie es afectada por áreas hundidas, superficiales que se conocen con el nombre de “picado” o punteado laminar (Krarup *et al.*, 1987). Otros síntomas, incluyen áreas aguanosas en el fruto, deterioro (principalmente pudrición por *Alternaria* sp.) y decoloración de la cavidad donde se encuentran las semillas (Cantwell, 1996). La pérdida del brillo de la superficie de los frutos, el encaféamiento de las semillas y la decoloración y muerte del cáliz, también son el resultado de la exposición de los frutos de chile bell a temperaturas dañinas. Sin embargo, estos síntomas, individualmente no son indicadores seguros del daño por frío porque también pueden ser inducidos por otros factores (Krarup *et al.*, 1987). Lurie *et al.* (1995), encontraron que las aplicaciones precosecha de reguladores de crecimiento tales como paclobutrazol, uniconazole y mefluidide, ayudan a minimizar los síntomas de daño por frío que se presentan en frutos de chile bell después de 28 días de almacenamiento a 2°C. De esta manera, se observó que los reguladores de crecimiento incrementaron significativamente la tolerancia de los frutos a la exposición a bajas temperaturas.

Además de los desórdenes mencionados anteriormente, el daño por frío puede reducir el valor nutritivo en diversos cultivos, como es la disminución de ácido ascórbico en algunas hortalizas (Ryall and Lipton, 1983).

### **Pudrición del Apice (Blossom end rot)**

En frutos de chile bell, este desorden se presenta como una ligera decoloración o como una severa lesión oscura hundida en la parte del ápice de los frutos. Insuficiencias temporales de agua y calcio son las causas principales de este desorden y puede presentarse bajo condiciones de alta temperatura, cuando los frutos están en rápido crecimiento (Cantwell, 1996).

### **Moteado del Pimiento (Pepper speck)**

Este desorden aparece como lesiones que se asemejan a manchas o moteados que penetran la pared de los frutos de chile bell. La causa es desconocida y algunas variedades presentan mayor susceptibilidad que otras (Cantwell, 1996).

## Enfermedades

### **Pudriciones Blandas**

Las pudriciones blandas ocasionadas por bacterias han sido las enfermedades más comúnmente observadas en más de 5,000 embarques de chile bell en los mercados de Nueva York, USA. Alrededor de un 70% de los envíos se encontraban con al menos algo de pudrición bacteriana (Ceponis *et al.*, 1987).

Generalmente, las pudriciones blandas son causadas por varios tipos de bacterias, principalmente del género *Erwinia*, las cuales atacan principalmente al tejido dañado o en mal estado. Este tipo de pudriciones, también pueden presentarse en frutos de chile bell que han sido lavados o hidrogenfriados con agua insalubre o no potable (Cantwell, 1996).

### **Moho Gris o Pudrición por Botrytis**

Otro tipo de desorden patológico que se presenta en muchas regiones productoras de chile bell en el mundo es el Moho gris o Pudrición por *Botrytis*, causada por el hongo del mismo nombre. Generalmente, este hongo prolifera bien bajo las condiciones normales de almacenamiento, por lo que una buena sanidad en el campo y la prevención de heridas en el fruto, ayudarán a reducir la incidencia de esta enfermedad (Cantwell,

1996). Tratamientos de inmersión con agua caliente (55°C por 4 minutos) resultaron efectivos en controlar la pudrición por *Botrytis* en frutos de chile bell sin causar ningún daño a los frutos (Cantwell, 1996). Fallik *et al.* (1999), también establecieron un método rápido de aspersión con agua caliente (55 ± 1°C por 12 ± 2 segundos) para limpiar y desinfectar frutos de chile bell. Este tratamiento, redujo el deterioro de los frutos mejorando de manera significativa la apariencia. En los embarques de chile bell en Nueva York, las pudriciones por *Botrytis* también son importantes. Aunque bastante separado de la pudrición blanda, los envíos mostraron pudriciones causadas por *Botrytis* sp. en un 2,5% de los embarques. La incidencia de ambas enfermedades (pudriciones blandas y *Botrytis*) fue casi de igual magnitud en chiles bell de color verde y rojo (Ceponis *et al.*, 1987).

### **Pudrición por *Alternaria***

Los síntomas de esta enfermedad, normalmente se presentan como pudriciones negras y duras ocasionadas por hongos del género *Alternaria* sp. En frutos de chile bell, la pudrición aparece en la parte final del pedúnculo (en el corte) y se asocia como un síntoma de daño por frío. Por lo tanto, la mejor manera de controlar esta enfermedad, es almacenar los frutos a una temperatura de 7.2°C (Cantwell, 1996).

### Tratamientos Alternativos para Prolongar Vida de Anaquel

Con el fin de reducir la deshidratación y marchitamiento de los frutos en poscosecha ocasionado por la pérdida de agua, distintos métodos son utilizados en la actualidad, entre los que se pueden mencionar, el uso de ceras, películas plásticas, películas comestibles, baja temperatura y alta HR, atmósferas controladas y atmósferas modificadas, entre otros. Sin embargo, las aplicaciones precosecha de productos a base

de calcio y ácidos carboxílicos (AC), han mostrado efectos benéficos en incrementar la síntesis y deposición de materiales que intervienen en la composición de la pared celular y que por lo tanto reducen la deshidratación y el ablandamiento de los frutos (Proquiza, 1998).

### **Uso de Ceras**

La utilización de ceras comerciales ha mostrado efectos benéficos en reducir la respiración y pérdida de agua de diversos frutos como pepino, tomate, chile pimiento, melón, etc., lo que permite prolongar su vida poscosecha. Frutos encerados reducen su actividad metabólica y pérdida de agua hasta en un 50% bajo condiciones comerciales, particularmente si la herida de corte y algunos otros daños son cubiertos por la cera (Wills *et al.*, 1998). El propósito fundamental de la aplicación de ceras es sustituir las ceras naturales que son removidas durante las operaciones de lavado de los frutos, así como también para reducir la pérdida de agua y mejorar la apariencia de los mismos durante la comercialización (Mitchell, 1992).

En frutos de papaya, la utilización de ceras y películas plásticas ha mostrado reducir significativamente la pérdida de humedad. Frutos encerados pierden de un 14 a 40% menos de agua en comparación con frutos control, dependiendo del tipo de cera utilizada (Paull and Chen, 1989).

### **Uso de Películas Plásticas**

El empaque individual de frutos en películas plásticas ha mostrado efectos benéficos en extender la vida de los productos hortícolas después de cosecha. Frutos cubiertos con bolsas plásticas mantuvieron la firmeza y la apariencia fresca por más del doble de tiempo en comparación con los frutos utilizados como testigo (sin empaçar) (Ben-Yehoshua *et al.*, 1983). La utilización de bolsas de polietileno de alta densidad, herméticas y con saturación de humedad, lograron reducir la pérdida de peso de chile

bell hasta un 90% en comparación con los frutos control. Además, los cambios que se producen por la senescencia del fruto disminuyeron, tales como: firmeza del fruto, potencial de agua, déficit de saturación de agua, rompimiento de la pared celular y producción de bióxido de carbono (Ben-Yehoshua *et al.*, 1983). De igual manera, cuando frutos de chile bell son almacenados a 17°C y 85% HR pierden cerca de diez veces más peso que frutos que han sido envueltos individualmente en películas plásticas (1.5 vs. 15%). También, la deformación de los frutos, como índice de ablandamiento, es mayor en los frutos control (13 mm) en comparación con los frutos envueltos en plástico (4 mm), cuando se les aplica una fuerza dada (Lurie *et al.*, 1986).

Lurie *et al.* (1986), establecieron que la elevación de la humedad desde un 85% hasta completa saturación, reduce significativamente la senescencia de frutos de chile bell, incluso más que si la temperatura disminuyera. Estos mismos autores, coinciden en que posiblemente el estrés hídrico sea para chile bell un desencadenamiento de su senescencia.

### **Utilización de Atmosferas Controladas o Modificadas**

Cuando se altera la composición atmosférica normal del aire de una cámara (78.08% nitrógeno, 20.95% oxígeno, 0.03% dióxido de carbono) introduciendo o suprimiendo gases, se origina lo que se denominan atmósferas modificadas o atmósferas controladas. La diferencia entre ambas estriba en el grado de control que se ejerce sobre las mismas, siendo más exacta la atmósfera controlada. Este tipo de atmósferas se caracterizan fundamentalmente por la reducción en la concentración de oxígeno y/o en el aumento de la concentración de dióxido de carbono (Nuez *et al.*, 1996).

Generalmente, los frutos de chile bell no responden bien a las atmósferas controladas. Atmósferas con concentraciones bajas de O<sub>2</sub> (2-5%), tienen poco efecto en la calidad de los frutos (Cantwell, 1996). Sin embargo, se ha reportado que las concentraciones bajas de O<sub>2</sub> inhiben la maduración sensorial de chile bell sin detallar el grado de retardo, aunque un 3% de O<sub>2</sub> disminuye la tasa de respiración en un tercio



comparada con los frutos testigo cuando se almacenan entre 8 y 9°C (Krarup *et al.*, 1987). Por otro lado, atmósferas con alto contenido de CO<sub>2</sub> (> 5%), pueden causar daños severos en los pimientos, tales como, picado, decoloración y ablandamiento de los frutos (Cantwell, 1996). Wang (1977), sometió frutos de chile bell a una concentración del 10% de dióxido de carbono durante 6 días y logró retrasar diversos aspectos metabólicos de los frutos: la tasa de producción de etileno, el ablandamiento de la pared celular, la degradación de la clorofila y el desarrollo de color rojo. Con mayores concentraciones (20% o más de CO<sub>2</sub>) durante el almacenamiento, se retrasó la senescencia de los pimientos, pero se produjeron daños severos en los frutos, sobre todo la decoloración y muerte del cáliz (Wang, 1977; Krarup *et al.*, 1987). Estos síntomas se vuelven más evidentes cuando los frutos son almacenados a temperaturas debajo de 10°C (Cantwell, 1996).

Resultados benéficos se han observado con la utilización de atmósferas de 3% O<sub>2</sub> + 5% CO<sub>2</sub>. Bajo estas condiciones, frutos de chile bell de color rojo mostraron mejores condiciones que los de color verde cuando fueron almacenados entre 5 y 10°C por un período 3 a 4 semanas (Cantwell, 1996).

### **Ácidos Carboxílicos (AC)**

Los ácidos carboxílicos son compuestos orgánicos sintetizados por los tejidos vegetales a través de sus procesos de respiración y fotosíntesis, y son importantes para estimular la absorción de elementos minerales, también son precursores de azúcares, lípidos, aminoácidos y proteínas, y además son esenciales para las reacciones de respiración. Generalmente, los AC son asperjados durante los estados reproductivos de la planta para que sean traslocados hacia los puntos de crecimiento (flores, frutos, hojas), de esta manera se incrementa el contenido de calcio y pectinas en los puntos de mayor demanda. La aplicación de este compuesto en las etapas tempranas de desarrollo del fruto obedece a que durante este período ocurre una mayor ingesta de calcio (Proquiza, 1998).

La manera que los AC mantienen la calidad de los frutos durante poscosecha es induciendo una alta biosíntesis de calcio unido a pectinas para mejorar la integridad de la pared celular, así como también modificando la composición de la cutícula de una manera benéfica (Proquiza, 1998). En estudios realizados con manzana y tomate se encontró que el contenido de pectinas en los frutos aumentó cuando se aplicaron AC en relación con el testigo. De igual forma, la aplicación de AC ha mostrado un efecto significativo en reducir la transpiración de los frutos de tomate almacenados a 20°C, con una pérdida de agua diaria de 0.23% contra 0.3% en testigo. Otros estudios han sugerido que la morfología de la epidermis se ve influenciada por las aplicaciones de AC, mostrando una alineación de las células contiguas a la cutícula, integración de las paredes celulares y ceras cuticulares más gruesas comparadas con el testigo (Proquiza, 1998).

### **Aspersiones de Calcio**

El calcio es un importante agente que regula el rompimiento de la pared celular de los frutos durante la maduración y senescencia (Picchioni *et al.*, 1995). Como resultado de esto, un incremento en el contenido de calcio en muchos frutos retarda el ablandamiento o pérdida de firmeza y otros cambios relacionados con el proceso de maduración (Picchioni *et al.*, 1995; Roy *et al.*, 1995).

Además de mantener la firmeza de los frutos, el calcio en concentraciones adecuadas reduce la incidencia de desórdenes fisiológicos, retrasa la maduración y mantienen la calidad de los frutos por más tiempo (Janisiewicz *et al.*, 1998; Roy *et al.*, 1996). La manera de cómo el calcio retarda el ablandamiento es reduciendo los sitios aniónicos de la pared celular, limitando así su separación (Picchioni *et al.*, 1998; Roy *et al.*, 1995). Sin embargo, el calcio aplicado al suelo durante la fertilización antes de la cosecha, no es suficiente para reducir significativamente los desórdenes fisiológicos y patológicos que se presentan durante poscosecha. Por esto, para incrementar la concentración de calcio en el fruto es necesario realizar aspersiones directas en planta o

inmersiones en poscosecha para asegurar altos niveles de calcio en los frutos que permitan mantener la firmeza y reducir los desórdenes fisiológicos durante el almacenamiento (Lurie *et al.*, 1996; Roy *et al.*, 1996; Saftner *et al.*, 1997).

En tomate y chile pimiento, un desorden fisiológico que se presenta comúnmente es la pudrición blanda del ápice, la cual está relacionada con bajos niveles de calcio en los frutos. Se ha visto que las aplicaciones exógenas de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  reducen grandemente este tipo de pudrición en tomates así como también en chile pimiento producido en invernadero (Alexander and Clough, 1998).

Durante la maduración de frutos de fresa, que son altamente susceptibles a magulladuras y deterioro poscosecha, los iones calcio participan en mantener la integridad de la lamina media en los tejidos, inhibiendo la acción de endo y exo poligalacturonasa (Makus and Morris, 1998).

En sí, la firmeza de los frutos puede cambiar durante la maduración y ablandamiento como resultado de la baja integridad de los componentes de la membrana celular, aunque también se debe a cambios en la presión hidrostática (turgencia) dentro de las células (Shackel *et al.*, 1991). Dado que las células requieren mantener íntegra la membrana, el calcio constituye un mediador en mantener la estabilidad de la membrana y por lo tanto la firmeza (Shackel *et al.*, 1991).

Aunque existe una disponibilidad adecuada de Ca en el suelo además de los fertilizantes aplicados, el contenido de este mineral en el fruto no asegura niveles que permitan retener la firmeza y reducir los desórdenes fisiológicos y patológicos que se presentan en poscosecha. El movimiento del Ca en la planta, se realiza a través del xilema en flujo masivo hasta las hojas, donde por transpiración se distribuye a los frutos en crecimiento (Alexander and Clough, 1998; Lurie *et al.*, 1996). Debido a esto, en chile pimiento y tomate, los factores ambientales que afectan la transpiración (alta temperatura y radiación solar) son causantes de la pudrición del ápice en el fruto, más que un bajo nivel de Ca en el suelo. Como suplemento de calcio, los productores comúnmente utilizan fertilizantes tales como el  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  o realizan aspersiones de sales de calcio, con relativo grado de éxito (Alexander and Clough, 1998).

## MATERIALES Y METODOS

### Material Vegetal y Tratamientos

Plantas de chile bell de color amarillo variedad Ori (Vilmorin Inc., Empire, CA) fueron asperjadas con soluciones de calcio (Nitrato de calcio) y ácidos carboxílicos (Kleen-a-Peal<sup>®</sup>, compuesto de ácido glicólico, ácido glucónico, ácido bórico, xilosa, arabinosa y glucosa, Proquisa, S.A. de C.V., Chihuahua, México) de manera individual o combinadas. Las aplicaciones se realizaron a intervalos de 12 días desde inicio de floración hasta cosecha en un cultivo localizado en un campo agrícola de La Cruz, Sinaloa.

Los tratamientos y dosis de aplicación evaluados fueron los siguientes:

- Kleen-a-Peal<sup>®</sup> (750 cc/90 L agua)
- Nitrato de calcio (500 g/90 L agua)
- Kleen-a-Peal<sup>®</sup> + Nitrato de calcio (1:1 en concentraciones anteriores)
- Testigo (sólo agua)

Se realizaron 6 aplicaciones en total hasta el día de cosecha de los frutos para el análisis del experimento.

Los chiles se cortaron de forma manual cuando presentaban al menos un 50% de coloración amarilla, con el fin de asegurar un buen desarrollo del color durante la etapa poscosecha. Posteriormente, los frutos se trasladaron a los laboratorios del CIAD, A.C. en Culiacán, Sinaloa donde se lavaron con agua clorada a una concentración de 150 ppm, eliminando frutos deformes, fuera de tamaño y con daño físico aparente. Inmediatamente después, los frutos se almacenaron bajo simulación de mercadeo (20°C) por un periodo de 15 días, realizando las evaluaciones correspondientes cada tercer día. Las mediciones de transpiración, pérdida de peso y respiración se midieron diariamente.

### Análisis Físicos

#### **Pérdida de Peso**

Se realizó de manera gravimétrica, registrando el peso diario individual de 10 frutos previamente seleccionados, para obtener la diferencia mostrada en peso cada día de análisis. Se utilizó una balanza digital Sartorius modelo BP-4100, y los resultados fueron expresados como porcentaje de pérdida de masa (Díaz-Pérez y Araiza, 1997) utilizando la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Pérdida de peso individual} = \frac{\text{Peso inicial del fruto} - \text{Peso cada día de muestreo}}{\text{Peso inicial del fruto}} \times 100$$

#### **Tasa de Transpiración Normalizada**

Cuando una cámara de almacenamiento no tiene un mecanismo que controle la humedad relativa dentro del cuarto, diferencias en la presión de vapor de agua (DPV) se presentan dentro de la cámara ocasionando que los resultados en la transpiración de los frutos sean variables y difíciles de comparar con valores obtenidos a diferentes tiempos. Por ejemplo, un cambio en las condiciones ambientales de un cuarto de 20°C y 70% HR a 21°C y 60% HR ocasionará un incremento en el DPV de 0.705 kPa a 1.0 kPa, es decir un 42% de incremento. Este mismo aumento se presentará en la transpiración de los frutos ocasionado por las cambiantes condiciones de almacenamiento (Díaz-Pérez y Araiza, 1997). Una manera de estimar la demanda evaporativa dentro de la cámara de almacenamiento, es utilizando el método del “evaporímetro” propuesto por Díaz-Pérez y Araiza (1997), el cual consiste en medir la evaporación de agua de un contenedor de

características conocidas (tamaño, forma, altura del nivel del agua en el contenedor, etc.) colocado dentro de la cámara.

En el presente estudio, se colocaron contenedores (vasos de plástico) con 100 g de agua en cada tratamiento para estimar la demanda evaporativa del interior de la cámara y relacionarla con déficit de presión de vapor del aire circundante. La cantidad de agua evaporada del contenedor se determinó de manera gravimétrica (cambio en masa) cada 24 horas, reemplazando el agua evaporada cada día con el propósito de mantener el contenedor con 100 g de agua diariamente, ya que cambios en el nivel de agua del contenedor afectan la tasa de evaporación del vaso. Esta demanda de agua en el vaso se expresa como gramos/día.

Para normalizar la transpiración, la pérdida de peso de los frutos (%/día) se dividió entre la tasa de evaporación del vaso (g/día) dando como resultado un valor de transpiración normalizada expresado como % de pérdida de peso/g de agua evaporado del vaso (Díaz-Pérez y Araiza, 1997).

### **Firmeza**

La firmeza se determinó por compresión aplicando una fuerza de 2 Kg en la parte ecuatorial del fruto, mediante una placa de 50 mm de diámetro colocada en un penetrómetro Chatillon Digital Force Gauge (DFIS-50). El equipo estaba montado en una base automatizada Chatillon TCD-200 para facilitar la distancia y velocidad de desplazamiento del penetrómetro hacia el fruto. De esta manera, se evita el error de aplicar una fuerza diferente a la requerida, ya que la velocidad de desplazamiento del equipo es fácilmente manipulada. Los resultados se expresaron como milímetros de deformación de acuerdo a la fuerza aplicada (Lurie *et al.*, 1995)

## Color

Este parámetro se analizó con un colorímetro Minolta modelo CR-300 mediante el sistema "Espacio de Color  $L^* a^* b^*$ ", el cual expresa el color de un objeto o de una fuente de luz utilizando algún tipo de notación, tal como números. En este Espacio de Color,  $L^*$  indica la luminosidad y se representa en el círculo de color en una escala vertical con valores que van desde 0 (negro) hasta 100 (blanco). Los valores de  $a^*$  y  $b^*$  indican las coordenadas de cromaticidad o direcciones del color, donde  $a^*$  presenta valores de  $-60$ =verde, hasta  $+60$ =rojo en el eje de las X dentro del círculo de color y los valores de  $b^*$  se mueven de  $-60$ =azul, hasta  $+60$ =amarillo en el eje de las Y del mismo círculo (Figura 2).

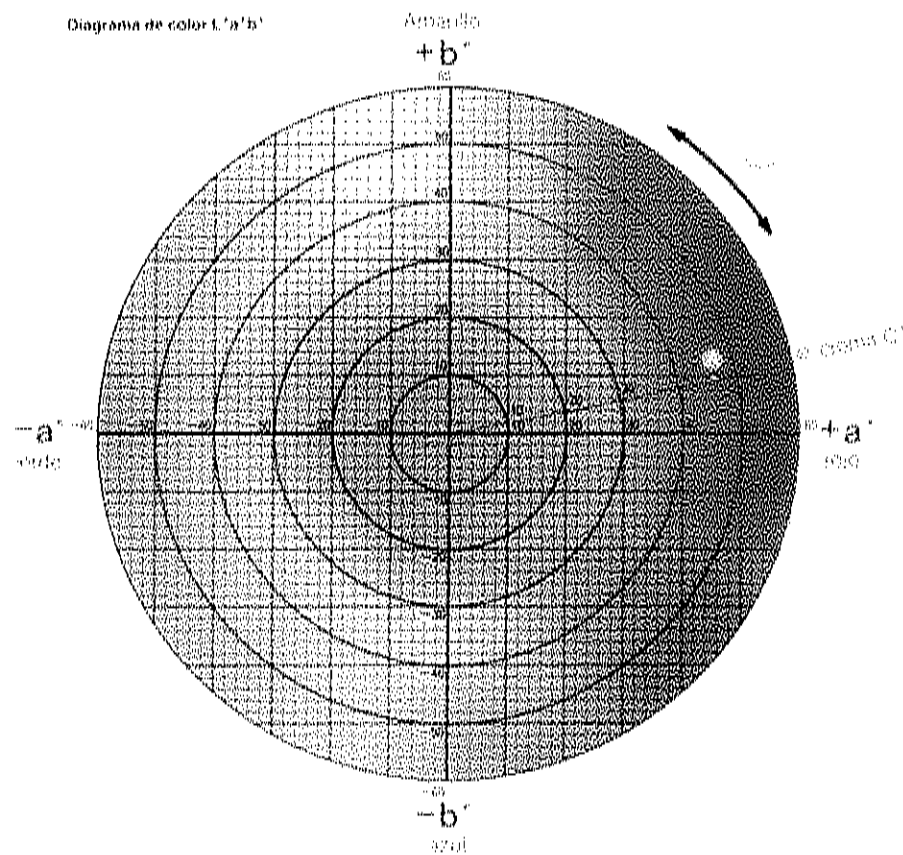


Figura 2. Círculo de color que expresa la cromaticidad o dirección del color por medio de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ .

Como el centro del círculo de color es acromático, a medida que los valores de  $a^*$  y  $b^*$  se incrementan y se salen del centro, la saturación del color también aumenta, como se muestra en la figura anterior. (Minolta, 1994).

Las mediciones fueron hechas en lados opuestos de la parte ecuatorial del fruto (Siller *et al.*, 1998).

### Análisis Físicoquímicos

#### **Medición del Estatus Hídrico**

##### *Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ )*

Discos de tejido de 13 mm de diámetro y 2 mm de grosor se colocaron en pequeñas cámaras de acero inoxidable del mismo diámetro con la cutícula hacia abajo y tapadas por 20 min con el objeto de que la cámara se sature de vapor y se logre el equilibrio. Posteriormente, las pequeñas cámaras se colocaron en un psicrómetro de termopar Decagon Devices modelo SC-10A, donde se obtuvo el potencial hídrico de los frutos (Hsiao, 1990). Las condiciones del termopar fueron de 2 min de calentamiento y 15 s de enfriamiento para lograr el efecto Peltier. El equipo fue calibrado previamente con soluciones de KCl 0.5 M y los resultados se expresan en megapascals (MPa).

##### *Contenido Relativo de Agua (CRA)*

Con un sacabocados se cortaron discos de 20 mm de diámetro de tejido vegetal y se pesaron (peso fresco:  $P_f$ ) en una balanza digital Mettler Toledo modelo PR802. Después los discos fueron colocados en vasos de precipitado con agua destilada a temperatura ambiente y se dejaron saturar por un período de 2.5 h (para el caso de frutos de chile bell, en este tiempo el tejido logra absorber la mayor cantidad de agua).



Posteriormente, los discos fueron sacados del vaso eliminando el exceso de agua de la superficie con papel secante y se pesaron de nuevo (peso turgido:  $P_t$ ). Por último, los discos se dejaron secar en una estufa a 75°C durante 48 horas y nuevamente se pesaron (peso seco:  $P_s$ ) (modificado de Pomper and Breen, 1997). El contenido relativo de agua se expresó en porcentaje y se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ CRA} = \frac{P_t - P_s}{P_t - P_s} \times 100$$

### Análisis Fisiológicos

#### **Respiración y Producción de Etileno**

Dos frutos previamente pesados de cada tratamiento, se colocaron en frascos de 3.7 L de capacidad herméticamente cerrados con el fin de monitorear la producción de bióxido carbono de los frutos por efecto de la respiración durante 12 días. Los frascos adaptados con mangueras de entrada y salida de aire estaban conectados a un tren de respiración con flujo constante de aire (60 mL/min aprox.) y libre de CO<sub>2</sub>. Diariamente se tomaron muestras de aire de la manguera de salida con una jeringa hipodérmica de 1 mL para ser analizadas en un cromatógrafo de gases Varian modelo 3300, siguiendo la metodología descrita por Báez *et al.*, (1997). La columna utilizada para la separación de los compuestos de interés fue una tipo empacada Hayesep Q 100/120 de 1/8 pulgada por 6 pies y operada a una temperatura inicial de 70°C (1.5 min) con incremento hasta 120°C a una velocidad de 50°C/min. El cromatógrafo está equipado con dos detectores conectados en serie; uno de conductividad térmica para identificar CO<sub>2</sub> y otro de

ionización de flama para etileno. Los resultados se obtuvieron cuantificando el área bajo la curva de los picos de interés, mediante la integración en curvas de calibración de estándares conocidos. Los tiempos de retención fueron de 1.1 minutos para CO<sub>2</sub> y de 1.9 minutos para etileno (Báez *et al.*, 1997). Los resultados se reportan como mL de CO<sub>2</sub>/Kg-h y µL de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/Kg-h.

### Análisis Químicos

#### **Extracción de cutículas**

Trozos de chile bell pepper se colocaron en agua caliente (80°C) por 5 min para facilitar el desprendimiento de la cutícula del tejido. Posteriormente, las cutículas se pusieron en una disolución digestiva de HCl fumante (7 mL) y ZnCl<sub>2</sub> (4 g) por 72 horas realizando agitaciones de las muestras diariamente. Las cutículas aisladas se enjuagaron varias veces con agua destilada y se colocaron en H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub> al 2% por 24 horas con el fin de remover el exceso de materia orgánica que pudiera quedar adherida a las mismas (modificado de Freeman *et al.*, 1979).

#### **Permeabilidad de cutículas**

Las cutículas extraídas nuevamente se lavaron con agua destilada y se colocaron en charolas de aluminio con 4 orificios de 0.3848 cm<sup>2</sup> cada uno. Para adherir las cutículas en cada uno de los orificios de la charola, se utilizó silicona líquida evitando que quedara algún hueco entre la cutícula y el aluminio. Después de 24 horas, las charolas de aluminio con las cutículas adheridas se montaron sobre cajas petri de vidrio de 11 cm de diámetro conteniendo 5 mL de agua destilada. Las charolas de aluminio se

sellaron a las cajas petri con parafilm® para evitar la posible evaporación de agua por alguna fisura (modificado de Mendoza, 1996). Después, las cutículas montadas se incubaron a  $25\pm 1^\circ\text{C}$  y se pesaron a intervalos de una hora durante 8 horas en una balanza analítica Denver Instrument Company modelo AA-160. De esta manera se determinó la pérdida de vapor de agua a través de la cutícula (aprox. 0.1% del peso inicial). Los resultados se expresan como mg de agua en forma de vapor/cm<sup>2</sup> de cutícula/hora.

#### pH, Acidez Titulable y Sólidos Solubles Totales

Estas determinaciones se realizaron de acuerdo a la metodología propuesta por la AOAC (1998). Diez gramos de muestra de tejido se homogeneizaron en una licuadora comercial con 50 mL de agua destilada neutra (pH = 7.0). Posteriormente, se filtró el extracto a través de una tela de organza y se tomaron alícuotas para los análisis correspondientes.

#### **pH y Acidez Titulable**

Las mediciones de pH y acidez titulable se realizaron de manera conjunta, para lo cual se utilizó un titulador automático marca Mettler modelo DL-21 equipado con un electrodo de cristal modelo DG-S111 para indicar de manera directa el pH de la solución. De igual manera, el electrodo es utilizado para cuantificar la acidez titulable de la solución, tomando como muestra una alícuota de 50 mL la cual se titula con NaOH 0.1N hasta alcanzar un pH de 8.2 que indica la neutralización ácido-base. Los mililitros gastados de NaOH para la neutralización, así como el volumen de la alícuota y los miliequivalentes del ácido predominante en la muestra, son utilizados por el equipo para cuantificar la acidez titulable de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acidez Títulable} = \frac{V * N * M}{A} * 100$$

Donde:

V = Mililitros de NaOH gastados en la titulación

N = Normalidad del NaOH ( $\cong 0.1N$ )

M = Miliequivalentes del ácido orgánico predominante (ácido cítrico = 0.064)

A = Alícuota o volumen de extracto titulado

Los datos obtenidos del equipo son de manera directa y se reportan como porcentaje de ácido cítrico presente en la muestra.

### **Sólidos Solubles Totales (°Brix)**

La concentración de sólidos solubles se determinó colocando una gota del filtrado obtenido anteriormente del extracto (10 g muestra + 50 mL de agua neutra) en un refractómetro tipo Abbe Leica Mark II con temperatura compensada y previamente calibrado con agua pura. Los resultados se expresan como °Brix y de ser necesario se multiplican por la dilución empleada en la preparación del extracto (en este caso, 1 de muestra + 5 de agua = 6).

### Análisis de Calcio Total

#### **Cenizas y Preparación de Solución Muestra**

Para el análisis y cuantificación de calcio total en el fruto, aproximadamente 5 g de tejido vegetal fueron colocados en un crisol de porcelana previamente tarado e

incinerados en una mufia 30400 Furnace Dubuque a una temperatura de 650°C por 8 horas. Posteriormente, se agregaron 5 mL de HCl fumante a cada uno de los crisoles con las cenizas y se filtraron a través de papel Whatman No. 1 lavando con agua abundante los residuos en el papel. El filtrado fue aforado con agua deionizada en un matraz volumétrico de 100 mL. La preparación de la solución anterior y la determinación de calcio por el método espectrofotométrico de absorción atómica se realizó siguiendo el método oficial de la AOAC No. 965.09 (AOAC, 1998).

### **Determinación**

Para la determinación de calcio total en la muestra, 1 mL del filtrado de la muestra original y 1 mL de óxido de lantano (58.65 g  $\text{La}_2\text{O}_3$  en 250 mL HCl aforados a 1 L) fueron mezclados con 8 mL de agua deionizada. La solución de lantano se utiliza para eliminar la interferencia de otros elementos en la solución como P y Mg, sobre todo cuando se usan quemadores aire-acetileno en el equipo. La absorción de la solución muestra:lantano:agua (1:1:8), fue medida directamente con un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian modelo Spectra AA-200 equipado con lámpara de cátodo hueco específica para calcio. El equipo fue utilizado con una quemador aire-acetileno a una longitud de onda de 422.7 nm y calibrado con una curva estándar de calcio.

### **Cuantificación**

Los resultados se reportan en mg de calcio por 100 g de fruta fresca, aunque los resultados obtenidos directamente del equipo fueron en partes por millón (ppm), ya que la curva de calibración utilizada fue en estas mismas unidades. Para hacer el cálculo del porcentaje de calcio en la muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ calcio ( g / 100 g )} = (\mu\text{g / mL o ppm}) * (F / \text{peso de la muestra}) * 10^{-4}$$

Donde:

$F = (\text{mL de la dilución original} * \text{mL de la dilución final}) / \text{mL de la alícuota}$ . En nuestro caso:

$$F = (100 * 10) / 1$$

### Diseño del Experimento

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y con arreglo factorial para tiempo y tratamientos. Se utilizaron quince repeticiones por tratamiento para cada día de análisis. Un fruto constituyó la unidad experimental.

Para las diferencias en el análisis de varianza (ANOVA) se realizó la separación de medias mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey con una probabilidad de error del 5% con la utilización de un programa estadístico computacional (Minitab, 1998).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Pérdida de Peso

La calidad y vida poscosecha de chile bell pepper y otras frutas perecederas esta directamente relacionada con la pérdida de agua en forma de vapor que se presenta durante el almacenamiento y mercadeo de los frutos. Una pérdida de peso del 6 al 8% ocasiona que los frutos de chile bell muestren signos evidentes de deshidratación tales como la pérdida de firmeza (ablandamiento) y la pobre calidad visual o apariencia de los mismos (Cantwell, 1994). En la Figura 3, se muestra la pérdida de peso de los frutos almacenados bajo condiciones de simulación mercadeo ( 20°C) por 14 días. Todos los tratamientos tuvieron un incremento lineal en la pérdida de peso durante el tiempo de almacenamiento, mostrando los frutos testigo y los tratados con Kleen a Peal pérdidas de hasta un 20% de su peso después de 14 días de estar a 20°C. Sólo el tratamiento de calcio presenta una ligera disminución en la pérdida de peso en comparación con los otros tratamientos durante todo el experimento.

Sin embargo, en las cámaras de almacenamiento se presentan diversos factores que intervienen en la deshidratación de los frutos, tales como la velocidad del aire de los abanicos y las variaciones en temperatura y humedad relativa. Estos factores ocasionan que la pérdida de agua de los frutos no sólo sea por efecto del tratamiento sino también por las cambiantes condiciones dentro de la cámara de almacenamiento, es decir un déficit en la presión de vapor de agua (DPV) diferente entre el fruto y el aire circundante (Díaz-Pérez y Araíza, 1997). Normalmente, el movimiento de agua entre un producto hortícola y su medio ambiente tiende al equilibrio, involucrando una evaporación de agua del fruto hacia el aire o en el caso de productos secos como los granos una ganancia de agua (Burton, 1982).

En este estudio, la temperatura mostró variaciones de 18.8 a 21°C durante todo el experimento, dependiendo del tiempo que permanecía encendido el compresor del

cuarto de almacenamiento. De igual forma, la humedad relativa varió de 72 hasta 90% ocasionando diferencias en el déficit de presión de vapor (DPV) dentro de la cámara de 0.63 y 0.23 kPa, respectivamente. La velocidad del aire fluctuó entre 0.5 y 1.0 millas por hora dependiendo de la posición del anemómetro dentro de la cámara. En general, las condiciones de almacenamiento prevalecientes durante todo el experimento fueron en promedio de 19.8°C y 81% HR con un DPV de 0.42 kPa (4.2 mbar) y una velocidad de aire de 0.7 Mph.

Por lo anteriormente descrito y con el objeto de normalizar la pérdida de peso del fruto dentro de la cámara de almacenamiento; debido principalmente a las variaciones en la humedad relativa, la pérdida de peso fue convertida a transpiración normalizada con el propósito de estimar la demanda evaporativa del interior de la cámara y relacionarla con el déficit de presión de vapor del aire circundante. De esta manera, cualquier cambio en el peso de los frutos sólo se deberá a cambios en la permeabilidad de la cutícula, es decir a cambios en el vapor de agua y no a las variaciones en la humedad relativa dentro de la cámara de almacenamiento (Díaz-Pérez y Araiza, 1997).

#### Transpiración Normalizada

Como se mencionó en el párrafo anterior, la transpiración normalizada de los frutos, expresada como porcentaje de pérdida de peso por gramo de agua evaporado del contenedor (%/g de agua), esta en función de la demanda evaporativa dentro de la cámara de almacenamiento. Esta notación permite realizar comparaciones de frutos almacenados bajo condiciones ambientales diferentes, sobre todo cuando se carece de un equipo para controlar y monitorear la temperatura y la humedad (Díaz-Pérez y Araiza, 1997).

Se observó que la tasa de evaporación del contenedor bajo las condiciones ambientales ya mencionadas fue alrededor de 2.0 g/día. En trabajos realizados con frutos de tomate almacenados a 20°C y 65% HR con un DPV de 0.76 kPa, la pérdida de agua



de un contenedor de 150 mL fue alrededor de 2.4 g/día (Díaz-Pérez y Araiza, 1997). Estos mismos autores, encontraron que la tasa de evaporación de un contenedor es linealmente relacionada con diferencias en el vapor de presión del aire dentro de la cámara de almacenamiento. En la Figura 4, se observan los porcentajes normalizados de pérdida de peso durante todo el experimento. Los frutos con aplicaciones de calcio y Kleen-a-Peal + calcio mostraron los porcentajes menores de pérdida de peso en comparación con los frutos en donde solo se aplicó Kleen-a-Peal. Este último tratamiento mantuvo una buena apariencia hasta el día 9 de almacenamiento cuando perdió alrededor del 7.6%. Porcentajes de hasta un 8%, que es cuando los frutos mostraron signos evidentes de deshidratación, se presentaron hasta el 12<sup>vo</sup> día en los frutos tratados con calcio lo cual permite prolongar la vida comercial del producto. De manera general, la pérdida de peso acumulada cada día de evaluación, fue diferente significativamente ( $P=0.000$ ) entre tratamientos durante el experimento. Lurie *et al.*, (1986) reportaron valores de pérdida de peso en frutos de chile bell de aproximadamente 4 % por semana cuando fueron almacenados a 17°C y 85% de humedad relativa, siendo ligeramente superior la pérdida en frutos de color rojo comparados con los de color verde.

Analizando los valores de transpiración diaria, medida como pérdida de peso por día, se encontró que existe una baja gradual durante el almacenamiento a 20°C (Figura 5), mostrando los frutos tratados con calcio las tendencias logarítmicas más bajas en este período, es decir porcentajes menores de pérdida de peso. Este mismo comportamiento se observa en frutos de tomate tipo bola almacenados a 20°C reportado por Díaz-Pérez y Araiza (1997), donde discuten que los frutos pudieran mostrar una reducción en la permeabilidad de la piel al vapor de agua a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento. Esta caída en la tasa de transpiración de los frutos durante los primeros días de mercadeo ha sido reportada en otras frutas y hortalizas (Burton, 1982).

Estudios en frutos de aguacate cv Fuerte asperjados con nitrato de calcio (10 y 30 mg.L<sup>-1</sup>) en la etapa precosecha, también mostraron una reducción en la pérdida de peso ( $\approx 5\%$ ) contra 9% de los frutos testigo cuando se almacenaron por 27 días a 5°C.

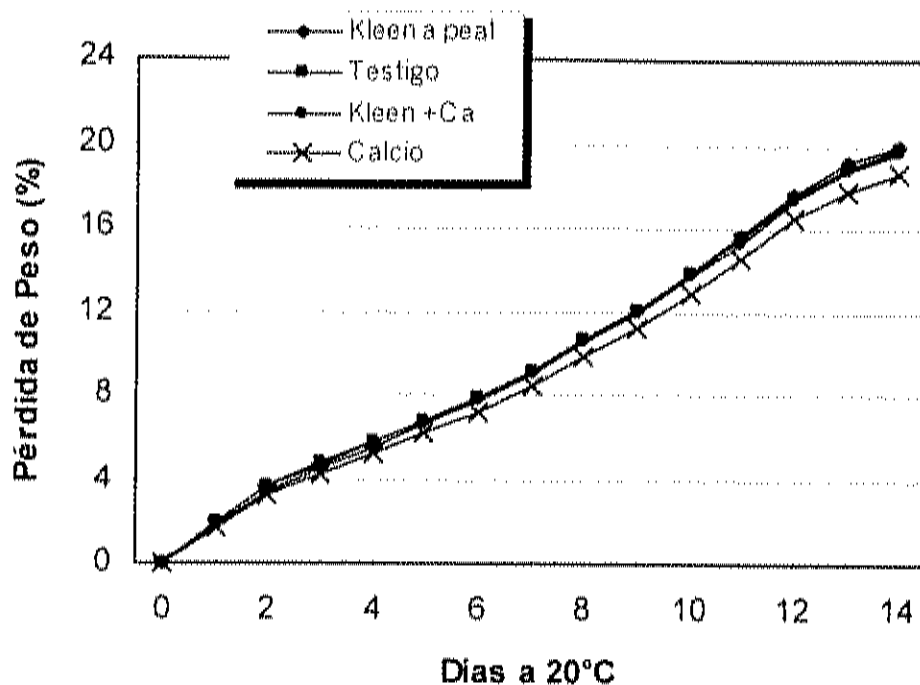


Figura 3. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C

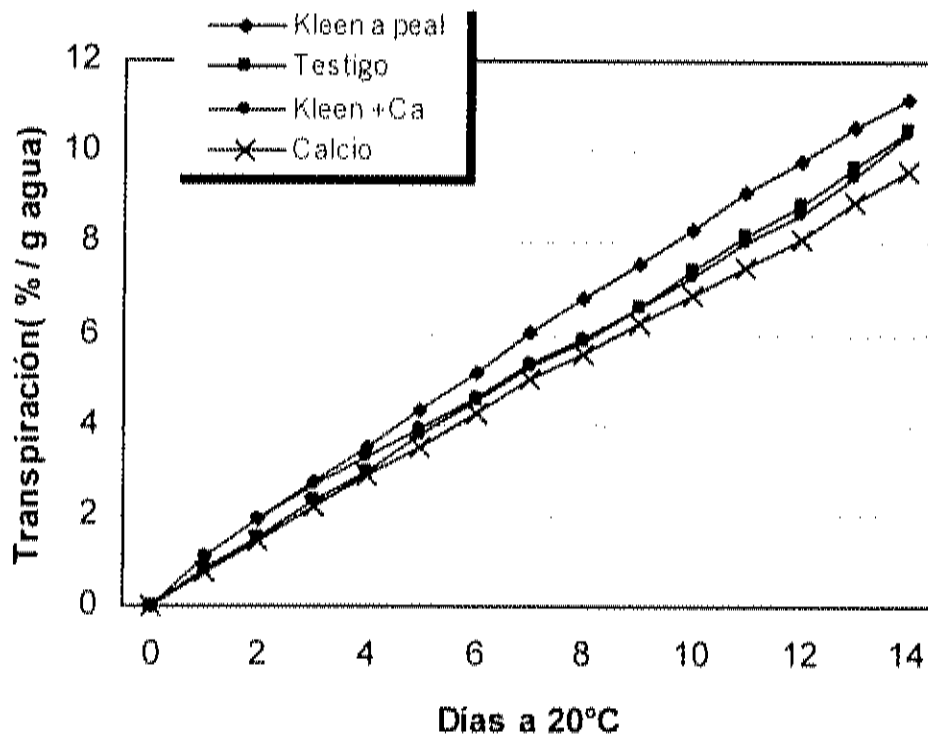


Figura 4. Transpiración normalizada (% pérdida de peso / g de agua) en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C

De igual manera, los síntomas de daño por frío se redujeron hasta un 40% con las aplicaciones de calcio (López y Cajuste, 1999).

Promediando los valores diarios de pérdida de peso normalizados durante todo el experimento, se encontró que los frutos tratados con calcio efectivamente perdieron menos peso que los tratados solo con Kleen-a-Peel, con valores de 0.685 y 0.800 por ciento por gramo de agua evaporada, respectivamente (Figura 6). Si se considera que los contenedores dentro de la cámara perdieron alrededor de 2 g de agua, entonces los porcentajes de pérdida de peso serían de 1.37 y 1.6 % en ambos tratamientos bajo las condiciones ambientales de 0.42 kPa prevalecientes en el cuarto de almacenamiento. Es común observar que algunos autores reportan los valores de pérdida de peso en porcentaje / día / kPa. De esta manera, los resultados de este estudio fueron de 3.2 y 3.8% / día / kPa en los tratamientos de calcio y Kleen-a-Peel solo. Estudios realizados por Lownds *et al.* (1994), en dos variedades de chile bell almacenadas a 20°C y 75% HR por dos semanas, obtuvieron valores de pérdidas de peso de 2.9 y 3.1% / día / kPa en las variedades Maxibell y Keystone, respectivamente.

#### Permeabilidad de Cutículas al Vapor de Agua

En frutos de chile bell, las diferencias en los porcentajes de pérdida de peso están relacionadas directamente con la permeabilidad de la cutícula al vapor de agua, ya que la cutícula misma de los frutos no presenta estomas ni lenticelas en su estructura que pudieran influenciar la pérdida de agua de manera directa (Lownds *et al.*, 1993).

En la figura 7 se observa la permeabilidad de la cutícula al vapor de agua de los diferentes tratamientos durante el período de almacenamiento. Al inicio del experimento, todos los tratamientos mostraron valores de permeabilidad alrededor de 8 mg de agua/cm<sup>2</sup>/hora. Sin embargo, a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, los frutos tratados con Calcio (con y sin Kleen-a-Peel) mostraron una reducción cercana al 50% en la permeabilidad al vapor de agua, no así los frutos testigo

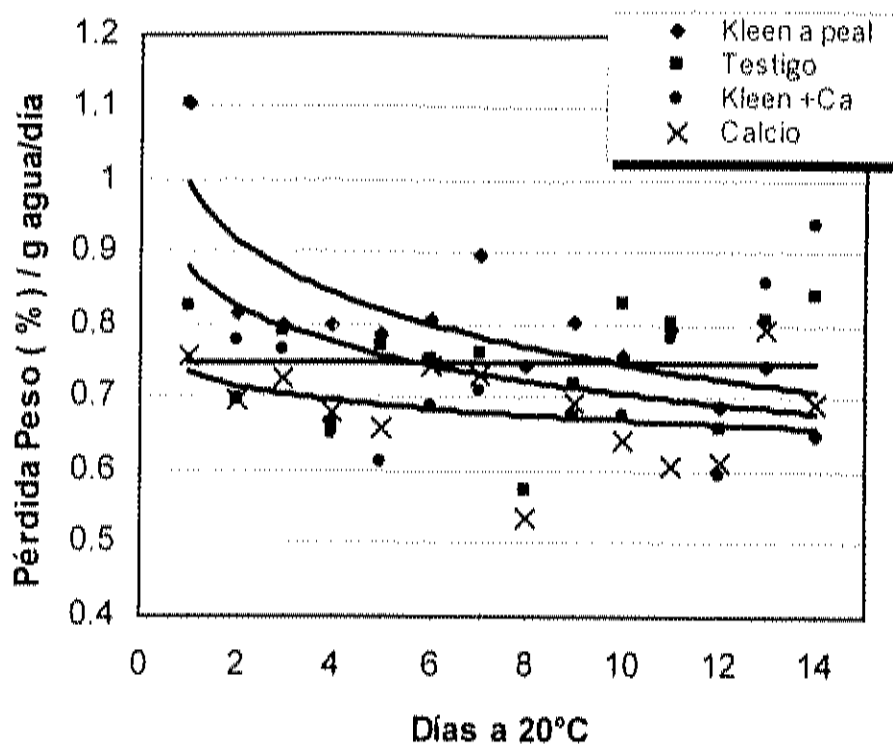


Figura 5. Transpiración diaria normalizada en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C. Las líneas representan la tendencia de cada uno de los tratamientos.

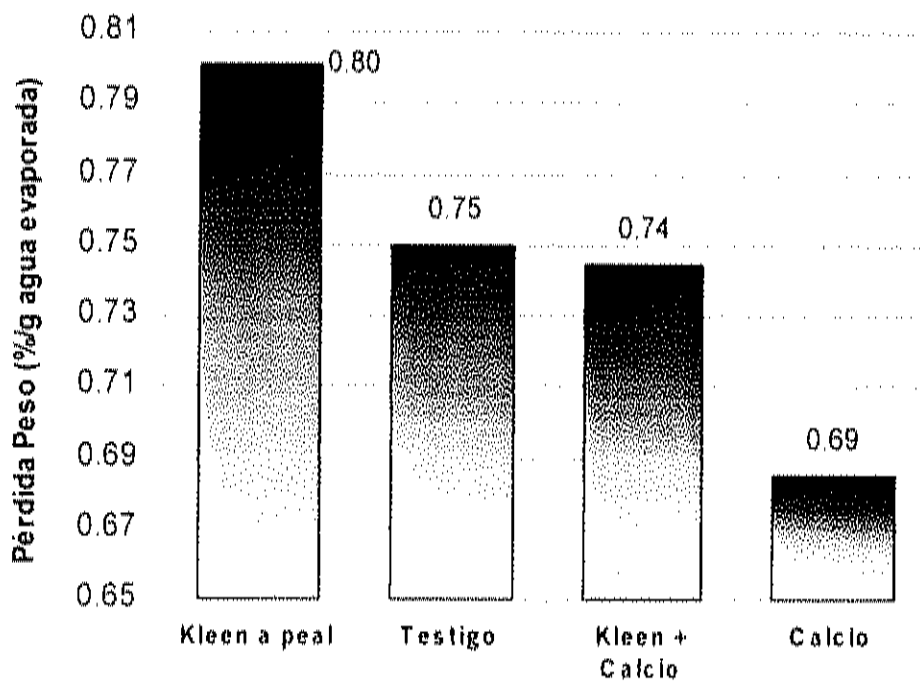


Figura 6. Pérdida de peso normalizada promedio durante todo el experimento en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C.

y tratados solo con Kleen-a-Peal que mantuvieron una alta tasa de permeabilidad durante los primeros 6 días de almacenamiento, aunque posteriormente todos los tratamientos mostraron valores de permeabilidad entre 3 y 4 mg de agua/cm<sup>2</sup>/hora. Estadísticamente, las diferencias encontradas entre tratamientos no fueron significativas ( $P > 0.05$ ) en ningún día de evaluación, debido a la gran desviación estándar mostrada en los valores, sobre todo en el tratamiento de Kleen-a-Peal solo.

Schreiber and Schonherr (1990), encontraron también que la permeabilidad al agua de las membranas cuticulares de frutos de *Capsicum* disminuyó gradualmente a medida que transcurría el tiempo de almacenamiento, atribuyendo este hecho a los cambios mostrados en la estructura de los cristales de parafina que componen la cutícula. Es decir, la reducción en la permeabilidad se debe a que las cutículas muestran una recristalización y un reacomodo de las ceras presentes en la matriz polimérica. También, de manera natural, los frutos y hojas maduras realizan una síntesis continua de lípidos cuticulares, esto en respuesta a factores ambientales como viento, lluvia, temperatura e intensidad de luz (Maguire *et al.*, 1999a). Ambos procesos, físicos (reacomodo de moléculas de cera) y fisiológicos (síntesis de cera) son los que mantienen la integridad estructural de las cutículas para que puedan sobrevivir.

Estudios de permeabilidad realizados en cutículas aisladas de hojas de diferentes especies y frutos de tomate, Niederl *et al.*, (1998) y Maguire *et al.*, (1999a), encontraron un alto grado de variabilidad en la permeabilidad de agua a través de la cutícula, aun en muestras de la misma especie, y en ocasiones entre fruto y fruto de una misma población. Otros datos citados en la literatura muestran coeficientes de variación de 20-30% en la permeabilidad de cutículas al agua (Maguire *et al.*, 1999b), indicando que dicha variación fue el resultado de diferencias presentadas en la estructura y composición de los lípidos solubles (ceras) de la cutícula y no al grosor de la misma.

Los resultados de permeabilidad obtenidos en este experimento, coinciden con las tendencias logarítmicas que se muestran en los valores de pérdida de peso por día (Figura 5), donde se presenta una reducción gradual durante el tiempo de almacenamiento, siendo los frutos tratados con calcio los de menor pérdida de peso. De

igual manera, estos resultados muestran que la mayor pérdida de peso durante los primeros días de almacenamiento coincide con los valores de mayor permeabilidad de los frutos al vapor de agua durante este mismo período.

En estudios previos realizados en Chile bell pepper, Lownds *et al.*, (1994), mencionan que entre mayor sea la permeabilidad de la cutícula de los frutos al vapor de agua, la transpiración de los mismos se verá afectada y que factores tales como temperatura de almacenamiento, área superficial del fruto y contenido inicial de agua entre otros, también participan en la pérdida de agua de los frutos. Este mismo patrón de permeabilidad se presenta en los frutos de tomate normales y los híbridos *rin* y *nor* almacenados 21 días a 20°C, mostrando los frutos normales los mayores valores de permeabilidad (23.8 mg de vapor de agua/cm<sup>2</sup>/h) al tercer día. En el caso de las variedades híbridas, el incremento en permeabilidad fue más lento y gradual, presentándose dicho incremento durante los primeros seis días de almacenamiento con valores máximos de 18.6 y 12.9 mg de vapor de agua/cm<sup>2</sup>/h en los híbridos *rin* y *nor* respectivamente. Posteriormente, la permeabilidad en todas las variedades disminuyó a valores alrededor de 10 mg de vapor de agua/cm<sup>2</sup>/h (Mendoza, 1996). Estos cambios en permeabilidad, el autor los atribuye a las diferencias encontradas en la concentración y comportamiento de las ceras intra y epicuticulares en las diferentes variedades. En otros trabajos, Becker *et al.*, (1986) citados por Maguire *et al.*, (1999b), igualmente obtuvieron valores mayores de permeabilidad en cutículas aisladas de frutos de tomate en comparación con frutos de *Capsicum* con valores respectivos de 57 y 37 nmol s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> Pa<sup>-1</sup>. Frutos de berenjena, también de la familia Solanacea, mostraron valores de permeabilidad de 9 nmol s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> Pa<sup>-1</sup>. Con excepción de berenjena, los otros frutos de las solanáceas son ligeramente más permeables que los frutos de manzana (12.3 ± 2.7 nmol s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> Pa<sup>-1</sup>) reportados en ese trabajo.

En estudios realizados por Cameron (1982), y citados por Shirazi y Cameron (1993), en frutos de tomate, muestran que más del 90% del vapor de agua de los frutos sale a través de la piel, observando que cuando los frutos se almacenaron a 20°C y 50% HR, la difusión del vapor de agua hacia el exterior del fruto es aproximadamente 50

veces más rápido que la entrada del oxígeno. Estas observaciones, coinciden con las reportadas por Ben-Yehoshua (1985), en el sentido de que el vapor de agua en frutos cosechados se mueve por rutas diferentes a las utilizadas por el CO<sub>2</sub>, el O<sub>2</sub> y el etileno. De esta manera, el agua se mueve preferentemente a través de la cutícula, mostrando ésta una conductancia al agua 60 veces mayor que para el CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y etileno. En estudios mas recientes con frutos de chile bell pepper, efectivamente se encontró que la cutícula de los frutos es diferencialmente permeable a los gases involucrados en la respiración, indicando que la permeabilidad de la cutícula al CO<sub>2</sub> es 10 veces mayor que al O<sub>2</sub> (Banks and Nicholson, 2000). Estos resultados son de interés particular en frutos de la familia Solanacea, ya que la mayor parte de la superficie de los frutos carece de poros en su estructura por lo que el intercambio de gases ocurre mayormente a través de la cutícula

Ben-Yehoshua (1985), sugiere que la utilización de películas plásticas es una buena alternativa para reducir los problemas de deshidratación que se presentan en los frutos durante poscosecha, ya que con esta técnica se logra mantener una atmósfera saturada de humedad alrededor del fruto. El empaqueo individual de los frutos en películas poliméricas ha mostrado una resistencia al vapor de agua de hasta 1375%, no así los frutos encerados que solo logran aumentar la resistencia del fruto al vapor de agua un 25%

Lownds *et al.* (1994), encontraron diferencias significativas en la pérdida de agua de varios cultivares de pimientos sugiriendo que existen diferencias en la permeabilidad de la cutícula dependiendo del tipo de chile. Así mismo, estos autores mencionan que estas diferencias se deben a características genéticas propias de cada cultivar, tales como el grosor de cutícula, la presencia de poros y/o aberturas, así como también a la cantidad, distribución o química de las ceras epicuticulares. En este sentido, Schönherr (1976), menciona que las ceras que se encuentran en la cutícula de los frutos son el principal componente que limita la difusión del vapor de agua y la penetración de iones y algunos compuestos orgánicos a través de la misma. Como se mencionó anteriormente, en algunas hortalizas como tomate (Shirazi and Cameron, 1993) y chile bell pepper

(Lownds *et al.*, 1993) los frutos no muestran estomas, lenticelas u otras fisuras obvias en la cutícula, por lo que se considera que la estructura de la cutícula es representada como una sola membrana polimérica continua.

En el presente trabajo, los valores reducidos de permeabilidad y pérdida de agua encontrados en los frutos tratados con calcio, al parecer también tienen relación con la estructura y composición de la cutícula. Los autores Smalley *et al.* (1993) y Ehmann (1976) citados por Mendoza (1996), determinaron que las cutículas son asimétricas por naturaleza, ya que poseen poros alineados con cargas negativas tanto en la capa hidrofóbica de ceras epicuticulares, como en la capa de cutina. En frutos de *Capsicum*, como el chile bell pepper, la cutina constituye el 64% del peso total de la cutícula ( $1.1 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-3}$ ) (Schreiber and Schonherr, 1990).

Como ya se mencionó, la recristalización, el reacomodo y la síntesis de las ceras epicuticulares influyen en reducir la permeabilidad de la cutícula al vapor de agua. Sin embargo, la cutina, que es una capa más porosa que las ceras epicuticulares (capa hidrofóbica), establece un gradiente de polaridad de bajo a alto a medida que se adentra en las capas de células epidérmicas, lo cual influye en las variaciones de las tasas de movimiento a través de la barrera cuticular. De esta manera, las cargas negativas de los poros permiten la interacción con cationes, los cuales normalmente parten del medio ambiente interno de las células. Schreiber and Schonherr (1990), mencionan que las cutículas aisladas de plantas y frutos contienen grupos carboxílicos en su estructura los cuales tienen una alta selectividad por los iones  $\text{Ca}^{2+}$ . En esta investigación, el tratamiento de ácidos carboxílicos (Kleen-a-Peel) en combinación con calcio, efectivamente mostró valores ligeramente reducidos de permeabilidad de cutícula durante los primeros 9 días del experimento (Figura 7), indicando que sí existe una interacción entre carboxílicos y calcio. Se ha demostrado que para que exista el movimiento de agua a través de la cutícula es necesario que los poros de la cutina tengan un tamaño de al menos 0.9 nm. La manera de cómo el calcio reduce la permeabilidad de la cutícula al vapor de agua es precisamente reduciendo el tamaño funcional del poro.



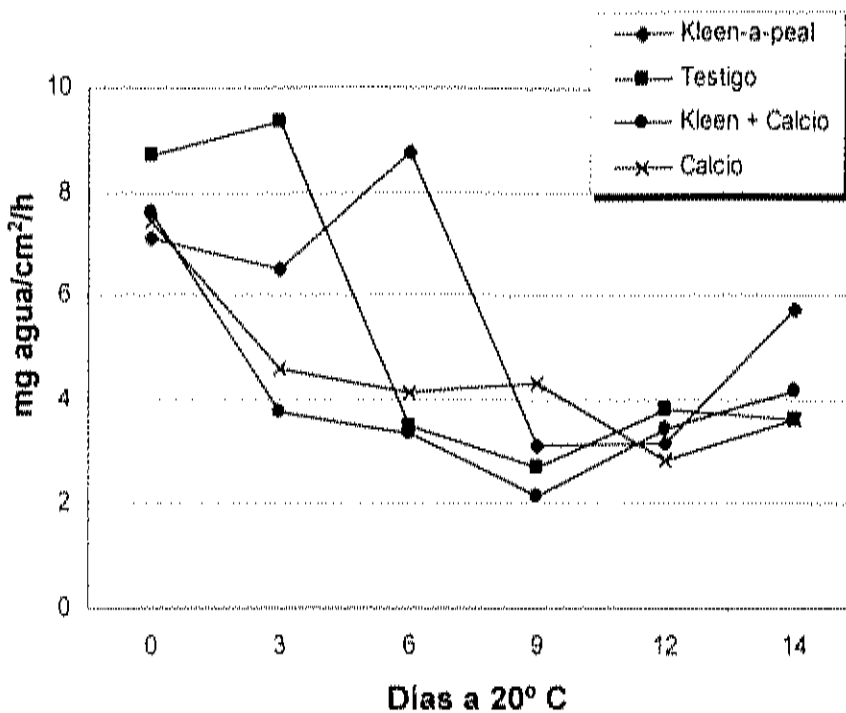


Figura 7. Permeabilidad al vapor de agua de cutículas de frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C

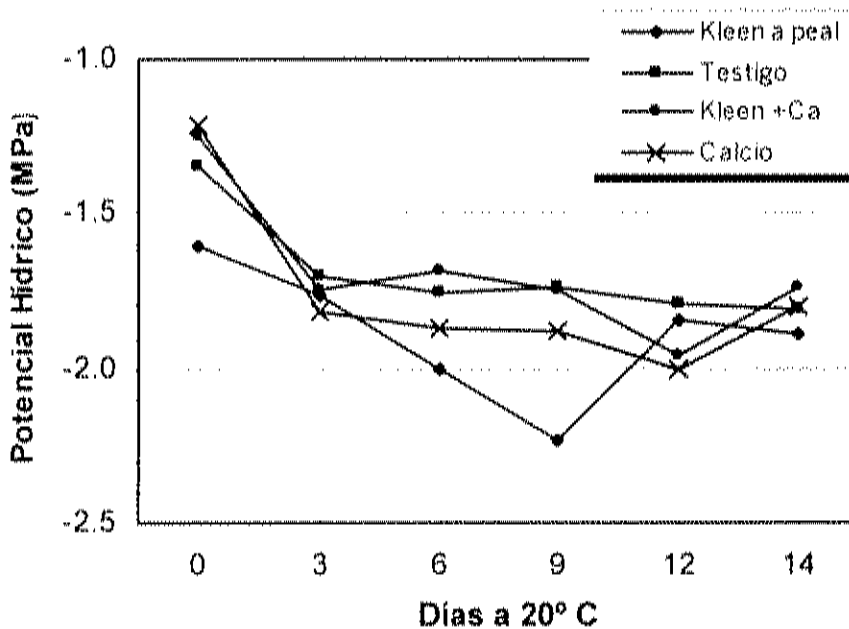


Figura 8. Potencial Hídrico en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C

Esto se presenta a través de los cationes divalentes (especialmente el calcio) que existen en la pared celular, los cuales pueden ser libremente intercambiados a través de la capa de pectina que separa a la cutina de las paredes celulares epidérmicas, permitiendo así la interacción del calcio con los poros de la cutina (Smalley *et al.*, 1993 y Ehmann, 1976, citados por Mendoza, 1996). Es probable que los frutos tratados con calcio (con y sin Kleen-a-Peel), realmente tengan mayor cantidad de estos cationes ligados a la cutícula que los frutos testigo y tratados solo con Kleen-a-Peel, ocasionando estas diferencias en permeabilidad y pérdida de agua.

### Potencial Hídrico

El potencial hídrico o potencial de agua de frutas y hortalizas normalmente se mide con el objeto de conocer el estatus hídrico que guardan las células en el tejido. Este parámetro determina en gran medida la capacidad que tiene el agua dentro de las células para llevar a cabo las funciones propias del organismo. En los frutos, la pérdida de agua que ocurre por difusión es controlada por el gradiente en el potencial de agua que se presenta de adentro hacia fuera de los frutos, así como también por la resistencia que presenten los frutos a la difusión. El gradiente en el potencial de agua está en función de la temperatura y la humedad relativa dentro del cuarto de almacenamiento, mientras que la resistencia difusional esta asociada a la cutícula de los frutos (Lownds *et al.*, 1994). En la Figura 8 se muestran los resultados de los diferentes tratamientos con relación al potencial hídrico de los frutos durante el periodo de mercadeo.

Desde el inicio del experimento, el tratamiento de Kleen-a-Peel mostró los valores más negativos en potencial de agua (-1.6 Mpa) en comparación con los otros tratamientos (-1.2 a -1.3 Mpa). Posteriormente, en todos los tratamientos el potencial hídrico tiende a volverse más negativo a medida que transcurre el periodo de almacenamiento, mostrando una fuerte caída a los primeros tres días de almacenamiento. Después, sólo el tratamiento de Kleen-a-Peel cayó drásticamente hasta valores de -2.0 y

-2.2 MPa a los 6 y 9 días de almacenamiento respectivamente, para posteriormente mostrar un aumento (menos negativo) a valores de -1.8 MPa. Los demás tratamientos tuvieron una baja gradual a partir del tercer día con valores oscilando entre -1.7 y -1.8 MPa hasta el 12º día. Al igual que el tratamiento de Kleen-a-Peal sólo, los frutos tratados con Calcio y Kleen-a-Peal + Calcio mostraron un incremento el último día de análisis. Este aumento en los valores de potencial hídrico, puede deberse al hecho de que a medida que el tejido madura y senesce, algunas células empiezan a sufrir plasmólisis (rompimiento) ocasionando que los solutos que se encuentran en el líquido citoplásmico se diluyan con el agua que se encuentra en el apoplasto de los tejidos. De esta manera, solutos como azúcares y otras sustancias se disuelven de nueva cuenta con el agua apoplástica incrementando el potencial hídrico (menos negativo) (Pomper and Breen, 1997). Caso similar sucede cuando se rompen células mediante el paso de congelar y descongelar tejido con el propósito de medir el potencial osmótico.

En todos los tratamientos hubo diferencia significativa entre sí a los 0,6, 9 y 12 días de permanecer a 20°C ( $P < 0.05$ ), más no a los 3 y 14 días de almacenamiento.

Como era de esperarse, a medida que transcurre la maduración o senescencia de los frutos el potencial hídrico se vuelve más negativo, precisamente porque el agua dentro de las células se encuentra en menor cantidad y menos pura, es decir disuelta con solutos tales como azúcares, ácidos orgánicos, pigmentos, etc. Al igual que estos resultados, Lurie *et al.*, (1986), encontraron que el potencial hídrico de frutos de chile bell al momento de cosecha fue menos negativo en chile bell verde en comparación con el rojo, mostrando una reducción a medida que transcurre el almacenamiento en los frutos de ambos colores.

Los aumentos mostrados en este parámetro (menos negativo) a partir del 9º y 12º día en los tratamientos de Kleen-a-Peal solo y calcio respectivamente, coinciden con los signos evidentes de deshidratación y marchitamiento de los frutos ocasionado por la senescencia de los mismos. Después de esos días, los valores de pérdida de peso y firmeza en ambos tratamientos alcanzan los valores mínimos de calidad para ser comercializables: 7 a 8% de pérdida de peso y 12 mm de deformación (Figuras 4 y 9),

por lo que se considera que estos resultados están directamente relacionados con la pérdida de agua y la acumulación de solutos. Los frutos que tienen una transpiración o pérdida de agua mayor, presentan los valores más negativos de potencial hídrico debido al menor contenido de agua y a la acumulación de azúcares y otros compuestos. El tratamiento de Kleen-a-Peel muestra los potenciales hídricos más negativos durante el estudio, los cuales coinciden con la tasa de transpiración más alta, mayor permeabilidad de cutículas, así como también con la mayor acumulación de °Brix al final del almacenamiento (Cuadro 5). Lurie *et al.*, (1986), correlacionaron la pérdida de peso de frutos chile bell verdes y rojos con una baja en firmeza y potenciales hídricos más negativos durante el almacenamiento a 17°C y 85% HR. Los coeficientes de correlación obtenidos en ambos parámetros fueron de 0.97 y 0.94 respectivamente, es decir una fuerte relación con la pérdida de peso.

#### Contenido Relativo de Agua (CRA)

El contenido inicial de agua en los frutos de chile bell puede afectar la tasa de transpiración o pérdida de agua después de cosecha. Frutos con bajo contenido de agua muestran un bajo DPV (Déficit de Presión de Vapor), por lo que la velocidad a la cual pierden agua es menor comparada con frutos con alto contenido hídrico (Lownds *et al.*, 1993). En estudios realizados por estos autores en tres tipos de chile, muestran que los frutos de chile bell pepper var. Keystone tenían un 92.1% de agua al momento de cosecha y una relación superficie:volumen de 0.88. Este contenido de agua presentó una correlación negativa de 0.777 con la pérdida de agua cuando los frutos se almacenaron a 20°C y 75% HR. En el presente estudio, el contenido relativo de agua en todos los tratamientos después de cosecha fue alrededor del 96%, es decir más turgentes que la variedad mencionada en la investigación anterior (Cuadro 3). Valores cercanos al 92% se tuvieron después de 6 días de almacenamiento a 20°C y valores alrededor de 88% después de 14 días en esta misma condición. Algunas investigaciones reportan una fuerte relación entre CRA y potencial hídrico de los frutos, sugiriendo que un cambio en

el CRA de los tejidos vegetales representa un cambio en el volumen celular (Pomper and Breen, 1997).

Cuadro 3. Contenido Relativo de Agua (%) en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C

Tratamientos	0 días 20°C	6 días 20°C	14 días 20°C
Kleen-a-Peal	95.54	91.48	88.78
Testigo	96.08	91.05	88.93
Kleen + Calcio	96.41	91.14	87.99
Calcio	96.07	90.95	87.98

En estudios realizados con zanahoria, porcentajes de CRA de 88.4 se tienen al momento de cosecha con valores de potencial hídrico de  $-1.01$  Mpa. Posteriormente, los valores de CRA y potencial hídrico disminuyen hasta un 68% y  $-1.27$  Mpa respectivamente después de tres días de almacenamiento a 20°C (Jobling *et al.*, 1997).

En esta evaluación, este parámetro no presentó diferencia significativa entre tratamientos ningún día de análisis ( $P > 0.05$ ), mostrando coeficientes de correlación con pérdida de agua de 0.76, 0.52, 0.69 y 0.63 en los tratamientos de Kleen-a-Peal, Testigo, Kleen-a-Peal + calcio y calcio solo respectivamente. Estas correlaciones fueron hechas considerando los valores de 0, 6 y 14 días a 20°C.

### Firmeza

Aunado a la pérdida de agua, la firmeza o consistencia de los frutos es determinante en la decisión de los consumidores al adquirir un tipo de hortaliza perecedera. Se puede decir que después de la vista, el tacto es el primer contacto que tiene el cliente con el producto.

Analizando los datos de firmeza de los frutos en estudio, la deformación de los mismos al aplicar una fuerza determinada aumenta a medida que transcurre el período de mercadeo (Figura 9). Este mismo patrón es reportado por Lownds *et al.*, (1994) en diferentes tipos de pimientos, sugiriendo que la flacidez de los frutos muestra el mismo comportamiento que la pérdida de agua.

Los resultados obtenidos en el experimento, igualmente muestran una relación directa de la firmeza con la pérdida de peso o agua de los frutos durante poscosecha, presentando la mayor deformación los frutos tratados con Kleen-a-Peel. Los valores iniciales de deformación estuvieron alrededor de 6 mm en todos los tratamientos lo cual indica que el fruto presenta una mayor cantidad de agua, es decir esta más firme. Es importante considerar que la mayor deformación se presenta después de los 9 días de estar a 20°C que es cuando los frutos entran a una condición no comercial. Deformaciones de hasta 12 mm son consideradas aceptables en los frutos bajo estudio, donde todavía presentan una apariencia aceptable cuando son expuestos a 20°C. Estadísticamente, los tratamientos fueron diferentes hasta el 9º día de almacenamiento ( $P < 0.05$ ) para posteriormente mostrar valores de deformación muy similares cuando pierden su vida de anaquel.

En estudios realizados por Siller *et al.*, (1998), observaron que frutos de chile bell pepper de color rojo después de 2 semanas de almacenamiento a 20°C mostraban valores de 10 mm de deformación. Por otro lado, Lurie *et al.*, (1986), encontraron una fuerte relación entre pérdida de peso y firmeza en frutos de chile bell pepper ( $r=0.97$ ), observando que la firmeza disminuía a medida que se daba el cambio de color de los frutos, reportando valores arriba de 10 mm después de tres semanas de almacenamiento

a 17°C y 85% HR. Estos valores fueron ligeramente mayores en frutos de color rojo en comparación con los verdes.

Las correlaciones entre firmeza y pérdida de peso durante el experimento se muestran en la Figura 10. En los cuatro tratamientos se observa un aumento en la deformación de los frutos a medida que pierden mayor peso como consecuencia del tiempo de almacenamiento. Valores de correlación de 0.63, 0.59, 0.69 y 0.57 se presentan en los tratamientos de Kleen-a-Peel, Testigo, Kleen + calcio y calcio respectivamente durante todo el estudio.

Generalmente, durante la maduración de los frutos se presentan cambios en la actividad enzimática que tienen relación con la degradación de la pared celular. Estos cambios están asociados con el ablandamiento extensivo del fruto ocasionado por una pérdida de firmeza o textura de los mismos (Wills *et al.*, 1998). El calcio es un importante agente que regula el rompimiento de la pared celular de los frutos durante la maduración y senescencia (Picchioni *et al.*, 1995). Por lo tanto, un incremento en el contenido de calcio en muchos frutos retarda el ablandamiento o pérdida de firmeza y otros cambios relacionados con el proceso de maduración. La manera de cómo el calcio reduce la expresión del ablandamiento de los frutos es reduciendo los sitios aniónicos de la pared celular, limitando así su separación (Picchioni *et al.*, 1995).

Se ha observado que durante la maduración de los frutos, la hidrólisis de las pectinas que componen la lamina media es lo que ocasiona el ablandamiento de los tejidos al separar células contiguas y no un rompimiento de células (Harker *et al.*, 1997, citados por De Belie *et al.*, 2000). Shackel *et al.*, (1991) y De Belie *et al.*, (2000), establecen que los cambios en firmeza de los frutos durante la maduración también se deben a cambios en la presión hidrostática de las células (presión de turgencia) y no nada más a la baja integridad de los componentes de las membranas celulares.

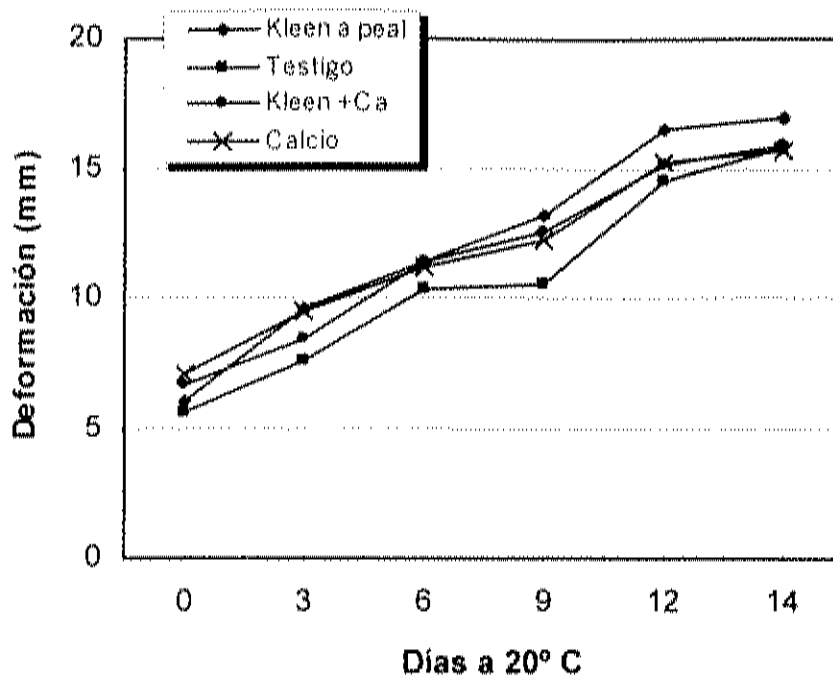


Figura 9. Cambios en Firmeza por Compresión en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C.

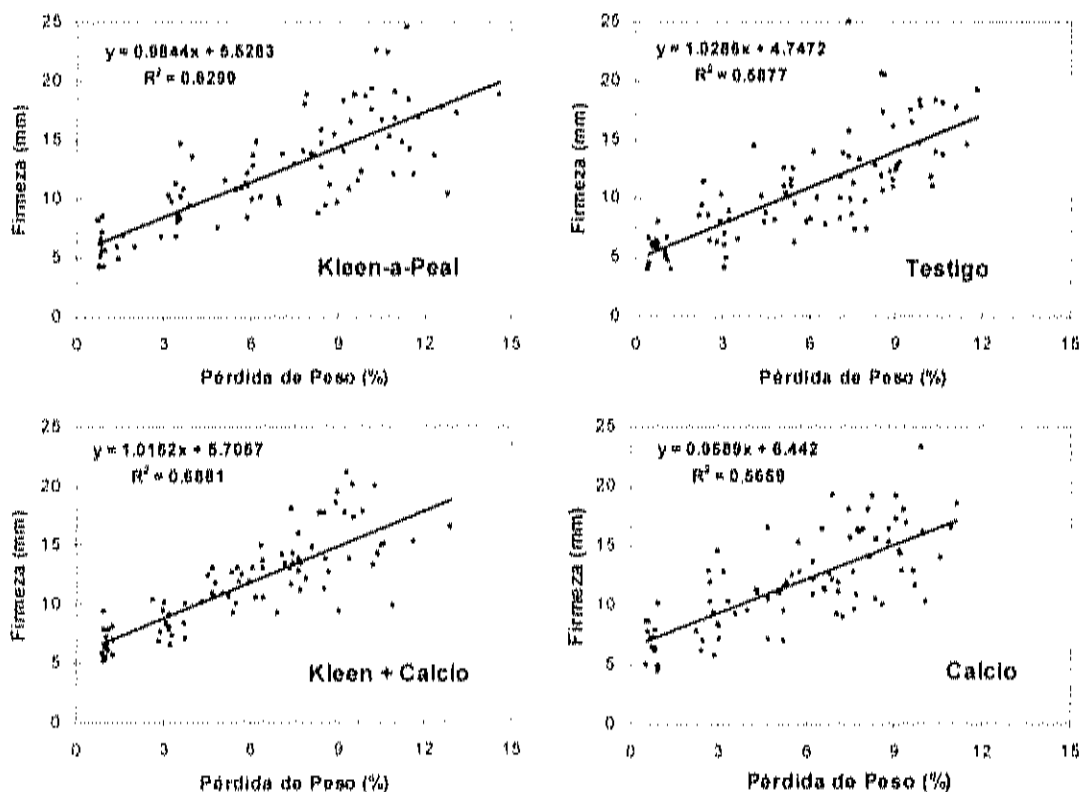


Figura 10. Modelos de Regresión entre Firmeza y Pérdida de Peso en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio durante el almacenamiento a 20°C.



En este experimento, los tratamientos con calcio mostraron deformaciones ligeramente menores (pérdida de firmeza) que los frutos tratados con Kleen-a-Peel aunque un poco superiores que los frutos testigo.

### Color

En la comercialización de chile bell pepper, el color de los frutos es uno de los principales factores que determinan la preferencia del consumidor al momento de adquirir el producto (Frank *et al.*, 1999). Los frutos deben tener un color típico de la variedad, además, deben estar libres de defectos como rajaduras, quemaduras de sol, etc, para ser clasificados como frutos de buena calidad (Cantwell, 1996).

En este estudio, el desarrollo del color amarillo característico de la variedad no se vio afectado por los tratamientos (Cuadro 4). Durante los primeros días de almacenamiento, el rápido incremento en los valores de  $a^*$  indica una pérdida acelerada del pigmento verde en los frutos, recordando que valores negativos en  $a^*$  corresponden al color verde y positivos al color rojo. De igual manera en este período, todos los tratamientos presentan un rápido incremento en los valores de  $b^*$ , indicando una tendencia de los frutos hacia el color amarillo. En el eje de  $b^*$ , valores positivos corresponden a color amarillo.

De manera general, para el 6º día de almacenamiento la mayoría de los frutos se encontraban completamente amarillos, que al igual que otros parámetros mencionados anteriormente, en los primeros 6 días de evaluación fue cuando se dieron los cambios más significativos. A partir de entonces y hasta el final del estudio, los cambios en  $L$ ,  $a^*$  y  $b^*$  no fueron tan marcados, por lo que no hubo diferencia significativa entre tratamientos durante el período de evaluación ( $P>0.05$ ). Este mismo comportamiento en los valores de  $a^*$  es reportado en frutos de chile bell de color verde, indicando también que la clorofila, principal pigmento responsable del color verde de los frutos, se degrada

durante el tiempo de almacenamiento, aunque la pérdida de clorofila se reduce cuando los frutos son expuestos a atmósferas de bajo oxígeno (Luo and Miktzel, 1996).

Cuadro 4. Cambios en color en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C

Tratamientos	0 días 20°C			6 días 20°C			14 días 20°C		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b
Kleen-a-Peal	46.7	-7.41	25.3	54.4	-0.28	40.8	53.7	0.87	43.0
Testigo	45.0	-8.12	24.3	54.0	-0.04	40.9	53.5	1.24	42.4
Kleen + Calcio	45.4	-7.51	26.5	53.9	0.19	42.0	53.5	1.35	43.2
Calcio	44.9	-8.65	25.7	54.5	0.29	42.7	53.7	0.99	42.4

#### Respiración (Producción de CO<sub>2</sub>)

El patrón de respiración de chile bell pepper es característico de los frutos no climatéricos. Estos frutos no muestran un incremento pronunciado en la respiración cuando cambian de color o durante el período de mercadeo (Saltveit, 1977; Lurie *et al.*, 1986; Villavicencio *et al.*, 1999). Al inicio del experimento, todos los tratamientos presentaban una producción de CO<sub>2</sub> entre 20 y 22 mL CO<sub>2</sub>/Kg-h, y a medida que transcurría el tiempo de almacenamiento, sólo el tratamiento de Kleen-a-Peal mantuvo los valores iniciales de respiración. Los demás tratamientos, mostraron una baja gradual en respiración, indicando así una actividad metabólica menor con valores alrededor de 15 mL CO<sub>2</sub>/Kg-h (Figura 10). Este mismo comportamiento es reportado por Villavicencio *et al.*, (1999), en frutos de chile bell pepper vars. Camelot y King Arthur,

donde la producción de  $\text{CO}_2$  declina a medida que los frutos cambian de color indicando un avance en la maduración. También, chiles del tipo New Mexico, clasificados como frutos no climatéricos, muestran este comportamiento durante el cambio de color de verde a rojo (Biles *et al.*, 1993).

En general, como es indicado en la literatura, los frutos de todos los tratamientos mostraron el mismo patrón de respiración no climatérico durante el experimento, aun cuando sucedió el cambio de color de verde a amarillo. Estadísticamente, durante los primeros cuatro días de almacenamiento no hubo diferencia significativa entre tratamientos ( $P>0.05$ ). Sin embargo, a partir del 5º día el tratamiento de Kleen-a-Peel solo mostró diferencias significativas en comparación con los demás tratamientos ( $P<0.05$ ).

Cantwell (1996), reporta tasas de respiración para frutos de chile bell pepper verdes y de color entre 18 y 20 mL  $\text{CO}_2/\text{Kg-h}$  cuando son almacenados a 20°C, lo cual es muy similar con los valores encontrados en este estudio.

La misma producción de  $\text{CO}_2$  la muestran los frutos de chile bell pepper producidos en invernadero. Al momento de cosecha, los frutos en estado verde maduro mostraron valores de 19.7 mL  $\text{CO}_2/\text{Kg-h}$  y de 18.3 mL  $\text{CO}_2/\text{Kg-h}$  cuando se cosecharon completamente maduros.

Valores de 40% menos de respiración se obtienen cuando los frutos son almacenados a 13°C y a temperaturas menores de almacenamiento pueden ocasionar daño por frío, expresado como picado del fruto, aunque el estado de madurez es un importante parámetro en el grado de susceptibilidad de los frutos. Se ha observado que frutos en estado verde maduro son más susceptibles a daño por frío que frutos completamente maduros (Lin *et al.*, 1993; Cantwell, 1996), aunque no muestren una elevada producción de  $\text{CO}_2$  y etileno.

Alternativas como el uso de atmósferas con bajo oxígeno, han resultado efectivas en reducir la respiración de los frutos en almacenamiento. Exposición de chile bell pepper a atmósferas de 1.5% de  $\text{O}_2$  por 72 horas a 20°C, lograron reducir la respiración de los frutos de 20 mL  $\text{CO}_2/\text{Kg-h}$  a valores entre 10 y 12 mL  $\text{CO}_2/\text{Kg-h}$  durante los

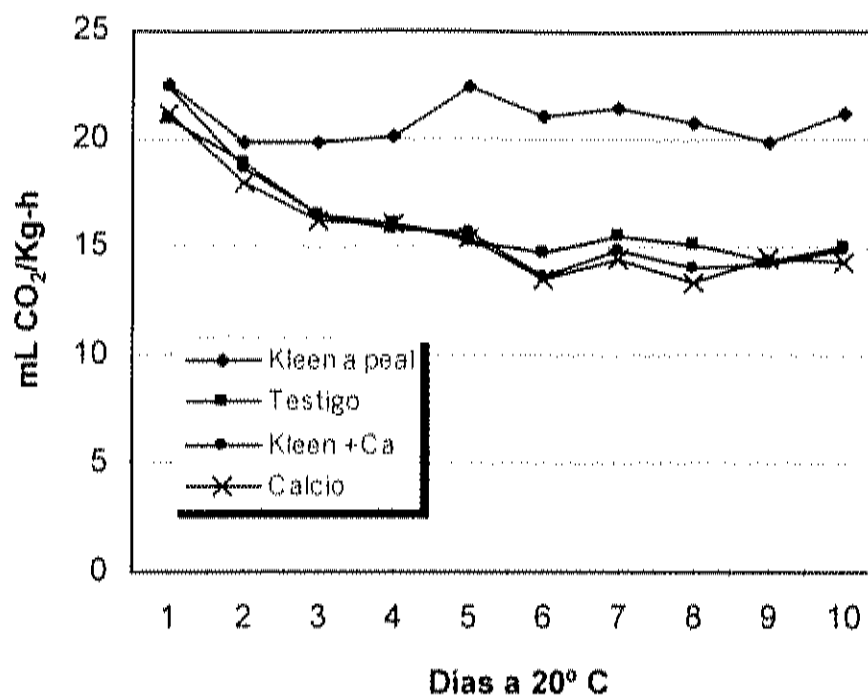


Figura 11. Comportamiento respiratorio en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C.

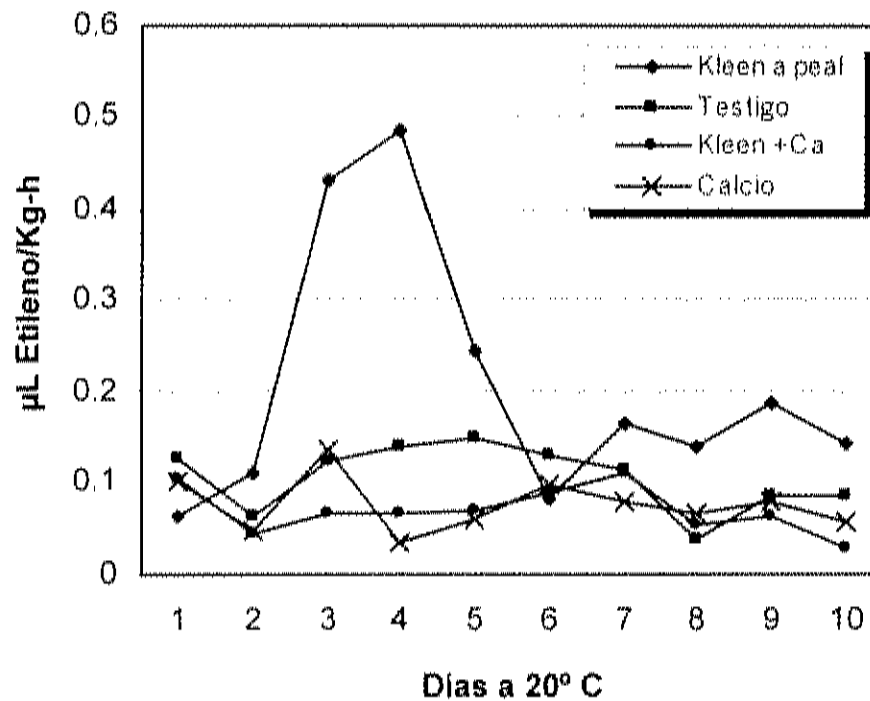


Figura 12. Producción de etileno en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C.

primeros 2 días de transferir los frutos a aire (Rahman *et al.*, 1993), esto sin producir efectos residuales como etanol o daño al tejido

La tasa más alta de respiración mostrada por el tratamiento de Kleen-a-Peal, indica que la vida de anaquel de los frutos es más corta, lo cual se expresa en los resultados de una mayor tasa de transpiración normalizada, una mayor permeabilidad de la cutícula al vapor de agua, una mayor deformación o flacidez de la fruta, así como también valores de potencial hídrico más negativos durante el experimento.

#### Producción de Etileno

Considerando que los frutos de chile bell pepper se comportan como frutos no climatéricos, Cantwell (1996) reporta que estos producen niveles muy bajos de etileno cuando son expuestos a temperaturas entre 10 y 20°C. Las tasas de producción de etileno oscilan entre 0.1 y 0.2  $\mu\text{L}/\text{Kg}\cdot\text{h}$ . En la figura 11, se muestra la producción de etileno de todos los tratamientos durante el período de mercadeo. El tratamiento de Kleen-a-Peal, al igual que en la respiración, fue el que mostró los valores más altos de producción de etileno presentando un máximo incremento al 4° día de almacenamiento de 0.48  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{Kg}\cdot\text{h}$ . Este pico en la producción de etileno precede un día a un ligero aumento presentado en la producción de  $\text{CO}_2$  de los frutos de este mismo tratamiento (Figura 10). Sin considerar este incremento de etileno, el tratamiento de Kleen-a-Peal fue estadísticamente diferente a los demás tratamientos a partir del 7° día ( $P < 0.05$ ). Por el contrario, los frutos testigo, tratados con calcio y Kleen-a-Peal + calcio, no mostraron aumentos considerables en la producción de etileno ni en la producción de  $\text{CO}_2$  en este experimento, con valores de etileno entre 0.05 y 0.15  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{Kg}\cdot\text{h}$ . En este parámetro, los tratamientos de calcio (con y sin Kleen-a-Peal) mostraron valores ligeramente menores al igual que en la respiración.

En el presente estudio, durante los primeros 6 días de almacenamiento es cuando se presentan los cambios más significativos de pérdida de agua, permeabilidad de

cutículas, potencial hídrico, firmeza, entre otros. En este mismo período, la mayoría de los frutos de todos los tratamientos ya estaban completamente coloreados. Los bajos niveles de producción de etileno obtenidos quizás fueron suficientes para inducir la maduración y cambio de color de los frutos, aunque algunas investigaciones indican que la maduración de chile bell pepper no es regulada por esta hormona (Cantwell, 1994; Pretel *et al.*, 1995), aun cuando la producción de etileno se duplica cuando los frutos cambian de color (Lurie *et al.*, 1986; Saltveit, 1977). En chiles del tipo New Mexico, clasificados como no climatéricos, el cambio de color (pérdida de clorofila) y la baja en firmeza coincidieron con un rápido incremento en la producción de etileno (Biles *et al.*, 1993).

Aplicaciones exógenas de etileno, no han mostrado efectos significativos en aumentar el desarrollo de color en bell pepper cosechado en diferentes estados de madurez. Para lograr una completa coloración de los chiles en poscosecha, es recomendable cosecharlos cuando presente el mayor grado de color o almacenarlos a temperaturas entre 20 y 25°C con alta humedad relativa (90-95%) (Cantwell, 1994).

En estudios realizados por Villavicencio *et al.*, (1999), la producción de etileno en dos variedades de chile bell pepper osciló entre 0.1 y 0.4  $\mu\text{L}/\text{Kg}\cdot\text{h}$  en los diferentes estados de madurez, con excepción de la variedad "King Arthur" que mostró una producción de 0.9  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{Kg}\cdot\text{h}$  en frutos casi totalmente coloreados. Sin embargo, cuando los frutos son almacenados a temperaturas bajas (1°C), una estimulación en la producción de etileno se presenta tanto en frutos verdes como maduros, aunque en estos últimos no se presenten signos de daño por frío (Lin *et al.*, 1993). Por otro lado, en frutos almacenados a bajas concentraciones de  $\text{O}_2$ , la producción de etileno no se ve afectada después de 24 o 72 h (Rahman *et al.*, 1993), aunque la concentración interna disminuye en comparación con frutos almacenados en aire (Luo and Mikitzel, 1996).

### pH, Acidez Titulable y Sólidos Solubles Totales

Los resultados de pH, acidez titulable y sólidos solubles totales se muestran en el cuadro 5. Los valores de pH no mostraron cambios considerables durante el desarrollo del experimento. Todos los tratamientos tuvieron valores de pH alrededor de 5.1 al día cero de almacenamiento y de 5.2 al final de la investigación. Sólo el tratamiento de Kleen-a-Peel mostró un ligero aumento de 5.3 el último día de evaluación, aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas ningún día de evaluación entre tratamientos ( $P>0.05$ ). En estudios previos, esta misma variedad de chile bell (Ori), presentó valores de pH de 5.1 al inicio y al final de un período de almacenamiento de 9 días a 23°C (Lim, 1997). Este mismo autor reporta valores similares de pH en frutos de chile bell de color rojo y valores promedio de pH=6.0 en variedades de color verde.

El contenido de acidez titulable, expresado como porcentaje de ácido cítrico, no mostró cambios significativos entre tratamientos durante el período de mercadeo. Al igual que en el pH, la acidez no mostró diferencia estadística entre tratamientos en ningún día de evaluación ( $P>0.05$ ). Los porcentajes de acidez oscilaron entre 0.26 y 0.32 durante todo el estudio. Estos resultados coinciden con los reportados por Lim (1997), donde esta misma variedad de chile bell amarillo mostró valores de 0.23% al inicio del estudio y de 0.32% a los 9 días de estar en condición de mercadeo. También, Siller *et al.*, (1998), reportan valores de acidez titulable de 0.25 a 0.35% en chile bell de color rojo.

Generalmente, los chiles bell de color verde se caracterizan por presentar rangos bajos de acidez titulable (alrededor de 0.1%) en comparación con las variedades de color, encontrando rangos entre 0.2 y 0.3% en frutos de colores rojo y amarillo durante condiciones de mercadeo (Lim, 1997). Esta misma apreciación la reportan Luo and Mikitzel (1996), quienes encontraron valores de acidez titulable entre 0.097 y 0.11% en frutos de chile bell verdes expuestos a diferentes atmósferas de oxígeno.

Los cambios en el contenido de sólidos solubles totales, expresados como °Brix, muestran una tendencia a aumentar a medida que transcurre el almacenamiento, principalmente durante los primeros seis días, que como se mencionó anteriormente, es

cuando se dan los cambios más importantes de pérdida de agua, permeabilidad de cutículas, potencial hídrico, cambios en color, entre otros. Al inicio del experimento, todos los tratamientos presentaron valores similares de °Brix (7.3-7.5) y al sexto día valores alrededor de 7.9. Posteriormente, sólo el tratamiento de Kleen-a-Peal mostró una tendencia a seguir aumentando hasta el último día de evaluación acumulando hasta 8.5°Brix. Dos de los tratamientos presentaron una ligera disminución y uno se mantuvo constante, aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas entre tratamientos ningún día de evaluación ( $P>0.05$ ). Otras investigaciones en diferentes productos hortícolas han mostrado que las aplicaciones de ácidos carboxílicos, como el Kleen-a-Peal, promueven un mayor movimiento y acumulación de azúcares durante las etapas de desarrollo y al inicio de cosecha (Heredia, 1998), tal como se observó en los resultados de este estudio con el mismo tratamiento.

Cuadro 5. pH, Acidez Titulable (AT), y Sólidos Solubles Totales (SST) en frutos de chile bell pepper tratados con ácidos carboxílicos y calcio almacenados a 20°C

Tratamientos	0 días 20°C			6 días 20°C			14 días 20°C		
	pH	AT	SST	pH	AT	SST	pH	AT	SST
Kleen-a-Peal	5.18	0.265	7.3	5.20	0.295	8.0	5.30	0.311	8.5
Testigo	5.21	0.266	7.4	5.20	0.326	8.0	5.29	0.287	7.8
Kleen + Calcio	5.16	0.303	7.4	5.18	0.308	7.9	5.25	0.290	7.6
Calcio	5.16	0.281	7.5	5.19	0.282	7.7	5.26	0.298	7.7

Los resultados obtenidos en este estudio, presentan un contenido de sólidos solubles similar a lo reportado por Lim (1997) en frutos amarillos y rojos de chile bell



con valores entre 7 y 8° Brix a los 9 días de simulación mercadeo, sobresaliendo la misma variedad utilizada en este estudio (Ori) con valores de 8.4°Brix. En frutos verdes de diferentes variedades de chile bell, el contenido de sólidos solubles varió entre 4.8 y 6.2°Brix durante 9 días de almacenamiento a 23°C (Lim, 1977).

En estudios realizados en fresa, Makus and Morris (1998), reportaron que aplicaciones suplementarias de calcio en precosecha no tuvieron efecto en el contenido de sólidos solubles, pH, acidez titulable y color de los frutos, aunque sí redujeron el deterioro después de varias cosechas.

En frutos no climatéricos como el chile bell, la acumulación de azúcares esta asociada con el desarrollo de una óptima calidad de consumo al igual que en los frutos climatéricos. Sin embargo, en los frutos no climatéricos los azúcares son importados hacia el fruto a través de la savia y no por efecto del rompimiento de las reservas de almidón del mismo (Wills *et al.*, 1998).

### Contenido Total de Calcio

Aunque existe una disponibilidad adecuada de calcio en el suelo, los productores comúnmente utilizan fertilizantes como suplemento de calcio tales como  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  o aspersiones directas de sales de calcio, con el fin de asegurar niveles óptimos de este mineral en el fruto que le permitan retener la firmeza. También, el calcio es aplicado para reducir los desórdenes fisiológicos y patológicos que se presentan los frutos en poscosecha, aunque las aplicaciones se realizan en ocasiones con relativo grado de éxito (Alexander and Clough, 1998).

En el cultivo de fresa, la fertilización en precosecha con nitrato de calcio, mostró un incremento en la concentración de calcio en las hojas pero no en el fruto, aunque sí se redujo el deterioro de los frutos (Makus and Morris, 1998). En chile bell pepper, las aplicaciones de calcio en etapas tempranas del cultivo, incrementaron el tamaño de los

frutos, aunque el rendimiento y la incidencia de pudrición apical no fueron afectados (Alexander and Clough, 1998).

Los resultados de este experimento muestran que los frutos asperjados con nitrato de calcio sí presentaban mayor cantidad de iones calcio comparados con el testigo. Análisis realizados en frutos del día cero de almacenamiento, muestran que los frutos del tratamiento de calcio tuvieron una concentración de 45.29 mg de calcio/100 g de tejido fresco. El tratamiento de Kleen-a-Peal + calcio mostró 42.86 mg/100 g y el testigo con 36.66 mg/100 g. En citas publicadas por USDA (1998), reportan un contenido de calcio de 9 mg/100 g de fruta tanto en chiles verdes como rojos.

En estudios previos, diferentes resultados en el contenido de calcio han sido atribuidos a probables diferencias en los métodos de extracción y cuantificación de la muestra, los cuales son considerados las principales fuentes de error en el análisis (Burns and Pressey, 1987). Igualmente, las diferencias observadas entre los valores reportados en la literatura y los obtenidos en el experimento pudieran estar asociadas también con el método de extracción empleado, ya que al analizar algunas muestras de los tratamientos bajo estudio sin utilizar óxido de Lantano, el resultado fue muy similar a los publicados anteriormente (10 mg de Calcio/100 g de muestra fresca).

Burns and Pressey (1987), mencionan que las paredes celulares, donde se encuentra el calcio, son heterogéneas por naturaleza y que la distribución de los iones dependerá de la densidad de cargas y de la configuración de la fracción péctica. También hacen mención que aunque la espectrometría de absorción atómica es un método de análisis confiable y sensible, la liberación de los iones calcio del espacio extracelular para su cuantificación dependerá en gran medida del solvente utilizado.

## CONCLUSIONES

Las aplicaciones solas de Kleen-a-Peal (ácidos carboxílicos) modificaron la transpiración de los frutos de chile bell, mostrando valores superiores que el testigo y los tratamientos con calcio.

La permeabilidad de la cutícula de frutos de chile bell tratados con ácidos carboxílicos no mostraron beneficio en reducir la difusión del vapor de agua durante poscosecha.

La mayor actividad respiratoria y la más alta tasa de producción de etileno se obtuvo en los frutos tratados con Kleen-a-Peal durante el período poscosecha, reduciendo la vida de anaquel por tres días en comparación con los tratamientos de calcio.

Los frutos de chile bell tratados con calcio, con y sin ácidos carboxílicos, presentaron la menor pérdida de agua (potencial hídrico menos negativo) así como la mejor apariencia al final del experimento, siendo comercializables hasta por 12 días a 20°C.

En firmeza, deformaciones de hasta 12 mm en los frutos fueron aceptables para comercialización, existiendo una fuerte correlación con los valores de transpiración.

Los frutos de chile bell de los diferentes tratamientos, no mostraron cambios significativos en los parámetros de color, pH, sólidos solubles totales y acidez titulable durante simulación mercadeo (20°C).

Las aplicaciones precosecha de calcio solas o en combinación con Kleen-a-Peal en chile bell, incrementaron el contenido de calcio en el fruto (23% y 17% respectivamente) en comparación con los frutos testigo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A.O.A.C. 1998 (Association of Official Analytical Chemist). Official Methods of Analysis. 16<sup>th</sup> edition, AOAC International, Guithersburg, MD, USA.
- Adato, J. and S. Gazit. 1974. Water-deficit stress, ethylene production and ripening in avocado fruits. *Plant Physiol.* (53): 45-46.
- Alexander S.E. and G.H. Clough. 1998. Spunbonded rowcover and calcium fertilization improve quality and yield in Bell Pepper. *HortScience* 33(7): 1150-1152.
- Apeland, J. and H. Baugerod. 1971. Factors affecting weight loss in carrots. *Acta Hort.* 20:92-97.
- Báez S., M.A., J. Siller, J. Heredia, T. Portillo, E. Araiza, R. García y M. Muy. 1997. Fisiología poscosecha de frutos de chicozapote (*Achras sapota* L.) durante condiciones de mercadeo. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 41:209-214.
- Banks, N.H. and S.E. Nicholson, 2000. Internal atmosphere composition and skin permeance to gases of pepper fruit. *Postharvest Biol. and Tech.* 18:33-41.
- Behboudian, M.H. and G.S. Lawes. 1994. Fruit quality in Nijisseiki Asian pear under deficit irrigation: Physical attributes, sugar and mineral content, and development of flesh spot decay. *New Zeland J. of Crop and Hort. Sci.* 22(4):393-400.
- Ben-Yehoshua, S., B. Shapiro, Z.E. Chen and S. Lurie. 1983. Mode of action of plastic film in extending life of lemon and bell pepper fruits by alleviation of water stress. *Plant Physiol.* (73): 87-93
- Ben-Yehoshua, Shímshon. 1985. Individual seal-packaging of fruit and vegetables in plastic film. A new postharvest technique. *HortScience*. Vol. 20 (1): 32-37.
- Biles, C.L., M. Wall and K. Blackstone. 1993. Morphological and physiological changes during maturation of New Mexican type peppers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(4): 476-480.
- Burns, J. and R. Pressey. 1987. Ca<sup>2+</sup> in cell walls of ripening tomato and peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112 (5): 783-787.

- Burton, W.G. 1982. Post-harvest physiology of food crops. Longman Group. New York. pp. 43-68.
- CAADES, 1998. Avances preliminares de siembra para la temporada 1997-98. Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México.
- CAADES, 1999. Datos citados en: Hortalizas, Frutas y Flores. Febrero de 1999. México, D.F. p. 31-34
- Cameron, A.C. and M.S. Reid. 1982. Diffusive resistance: Importance and measurement in controlled atmosphere storage. En: Controlled atmosphere for storage and transport of perishable agricultural commodities. Eds. D.G. Richardson and M. Meheriuk. Timber Press, Beaverton, Oregon.
- Cantwell, M. 1996. Bell pepper: Recommendations for maintaining postharvest quality. Produce Facts, Perishables Handling No. 87. University of California. Davis, USA.
- Cantwell, M. 1994. Optimum procedures for ripening peppers. Perishables handling newsletter. Issue No. 80. University of California, Davis. USA.
- Ceponis, M.J., R.A. Capellini and G.W. Lightner. 1987. Disorders in fresh pepper shipment to the New York market, 1972-1984. *Plant Disease*, 71: 380-382.
- CNPH 1998 (Confederación Nacional de Productores de Hortalizas). Informe estadístico, Cierre de temporada 1997-98. Culiacán, Sinaloa, México.
- Cook, R.J. and R.I. Papendick. 1978. Role of water potential in microbial growth and development of plant disease, with special reference to postharvest pathology. *HortScience*. Vol. 13(5):559-564.
- Chamel, A., M. Pineri and M. Escoubes. 1991. Quantitative determination of water sorption by plant cuticles. *Plant, Cell and Environment*. 14:87-95.
- Chamel, A.R. 1989. Permeability characteristics of isolated 'Golden Delicious' apple fruit cuticles with regard to calcium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114 (5):804-809.
- Chin H.B. and Dudek J.A. 1988. Composition and nutritive value of raw and processed vegetables. En: Commercial vegetable processing. B.S. Luh and J.G. Woodroof, Ed. II edition. pp. 647-682.
- De Belie, N., I. Hallet, F. Harker and J. De Baerdemacker. 2000. Influence of ripening and turgor on the tensile properties of pears: A microscopic study of cellular and tissue changes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125 (3): 350-356.

- Díaz-Pérez, J.C. and E. Araiza. 1997. Changes in transpiration rates and skin permeance as affected by storage and stage of tomato fruit ripeness. 7<sup>th</sup> International controlled atmosphere research conference. July 13-18. University of California, Davis, USA.
- Fallik, E., S. Grinberg, S. Alkalai, O. Yekutieli, A. Wiseblum, R. Regev, H. Beres and E. Bar-Lev. 1999. A unique rapid hot water treatment to improve storage quality of sweet pepper. *Postharvest Biol. and Tech.* 15:25-32.
- FDA (Food and Drug Administration). 1992. Produce Nutrition. Produce for Better Health Foundation Publication No.102. USA.
- Frank, C., E. Simonne, R. Nelson, A. Simonne and B. Behe. 1999. Factors determining consumer preferences for colored Bell Pepper. *HortScience*. Vol. 34(3). P. 518.
- Freeman, B., L.G. Albrigo and R.H. Biggs. 1979. Ultrastructure and chemistry of cuticular waxes of developing *Citrus* leaves and fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104 (6):801-808.
- Gaffney, J.J. 1978. Humidity: Basic principles and measurement techniques. *HortScience*. Vol. 13(5): 551-555.
- Gómez Cruz, M.A. 1997. Perspectivas de la producción de chiles en México. *Productores de Hortalizas*. Septiembre de 1997, p. 48
- Grierson, W and W.F. Wardowski. 1975. Humidity in horticulture. *HortScience*. Vol. 10(4): 356-360.
- Grierson, W and W.F. Wardowski. 1978. Relative humidity effects on the postharvest life of fruits and vegetables. *HortScience*. Vol. 13(5): 570-574.
- Gross, K.C., A.E. Watada, M.S. Kang, S.D. Kim and S.W. Lee. 1986. Biochemical changes associated with ripening of hot pepper fruit. *Physiol. Plant.* 66:31-36.
- Heredia, J.B. 1998. Cambios metabólicos asociados con la acumulación de azúcares en uva de mesa del cultivar "Perlette". Tesis de maestría. CIAD,A.C. Hermosillo, Sonora, México.
- Herppich, W.B., H. Mempel and M. Geyer. 1999. Effects of postharvest mechanical and climatic stress on carrot tissue water relations. *Postharvest Biol. and Tech.* 16(1): 43-49.
- Holloway, P.J. 1982. The chemical constitution of plant cutins. En: *The plant cuticle* (eds. D.F. Cutler, K.L. Alvin & C.E. Price). Academic Press, New York. Pp. 45-85.

- Huschka, H.W. 1977. Postharvest weight loss and shrivel in five fruits and five vegetables. USDA. Agric. Res. Serv. Mark. Res. Rep., 1059, 1.
- Hsiao, T.C. 1990. Measurement of plant water status. In: B.A. Stewart and D.R. Nielsen (ed.) Irrigation of agricultural crops-agronomy monograph No. 30. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- IFT, 1990 (Institute of Food Technologists). Quality of fruits and vegetables. A scientific status summary by the Institute of Food Technologists' expert panel on food safety and nutrition. Food Technology 44(6): 99-106.
- Janisiewicz W.J., W.S. Conway, D.M. Glenn and C.E. Sams. 1998. Integrating biological control and calcium treatment for controlling postharvest decay of apples. HortScience. 33(1): 105-109.
- Jobling, J., B. Patterson, S. Moradi and D. Joyce. 1997. A non-destructive method for measuring the water potential of fruit and vegetables. Postharvest Biol. and Tech. 10: 1-8.
- Kader, A. 1992. Quality and safety factors: Definition and evaluation for fresh horticultural crops. In: Postharvest Technology of Horticultural Crops. Ed. A.A. Kader. Agriculture and Natural Resources Publications. University of California, USA. Pp 185-189
- Krarpup, C., W. Lipton y J. Toledo. 1987. I Curso internacional de post-cosecha de hortalizas. Nov. 30 a Dic. 05. Mercado Central de Buenos Aires, Argentina.
- Landrigan, M., S.C. Morris, D. Eamus and W.B. McGlasson. 1996. Postharvest water relationship and tissue browning of rambutan fruit. Scientia Horticulturae. 66(3/4): 201-208.
- Larqué Saavedra Alfonso y Carlos Trejo López. 1990. El agua en las plantas: Manual de prácticas de fisiología vegetal. Editorial Trillas. México, D.F. p. 39-57
- Lím, Z.F.E. 1997. Calidad y comportamiento poscosecha de nuevas variedades de chile bell. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Culiacán. Culiacán, Sinaloa, México.
- Lin, W.C., J. Hall and M. Saltveit, Jr. 1993. Ripening stage affects the chilling sensitivity of greenhouse-grown peppers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118 (6): 791-795.
- López, L.L. y J.F. Cajuste. 1999. Tratamientos precosecha con fuentes de calcio sobre la capacidad de almacenamiento de frutos de aguacate "Fuerte". Hort. Mex. Vol. 7(2)321-326.

- Lownds, N.K., M. Banaras and P.W. Bosland. 1993. Relationship between postharvest water loss and physical properties of pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). HortScience 28(12): 1182-1184.
- Lownds, N.K., M. Banaras and P.W. Bosland. 1994. Postharvest water loss and storage quality of nine pepper (*Capsicum*) cultivars. HortScience. 29(3): 191-193.
- Lu, Guihua, C. Yang, H. Liang and Z. Lu. 1990. 'Changjiao' hot peppers are nonclimateric. HortScience. 25(7): 807.
- Luo, Y. and L. Mikitzel. 1996. Extension of postharvest life of bell peppers with low oxygen. J. Sci. Food Agric. 70: 115-119.
- Lurie S., E. Fallik and J.D. Klein. 1996. The effect of heat treatment on apple epicuticular wax and calcium uptake. Postharvest Biol. and Tech. 8: 271-277.
- Lurie, S., B. Saphiro and B. Yehoshua. 1986. Effects of water stress and degree of ripeness on rate of senescence of harvested bell pepper fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111 (6): 880-885.
- Lurie, S., R. Ronen and B. Aloni. 1995. Growth-regulator-induced alleviation of chilling injury in green and red bell pepper fruit during storage. HortScience. 30(3): 558-559.
- Maguire, K.M., A. Lang, N.H. Banks and A. Lang. 1999a. Sources of variation in water vapour permeance of apple fruit. Postharvest Biol. and Tech. Vol. 17: 11-17.
- Maguire, K.M., A. Lang, N.H. Banks, A. Hall, D. Hoperft and R. Bennett. 1999b. Relationship between water vapour permeance of apple and micro-cracking of the cuticle. Postharvest Biol. and Tech. Vol. 17: 89-96.
- Makus D.J. and J.R. Morris. 1998. Preharvest calcium applications have little effect on mineral distribution in ripe strawberry fruit. HortScience. 33(1): 64-66.
- Mathews, M.A., G. Cheng and S.A. Weinbaum. 1987. Changes in water potential and dermal extensibility during grape berry development. J. Amer. Soc. Hort. Sci. Vol. 122 (2): 314-319.
- McFadyen, L.M., R.J. Hutton and E.W.R. Barlow. 1996. Effects of crop load on fruit water relations and fruit growth in peach. J. of Hort. Sci. Vol. 71(3): 469-480.
- Mencarelli, F., R. Botondi and D. Moragli. 1989. Postharvest quality maintenance of new varieties of tomato, pepper and eggplant with small size fruits: Preliminary Results. Acta Horticulturae 244: 235-241.



- Mendoza W, A.M. 1996. Características cuticulares y actividad de poligalacturonasa durante la maduración y senescencia de los frutos de tomate. Tesis de maestría. CIAD, A.C. Hermosillo, Sonora, México.
- Minolta Co., Ltd. 1994. Precise color communication. Color control from feeling to instrumentation. Osaka, Japan. P. 18.
- Minitab. 1998. Making data analysis easier. Minitab for windows, release 12. Minitab Inc. State College, USA.
- Mitchell, F.G. 1992. Preparation for Fresh Market. I Fruits. En: Postharvest technology of horticultural crops. Ed. A.A. Kader. Agriculture and natural resources publications. University of California, USA. Pp 31-38.
- Mitchell, F.G., R. Guillou and R.A. Parsons. 1972. Commercial cooling of fruits and vegetables. University of California. Division of Agricultural Sciences. Manual 43. p. 4-5.
- Niederl. S., T. Kirsch, M. Riederer and L. ScHeiber. 1998. Co-permeability of  $^3\text{H}$ -labeled water and  $^{14}\text{C}$ -labeled organic acids across isolated plant cuticles. Plant Physiol. 116:117-123.
- NMSU 1999. (New México State University). The chile pepper institute. [www.nmsu.edu/~hotchile](http://www.nmsu.edu/~hotchile). En: Radiografía de los chiles y los pimientos dulces. Productores de Hortalizas. Año 8, No. 5. Willoughby, Ohio, USA. p. 36-38.
- Nonami, H. and J.S. Boyer. 1993. Direct demonstration of a growth-induced water potential gradient. Plant Physiol. 102:13-19.
- Nuez, F., R. Gil Ortega y J. Costa. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Osterli, P.P., R.M. Rice and K.W. Dunster. 1975. Effect of ethephon on bell pepper fruit ripening. Calif. Agric. 29(7): 3.
- OSU 2000 (Oregon State University). Vegetable production guide: Peppers. *Capsicum annuum* and *C. frutescens*
- Pantastico, Er., Chattopadhyay, T. and Subramanyam, H. 1975. Storage and commercial storage operations. En: Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables. Pantastico, E.B., Ed., AVI Publishing, Westport, Conn.. 314.

- Paull, R.E. and N.J. Chen. 1989. Waxing and plastic wrap influence water loss from papaya fruit during storage and ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(6): 937-942.
- Picchioni G.A., A.E. Watada, W.S. Conway, B.D. Whitaker and C.E. Sams. 1995. Phospholipid, galactolipid, and steryl lipid composition of apple fruit cortical tissue following postharvest  $\text{CaCl}_2$  infiltration. *Phytochemistry*. Vol. 39(4): 763-769.
- Picchioni G.A., A.E. Watada, W.S. Conway, B.D. Whitaker and C.E. Sams. 1998. Postharvest calcium infiltration delays membrane lipid catabolism in apple fruit. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 46(7): 2452-2457.
- Pomper, K.W. and P.J. Breen. 1997. Expansion and osmotic adjustment of strawberry fruit during water stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(2): 183-189.
- Pretel, M., M. Serrano, A. Amoros, F. Riquelme and F. Romojaro. 1995. Non-involvement of ACC and ACC oxidase activity in pepper fruit ripening. *Postharvest Biol. and Tech.* Vol. 5 (4): 295-302.
- Proquisa. 1998. Carboxy: a novel technology in plant nutrition. *Productos Químicos de Chihuahua*. Chihuahua, México.
- Rahman, A., D. Huber and J. Brecht. 1993. Respiratory activity and mitochondrial oxidative capacity of bell pepper fruit following storage under low-oxygen atmosphere. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(4): 470-475.
- Rottenberg, Oded. 1999. Producción de chile bell / Guía de producción, cosecha y nutrición. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Febrero de 1999. México, D.F. p. 14-20.
- Roy S., G. Gillen, W.S. Conway, A.E. Watada and W.P. Wergin. 1995. Use of secondary ion mass spectrometry to image  $^{44}\text{Ca}$  uptake in the cell walls of apple fruit. *Protoplasma*. Vol. 189: 163-172.
- Roy S., W.S. Conway, J.G. Buta, A.E. Watada, C.E. Sams and W.P. Wergin. 1996. Surfactants affect calcium uptake from postharvest treatment of 'Golden Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol. 121(6): 1179-1184.
- Ryall, A.L. and Lipton, W.J. 1983. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. Vol. I Second edition. AVI Publishing Co. Westport, CT. USA.
- Safner R.A., J.G. Buta and W.S. Conway. 1997. Effect of surfactants on pressure infiltration of calcium chloride solutions into 'Golden Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol. 122(3): 386-391.

- Salisbury Frank B. and Ross Cleon W, 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica, S.A de C.V. México, D.F.
- Saltveit, M.E. 1977. Carbon dioxide, ethylene, and color development in ripening mature green bell pepper. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol. 102(5): 523-525.
- Salunkhe, D.K. and Desai, B.B. 1984. Postharvest Biotechnology of Vegetables. Vol. I, Chap. 3. CRC Press, Inc. Boca Raton, Fl. 35.
- Samim, W. and N.H. Banks. 1993. Effect of fruit water status on bruise susceptibility and bruise color of apples. *New Zeland J. of Crop and Hort. Sci.* 21(4): 373-376.
- Santiago de J. 1996. Programación de la siembra de chiles verdes: temporada 96-97. *Productores de Hortalizas.* p. 8
- Sargent, S.A. 1998. Pepper production guide for Florida: Harvesting and handling. University of Florida. Commercial vegetable guide series. Circular 102 E. SP 215.
- Schönherr, J. 1976. Water permeability of isolated cuticular membranes. The effect of waxes on diffusion of water. *Planta.* Vol. 131: 159-164.
- Scheiber, L. and J. Schönherr. 1990. Phase transitions and thermal expansion coefficients of plant cuticles. *Planta.* Vol. 182: 186-193.
- Shackel K.A., C. Greve, J.M. Labavitch and H. Ahmadi. 1991. Cell turgor changes associated with ripening in tomato pericarp tissue. *Plant Physiology.* 97: 814-816.
- Shirazi, A. and A.C. Cameron. 1993. Measuring transpiration rates of tomato and others detached fruit. *HortScience.* Vol. 28(10): 1035-1038.
- Siller, J, A. Elizondo, R. García, M. Báez y V. Pérez. 1998. Efecto de la temperatura de almacenamiento y el empaque con bolsas en la calidad y vida de anaquel de frutos de chile bell (*Capsicum annuum*, L.). CIAD, A.C. unidad Culiacán. Informe técnico No. 008.
- Spomer, L.A. 1985. Techniques for measuring plant water. *HortScience.* Vol. 20(6): 1021-1027.
- Talbot, M.T. and D. Baird. 1998. Psychrometrics and postharvest operations. Circular 1097, Inst. of Food and Ag. Sci., University of Florida, Gainesville, FL.
- Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant soil.* Vol. 58: 339-366.

- USDA 1997 (United States Department of Agriculture). United States standards for grades of sweet peppers. Agricultural Marketing Services, Fruit and Vegetable Division.
- USDA 1998 (United States Department of Agriculture). Base de datos de nutrición, Version 12. Marzo de 1998.
- USDA 1999 (United States Department of Agriculture). Marketing Mexico Fruits and Vegetables, International Report 1999. Agricultural Marketing Services.
- Villavicencio, L., S.M. Blankenship, D.C. Sanders and W.H. Swallow. 1999. Ethylene and carbon dioxide production in detached fruit of selected pepper cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol. 124(4): 402-406.
- Wang, C.Y. 1977. Effect of CO<sub>2</sub> treatment on storage and shelf life of sweet peppers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol. 102(6): 808-812.
- Williams, G.D.V. and J. Brochu. 1969. Vapour pressure deficit vs. relative humidity for expressing atmospheric moisture content. *Nat. Can.* Vol. 96: 621.
- Wills R., McGlasson B., Graham D. and Joyce D. 1998. *Postharvest: An Introduction to the physiology and handling of fruits, vegetables and ornamentals*. 4<sup>th</sup> edition. CAB International. New York, USA.
- Yakushiji, H., H. Nonami, T. Fukuyama, S. Ono, N. Takagi and Y. Hashimoto. 1996. Sugar accumulation enhanced by osmoregulation in Satsuma mandarin fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol. 121 (3): 466-472.