

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

**CONTENIDO DE VITAMINA C Y VIDA DE ANAQUEL EN TOMATE
CHERRY TRATADO CON 1- MCP EN DIFERENTES ESTADOS
DE MADUREZ**

POR:

LAURA ARACELY CONTRERAS ANGULO

TESIS APROBADA POR LA

**UNIDAD CULIACAN
EN FISIOLÓGIA Y TECNOLOGÍA POSCOSECHA DE
FRUTAS, HORTALIZAS Y GRANOS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

CULIACAN, SINALOA

FEBRERO DEL 2004

APROBACIÓN

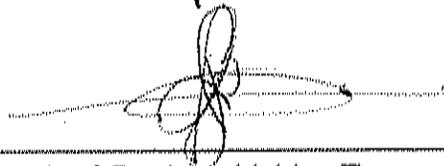
Los miembros del comité designado para revisar la tesis de la C. Laura Aracely Contreras Angulo, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.



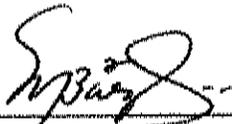
Dr. Jorge Humberto Siller Cepeda
Director de Tesis



Dra. María Dolores Muy Rangel
Asesor



Dr. José Benigno Valdez Torres
Asesor



M.C. Manuel Monzo Báez Sañudo
Asesor

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten citas breves del material contenido en esta tesis, sin permiso especial del autor, siempre y cuando se de el crédito correspondiente. Para citas y consultas mas amplias o para la reproducción integra de este documento con fines académicos, se podrá solicitar permiso al Director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD, A.C.).

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, A.C.

Dr. Alfonso A. Gardea Bejar
Dirección General

Con todo mi amor

A mi querido esposo Migue,l que siempre me apoyo y a mis hijos Laura Maily y Miguelito quienes con paciencia, esperaban a mamá por las noches para que los cobijara y les diera el beso de las buenas noches, a ellos que tanto amo y que son lo mas importante en mi vida, les dedico este trabajo.

Con cariño y Respeto

A dios por dame todo lo que tengo.....Gracias

A mi suegra Doña Chata, quien siempre me ha apoyado en todo

A mi mamá Conchita y a mis hermanas Marissa y Paloma con quienes comparto una linda relación..... ¡las quiero mucho!

A Yadira (Mi comadrita), quien siempre me ayudo, apoyo, y ha sido una muy buena amiga ¡Gracias comadrita!

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., que me ha permitido crecer y ser parte de su gran familia.

De manera muy especial al Dr. Jorge Siller Cepeda, quien confió en mí y me dio la oportunidad de dar un paso más en mi profesión, ¡muchísimas gracias!

A mis asesores: Dr. José Benigno Valdez, MC. Manuel Alonso Baez y muy especialmente a la Dra. María Dolores Muy Rangel a quien le agradezco de corazón que me haya proporcionado un poquitín de su tiempo ¡muchas gracias Maestra!

Al Dr. Inocencio Higuera quien en su momento me apoyo, así como al Dr. Juan Pedro Camú

Por su gran apoyo técnico para realizar mi trabajo: MC. Rosabel Velez de la Rocha, Ing. EVELIA Araiza, M.C. Adriana Sañudo Barajas, M.C. Verónica Perez Rubio y Ing. Celida Martínez.

Con mucho cariño a Florida Montes y Rosalba Contreras que me brindaron en aquellos momentos su ayuda y amistad.

A mis compañeras de generación Olga Díaz, Saraid Mora, Carolina Hernández y Yadira Lopez Pantoja.

A todo el personal que labora en CIAD-Unidad Culiacán y de manera especial a Victor Arana Alarcón por su chispa y alegría.

INDICE GENERAL

Contenido	Página
INDICE DE CUADROS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS.....	4
OBJETIVOS.....	5
METAS.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
Generalidades del Tomate.....	7
Importancia Económica.....	9
Características Botánicas y Taxonómicas del Tomate.....	10
Tipos y Cultivares.....	13
Requerimientos del Clima del Cultivo de Tomate.....	14
Composición del Fruto de Tomate.....	15
Procesos de Maduración del Fruto.....	16
Cambios Físicos y Químicos Durante la Maduración.....	17
Color.....	18
Firmeza.....	20
Pérdida de peso.....	24
Sabor.....	26
Cambios Fisiológicos Durante la Maduración.....	27
Respiración.....	28
Producción de Etileno.....	32
Biosíntesis de etileno.....	34
Mecanismo de acción.....	37
Control del etileno.....	38
Vitamina C.....	47
Síntesis del Ácido Ascórbico.....	49
Degradación del Ácido Ascórbico.....	50
Factores que Influyen la Degradación de Ácido Ascórbico.....	51
Factores Pre y Poscosecha que Afectan el Contenido de Ácido	

Ascórbico (vitamina C) en Frutas y Hortalizas.....	54
Funciones de la Vitamina C.....	56
En el hombre.....	56
En el metabolismo de las plantas.....	59
MATERIALES Y METODOS.....	61
Variables Fisiológicas.....	61
Respiración.....	61
Producción de Etileno.....	62
Variables Físicas.....	62
Pérdida de Peso.....	62
Firmeza.....	63
Color Externo.....	63
Variables Químicas.....	63
pH, Acidez Titulable y Sólidos Solubles Totales.....	63
Variable Nutrimental.....	64
Contenido de Vitamina C.....	64
Diseño de Experimento.....	66
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	67
Variables Fisiológicas.....	67
Respiración.....	67
Producción de Etileno.....	69
Variables Físicas.....	73
Pérdida de Peso.....	73
Firmeza.....	78
Color.....	83
Luminosidad.....	84
Cromaticidad.....	87
Angulo de Matiz.....	90
Variables Químicas.....	94
pH.....	94
Acidez Titulable.....	96
Sólidos Solubles Totales.....	101
Variable Nutrimental.....	102
Vitamina C.....	102
CONCLUSIONES.....	109
LITERATURA CITADA.....	110
ANEXOS.....	129

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.- Tendencia de producción, superficie cultivada y rendimiento de tomate desde 1998 hasta el 2002.....	10
Cuadro 2.- Clasificación taxonómica del tomate.....	13
Cuadro 3.- Composición química de tomate variedad bola y cherry (100 g porción comestible).....	15
Cuadro 4.- Clasificación de firmeza para frutos de tomate de acuerdo a los mm de deformación.....	24
Cuadro 5.- Clasificación de algunos frutos comestibles de acuerdo con la actividad respiratoria durante la maduración.....	31

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.- Comparativo de exportación para el tomate durante el periodo 1993 al 2002.....	12
Figura 2.- Estados de madurez y color desarrollado en tomate (USDA, 1975).....	21
Figura 3.- Diagrama de color donde se representan las coordenadas L, a* b* y los parámetros Hue y Cromo. (Minolta, 1993).....	22
Figura 4.- Proceso de respiración y fotosíntesis.....	29
Figura 5.- Biosíntesis del Etileno (Reid, 2002).....	36
Figura 6.- Mecanismo de acción del etileno.....	39
Figura 7.- Estructura química del compuesto orgánico 1-Metilciclopropeno	42
Figura 8.- Mecanismo de acción del 1-Metilciclopropeno (1-MCP).....	44
Figura 9.- Estructura del ácido ascórbico y dehidroascórbico.....	48
Figura 10.- Síntesis de la vitamina C (Ácido Ascórbico).....	52
Figura 11.- Degradación de la vitamina C (Ácido Ascorbico).....	53
Figura 12.- Oxidación de la vitamina C liberando secuencialmente 2 electrones que son disponibles para reacciones químicas. En el diagrama molecular los átomos de carbono son negros, el oxígeno rojo y el hidrogeno blanco.....	58
Figura 13.- Interacción del estado de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry, en la variable producción de dióxido de carbono.....	68
Figura 14.- Producción de dióxido de carbono durante el almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry, en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP.....	69
Figura 15.- Interacción del estado de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry, en la variable producción de etileno.....	70
Figura 16.- Producción de etileno durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP..	71
Figura 17.- Producción de etileno en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en diferentes estados de madurez a) breaker, b) turning, c) pink, d) light red.....	72
Figura 18.- Interacción del estado de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro	

	estados de madurez, en la pérdida de peso.....	74
Figura 19.-	Porcentaje de pérdida de peso durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP	75
Figura 20.-	Pérdida de peso (%) en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en diferentes estados de madurez a) breaker, b) turning c) pink d) light red	77
Figura 21.-	Interacción del estado de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry, en la variable de firmeza por deformación expresada en milímetros (mm)	79
Figura 22.-	Firmeza expresada como mm de deformación durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP.....	79
Figura 23.-	Firmeza en milímetros (mm) de deformación en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en diferentes estados de madurez a) breaker, b) turning c) pink d) light red	81
Figura 24.-	Interacción de los tratamientos con el tiempo de almacenamiento 20°C de frutos de tomate cherry en la variable de firmeza expresada como milímetros de deformación	82
Figura 25.-	Interacción de los estados de madurez con el tiempo de almacenamiento 20°C de frutos de tomate cherry en la variable de color, luminosidad.....	84
Figura 26.-	Luminosidad durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP.....	85
Figura 27.-	Luminosidad en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en diferentes estados de madurez. a) breaker, b) turning c) pink d) light red	86
Figura 28.-	Interacción de los estados de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez en la variable de color cromaticidad.....	88
Figura 29.-	Cromaticidad en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en diferentes estados de madurez. a) breaker, b) turning c) pink d) light red.....	89
Figura 30.-	Interacción de los estados de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez en la variable de color ángulo de matiz (°Hue).....	91
Figura 31.-	Ángulo de matiz durante el almacenamiento a 20°C en frutos	

	de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP..	93
Figura 32.-	Ángulo de matiz ($^{\circ}$ Hue) en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en diferentes estados de madurez. a) breaker, b) turning c) pink d) light red (* valores iniciales de $^{\circ}$ Hue para frutos de tomate).....	93
Figura 33.-	Interacción de los estados de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez en la variable química de pH.....	94
Figura 34.-	pH durante el almacenamiento en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP.....	95
Figura 35.-	pH en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez. a) breaker, b) turning c) pink d) light red.....	97
Figura 36.-	Interacción de los estados de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez en la variable química acidez titulable expresada como ácido cítrico.....	98
Figura 37.-	Acidez titulable durante el almacenamiento en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP	98
Figura 38.-	Perfil de la variable química acidez titulable (%Ácido Cítrico) en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez. a) breaker, b) turning c) pink d) light red.....	100
Figura 39.-	Sólidos solubles totales expresados como $^{\circ}$ Brix durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP.....	101
Figura 40.-	Perfil de la variable química sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez. a) breaker, b) turning c) pink d) light red.....	103
Figura 41.-	Cromatograma del contenido de Vitamina C de una muestra de tomate contra un estándar de ácido ascórbico con un tiempo de retención de 4.8 min.....	104
Figura 42.-	Perfil del contenido de vitamina en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez. a) breaker, b) turning c) pink d) light red	106

RESUMEN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) se ha convertido en la actualidad en un cultivo de suma importancia alimenticia ya que es una fuente rica en minerales, vitaminas y compuestos antioxidantes. A pesar de que el tomate no presenta altos niveles de vitamina C, ocupa el primer lugar en el consumo entre todas las hortalizas, por lo que es considerado la principal fuente de aportación de esta vitamina en las frutas y hortalizas en la dieta. Diversos factores afectan el contenido de esta vitamina entre los que se pueden citar el manejo poscosecha, las prácticas culturales, las condiciones de almacenamiento y el estado de madurez.

El tomate cherry es una de las variedades más importante de consumo en fresco y aporta el doble del contenido de vitamina C en comparación con el tomate bola. Este es un fruto que se cosecha normalmente en estado breaker para minimizar daños durante poscosecha y es considerado medianamente perecedero, por lo que requiere técnicas de manejo apropiadas para extender su calidad física, nutricional y de anaquel. Esto debido a que después del corte, inicia una serie de transformaciones propias del proceso de maduración del fruto, por lo que encontrar nuevas tecnologías que permitan mantener la calidad del fruto por periodos más largos es una de las metas de los productores de tomate. Entre estas tecnologías, la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP) como un retardador de la madurez, ha tenido mucha atención en los últimos años, por ello el objetivo de este estudio fue conocer el efecto que tiene el estado de madurez y el tratamiento con 1-MCP sobre el contenido de la vitamina C y la vida de anaquel en tomate cherry. Se estudiaron frutos en cuatro estados de madurez: breaker (quebrante), turning (cambiante), pink (rosa) y light red (rojo ligero), considerados como los estados de madurez que comúnmente se manejan en los empaques comerciales. Los frutos de cada estado de madurez fueron tratados con 1-MCP a 500 ppb por 12 horas a 20°C. Posterior a la aplicación, los frutos fueron almacenados por 20 días a 20°C y 85 % HR simulando mercadeo. Bajo estas condiciones se realizaron las mediciones de

pérdida de peso, firmeza, color, pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, respiración y contenido de vitamina C total en los frutos de tomate cherry. Los frutos de tomate cherry tratados con 1-MCP mostraron un retraso de 6 días en la pérdida de firmeza y en los cambios de color durante el almacenamiento, esto con respecto a los frutos testigo. Así mismo se retardó la pérdida del contenido de vitamina C, obteniendo valores por arriba de los 20 mg/100g. En los frutos en estados de madurez pink y light red los niveles de vitamina C al momento del corte fueron mas altos con 32 y 21 mg/100g, respectivamente y los mas bajos se encontraron en los estados breaker y turning con 13 mg/100 y 15.66 mg/100 respectivamente, incrementándose su concentración durante la maduración. Los parámetros químicos como pH y acidez titulable no mostraron cambios significativos entre los tratamientos, por otro lado los sólidos solubles totales si presentaron diferencias significativas durante la maduración, con una variación de 5 a 8°Brix entre los tratamientos y los estados de madurez durante el almacenamiento. La producción de dióxido de carbono y etileno se retrasó con la aplicación del 1-MCP en los frutos de todos los estados de madurez, el cual se vio favorecido en estados de madurez menos avanzados (breaker, turning), en comparación con los próximos a su madurez de consumo. De manera general se observó que el uso de 1-MCP es efectivo en retrasar los cambios durante la maduración de los frutos de tomate cherry, cosechados en los estados de madurez breaker, turning, pink y light red y almacenados a 20°C durante 20 días.

INTRODUCCION

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), se ha convertido en la actualidad en un cultivo de suma importancia alimenticia ya que es una fuente importante de minerales, vitaminas, y compuestos antioxidantes (Dorais y Papadopoulos, 2001).

México esta considerado a nivel mundial como el centro más importante en la domesticación del tomate, de tal manera que la superficie cultivada ascendió a 69,533 ha en el 2001 y para el 2002 se reportó una producción de 2, 083,558 TM. El aumento en la producción de esta hortaliza, unido a la buena aceptación del producto, ha originado que las exportaciones se hayan incrementado en los últimos años, constituyendo una fuente importante de divisas (FAO, 2003).

El fruto de tomate es un producto medianamente perecedero, por lo que requiere técnicas de manejo poscosecha apropiadas para mantener su calidad y extender su vida de anaquel, debido a que después del corte inicia una serie de transformaciones asociadas al proceso de maduración, como son la apariencia (color, tamaño, forma y libre de desordenes fisiológicos), firmeza, textura, materia seca y sabor, así como propiedades benéficas a la salud, las cuales determinan la calidad para consumo en fresco (Dorais y Papadopoulos, 2001). En la maduración de frutos climatéricos como el tomate, el etileno juega un papel muy importante, provocando cambios fisiológicos relacionados con la madurez (Lelièvre *et al.*, 1997).

Algunas tecnologías empleadas para minimizar los problemas asociados con el etileno, se basan en remover el etileno de la atmósfera de almacenamiento, otros actúan a nivel formación de etileno, resultando en ocasiones poco efectivo o costoso, es por ello que una alternativa para mantener la calidad poscosecha podría ser la aplicación de un compuesto

llamado 1-Metilciclopropeno (1-MCP), este compuesto es de uso seguro, de fácil aplicación y efectivo a muy bajas concentraciones (cerca de tres partes por billón), el 1-MCP actúa como un inhibidor irreversible del receptor o unión del etileno (Blankenship y Dole, 2003). En otras palabras, cuando este compuesto está presente, la acción del etileno se ve retrasada y en consecuencia, se disminuyen los procesos subsiguientes, la respiración, la conversión de almidones a azúcares y los factores involucrados en el rompimiento de la pared celular o ablandamiento del fruto (Blankenship 2001). Los primeros estudios del 1-MCP fueron en flores ornamentales, logrando reducir significativamente la senescencia de estos productos (Serek *et al.*, 1995). Debido al efecto positivo del 1-MCP, la utilización de este producto en frutas y hortalizas para reducir los efectos del etileno, esta causando impacto. Estudios realizados en frutos de tomate han demostrado su efectividad, logrando retrasar la maduración hasta en un 70 % cuando se aplica en un estado verde y un 25 % en estado maduro (Wills y Ku, 2002). Así mismo Moretti *et al.*, (2002) han realizado estudios mas profundos relacionados con el retraso de la maduración de tomate como es cuantificación del contenido de carotenoides, por otro lado Mostofi *et al.*, (2003) determinaron los cambios en clorofila, licopeno y actividad de la poligalacturonasa con la aplicación de 1-MCP, por otro lado Selvarajah *et al.*, (2001) cuantifico el contenido de vitamina C al aplicar 1-MCP en piña.

Dentro de las variedades de tomate, el tipo cherry es uno de los más importantes debido a su consumo en fresco. Esta variedad de tomate presenta un alto contenido de antioxidantes comparada con la variedad normal entre ellos la vitamina C y el licopeno (Raffo *et al.*, 2002). El contenido de vitamina C en los frutos se ve afectada por diferentes factores como lo son el estado de madurez, cultivar, las prácticas de manejo pre y poscosecha principalmente (Lee y Kader, 2000). Existen controversias en cuanto al comportamiento del contenido de vitamina C, durante la maduración, y a la fecha no existen

reportes de cómo el 1-MCP mantiene la calidad y los niveles de vitamina C en frutos de tomate cherry. Por tal motivo, el objetivo de estudio fue prolongar la vida de anaquel de frutos de tomate cherry, mediante la aplicación de 1-MCP en diferentes estados de madurez sin afectar su calidad y contenido de vitamina C.

HIPOTESIS

El contenido de vitamina C, en tomate cherry cosechados en diferentes estados de madurez, difiere y se incrementa durante la maduración

El contenido de vitamina C en frutos de tomate cherry no se afecta por la aplicación de 1-MCP en diferentes estados de madurez

La aplicación de 1-MCP extiende la vida de anaquel sin afectar el contenido de vitamina C de tomate cherry en diferentes estados de madurez

OBJETIVOS

Determinar el contenido de vitamina C al momento de corte de frutos de tomate cherry cosechados en cuatro estados de madurez y cuantificar los cambios bajo condiciones de mercadeo a 20°C y 85% HR durante 20 días.

Cuantificar el efecto de la aplicación de 500 ppb de 1-MCP sobre el contenido de vitamina C de frutos de tomate cherry cosechados en cuatro estados de madurez y almacenados bajo condiciones de simulación de mercadeo.

Determinar la vida de anaquel de tomate cherry tratados con 1-MCP en cuatro estados de madurez en función de las variables de calidad, físicas (mm de deformación y color externo), químicas (pH, acidez titulable y sólidos solubles totales) y fisiológicas (dióxido de carbono y etileno).

METAS

Demostrar la factibilidad del uso de 1-MCP en frutos de tomate cherry aplicado en diferentes estados de madurez para extender la vida de anaquel y mantener el contenido de vitamina C.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Tomate

El tomate es una especie originaria de la costa Oeste de América fue llevado al viejo mundo por los conquistadores. Según Tavares de Mello, las formas botánicas salvajes y más ancestrales de las cuales descienden los cultivares modernos, son nativas de la región Andina (Warnock, 1998). En un estrecho territorio que se extiende, en una faja de 300 km de ancho, se sitúa su centro de origen, limitando al Sur, por los 300 de latitud, al norte por el Ecuador, al este por la cordillera de los Andes y al oeste por el Océano Pacífico (hasta las islas Galápagos). En todas las especies silvestres los frutos son muy pequeños (Warnock, 1988).

Los sitios de domesticación del cultivo de tomate probablemente ocurrieron, en México, y el primer "mejoramiento", posiblemente fue realizado por los indígenas en la región de Veracruz. Un argumento a favor de ello, es que ninguna forma de tomate está en la cerámica o utensilios de los pueblos primitivos de los Andes, pero si por el contrario, existen pruebas históricas, lingüísticas, arqueológicas y etnobotánicas, que fue introducido, por los indígenas en México, quienes lo denominaban "tomatl" o "tamath" en la lengua Nahuatl (Ullé, 2001), donde fue un cultivo importante para los Aztecas e Incas, de acuerdo a estos supuestos, el tomate migró desde la cordillera (Ecuador, Perú, Bolivia) en dirección norte a través de Ecuador, Colombia, Panamá y América Central hasta llegar a México, donde cesó su ruta, ya que no hay evidencias, de que los indios de América del Norte lo conocieran (Dorais y Papadopoulos, 2001).

Actualmente, el tomate crece en todas las áreas tropicales y subtropicales del mundo y su ancestral más directo es el "tomate cereza" de frutos pequeños y rojos, denominado botánicamente *Lycopersicon esculentum*

var. *cerasiforme*. Investigaciones recientes sobre caracteres hereditarios de tomates cerezas, recolectadas en su ruta de migración hacia México, revelan por estudios enzimáticos y de electroforesis, que esta especie presenta el mismo conjunto génico, que cultivares europeas modernas, pero ambas procedencias difieren considerablemente y por igual de los tipos primitivos de la región Andina (Esquinas y Nuez, 1995).

La introducción del tomate en Europa, fue realizada por los conquistadores a través de España en el 1500 y la ruta de migración en el viejo continente fue desde el Mediterráneo hacia el norte del continente (Esquinas y Nuez, 1995).

Una primera introducción en Italia fue el tomate amarillo, por lo que fue nombrado "pomi d'oro" (manzana dorada), origen del actual nombre de esa lengua "pomodoro" (Kinet y Peet, 1997), siendo la primera descripción del tomate, publicada por el italiano Pier Andea Mattioli, en la edición del herbario de 1554. Es un hecho demostrado, que fueron los italianos, los primeros en cultivarla, pero como curiosidad y por el valor ornamental de los frutos, ya que se sospechaba a cerca de su valor alimenticio (Esquinas y Nuez, 1995).

El crecimiento de este cultivo estuvo retardado casi un siglo por temor a cualidades venenosas, debido a la presencia de un alcaloide en el fruto inmaduro, que se degrada a componente inerte cuando maduraba. Posteriormente, luego de su difusión por el resto de los países de Europa, el tomate, fue introducido en los EEUU, alrededor del 1700. En 1900 el tomate, comenzó a tener una importancia hortícola a nivel mundial, siendo la principal hortaliza en numerosos países (Ulle, 2001).

Importancia Económica del Tomate

El tomate es uno de los tres cultivos hortícolas mas importantes (Dorais y Papadopoulos, 2001) y su popularidad aumenta constantemente en numerosos países. En la actualidad este cultivo ha adquirido gran trascendencia económica en todo el mundo (Esquinas y Nuez, 1995).

La producción, comercialización y consumo del tomate, al igual que ocurre con otros productos agrarios, experimentan cambios en el tiempo. Esto, debido, tanto al efecto de la modificación de las variables macroeconómicas que delimitan el contexto, como a modificaciones de procedencia interna, consecuencia, principalmente de la innovación tecnológica propia (Esquinas y Nuez, 1995).

México es un país privilegiado por la naturaleza; asimismo, cuenta con bondades en los recursos como la tierra, agua, clima y mano de obra apta para obtener resultados favorables en cosechas para el mercadeo interno y externo de productos especializados en la agricultura como son las hortalizas y frutas; en especial para el cultivo de tomate (CNPH, 2002).

En una perspectiva de producción, superficie y rendimiento del cultivo de tomate desde 1998 hasta el año 2002 a nivel nacional, se observa una tendencia ascendente hasta el 2001 y una posterior disminución en el 2002 (Cuadro 1), aun así hubo una entrada de divisas al país, ya que nuestros productos se exportan principalmente a Estados Unidos, Canadá y Europa (FAO, 2003).

Cuadro 1. Tendencia de producción, superficie cultivada y rendimiento de tomate desde 1998 hasta el 2002.

Tomates	Año				
	1998	1999	2000	2001	2002
Superficie cultivada (Ha)	78,784	82,559	74,629	74,451	69,533
Rendimiento (Hg/Ha)	285,833	292,047	279,520	293,204	299,650
Producción (TM)	2,251,909	2,411,112	2,086,030	2,158,745	2,083,558

FAO, 2003

Del total de la producción de tomate en todas sus variedades, el tomate cherry , es el que mayormente se exporta. En un comparativo de exportación del tomate cherry contra el tomate bola durante el ciclo 1993-1994 hasta 2001-2002, se observa como el tomate cherry siempre ha ido en aumento, debido a sus características de apariencia y de sabor, además de su aporte nutrimental (Figura 1).

Características Botánicas y Taxonómicas del Tomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una planta dicotiledónea pertenece a la familia de las Solanáceas. Los miembros de esta familia presentan haces bicolaterales y una estructura floral. Sus flores son radiales y con cinco estambres. El ovario, súpero, bicarpelar, contiene numerosos primordios seminales, produciendo bayas polispermas. Los carpelos se

presentan en posición oblicua con respecto al plano mediano de la flor (Chamarro, 1995).

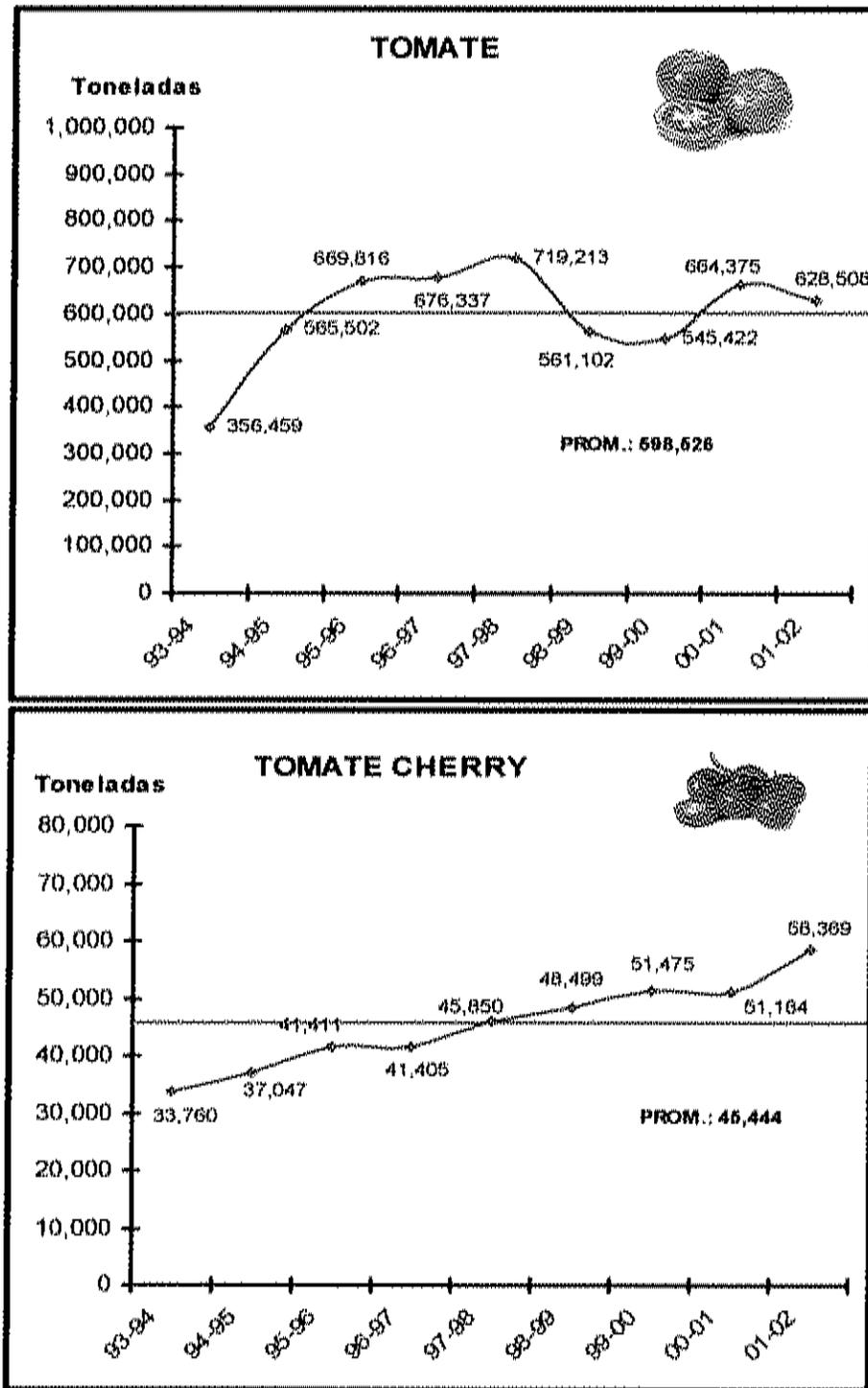
Es una planta anual en su cultivo y puede ser semipermanente en regiones tropicales. Su sistema de raíces es fibroso y robusto, pudiendo llegar hasta 1.8 m de profundidad. En plantas jóvenes los tallos son cilíndricos y angulosos en plantas maduras; alcanzan alturas de 0.40 a 2.0 m, presentando un crecimiento simpódico (Valadez, 2001)

El racimo floral o inflorescencia está compuesto de varios ejes, cada uno de los cuales tiene una flor de color amarillo brillante. El cáliz y la corola están compuestos de cinco sépalos y cinco pétalos, respectivamente. La inflorescencia se forma a partir del sexto ó séptimo nudo, y cada 1 ó 2 hojas se encuentran las flores en plantas de hábito determinado, y en las de hábito indeterminado se forman a partir del séptimo ó décimo nudo y cada cuatro hojas (Valadez, 2001).

El fruto es una baya bi ó plurilocular que se desarrolla a partir de un ovario de unos 5 a 10 mm y alcanza un peso final en la madurez que oscila entre los 5 y 500 g, en función de la variedad y las condiciones de desarrollo. El fruto adulto de tomate está constituido, básicamente por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Valadez, 2001; Chamarro, 1995).

El pericarpio lo componen la pared externa, las paredes radiales o septos que separan los lóculos y la pared interna ó columela. La piel ó exocarpo consta de la capa epidérmica externa, sin estomas y prácticamente sin almidón. La epidermis está cubierta por una fina cutícula que se engruesa a medida que se desarrolla el fruto (Nuez, 1995).

Las cavidades loculares son huecos en el pericarpio, un fruto normal posee al menos dos lóculos, los cuales contienen las semillas rodeadas por una masa gelatinosa de células de paredes delgadas de tipo parenquimático que llenan las cavidades loculares cuando el fruto está maduro (Chamarro, 1995).



CNPH, 2002.

Figura 1.-Comparativo de exportación para el tomate bola y cherry durante el periodo 1993 al 2002.

La taxonomía generalmente aceptada es la presentada en el Cuadro 2 (Nuez, 1995; Valadez, 2001):

Cuadro 2. Clasificación taxonómica del tomate.

Clase:	Dicotiledóneas
Orden:	<i>Solanales (Personatae)</i>
Familia:	<i>Solanaceae</i>
Subfamilia:	<i>Solanoideae</i>
Tribu:	<i>Solaneae</i>
Genero:	<i>Lycopersicon</i>
Especie:	Esculentum

Nuez, 1995; Valadez, 2001

Tipos y Cultivares de Tomate

El tomate es una hortaliza que ha alcanzado una diversidad de tipos muy extensa. Hay variedades con distinto aspecto exterior (forma, tamaño, color) e interior (sabor, textura, dureza), variedades destinadas para consumo en fresco o procesado industrial (Valadez, 2001)

La creación constante de nuevas variedades por medio de la mejora genética tiene como objeto principal perfeccionar distintos aspectos como productividad, calidad y adaptación a distintas condiciones de cultivo para cubrir un amplio rango de necesidades. Esta labor realizada constantemente durante muchos años ha traído como consecuencia la gran diversidad de cultivares existentes actualmente (Diez, 1995).

Dentro de las variedades de tomate se citan: tipo Beefsteak, Bus Beefsteak Americano, Marmade, Vemone Frances Moneymaker, Cherry, Cocktail, Pera, Saladette, Bola. El tipo cherry es un fruto de plantas de

crecimiento indeterminado, generalmente vigorosas. Los frutos se dan en racimo y el número de frutos puede variar entre 15 y 50. Los frutos son redondos, con peso entre 10 y 30 gramos, presentan hombros verdes poco marcados o sin ellos (Nuez, 1995). Estos, son generalmente caracterizados por su alto contenido de materia seca y altos niveles de sólidos solubles (Raffo *et al.*, 2002).

Requerimientos de Clima del Cultivo de Tomate

Es una hortaliza que se desarrolla en clima cálido, el rango de temperatura del suelo debe ser de 12° a 16°C (mínima 10°C y máxima de 30°C) y la temperatura ambiente para su desarrollo de 21°C a 24°C, siendo la óptima 22°C; a temperaturas menores de 15°C y mayores de 35°C puede detenerse su crecimiento. Cuando se presentan temperaturas altas (> 38°C) durante 5 a 10 días antes de la antesis, hay poco amarre del fruto debido a que se destruyen los granos de polen (las células huevo); si las temperaturas elevadas prevalecen durante 1 a 3 días después de la antesis, el embrión perece (después de la polinización). El amarre del fruto también es bajo, cuando las temperaturas nocturnas son altas (25° a 27°C) antes y después de la antesis. A temperaturas de 10°C o menores, el porcentaje de abortos de flores se incrementa considerablemente. Asimismo, cuando la temperatura es mayor de 32°C durante el almacenamiento, la coloración roja (licopeno) es inhibida y los frutos se toman amarillos. Se afirma que a temperaturas de 22° a 28°C se obtiene una óptima pigmentación roja (Valadez, 2001)

La temperatura óptima para la maduración del fruto de tomate es de 18° a 24°C; si la temperatura es menor de 13°C, los frutos tienen una maduración muy pobre, además no tolera heladas. (Nuez, 1995; Valadez, 2001).

Composición del Fruto de Tomate

El tomate aporta un balance adecuado de minerales y vitaminas (A, B₁, B₂), pero en menor concentración que el chile y la papa (Valadez, 2001). Si bien el fruto fresco es rico en vitamina C, el poder calórico del tomate es bastante modesto debido a su escaso contenido en materia seca, grasas, y el elevado contenido de agua. Sin embargo, estos componentes dependen de la variedad, condiciones de cultivo, etc. (Nuez, 1995).

De una variedad a otra la composición química del tomate cambia como se observa en el Cuadro 3, donde tomate bola presenta mayor contenido de humedad, proteína que el tomate cherry, sin embargo este último es más rico en el resto de las variables nutricionales en comparación con el tomate bola (Benton, 1999).

Cuadro 3. Composición química de tomate variedad bola y cherry (100 g porción comestible)

Componente	Tomate Bola	Tomate Cherry
Agua	95.0%	93.2%
Proteínas	1.1 gr	1.0 gr
Carbohidratos	4.7 gr	4.9 gr
Calcio	13.0 mg	29 mg
Fosforo	27.0 mg	62 mg
Hierro	0.5 mg	1.7 mg
Sodio	3.0 mg	3.0 mg
Vitamina C	23.0 mg	50 mg
Tiamina (B ₁)	0.06 mg	0.05 mg
Riboflavina (B ₂)	0.04 mg	0.04 mg
Vitamina A	900 U.I	2000 U.I

Benton, 1999

Procesos de Maduración de los Frutos

La maduración es el resultado de un complejo conjunto de transformaciones, de las cuales las más importantes son: maduración de las semillas, cambios de color, abscisión (desprendimiento de la planta), cambios en la actividad respiratoria, modificaciones en el ritmo de producción de etileno y en la permeabilidad celular, ablandamiento, cambios en la composición de las sustancias pécticas, hidratos de carbono, ácidos orgánicos, proteínas, en la producción de sustancias aromáticas, desaparece la clorofila, se incrementa la síntesis de pigmentos carotenoides y el desarrollo de la cera en la piel (Wills *et al.*, 1998).

La vida de un fruto se puede dividir en tres etapas fisiológicas fundamentales: el crecimiento, la maduración y la senescencia (o envejecimiento). La primera comprende el aumento del número de células y el posterior alargamiento celular, ambas responsables del tamaño final alcanzado por el fruto. La maduración suele iniciarse antes de que termine la fase de crecimiento e incluye diferentes actividades metabólicas. La senescencia se define como una fase en la que los procesos anabólicos (sintéticos) dan paso a los catabólicos (degradativos) conduciendo al envejecimiento y finalmente a la muerte del tejido (Kader, 2002).

Durante el periodo final de crecimiento de frutos de tomate, se presenta un cambio drástico en color, sabor, aroma, textura y composición. Este proceso se describe como maduración de frutos y consiste en una alta coordinación de reacciones de síntesis y degradación (Kinet y Peet, 1997; Alexander y Grierson, 2002)

Si bien, la teoría de la resistencia organizada de Blackman y Parija en 1928, que explicaba que la maduración es una progresiva degradación de la compartimentación celular, la cual se ha mantenido durante bastantes años. Aunque gradualmente se han ido acumulando evidencias de que la maduración

es un proceso dirigido que comprende tanto procesos de síntesis como de degradación. Durante la maduración se produce una degradación de la pared celular y algunos componentes cloroplásticos se desintegran, simultáneamente se produce la formación de cromoplastos. Así mismo, la membrana plasmática permanece intacta y la actividad mitocondrial en el citoplasma mantiene plenamente su funcionalidad hasta la senescencia. Así pues, la mayor parte de las membranas celulares conservan su integridad hasta la completa madurez del fruto (Nuez, 1995). También, se producen aumentos en la actividad de una serie de enzimas como ácido 1-carboxílico 1-aminociclopropano (ACC) sintetasa y oxidasa, poligalacturonasa, fitoeno sintetasa, enzima málico y de las hidrolasas de la pared celular (Kinet y Peet, 1997). Brady *et al.* (1982), encontraron evidencia fisiológica donde señalan que la completa maduración incluye el desarrollo total de color es dependiente de la acción de la poligalacturonasa.

Cambios Físicos y Químicos Durante la Maduración

Los criterios de calidad más importantes para tomate son el color rojo, la textura firme pero jugosa y el buen sabor. Las diversas variedades pueden diferir grandemente en estos importantes componentes de calidad (Cantwell, 1998). Los frutos con alta concentración de azúcar y relativamente alta acidez son los de mejor sabor, mientras que los de bajo contenido en ambos parámetros sucede lo contrario (Cantwell, 1998; Abeles *et al.*, 1992).

Para tomate fresco, también se pueden manejar como criterios de calidad, las propiedades sensoriales (sabor), nutracéuticas (beneficios a la salud), el tiempo de vida de anaquel y la calidad microbiológica (Kader, 2002; Dorais y Papadopoulos, 2001; Salunkhe y Desai, 1984)

Color. El color es la variable física que marca los cambios durante la maduración de las frutas y con frecuencia el más importante de los criterios utilizados por los consumidores para decidir si la fruta esta o no madura (Wills *et al.*, 1998).

Esta variable el consumidor la relaciona con la apariencia del fruto. La concentración de pigmentos se asocia mas con la madurez, mientras que la concentración de otros constituyentes como lo son los azúcares y acidez se relacionan con el sabor, (Abbott, 1999).

En la comercialización de tomate, excluyendo el tamaño de los frutos, el factor principal en la aceptación es el color. La estrecha relación que existe entre la evolución de los pigmentos y el estado de madurez de los frutos, permite una fácil diferenciación en base a los cambios que experimenta el color. El tomate cambia un estado de madurez verde maduro a quebrante, y cuando alcanza madurez comercial su coloración se toma completamente roja, en ese momento se experimentan cambios como lo es la textura (Weichmann, 1987). Debido a esto, se han desarrollado numerosas escalas o "cartas" de color para realizar la clasificación subjetiva del estado de madurez. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) ha realizado una clasificación y estandarización de color en los tomates (Figura 2), los cuales asocian el estado de se puede podemos encontrar en color rojo, rosa, amarillo, naranja y verde, en función al estado de madurez. El color y su intensidad dependen de los tipos de carotenoides que contenga el fruto. La concentración de estos pigmentos se incrementa con la maduración, al mismo tiempo que se degradan clorofilas presentes cuando el fruto se encuentra verde (Wills *et al.*, 1998; Dorais y Papadopoulos, 2001). El color rojo desarrollado en tomate se debe específicamente a carotenoides, donde sobre sale el licopeno y el beta-caroteno (Kader, 2002; Nuez, 1995).

Las medidas más apropiadas para interpretar el color según McGuire (1992), se obtienen de calcular el ángulo de matiz (Hue) y Croma (C^*) a partir de las coordenadas de color a^* y b^* con las siguientes ecuaciones:

Angulo de Matiz

$$^{\circ} \text{Hue} = \arctang(b^*/a^*)$$

Cromaticidad

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

El ángulo de matiz ($^{\circ}$ Hue) indica el color verdadero, es un ángulo que varía de 0 a 360°. Si se representan estos parámetros en un círculo de color dividido en 360° (Figura 3), el color rojo púrpura se coloca en el extremo derecho a los 0°, siguiendo en sentido inverso a las manecillas del reloj quedan colocados el color amarillo, el verde-azulado y el azul, a los 90°, 180° y 270°, respectivamente. La cromaticidad (C^*) es un índice análogo a la saturación o intensidad del color. Los valores de C^* van desde 0 a 60, valores bajos de croma representan colores impuros, mientras que valores altas representan colores puros (Minolta, 1993; McGuire, 1992).

Los parámetros de color más utilizados actualmente son las coordenadas del espacio de color CIE (Comisión Internacional de l'Éclairage) L^* , a^* y b^* , en donde la L^* indica la luminosidad en un rango de 0 ó negro hasta 100 ó blanco. Para cualquier medida de luminosidad L^* , las coordenadas de color (a^* , b^*) localizan el color en un cuadrante de coordenadas rectangulares, perpendicular al eje de L^* . El origen del cuadrante ($a^*=0$, $b^*=0$) es acromático (gris). En el eje horizontal, el valor positivo de a^* indica un color rojo-púrpura, mientras que un valor negativo indica un color verde-azulado. En el eje vertical, un valor positivo de b^* indica el color amarillo y un valor negativo el color azul (Minolta, 1993; Voss 1992)

Cantwell (1998), reporta valores de Luminosidad de 62.69 para tomates en el estado green y 39.59 en el estado red, notándose una disminución de

luminosidad que se presenta durante la maduración, debido posiblemente a que las ceras epicuticulares se van perdiendo debido al manejo y al propio envejecimiento del fruto. Resultados similares encontraron Raffo *et al.* (2002), en frutos de tomate cv Cherry, con valores de 49.2 en estado turning hasta 41.6 en light red. En otro estudio realizado por Jiménez *et al.* (1996), en frutos de tomate cherry en dos diferentes variedades, observaron para el cultivar Basketpack valores de 53.9 en estado de madurez turning descendiendo hasta 37.6 en el estado red, mientras que el cultivar LSL-124 desarrolla valores inferiores de luminosidad de 49.2 a 38.6, respectivamente para los mismos estados de madurez, lo que indica que la variedad influye en el color de los frutos. Así mismo Araiza *et al.* (1997), evaluaron tomates de larga vida de anaquel, encontrando que el cultivar S-121 desarrolló un color rojo intenso al final del almacenamiento bajo simulación de mercadeo con un °Hue de 42.8, el cultivar R-440 fue de 48.0, y el resto de los demás cultivares fue entre 53.8 y 58.7, esto último indica que la coloración roja en los frutos no alcanzó a desarrollarse completamente, por lo que se puede observar que aun entre variedades existen diferencias en parámetros como color.

Firmeza. La firmeza es una cualidad importante de los frutos de tomate y determina en gran medida la aceptación por el consumidor, ya que es percibida por el tacto entre los dedos y durante la trituración en la boca (Bourne, 1980; Dorais y Papadopoulos, 2001), además está estrechamente relacionado con la resistencia al transporte y se considera un componente de calidad, tanto para tomate de industria como para fresco (Nuez, 1995).

La firmeza de los frutos frecuentemente está asociada con los estados de madurez, es controlada por la integridad del tejido celular, la elasticidad del tejido del pericarpio y la actividad de enzimas relacionadas con el ablandamiento de los frutos durante el proceso de maduración (Dorais y Papadopoulos, 2001; Sams, 1999).

**Green**

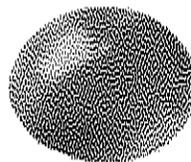
1. Green (verde): 100 % verde brillante u oscuro en la superficie

**Breaker**

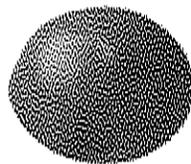
2. Breaker (quebrante): 10 % o menos de área de color amarillo, rosa o rojo en la superficie

**Turning**

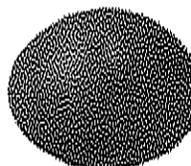
3. Turning (cambiante): Más del 10 % y no más del 30 % de área de color amarillo en la superficie, rosa o rojo

**Pink**

4. Pink(rosa): Más del 30 % y no más del 60 %de área de color amarillo en la superficie, rosa o rojo

**Light Red**

5. Light red (rojo claro): Más del 60 % y no más del 90 %de área de color amarillo en la superficie, rosado o rojo

**Red**

6. Red (rojo): Más del 99 % del área de color rojo

Figura 2. Estados de madurez y color desarrollado en tomate (USDA, 1975)

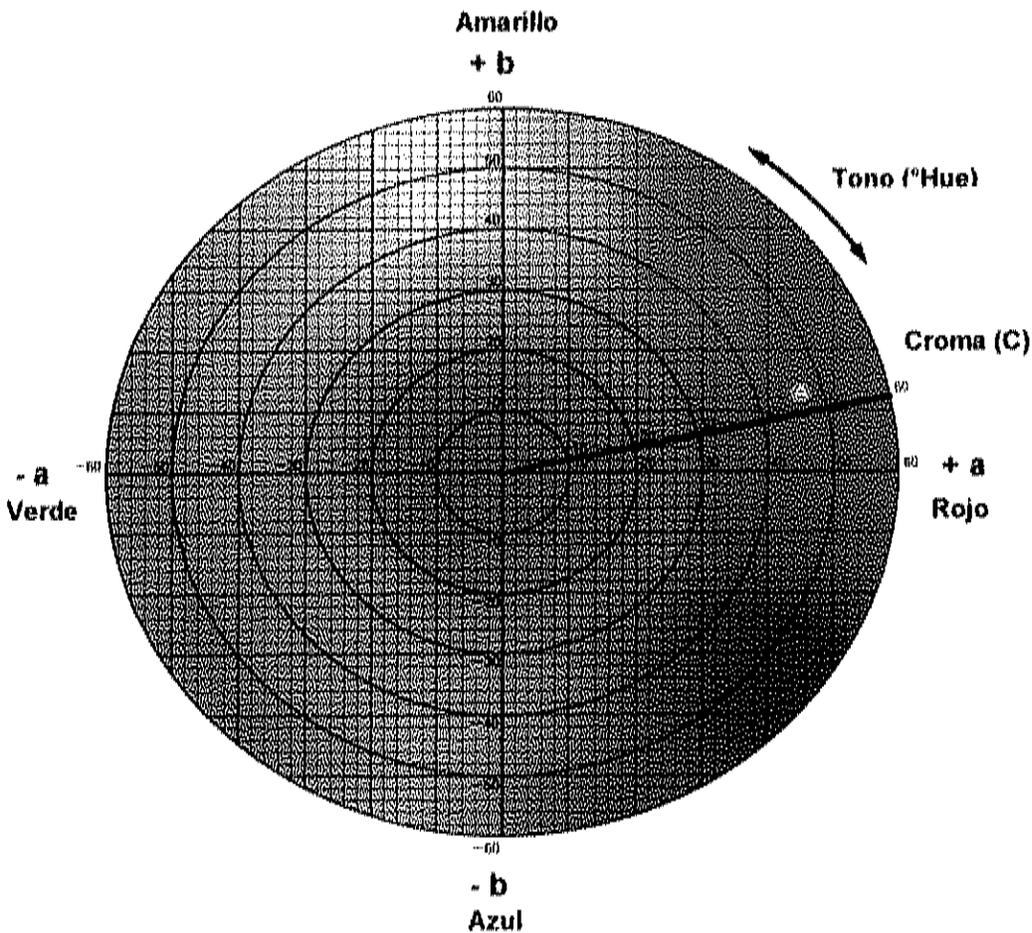


Figura 3. Diagrama de color donde se representan las coordenadas L , a^* b^* y los parámetros Hue y Croma. (Minolta, 1993)

Hay una amplia evidencia de que la cantidad de polisacáridos de la pared y pectinas son solubilizadas cuando el tomate empieza a madurar (Sakurai y Nevis, 1993). Durante la maduración de los frutos se presentan cambios importantes en la firmeza como consecuencia de la actividad de la enzima poligalacturonasa (PG) sobre las pectinas y las paredes celulares, provocando el ablandamiento de los tejidos y reducción de la firmeza (Azcon-Bieto y Talon, 1993; Wills *et al.*, 1998). Brady *et al.* (1982), evaluaron la PG en frutos de tomate y la inducción a la maduración, encontrando que la actividad

enzimática y la actividad de las proteínas se incrementa durante la maduración, siendo estas altamente correlacionadas.

Las evaluaciones bioquímicas para estimar los cambios en firmeza de los frutos en función al comportamiento enzimático, son metodologías complejas, existen otros procedimientos objetivos para medir la firmeza de tomate que se aproximan a las apreciaciones sensoriales, como lo son los métodos destructivos que miden la resistencia que ofrece el fruto a la penetración o corte, y los métodos no destructivos que miden la resistencia del fruto a la compresión, éstos últimos se basan en los siguientes procesos (Riquelme, 1995):

- ◆ Compresión hasta alcanzar una deformación previamente definida, midiendo la fuerza necesaria en Newtons (N).
- ◆ Compresión entre dos superficies planas hasta alcanzar una fuerza determinada
- ◆ Compresión bajo un peso fijo (500 g) durante un tiempo establecido, midiendo la deformación alcanzada.

Aunque se prefieren los métodos no destructivos para medir la firmeza, en ocasiones éstos pueden provocar efectos permanentes acumulativos sobre los tomates, que llegan a ocasionar desviaciones en los resultados obtenidos de experimentos de medidas repetidas en el tiempo (Riquelme, 1995).

Jiménez *et al.* (1996), encontraron valores de firmeza de 1.5 mm de deformación para frutos de tomate cv. Backpack en estado turning y conforme avanzo a un estado de madurez red el valor de deformación aumentó a 2.65 mm, comportamiento similar pero valores inferiores se encontraron para la variedad LSL-124 con un cambio en la firmeza expresada en 1.67-2.27 mm de deformación, para similares estados de madurez.

Cantwell (1998), clasifica los frutos de tomate bola según sus valores de firmeza por compresión (mm de deformación), en frutos muy firmes o muy blandos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Clasificación de firmeza para frutos de tomate de acuerdo a los mm de deformación.

Clasificación por Firmeza	Firmeza (mm)
Muy firme	0.5 – 1.0
Firme	1.0 – 1.5
Moderadamente firme	1.5 – 2.0
Moderadamente blando	2.0 – 2.5
Blando	2.5 – 3.0
Muy blando	Mayor a 3.0

Cantwell, 1998.

Siller *et al.* (1998), reportaron que frutos de tomate con una firmeza por arriba de 8 N son considerados con calidad comercial, de la misma manera pero con un nivel menor, Ojeda *et al.* (1999), consideraron que un fruto de tomate con una firmeza > 5 N es apto para ser comercializado.

Pérdida de peso. El agua es el principal componente de las frutas y hortalizas frescas, por lo que la pérdida de agua es una de las variables indicativas de deterioro, ya que además de relacionarse con pérdidas cuantitativas (pérdida de peso vendido), también causa pérdidas en apariencia (debido al marchitamiento), calidad en la textura (ablandecimiento, flacidez, jugosidad, etc.) y valor nutricional. Estos síntomas se hacen evidentes cuando el producto ha perdido entre el 5 y el 10% de su peso debido a la transpiración según Kader (2002) y Wills *et al.* (1998).

La mayoría de los productos frescos contienen, en el momento de la cosecha, del 65 al 95 % de agua. Dentro de las plantas en crecimiento existe un flujo continuo de agua, la cual se absorbe del suelo por las raíces, sube por los tallos y se desprende por las partes aéreas, sobre todo por las hojas, como vapor de agua (FAO, 1993).

Los productos frescos siguen perdiendo agua después de la cosecha, pero, a diferencia de las plantas en crecimiento, ya no pueden reponer el agua a partir de la tierra, y tienen que recurrir al contenido de agua que tuvieron en el momento de la recolección. Esta pérdida de agua de los productos frescos después de la cosecha constituye un grave problema, que da lugar a mermas y a pérdidas de peso (FAO, 1993).

Cuando el producto recolectado pierde de un 5 a un 10 por ciento de su peso original, empieza a deshidratarse y pronto resulta inutilizable. Provocando un descenso del peso comercial y por lo tanto una disminución de su valor en el mercado. Por ello, para prolongar la vida útil del producto, se debe de reducir el nivel de pérdida de agua (FAO, 1993; Kader, 2002).

Dentro de los factores que influyen en la pérdida de peso se encuentra la transpiración y la respiración; mediante el fenómeno de transpiración, el fruto pierde agua en forma de vapor principalmente a través de la cutícula y del pedúnculo, por otro lado durante la respiración se libera dióxido de carbono y agua (Hardenburg *et al.*, 1990; Kader, 2002).

Diferentes estudios han reportado la pérdida de peso, tal es el caso de Araza *et al.* (1997), en frutos de tomate bola encontrando valores entre 6 y 8% de pérdida de peso, por otro lado, Tanamachi (2002), reportó valores entre 4.5 y 2.83% de pérdida de peso en frutos híbridos de tomate al final del almacenamiento a 20°C. Wills y Ku (2002), reportan una pérdida de peso del 3.8% en frutos de tomate almacenados a 20°C.

Sabor: Los atributos externos de calidad de tomate son percibidos por la vista y el tacto y determinan la elección inicial del consumidor. Sin embargo, esto no es una garantía de la calidad sensorial interna caracterizada por el sabor y el olor, y aunque la decisión inicial de la compra se basa en la apariencia, las adquisiciones posteriores dependerán principalmente de la evaluación que el comprador establece en el momento del consumo. Debido a esto, es posible diferenciar las características de calidad que inciden en la compra (color y firmeza) y los atributos que determinan la calidad de consumo (sabor y olor) que corresponden al equilibrio entre azúcares: acidez y el contenido de compuestos volátiles. El conjunto de todas las características de calidad influyen la decisión de volver a comprar un tipo de tomate (Riquelme, 1995; Dorais y Papadopoulos, 2001)

El sabor del tomate está determinado principalmente por el contenido de azúcares y ácidos, de manera que al aumentar los niveles de estos, aumenta también el sabor. Los azúcares glucosa y fructuosa constituyen el 65 % de los sólidos solubles, mientras que el resto está constituido principalmente por los ácidos cítrico y málico, minerales, lípidos y una gran cantidad de compuestos a bajas concentraciones (Nuez, 1995).

Cuantitativamente, el cambio más importante asociado a la maduración de los frutos y hortalizas es la degradación de los hidratos de carbono polimérico, especialmente la conversión del almidón en azúcares. Estas transformaciones tienen un doble efecto: alterar el sabor y la textura del producto. El aumento del contenido en azúcares los hace más dulces e incrementa su aceptabilidad (Wills *et al.*, 1998).

El contenido de ácidos orgánicos en cualquier fruta se representa como acidez titulable (proporción de acidez no combinada con cationes), el cual es un parámetro objetivo y el más relacionado con la percepción de los consumidores (Azcon-Bieto y Talon, 1993).

El ácido predominante en el fruto de tomate es el ácido cítrico, seguido del málico, fórmico y acético. La acidez máxima durante la maduración coincide con la aparición del color rosado, descendiendo progresivamente durante la maduración (Nuez, 1995).

Estudios recientes han demostrado que el contenido de sólidos solubles totales y la relación azúcares: acidez titulable (Brix/Acidez), son buenos descriptores sensoriales y son aplicables en la práctica para medir de manera fácil y rápida la calidad de los tomates frescos. Ciertos compuestos volátiles del sabor fueron identificados como contribuyentes de la aceptabilidad general, donde se puede citar: la percepción de la intensidad de sabor a tomate, el aroma específico, la dulzura, la acidez y otros descriptores del sabor (Dorais y Papadopoulos, 2001).

En un estudio realizado por Kader *et al.* (1977) reportan para frutos de tomate cosechado en estado de madurez green y madurados a 20°C, valores de 0.31 % de ácido cítrico y de 5.2 unidades de sólidos solubles totales al final del almacenamiento. Por otro lado, Cantwell (1998), reporta valores de 2.42°Brix de sólidos solubles en tomate cv. Sunny en estado breaker y de 5.15°Brix en estado red, acompañado de valores de 0.39 y 0.48 % de acidez titulable, respectivamente para cada estado de madurez antes citados.

Así mismo Raffo *et al.* (2002), evaluaron los sólidos solubles en tomate cherry en diferentes estados de madurez encontrando para frutos en un turning valores de 5.03°Brix y en un estado red 6.07°Brix, mientras que la acidez declina ligeramente de 0.7 a 0.67 de ácido cítrico.

Cambios Fisiológicos Durante la Maduración

La maduración de muchos frutos se caracteriza por un incremento de la respiración y por la autocatálisis de la producción de etileno, aunque otras especies maduran sin mostrar ninguna de estas características. Conforme

alcanza la senescencia, determinadas estructuras permanecen intactas y fisiológicamente activas hasta la desintegración celular (Azcon-Bieto y Talon, 1993).

La respiración: Es el proceso por el que las plantas absorben oxígeno y desprenden dióxido de carbono (Kader, 2002). Como se muestra en la Figura 4, el oxígeno del aire descompone los hidratos de carbono de la planta en dióxido de carbono y agua, esa reacción produce energía en forma de calor.

La respiración es una reacción básica de toda la materia vegetal, tanto en el campo como después de la cosecha. Durante el crecimiento de la planta, el proceso se prolonga sin interrupción mientras las hojas sigan fabricando hidratos de carbono, y no puede detenerse sin dañar a la planta o al producto cosechado (FAO, 1993).

Los productos frescos una vez recolectados no pueden seguir reponiendo los hidratos de carbono ni el agua, por lo que la respiración utiliza el almidón o el azúcar almacenados y se detiene cuando se agotan las reservas de esas sustancias; entonces se inicia un proceso de envejecimiento que conduce a la muerte y la putrefacción del producto (FAO, 1993).

La respiración aeróbica depende de la presencia de aire abundante, el cual contiene alrededor de un 20 % de oxígeno, que es esencial para el proceso normal de respiración de la planta. El oxígeno es necesario para que los almidones y los azúcares de la planta se conviertan en dióxido de carbono y vapor de agua. Cuando disminuye la disponibilidad de aire y la proporción de oxígeno en el entorno, se reduce alrededor del 2 %, en este caso, la respiración es sustituida por un proceso de fermentación que descompone los azúcares en alcohol y dióxido de carbono, haciendo que el producto tenga un sabor desagradable y promueve el envejecimiento (FAO, 1993).

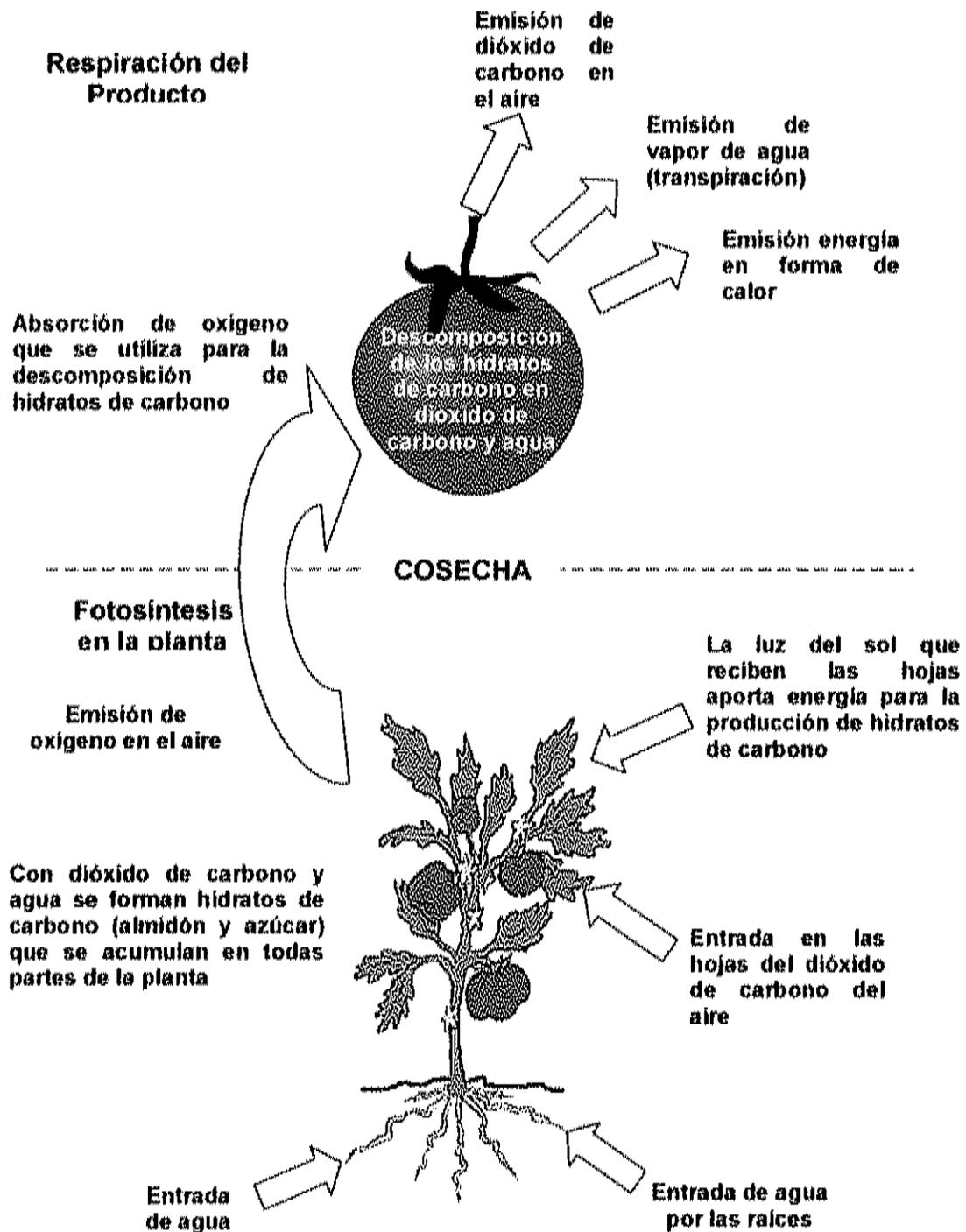


Figura 4. Proceso de respiración y fotosíntesis (Kader, 2002).

La velocidad con la que respira un producto constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y es una guía útil para calcular cuánto puede durar su vida de comercial. Si se monitorea la actividad respiratoria de una fruta a través del consumo de oxígeno o desprendimiento de dióxido de carbono por unidad de tiempo (incluyendo maduración y senescencia), se obtendrá la pauta respiratoria característica. La actividad respiratoria por unidad de peso es más alta en las fases previas a la maduración y declina progresivamente con la edad del fruto.

Un grupo significativo de frutos entre los que encontramos al tomate muestran una variante del esquema descrito, su actividad respiratoria aumenta de un modo acusado durante la maduración sensorial (Wills *et al.*, 1998). De acuerdo al comportamiento respiratorio durante la maduración, los frutos se clasifican en no climatéricos y climatéricos (Cuadro 5) (White, 2002). Los frutos no climatéricos, tales como cítricos, cereza y fresa, no manifiestan cambios importantes en la respiración, mientras que los denominados climatéricos, entre los que se encuentra la manzana, aguacate, plátano y *tomate*, experimentan un incremento característico de la misma (Kader, 2002).

En los frutos climatéricos, la respiración desciende de forma continua durante el crecimiento y desarrollo para llegar a un mínimo preclimatérico, poco antes del principio de la maduración. Al iniciarse la maduración, la respiración aumenta hasta alcanzar un máximo llamado pico climatérico para descender posteriormente. Simultáneamente al aumento en la respiración se produce un brusco aumento en la producción de etileno que tiene una profunda influencia en el desarrollo del proceso de maduración. Durante la maduración del tomate se producen cambios importantes en el color, la composición, aroma, sabor y textura que hacen el fruto atractivo para el consumo humano (Nuez, 1995; Kader, 2002; Wills *et al.*, 1998).

Cuadro 5. Clasificación de algunos frutos comestibles de acuerdo con la actividad respiratoria durante la maduración

Frutos Climáticos	Frutos No Climáticos
Manzana	Cereza
Aguacate	Pepino
Plátano	Uva
Chirimoya	Limon
Higo	Piña
Kivi	Mandarina
Mango	Fresa
Melón	Naranja dulce
Papaya	
Pera	
Ciruela	
Tomate	
Sandia	

Kader, 2002.

Al iniciarse la maduración de los frutos, la respiración aumenta hasta alcanzar un máximo llamado pico climático en el que la producción de CO₂ aumenta hasta aproximadamente 20 $\mu\text{l CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ que representa el doble del mínimo preclimático (Rhodes, 1980). Durante bastantes años se ha venido buscando una explicación a este fenómeno, pero hasta ahora, ninguna de las teorías propuestas ha conseguido un soporte experimental sólido (Rhodes, 1980). Todo parece indicar que el aumento climático de la respiración es una respuesta más al etileno. Recientemente se ha observado que cuando el fruto madura en la planta, no se produce el aumento típico de la respiración (Salveit, 1993) por lo que, la respiración climática en el tomate podría no ser un

requisito para la maduración, sino una respuesta producida por la recolección del fruto.

Al igual que la respiración, los cambios en la velocidad de síntesis de etileno y en la sensibilidad de los tejidos del fruto al etileno ofrecen un segundo criterio de distinción entre los frutos climatéricos y no climatéricos (Azcon-Bieto y Talon, 1993). Existe una información contradictoria en definir si el aumento en la respiración precede o sigue a la producción autocatalítica de etileno. Estas discrepancias pueden deberse a la variación interespecífica o a diferencias en la sensibilidad de los métodos o del equipo empleado en las medidas, pero algunos estudios parecen indicar, que el aumento en la producción de etileno precede al aumento en la respiración (Chamarro, 1995).

Producción de etileno. El etileno es un compuesto orgánico simple que afecta los procesos fisiológicos de las plantas, es un producto natural del metabolismo y es producido por todos los tejidos de plantas superiores y de algunos microorganismos (Kader, 2002). La extrema simplicidad de su estructura química (hidrocarburo insaturado más sencillo) y su naturaleza gaseosa, le confieren características especiales y únicas entre los distintos reguladores del desarrollo (Azcon-Bieto y Talon, 1993).

Como hormona vegetal, coordina y regula numerosos procesos del crecimiento, desarrollo y de la senescencia de las plantas (Azcon-Bieto y Talon, 1993) y es fisiológicamente activo en cantidades trazas (menos de 0.1 ppm). También juega un papel importante en la abscisión de órganos en plantas (Kader, 2002).

Las primeras demostraciones de los potentes efectos del etileno en las plantas fueron el resultado de accidentes experimentales. El gas de iluminación, usado en el siglo XIX con fines domésticos como el alumbrado de casas y el cocinado de los alimentos, contenía altas concentraciones de etileno. Las fugas de este gas se asociaron frecuentemente con extraños patrones de crecimiento

en las plantas, con el envejecimiento prematuro de hojas y con la caída de flores y follaje. En 1901 el fisiólogo ruso Dimitry N. Neljubow, fue el primero en demostrar que el etileno fue el causante del patrón de crecimiento anormal observado en plántulas de chícharo expuestas al gas de iluminación. A principios de los años 30's, un investigador británico se percató de similares deformaciones en el crecimiento de los brotes de tubérculos de papa que habían permanecido encerrados junto con manzanas en proceso de maduración. Este investigador concluyó que las manzanas producían gas etileno a medida que maduraban. Pronto se demostró que en las frutas que están madurando se produce un incremento de etileno. Este, se ve acompañado de un similar aumento en la respiración (medida por la cantidad de bióxido de carbono, CO_2 , liberado por las frutas), fenómeno que se denomina climaterio (Reid, 1998; Salisbury y Ross, 1994; Bleecker y Kende, 2000).

Los productos hortofrutícolas son clasificados de acuerdo al rango de producción de etileno. No hay consistente relación entre la capacidad de producción de etileno y lo peredecero que sea; sin embargo su exposición al etileno acelera su senescencia. Generalmente, la producción de etileno incrementa con la madurez a la cosecha y con daños fisiológicos, incidencia de enfermedades, incremento de la temperatura y estrés de agua. El fruto de tomate se puede clasificar, dentro de los frutos que producen cantidades moderadas de etileno de $1.0\text{-}10.0 \mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{Kg.h}$ (Kader, 2002).

Las plantas producen etileno, pero únicamente la maduración de frutos climatéricos y tejido enfermos, generan la suficiente cantidad para afectar a cualquier tejido adyacente. Una vez que empieza la maduración de frutos climatéricos, la concentración de etileno interno se incrementa rápidamente para saturar sus niveles y la aplicación de etileno exógeno no promueve un efecto en la maduración (Salviet, 1999).

El etileno juega un papel importante en la maduración de frutos climatéricos como el tomate, provocando cambios fisiológicos relacionados con

la madurez (Lelièvre *et al.*, 1997). En tomate, al inicio de la respiración climatérica se produce un incremento brusco en la síntesis de etileno para descender posteriormente (Wills *et al.*, 1998).

Ahrens y Hubner (1990), reportan para tomate Rutgers, niveles máximos de producción de etileno de $6.82\mu\text{L /Kg}\cdot\text{h}$ una vez alcanzada una coloración rosa.

Biosíntesis de etileno. Transcurrieron 'cerca de 60 años antes de que los investigadores pudieran finalmente establecer la ruta bioquímica mediante la cual el etileno es producido por las plantas (Reid, 1998), partiendo del descubrimiento de que, el etileno se deriva de los carbonos 3 y 4 del aminoácido metionina las cuales sirven como sustratos en la producción de etileno (Salisbury y Ross, 1994). Desde el descubrimiento del ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) como el inmediato precursor metabólico del etileno, la ruta de biosíntesis de etileno en las plantas superiores ha quedado definitivamente establecida (Figura 5) (Azcon-Bieto y Talon, 1993).

Así, la primera etapa de la ruta consiste en la formación de la forma activada de metionina, S-adenosil-metionina (SAM), por una reacción dependiente de ATP. La segunda etapa de la ruta es la formación de ácido 1-carboxílico 1-aminociclopropano (ACC) producida por la hidrólisis de SAM por la acción de ACC oxidasa, conocida también como EFE (enzima formador de etileno) y constituye la primera reacción específica de la síntesis de etileno. Al iniciarse la maduración se produce un aumento en la concentración de ACC en los tejidos que, a su vez, induce un incremento en la actividad del enzima ACC oxidasa, iniciándose de este modo la producción autocatalítica de etileno (Johnson y Ecker, 1998). Finalmente, el ACC se convierte en etileno, por la acción de la enzima ACC oxidasa, liberando al mismo tiempo CO_2 y CN (ácido cianhídrico). Esta reacción es dependiente de oxígeno y constitutiva en la mayoría de tejidos vegetales. El ACC puede, alternativamente, reaccionar con

malonil-CoA formando malonil-ACC (MACC) (Figura 5). Este proceso en condiciones fisiológicas es irreversible, por lo que constituye un sumidero de ACC más que una forma de almacenamiento y ofrece un mecanismo adicional de regulación de la producción de etileno (Azcon-Bleto y Talon, 1993; Nuez, 1995; Kader, 2002; Wang *et al.*, 2002; Salviet, 1999). El conocimiento de esta ruta bioquímica ha sido muy importante pues ha guiado al descubrimiento de los genes (secuencias de ácido desoxirribonucleico, ADN) que dirigen la síntesis de las enzimas importantes, ACC sintasa y ACC oxidasa (Reid, 1998).

Barry *et al.* (2000), realizaron un estudio sobre la regulación de la AAC sintasa en la expresión de los genes durante la síntesis del etileno en tomate.

De manera general, la producción de etileno se mantiene baja (menos de 0.05 nL/g.h) durante el desarrollo del fruto, coincidiendo aproximadamente con el inicio de la respiración climatérica. En este evento se produce un brusco incremento en la síntesis de etileno (producción autocatalítica), que alcanza un valor máximo de 2-10 nL /g.h para posteriormente descender. El etileno desempeña un papel importante en la iniciación y continuación de la maduración de todos los frutos climatéricos, induciendo un aumento en la respiración climatérica y el desencadenamiento de muchos, aunque no todos, los cambios subsiguientes que llevan a la madurez completa (Chamarro, 1995).

La síntesis autocatalítica de etileno en tomate se inicia en el tejido locular y el gas se difunde a las células adyacentes de la placenta, columela y finalmente, del pericarpio induciendo de forma progresiva la síntesis de etileno en dichos tejidos cuando el fruto de tomate empieza a madurar (Bretch, 1987). Esta producción autocatalítica de etileno requiere ser regulada por las enzimas involucradas en la biosíntesis como la ACC sintasa y ACC oxidasa (Lelièvre *et al.*, 1997).

Mecanismo de acción del etileno. Al igual que en el caso de otras hormonas vegetales, se cree que el etileno se fija a receptores específicos para formar un complejo que es el que desencadena la maduración. El receptor de etileno se cree podría ser una metaloproteína que contiene Cu^+ o Zn^+ , la interacción del etileno con esta proteína se llevaría a cabo por una transferencia de electrones que originaría un cambio de carga (Azcon-Bieto y Talon, 1993; Wills *et al.*, 1998). Hirayama y Alonso (2000), proveen evidencia del rol del cobre o el zinc en la percepción de etileno y también en la señalización.

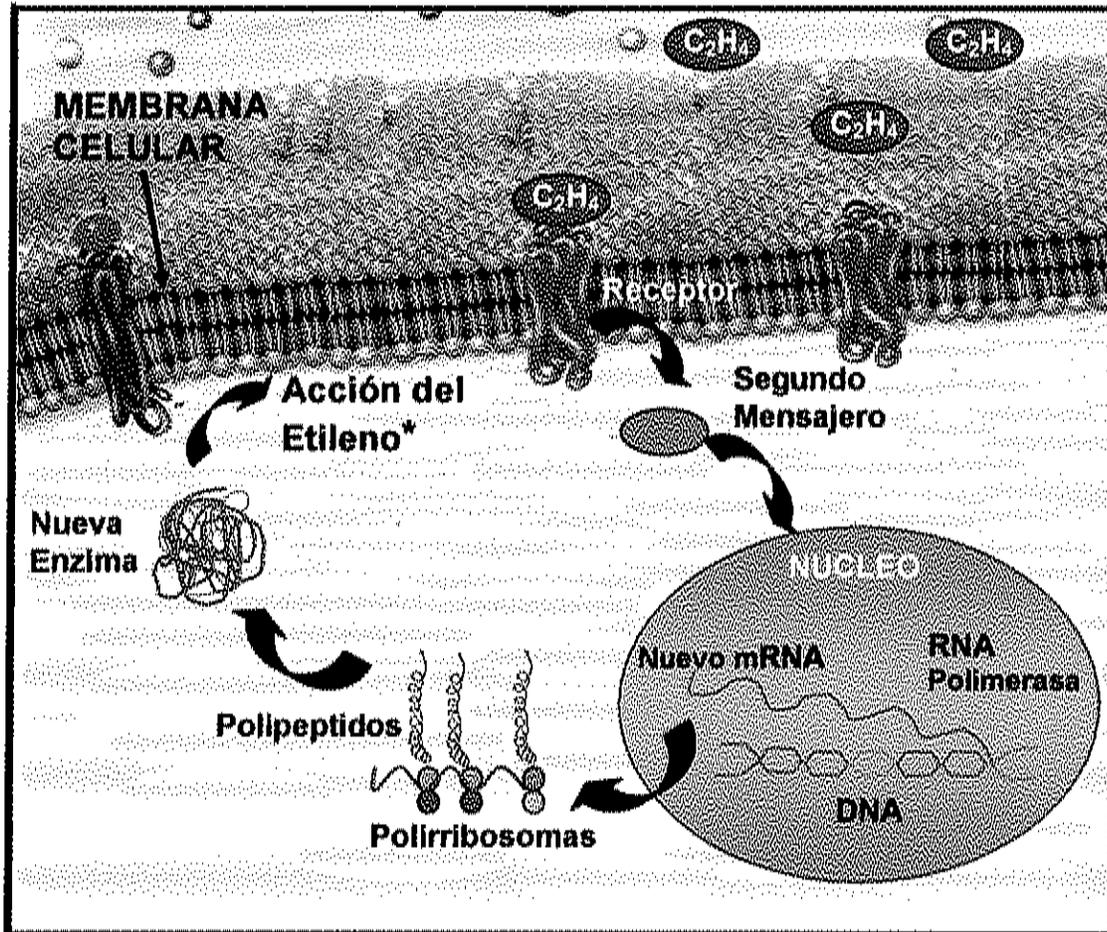
Recientes investigaciones se han centrado en el aislamiento de genes implicados en la ruta transducción de señales del etileno, siendo el gen ETR-1 el primer miembro de la familia de receptores clonados de a partir de *Arabidopsis* que permitió identificar del gen ETR-1 (resistente al etileno), el cual es el que desencadena la serie de señales, ha sido una gran herramienta para modular la acción del etileno en plantas (Kader 2002; Johnson y Ecker, 1998; Chang *et al.*, 1993; Tieman y Klee, 1999).

Investigadores, han buscado la manera de explicar el efecto del etileno sobre los procesos fisiológicos de los frutos. El modelo más aceptable aquel en que el etileno se une a una proteína llamada sitio de unión o sitio receptor (localizado en la membrana celular), esto estimula la liberación de un compuesto llamado segundo mensajero dirigido al DNA (las moléculas que acarrean la información genética en las células de las plantas), este segundo mensajero entonces, emigra al núcleo celular en donde provoca cambios en la lectura del DNA, como resultado se sintetizan moléculas de RNA, que son moléculas específicas para los efectos del etileno. Estas moléculas salen del núcleo, se unen a los "polirribosomas" y actúan como moldes en la síntesis de los polipéptidos que forman las enzimas que realizan las acciones inducidas por el etileno (Figura 6) (Kader, 2002; Wills *et al.*, 1998)

Control del etileno. Algunas tecnologías empleadas para reducir y evitar los problemas asociados con el etileno, se basan en remover el etileno de la atmósfera de almacenamiento. El más utilizado ha sido el permanganato de potasio, que es el absorbedor que tiene la capacidad de oxidar el etileno en dióxido de carbono y agua (Kader, 2002). Sin embargo, los absorbedores pierden efectividad si el aire que rodea a los frutos no es circulado a través de ellos, o si el tejido del fruto es la fuente de etileno. Otros absorbedores utilizados son el carbón activado y brominado, los cuales purifican el aire absorbiendo el etileno, y son efectivos, siempre y cuando el carbón no se sature, aunque presentan la desventaja de generar gas bromuro cuando están en contacto con excesiva humedad, el cual es un compuesto potencialmente peligroso para la salud humana (Wills *et al.*, 1998).

Un método efectivo para remover el etileno es el uso de lámparas ultravioletas, sin embargo, estas producen ozono, el cual es muy tóxico para productos frescos y debe ser removido, lo cual sería una desventaja a considerar (Reid, 2002).

Por más de 20 años, la industria ornamental ha inhibido los efectos indeseables del etileno con complejos de plata y tiosulfato de plata (TSP), el cual tiene una muy baja estabilidad (Reid, 2002). El tratamiento de frutas y flores y otros tejidos con iones plata inhibe la acción del etileno (Wills *et al.*, 1998). La Ag^+ aplicado en hojas en forma de nitrato de plata previene la respuesta triple de etiolación de plántulas de chícharos, abscisión de hojas de plantas de algodón y senescencia de orquídeas expuestas al etileno exógeno (Salisbury y Ross, 1994). El TSP resultó ser aún más eficaz que el AgNO_3 para demorar la senescencia de las flores cortadas (Salisbury y Ross, 1994). Los iones de plata bloquean los puntos en que se fija el etileno, evitando así su acción (Wills *et al.*, 1998). Pese a que el TSP tiene amplia aplicación en la poscosecha de flores, es visto como un posible contaminante ambiental, y su uso en plantas florecidas en macetas ha sido restringido en algunos países (Serek *et al.*, 1994). Además, no puede ser usado en alimentos (Sisler y Serek, 1997).



Kader, 2002

*Degradación de clorofila, síntesis de carotenoides, conversión del almidón a azúcares, solubilización de pectinas

Figura 6. Mecanismo de acción del etileno

La aplicación de atmósferas controladas pueden también inhibir la acción del etileno en tejidos sensibles a él. Bajas concentraciones de O₂ y altas concentraciones de CO₂ en la atmósfera de almacenamiento reduce el rango de respiración, producción de etileno y otros procesos metabólicos (Reid, 2002). Altas concentraciones de CO₂ (5-10%) inhiben los efectos del etileno, quizás actuando como inhibidor competitivo de la acción del etileno. Esa interferencia se debe tal vez al retraso en la conversión de ACC en etileno (Yang, 1985).

El almacenamiento hipobárico remueve el etileno endógeno, donde los niveles dentro de la fruta son grandemente reducidos, y se obtiene una larga vida de anaquel. Sin embargo este beneficio solo se presentó en pocos productos y el equipo que genera esta condición es muy costoso (Reid, 2002).

La producción de etileno puede inhibirse por varios procedimientos como el tratamiento con ácido aminooxiacético (AOA) ó aminoetoxivinilglicina (AVG) que bloquean el paso de SAM a ACC y el tratamiento con cobalto y la baja concentración de oxígeno inhiben el paso de ACC a etileno (Figura 5). Por razones de tipo legal y económico, dichos tratamientos no han encontrado aplicación en el control de la maduración del tomate, si exceptuamos el empleo de atmósferas modificadas que en este producto tienen un uso muy limitado. La introducción del gen «antisentido» que codifica la ACC sintetasa en el genoma del tomate ha permitido obtener frutos que apenas producen etileno pero que son susceptibles de madurar, normalmente, al tratarlos con dicho gas, abriendo interesantes perspectivas comerciales (Nuez, 1995; Kader, 2002, Macnish *et al.*, 1999).

Existen cuatro compuestos los cuales se han utilizado extensivamente en investigaciones científicas: el 2,5-norbornadieno (2,5-NBD), *trans*-cicloocteno, diazociclopentadieno (DACP) y 1-metilciclopropeno (1-MCP) (Sisler y Serek, 1999).

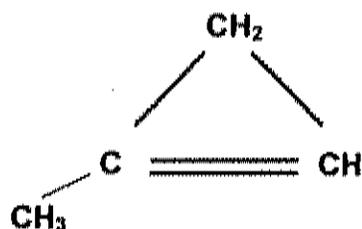
2,5-Norbornadieno (2,5-NBD). Fue la primer olefina cíclica que se encontró ser efectiva en inhibir la respuesta del etileno en tejidos vegetales. Es líquida a temperatura ambiente y es lo suficiente mente volátil para ser aplicada en estado de vapor. Sisler *et al.* (1985), encontraron que altas concentraciones de 2,5-NBD fueron requeridas para prevenir la abscisión en hojas de cítricos, a su vez, demostraron que este compuesto compite con el etileno por su receptor. Además, la unión con el receptor fue reversible, con el efecto de inhibición que es mantenido solamente cuando el 2,5-NBD estaba constantemente presente. El 2,5-NBD tiene un olor desagradable y puede ser un agente carcinógeno, sin embargo, presenta la ventaja de encontrarse comercialmente disponible. Debe ser aplicado continuamente para ser efectivo y a altas concentraciones puede estimular la producción de etileno (Sisler y Serek, 1999). El olor fuerte que desprende y su carácter tan corrosivo limitan su uso para fines agrícolas (Feng *et al.*, 2000).

Trans-cicloocteno. Es un líquido, altamente volátil, por lo que es posible aplicarlo en forma de vapor. Es un buen inhibidor a las respuestas del etileno, a concentraciones de 50-100 veces más bajas que el 2,5-NBD. A pesar de las características superiores del *trans*-cicloocteno, se ha utilizado en ocasiones muy limitadas, debido a que no está disponible de manera comercial y debe ser sintetizado para su uso. Este producto debe ser aplicado continuamente para ser eficaz, además tiene un olor desagradable (Sisler y Serek, 1999).

Diazociclopentadieno (DACP). Se une a los sitios receptores pero, no es tan efectivo para bloquear la acción del etileno (Sisler y Serek, 1999). Es un gas a temperatura ambiente, pero bastante inestable y no se ha logrado sintetizarlo (Zofoli, 2002). Este gas fue reportado para inhibir efectivamente la senescencia en claveles inducida por el etileno. De igual forma, se ha logrado

que la maduración en tomate fuera retardada utilizando DACP en presencia de luz fluorescente. El DACP irradiado con luz visible da lugar a compuestos activos no identificados que bloquean la acción del etileno en una forma aparentemente irreversible, el uso de este es limitado, ya que no se encuentra disponible a nivel comercial (Sisler y Blankenship 1993), además de que es potencialmente explosivo cuando se concentra (Sisler y Serek, 1999).

1-Metilciclopropeno (1-MCP). Es un gas que inhibe la acción del etileno en plantas. El 1-MCP es un compuesto orgánico simple (Figura 7), que consta de cuatro átomos de carbono y seis átomos de hidrógeno (C_4H_6), su peso molecular es 54 (Sisler y Serek, 1997; Blankenship y Dole, 2003).



1-Metilciclopropeno (1-MCP)

Figura 7. Estructura química del compuesto orgánico 1-Metilciclopropeno

1-MCP representa el mejor ejemplo del grupo de los compuestos ciclopropenos activos basado en su concentración y estabilidad. Este producto, es aceptado como no tóxico y es activo a concentraciones nanomolares (0.5 nL/L en ornamentales), no presenta algún olor especial, haciéndolo un candidato prometedor para su uso comercial (Sisler y Serek, 1997).

Comercialmente el 1-MCP fue introducido al mercado por la compañía Rohm and Hass bajo el nombre de Smartfresh®, el cual está compuesto por 1-MCP al 0.14% y materiales inertes (99.86%); este producto está formulado con α -ciclodextrinas en polvo que al mezclarse con agua liberan el 1-MCP (Blankenship y

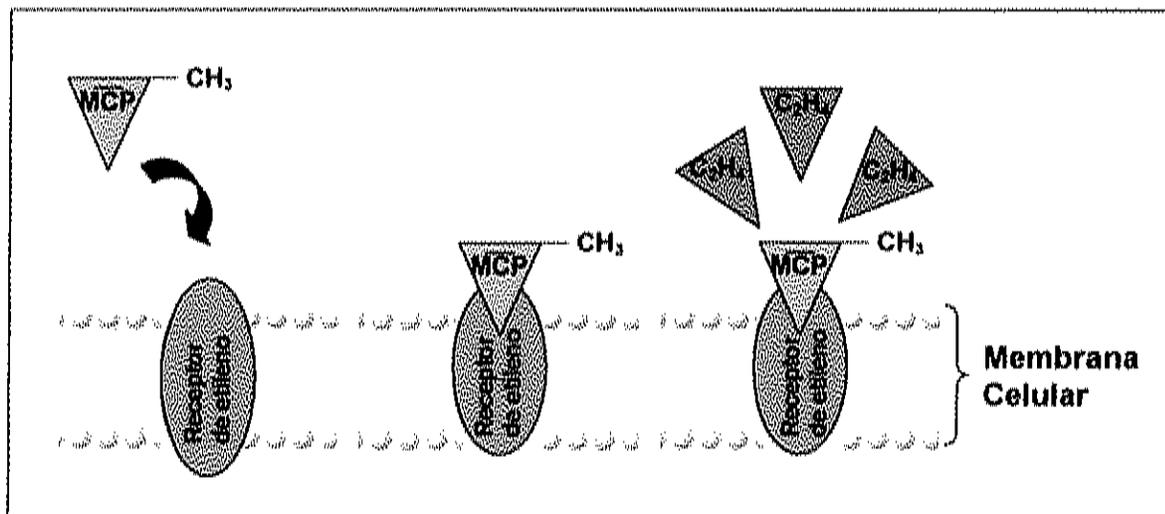
Dole, 2003). Este producto fue aprobado por la United States Environmental Protection Agency (EPA) en 1999 para ornamentales y para alimentos en el 2002, describiéndolo como un producto no tóxico, seguro, no deja residuos en el ambiente, no es riesgoso para animales ni humanos (Blankenship y Dole, 2003). El 1-MCP representa el mejor ejemplo del grupo de compuestos activos del ciclopropeno (Sisler y Serek, 1999). Su uso es seguro y efectivo a muy bajas concentraciones (cerca de tres partes por billón), además por ser un gas, es de fácil aplicación en los cuartos de almacenamiento (Blankenship, 2001).

La acción inhibitoria de este compuesto fue descubierta por los bioquímicos Edward Sisler y Silvia Blankenship de la Universidad del Estado Carolina del Norte, al parecer este actúa como un inhibidor irreversible del receptor del etileno, además tiene 10 veces más afinidad hacia el receptor comparada con el etileno (Blankenship y Dole, 2003). En otras palabras, cuando este compuesto está presente, el fruto no puede retener etileno y en consecuencia, se disminuyen los procesos subsiguientes, la respiración, la conversión de almidones a azúcares, y los aspectos del rompimiento de las paredes celulares o ablandamiento del fruto (Blankenship, 2001).

Sisler y Serek (1997), propusieron un modelo para explicar la reacción del 1-MCP con el receptor de etileno, el cual aparentemente reacciona de manera irreversible con el receptor del etileno, retrasando de esta manera la acción del etileno (Figura 8), sin embargo después de cierto tiempo el tejido vuelve a ser sensible a la acción del etileno, desencadenando los consecuentes procesos dependientes del etileno. (Blankenship y Dole., 2003).

El etileno puede actuar al aceptar electrones del metal presente en el receptor del etileno, provocando un proceso de sustitución de ligandos que induce la respuesta de acción. Debido a que el 1-MCP presenta mayor número de sustituyentes en su estructura química el efecto debe ser más fuerte que el etileno. Dado que se une con mayor fuerza al receptor, probablemente permanece unido al metal en el receptor, y la formación del complejo activo no

se completa, bloqueando efectivamente al receptor (Sisler y Serek, 1997). Hirayama y Alonso (2000), encontraron evidencia de que metales como el cobre o zinc tienen un rol crítico no solo en la percepción del etileno, sino también en la transducción de señales.



Sisler y Serek, 1997

Figura 8. Mecanismo de acción del 1-Metilciclopropeno (1-MCP)

El efecto del 1-MCP depende de diversos factores como la concentración (la cual debe ser suficiente para saturar a los receptores y competir con el etileno presente), el tipo de fruto, la variedad, el estado de madurez, la madurez de la planta, la cosecha, el tiempo de exposición debe ser el suficiente para que el gas se libere y penetre al tejido, la temperatura (durante el tiempo de exposición del tratamiento) (Blankenship, 2001; Blankenship y Dole, 2003).

La temperatura y el tiempo de aplicación son dos factores que rigen la eficacia del 1-MCP. Serek *et al.* (1995), encontraron que el tratamiento con 1-

MCP fue mas efectivo cuando flores fueron tratadas con 1-MCP a temperatura de 20°C, que al aplicarse a temperatura de 2°C. DeEll *et al.* (2002), realizaron un estudio en manzanas, donde observaron la influencia de la temperatura y la duración de la aplicación de 1-MCP, encontrando que el 1-MCP tiene un gran potencial para mantener la calidad de manzanas durante el almacenamiento, aunque este puede ser afectado por la temperatura, el tiempo de aplicación y el cultivar de manzana.

El índice de madurez del producto también tiene una gran influencia sobre los resultados del 1-MCP, ya que si el material se encuentra con madurez avanzada o las flores entrando a la senescencia, el 1-MCP no actuará de manera efectiva. Así como también el efecto del 1-MCP depende de la concentración que se use de este (Blankenship, 2001). El estado de desarrollo y madurez de la planta también debe ser considerado cuando se aplica 1-MCP (Blankenship y Dole, 2003). En un estudio realizado por Harris *et al.* (2000), en plátano encontraron que el estado de madurez fue el mejor factor en la respuesta de la fruta a la aplicación de 1-MCP. De igual manera en peras la madurez resultó ser significativa en el efecto del tratamiento con 1-MCP (Baritelle *et al.*, 2001).

La importancia del tiempo de cosecha en el tratamiento con 1-MCP varía con la especie del cultivo, generalmente en los cultivos más perecederos, la aplicación de 1-MCP después de la cosecha debe ser lo más rápido posible, para retrasar la maduración y evitar pérdidas. En un estudio realizado por Dong *et al.* (2002), en frutos de chabacano y de ciruelas (los cuales tienen una vida poscosecha limitada, ambos son climatéricos), encontraron inhibición en la producción de etileno, ablandamiento y el encafecimiento interno en la madurez de chabacanos y ciruelas cuando se aplicó el tratamiento con 1-MCP a los frutos, antes de almacenarlos a bajas temperaturas, pero no fue efectivo al aplicarlo después de haber sido almacenados a bajas temperaturas.

Los primeros estudios del 1-MCP fueron en flores y ornamentales, logrando reducir significativamente la senescencia de estos productos (Joyce *et al.*, 2000; Serek *et al.*, 1995). Existe información publicada por más de tres años acerca de la efectividad de este compuesto para conservar rosas y claveles. Debido a que el sitio de unión del etileno es ocupado por este compuesto, su utilización en frutas y hortalizas, para reducir los efectos del etileno esta causando impacto.

En el cultivo de brócoli, el uso de 1-MCP mantiene la clorofila y retarda el amarillamiento causado por la síntesis de carotenoides (Xuentong y Mattheis, 2000), mientras que en zanahoria, la aplicación de este compuesto reduce la síntesis de isocumarina manteniendo la frescura y el color (Fan y Mattheis, 2000). En fresas, la utilización de 1-MCP incrementó la vida e anaquel en un 35 y 150%, cuando fueron almacenadas a 20 y 5°C, respectivamente. (Ku *et al.*, 1999). Por otro lado, Jiang *et al.* (1999), realizaron un estudio en plátano, combinando bolsas de polietileno y 1-MCP, obteniendo como resultado un retraso en el color de piel y el ablandamiento del fruto, extendiendo así su vida de anaquel. Moretti *et al.* (2002) investigaron la habilidad que tiene el 1-MCP en retrasar la maduración de tomate aplicando a 0, 250, 500 y 1000 mL.L⁻¹ por 12 horas a 21±1°C, obteniendo un retraso de 88 % en la pérdida de la firmeza y un 38 % de retraso en color, ambos al final del almacenamiento, las concentraciones mas altas retrasaron la síntesis de carotenoides. Mostofi *et al.* (2003), estudiaron el efecto que tiene la aplicación de 250 nL.L⁻¹ de 1-MCP por 24 horas a 20 °C en frutos de tomate de invernadero, obteniendo un retraso en los cambios de la maduración como licopeno, clorofila, ángulo Hue, actividad de la poligalacturonasa y firmeza del tejido. Willis y Ku (2002), en un estudio realizado en frutos de tomate en estado verde y maduro, aplicando diferentes concentraciones de 1-MCP, lograron prolongar la vida de anaquel en un 70 % en frutos verdes y un 25% en frutos maduros. Selvarajah *et al.* (2001), aplicaron 0.1 ppm de 1-MCP en frutos de piña controlando efectivamente la presencia de

corazón negro, síntoma de daño por frío en frutos almacenados a 10°C por cuatro semanas, además, retrasó la pérdida de vitamina C, y retuvo el declive de los sólidos solubles totales y la síntesis de etileno.

Vitamina C

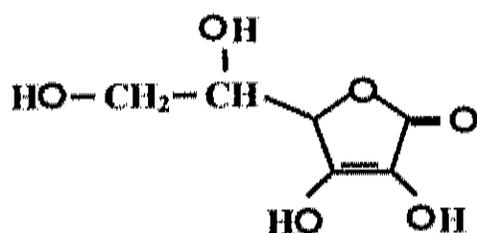
Las vitaminas pertenecen a uno de los grupos constituyentes de los alimentos que provocan más controversias, debido en gran medida al desconocimiento de su función. Las vitaminas empezaron a adquirir importancia cuando se observó que la carencia de estas sustancias en la dieta provocaba cuadros clínicos dramáticos. Aunque ya los antiguos egipcios y los romanos describieron al raquitismo, no fue sino hasta el periodo de 1912-1948 cuando se descubrieron los factores cuya ausencia provocaba los grandes males ya conocidos por la humanidad. En 1912 Casimiro Funk aisló una fracción del arroz que curaba el beriberi y debido a que ésta tenía propiedades de amina, la llamo *vitamine* (del ingles *vital amine*), que significa amina vital o indispensable para la vida. Posteriormente, se encontró que no todos estos compuestos eran aminas, y en lugar de *vitamine* se le designo con el nombre de *vitamin* (Badui, 1997).

Las frutas y vegetales son una buena fuente de vitaminas requeridas en la dieta humana (Watada, 1987). Siendo la vitamina C la más importante. Mas del 90% de esta vitamina es adquirida de frutas y vegetales (Lee y Kader, 2000). Las necesidades diarias en la dieta humana es de 50 a 60 mg, y la fuente de origen varía dependiendo del cultivar y la cantidad de producto (Wills *et al.*, 1998). Existen ciertas controversias en cuanto a la cantidad óptima requerida de vitamina C para el ser humano, aún cuando ha sido declarado que dosis excesivas de vitamina C resultan ser no tóxicas (Wills *et al.*, 1998). Sin embargo, esta recomendación diaria varía entre países, por ejemplo, en el

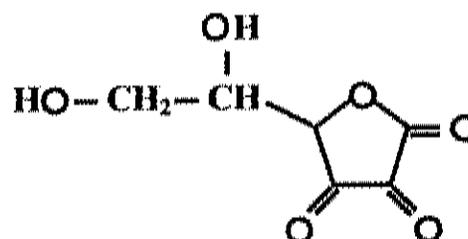
Reino Unido es de 40 mg para adultos comparado con 60 mg en Estados Unidos. El requerimiento mínimo diario de vitamina C para prevenir el escorbuto es de 10 mg, sin embargo, esto no es suficiente para asegurar un funcionamiento metabólico óptimo según el departamento de salud de los estados unidos (Foods Nutrition Boards, 1980).

La vitamina C es una cetona cíclica que corresponde a la forma enólica de la 3-ceto-1-gulofuranolactona; contiene un enol entre los carbonos 2 y 3 que la hace un agente ácido y muy reductor. Existen varias sustancias que presentan una actividad biológica de vitamina C; sin embargo excepto el ácido L-ascórbico y el ácido dehidroascórbico (producto de la oxidación del ácido ascórbico), las demás tienen importancia nutricional insignificante. Por esta razón, al referirse a esta vitamina generalmente se trata del ácido ascórbico, que por antonomasia se toma como sinónimo. Cabe indicar que solo los isómeros L de los ácidos ascórbico y dehidroascórbico (Figura 9) son los que tienen una acción vitamínica, y que el ácido dehidroascórbico presenta aproximadamente 80 % de la actividad del ácido ascórbico, además, hay que señalar que el isómero D- tiene alrededor del 10 % de la actividad del isómero L (Badui, 1997; Fennema, 1993).

El nombre de ácido ascórbico (*scurvy*, "escorbuto") fue asignado por Szent-Györgyi y Haworth en 1933, debido a su actividad antiescorbútica (Wills *et al.*, 1998).



Ácido ascórbico



Ácido dehidroascórbico

Figura 9. Estructura del ácido ascórbico y dehidroascórbico

Síntesis de la Vitamina C (Ácido Ascórbico)

La vitamina C es un componente esencial en la dieta humana y mucho de lo requerido es derivado de frutas y vegetales (Smimoff, 2003). El hombre no puede sintetizar esta vitamina, por la falta de la enzima L- Galactona-1,4-lactona deshidrogenasa, la cual interviene en la última parte de su síntesis es por ello que la adquiere consumiendo alimentos que la contengan (Levine *et al.*, 1999).

El ácido ascórbico es un producto del metabolismo de hexosas en plantas (Foyer, 2000). En primera instancia la síntesis depende de un adecuado suministro de azúcares de hexosas y de la actividad de la fotosíntesis. Como podría esperarse, una disminución en la actividad fotosintética inducida por la reducción de la intensidad de luz, refleja una disminución en el nivel de ácido ascórbico (Mapson, 1970).

La ruta para la biosíntesis de ácido ascórbico aun no ha sido determinada por completo, y se encuentra en discusión ya que algunos puntos causan controversias (Foyer, 2000). Dos rutas han sido sugeridas (Figura 10), en la primera, conocida como ruta de inversión, sugiere que el precursor inmediato del ácido ascórbico es L-galactono-1,4-lactona. Esta es confirmada por la rápida conversión de L-galactono-1,4-lactona exógeno a ácido ascórbico (De Gara *et al.*, 1994; Smimoff *et al.*, 2001) y caracterización de una enzima mitocondrial (L-galactono-1,4-lactona deshidrogenasa) la cual cataliza la oxidación L-galactono-1,4-lactona a ácido ascórbico (Oba *et al.*, 1994; 1995; Davey *et al.*, 1999; Hancock y Viola., 2002). La segunda ruta es de no inversión, comprende la oxidación de C₂ (carbono posición dos) de la glucosa, para producir un inusual osone-D-glucosano. Este es convertido a L-sorbone por epimerización del C₅. La oxidación del C₃ y lactonización produce L-ácido ascórbico (Smimoff, 1996; Saito *et al.*, 1990). Harvey *et al.*, (2003) mostraron por primera vez que la respiración puede controlar la síntesis de ácido ascórbico en plantas.

Degradación del Ácido Ascórbico

De todas las vitaminas, la C es la más inestable y lábil, debido a que las estructuras enediol son poco estables y presentan una reactividad alta. Como ruta principal de degradación, el ácido ascórbico se oxida a ácido dehidroascórbico (Figura 11) en una reacción reversible, estableciendo un sistema de oxidación-reducción. A su vez el ácido dehidroascórbico se sigue oxidando y se transforma en ácido 2,3-dicetogulónico que no tiene actividad biológica. Según sean las condiciones del sistema, y por medio de una degradación de Strecker el ácido 2,3-dicetogulónico se cicla y produce anhídrido carbono y furfural (Figura 11); este último se polimeriza y forma las melanoidinas, de manera semejante a las que ocasionan el oscurecimiento no enzimático (Baduí, 1997).

La enzima ascorbato oxidasa es la responsable de oxidar el ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico en presencia del oxígeno molecular (Saori *et al.*, 1995). La ascorbato oxidasa contiene cobre y cataliza la oxidación del ácido ascórbico usando oxígeno molecular, esta enzima ha sido encontrado en frutas y vegetales en altos niveles en la pared celular y citoplasma (Foyer, 2000). Bajo condiciones de estrés como agentes patógenos o exposición química los niveles de la enzima ascorbato oxidasa se incrementan (Loewus y Loewus, 1987).

La actividad antioxidante del ácido ascórbico se debe a la facilidad con que pierde sus electrones, haciendo muy efectivo el sistema biológico, porque es un donador de electrones y esto sirve como un agente reductor para muchas especies reactivas oxidantes, reduciendo el Fe^{3+} a Fe^{2+} . La interacción de la vitamina C con minerales y tocoferoles la convierten en un importante compuesto sinergista en los sistemas biológicos (Klein y Kurilich, 2000). Carr y Frei (1999), encontraron evidencia de la protección antioxidante de la vitamina

C al reaccionar con oxígeno y nitrógeno, previniendo el daño por oxidación de importantes macromoléculas como DNA, lípidos y proteínas.

Dado que el ácido dehidroascórbico puede ser fácilmente convertido a ácido ascórbico en el cuerpo humano, es importante medir ambas formas de este ácido en frutas y vegetales para medir su actividad total. El ácido dehidroascórbico puede ser reducido a ácido ascórbico y también puede ser oxidado irreversiblemente a la forma de ácido dicetogulónico, el cual no tiene actividad. En muchos frutos, el ácido dehidroascórbico representa menos del 10% del total de vitamina C pero este, tiende a incrementarse durante el almacenamiento (Lee y Kader, 2000). En frutos de tomate se han reportado contenidos del 78 % de ácido ascórbico y 22 % de ácido dehidroascórbico (Vanderslice *et al.*, 1990).

Factores que Influencian la Degradación del Ácido Ascórbico

Entre los numerosos factores que pueden influir en los mecanismos degradativos del ácido ascórbico cabe citar la temperatura, la concentración de sal y azúcar, el pH, el oxígeno, las enzimas, los catalizadores metálicos, la concentración inicial del ácido y la oxido-reducción (relación ácido ascórbico: ácido dehidroascórbico) (Fennema, 1993), la actividad acuosa, los peróxidos, y la presencia de otras vitaminas, sobre todo de la riboflavina (Badui, 1997).

Esta vitamina es mas estable a pH ácidos y en actividades acuosas bajas; en ausencia de oxígeno resiste temperaturas de esterilización, aunque se llega a destruir térmicamente por vía no oxidativa de poca importancia que alcanza un máximo pH 4 (Badui, 1997).

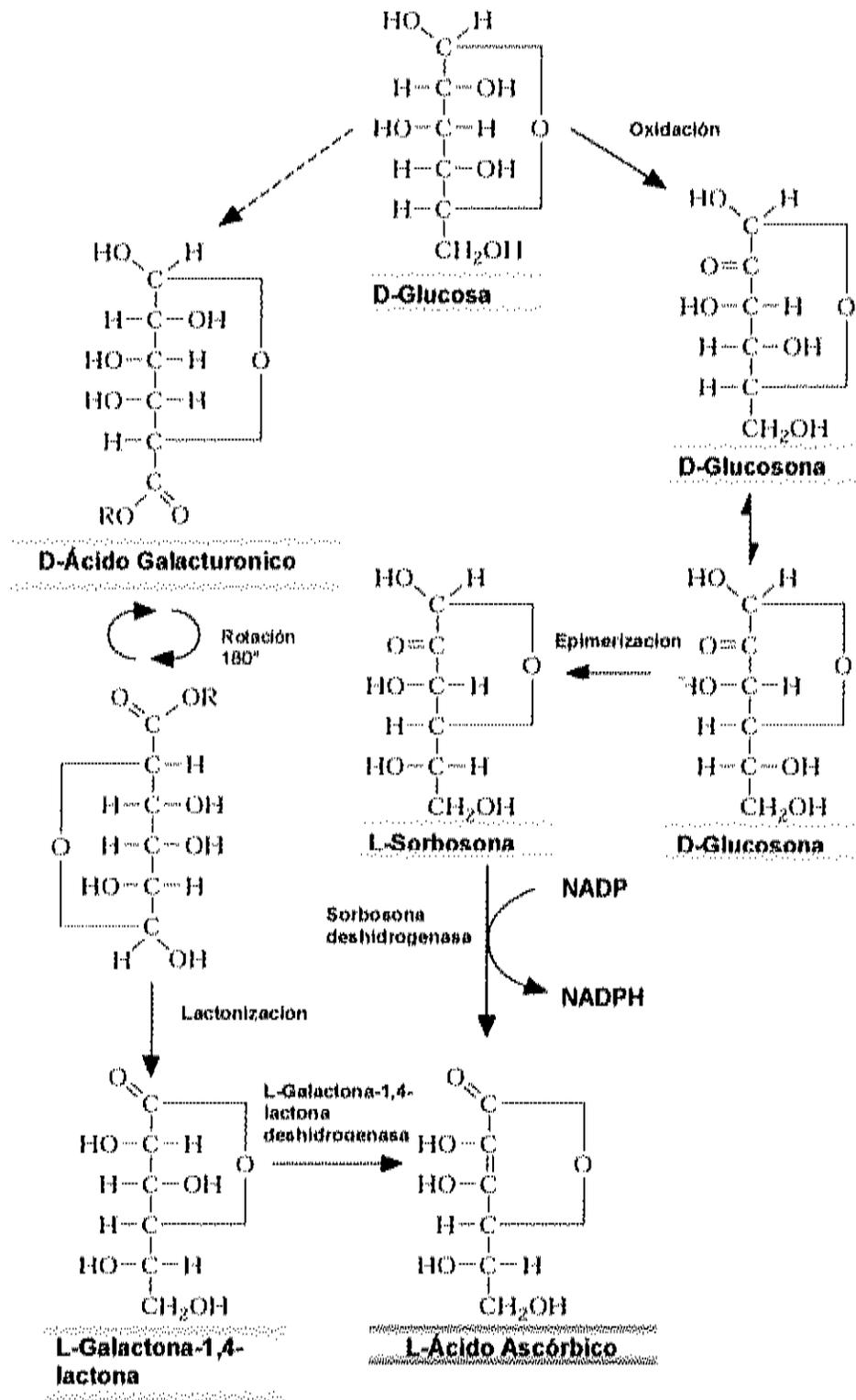


Figura 10. Síntesis de la vitamina C (ácido ascórbico) (Smirnoff, 1996)

El efecto de la concentración de oxígeno disuelto ha sido motivo de controversia, ya que algunos autores aseguran que la destrucción de la vitamina C depende de la presencia de este gas otros consideran que se pierde por mecanismo anaeróbico. Solomon *et al.* (1995), estudiaron el efecto del oxígeno en la degradación del ácido ascórbico y encontraron que la concentración del oxígeno disuelto fue significativo en la formación de ácido dehidroascórbico. También de gran importancia Yuan y Chen (1998), encontraron que en condiciones de pH bajo y de soluciones acuosas ácidas se favorece la formación de furfural.

La actividad acuosa a medida que aumenta favorece la destrucción del ácido ascórbico. Esto se ha visto con diferentes productos deshidratados, como los jitomates cuya concentración vitamínica se reduce independientemente del oxígeno existente, pero de una manera directamente proporcional a la actividad acuosa. Los metales de transición catalizan la destrucción del ácido ascórbico, dependiendo de la actividad acuosa (Badui, 1997).

Factores Pre y Poscosecha que Afectan el Contenido de Ácido Ascórbico en Frutas y Hortalizas

El contenido de vitamina C en las frutas y vegetales depende de muchos factores donde se incluyen: la variedad, estado de madurez, medio ambiente en el que se desarrolla, temporada y acidez de la fruta, entre otras. Por ejemplo, en el caso de las papas, las heridas o cortes que sufren, provoca un gran aumento en la actividad respiratoria y de la división celular que van acompañadas de un incremento de la vitamina C; en frío inhibe su síntesis, mientras que la temperatura ambiente y la oscuridad la favorecen (Henshall, 1981; Lee y Kader, 2000).

La vitamina C es muy sensible a la destrucción, cuando los productos son sujetos a condiciones adversas de manejo y almacenamiento. Las pérdidas se incrementan por extensión de almacenamiento, altas temperaturas, baja humedad, daños físicos y daño por frío (Lee y Kader, 2000, Watada, 1987).

Muchos factores pre y poscosecha influyen el contenido de vitamina C en cultivos hortícola, como el origen, la madurez a la cosecha, el tiempo de cosecha, el método de cosecha y las condiciones de manejo poscosecha, métodos de procesamiento (Lee y Kader, 2000; Franck *et al.*, 2003, Kallio *et al.*, 2002).

La madurez, como factor que afecta el contenido de vitamina C se considera particularmente a frutas tales como el tomate, melón, manzana y duraznos, los cuales son cosechados antes del contenido máximo de vitamina C. Diversos estudios demuestran que el contenido de vitamina C que se pierde durante el almacenamiento difiere dependiendo del fruto de que se trate y que la pérdida no puede ser categorizada en base al tejido morfológico (Watada, 1987).

En general, los vegetales de hoja e inflorescencias pierden una cantidad sustancial de ácido ascórbico del 60 al 80%, mientras que las frutas son mas resistentes a esta pérdida (Watada, 1987). En tomate el contenido de ácido ascórbico no es tan alto como en otros frutos, pero su contribución es muy significativa debido a su amplio consumo (Soto *et al.*, 2000). El tomate cosechado en estado green y madurado en almacenamiento a 20°C contiene menos ácido ascórbico que cuando el fruto se cosecha en el estado de madurez red (Lee y Kader, 2000; Kader *et al.*, 1977)

En un estudio realizado por Abushita *et al.* (2000), encontraron diferentes concentraciones del contenido de vitamina C en distintas variedades de tomate, debidas quizás al manejo poscosecha y las técnicas de cultivo utilizadas.

Lester y Crosby, (2002) evaluaron la influencia que tiene el tipo de cultivar, tamaño de fruto, tipo de suelo y la temporada en la que se cultiva en el

contenido de ácido ascórbico en frutos de melón, encontrando que la temporada de cosecha no resulto significativa, en tanto que, el cultivar, el tamaño del fruto y el tipo de suelo si afectan el contenido de ácido ascórbico.

Lisiewska y Kmiecik (1996), reportaron que el incremento en la cantidad de nitrógeno fertilizado disminuía el contenido de vitamina C en coliflor. Mientras que Toledo *et al.* (2003), evaluaron el metabolismo del ácido ascórbico (vitamina C) en espinacas durante almacenamiento poscosecha en luz y oscuridad, concluyendo que efectivamente las espinacas almacenadas en la luz tenían un contenido mas alto de ácido ascórbico que las conservadas en la oscuridad.

El uso de químicos en la agricultura, tales como pesticidas, reguladores de crecimiento pueden afectar indirectamente la calidad nutricional de frutas y vegetales (Lee y Kader, 2000). La aplicación de giberelinas fue benéfico en la calidad de te verde, incrementando el contenido de vitamina C en un 18 % (Liang *et al.*, 1996).

Del Caro *et al.* (2004), analizaron el contenido de vitamina C en cítricos (toronja, mandarina, naranja) minimamente procesados, obteniendo un decremento significativo de vitamina C únicamente en las ultimas muestras evaluadas durante 30 días de almacenamiento, ya que en los primeros 15 días, concluyendo que el proceso no afecto el contenido de vitamina C, pero que un largo periodo de almacenamiento si afecta su contenido.

Funciones de la vitamina C

En el hombre. Muchas de las funciones de la vitamina C, son debidas principalmente por su capacidad de donar electrones o poder reductor (Cathcart, 1991). La vitamina C es un donador específico de B enzimas. Tres de ellas participan en la hidroxilacion de colágeno y dos en la biosíntesis de carnitina. Dopamina β -monooxigenasa es necesaria para la biosíntesis de la hormona catecolamina norepineprina, peptidilglicina α -monooxigenasa es

necesaria para la amidación de hormonas peptidas y 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenasa participa en el metabolismo de la tirosina (Levine *et al.*, 1999).

Basado en su potencial redox e intermediador de radicales libres, la vitamina C es un agente reductor (antioxidante) en muchas reacciones intracelulares y extracelulares. También, tiene funciones reductivas no enzimáticas en reacciones químicas (Figura 12) (Levine *et al.*, 1999).

La vitamina C es requerida para la prevención del escorbuto, mantener saludable la piel, encías y vasos sanguíneos. La vitamina también es conocida por tener muchas funciones biológicas en la formación de colágeno, absorción de hierro inorgánico, reducción de los niveles de colesterol en la sangre, inhibe la formación de nitrosaminas, aumenta el sistema inmune y reacciones con oxígeno y otros radicales libres. La vitamina C como antioxidante, se reporta que reduce riesgo de arteriosclerosis, enfermedades cardiovasculares y algunas formas de cáncer (Lee y Kader, 2000).

Estudios epidemiológicos han mostrado que el L-ácido ascórbico tiene un efecto protector contra el cáncer, en particular en no-hormona-dependiente malignas, tales como neoplasma orofaríngeal (Chan y Read, 1998), en diversos tipos de cáncer como de esófago de cavidad oral y páncreas, se ha demostrado que el ácido ascórbico tiene un efecto protector (Block, 1991).

Análisis de laboratorio sugieren que la asociación de concentraciones de lípidos del plasma y vitamina C tienen un rol potencial en disminuir el desarrollo de arteriosclerosis (Howard y Meyers, 1995).

Dosis altas de ácido ascórbico reducen la duración de los síntomas del resfriado, es por ello que el mas amplio beneficio conocido en la salud, del ácido ascórbico es la prevención del resfriado (Pauling, 1970; Douglas *et al.*, 2000).

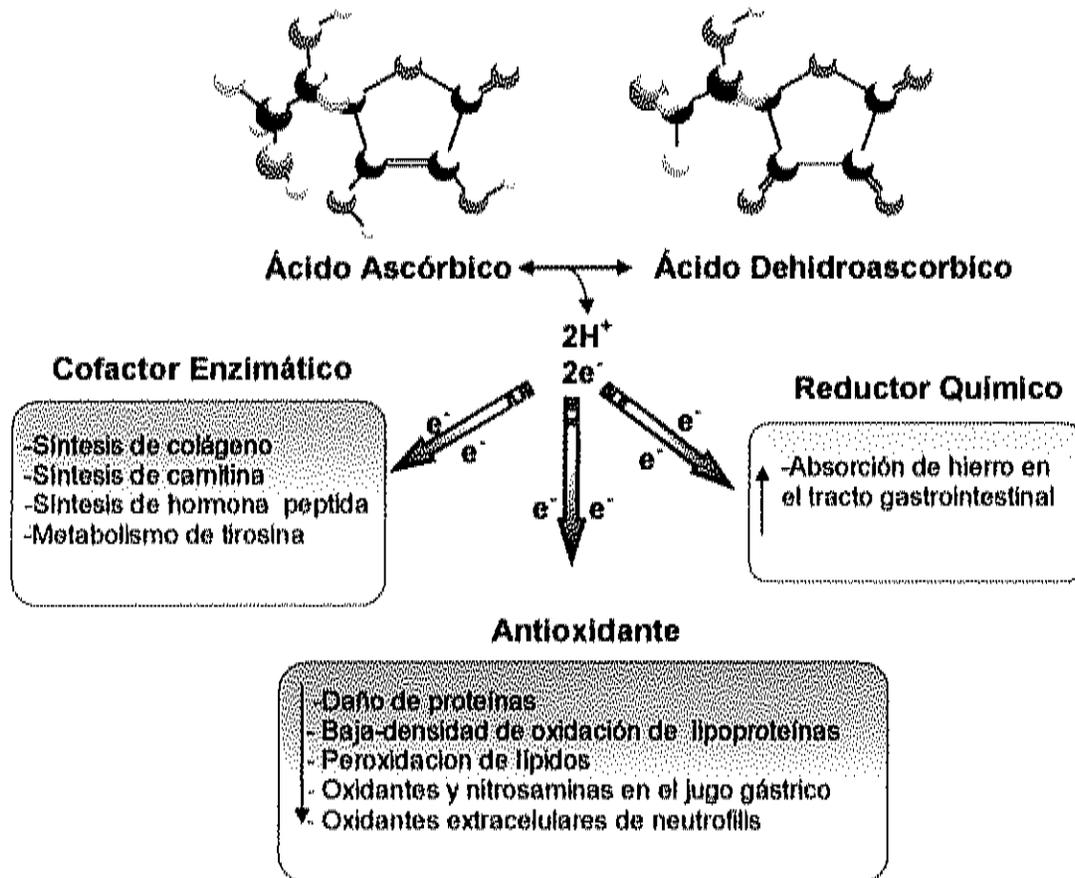


Figura 12. Oxidación de la vitamina C liberando secuencialmente 2 electrones que son disponibles para reacciones químicas. En el diagrama molecular los átomos de carbono son negros, el oxígeno rojo y el hidrógeno blanco (Levine *et al.*, 1999).

Se ha establecido el papel del ácido ascórbico como un cofactor en la biosíntesis y estabilización del colágeno, así como en la prevención del escorbuto (Brin, 1982). Por otro lado, la capacidad antioxidante del ácido ascórbico ejerce un efecto anti-hipertensivo y podría prevenir la formación de cataratas y desórdenes del corazón. Algunos estudios han demostrado evidencias del efecto protector de la vitamina C para el cáncer del esófago,

laringe y cavidad bucal. Además, el cáncer gástrico, que se cree podría resultar de la formación de nitrosaminas en el tracto gastrointestinal, puede ser bloqueado por la acción del ácido ascórbico. Otra importante aplicación del ácido ascórbico en la salud es la interacción con minerales, ya que la absorción del hierro aumenta considerablemente ante la presencia del ácido ascórbico (Tannenbaum y Wishnok, 1987).

En el metabolismo de las plantas. El ácido ascórbico juega un papel importante en la fotosíntesis y fotoprotección, en defensa contra el ozono y otros estreses oxidativos y hay especulaciones acerca del rol que puede tener en la expansión y división celular. El comprender la función del ácido ascórbico en las plantas podría permitir la posibilidad de incrementar su concentración por manipulación genética y de esta manera proporcionar beneficios a la nutrición humana y la misma planta (Smirnoff, 1995).

Las funciones bioquímicas del ácido ascórbico en las plantas se dividen en cuatro categorías:

- 1) *Antioxidante:* reacciona rápidamente con superóxidos, oxígeno, ozono y peróxidos de hidrógeno. Además, participa en la remoción de las formas reactivas de oxígeno los cuales son generados durante el metabolismo aeróbico y durante la exposición a algunos contaminantes y herbicidas. El ácido monodehidroascórbico (primer compuesto formado al oxidarse el ácido ascórbico a dehidroascórbico) y ácido dehidroascórbico son reducidos a ácido ascórbico en el ciclo del ascorbato-glutation (Smirnoff, 1996). Adicionalmente, el ácido ascórbico genera antioxidantes lipofílicos α -tocoferol (vitamina E) del radical α -cromanoxil (May, 1999).

- 2) *Cofactor enzimático*: Es un cofactor en el rango de las enzimas hidroxilasa. El ácido ascórbico es requerido al menos in vitro, por la enzima formadora de etileno (Smirnoff, 1996; Arrigoni y De Tullio, 2000).
- 3) *Transporte de electrones*: Es bien conocido in vitro como un donador de electrones para el transporte de electrones fotosintético y mitocondrial (Smirnoff, 1996; Bartoli *et al.*, 2000; Forti y Elli., 1995). También, Csala *et al.* (1999) demostraron que el ácido ascórbico y dehidroascórbico juegan un rol importante en la transferencia de electrones de proteínas al retículo endoplasmico.
- 4) *Síntesis de Oxalato y tartrato*: El ácido ascórbico puede ser dividido para formar tartrato y oxalato (Smirnoff, 1996; Smirnoff, 1999; Kostman *et al.*, 2001)

MATERIALES Y METODOS

Para realizar este estudio se utilizaron frutos de tomate cherry variedad Camelia con cáliz, proporcionados por un empaque comercial ubicado en Estación Bamoa, Guasave, Sinaloa. Se utilizaron frutos en cuatro estados de madurez (Breaker, Turning, Pink y Light Red) de acuerdo a lo establecido por USDA. A los frutos se les aplicó 1-Metilciclopropeno (SmartFresh™, formulación en polvo al 0.14% que al disolverse con agua libera el ingrediente activo, Rohm and Haas, Co.) a una concentración de 500 ppb con una exposición de 24h a 17.3°C y 67% de HR. Este tratamiento fue aplicado en los cuartos fríos del empaque comercial (volumen de 334 m³), dejando frutos sin gasear como muestra testigo en los cuatro estados de madurez. Posteriormente, los tomates fueron trasladados a las instalaciones del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Culiacán, donde se realizó una separación (para analizar diferentes parámetros), almacenamiento bajo simulando condiciones de mercadeo a 20°C y 85% de HR y análisis de diferentes fisiológicos (Producción de Dióxido de Carbono y Etileno), parámetros físicos (Pérdida de peso, color), químicos (pH, %Acidez titulable, Sólidos solubles totales), y nutricional (Vitamina C).

Variables Fisiológicas

Respiración

Inmediatamente después de la selección y clasificación de los frutos de tomate cherry, se asignaron 10 frutos por tratamiento y estado de madurez para cuantificar la producción de bióxido de carbono (CO₂) mediante la metodología descrita por Báez *et al.*, (1997). Los 10 frutos se colocaron en un frasco de vidrio herméticamente cerrado y adaptado con un flujo de aire continuo; se

almacenaron a 20°C, tomando diariamente muestra de la salida de aire para cuantificar la actividad respiratoria a partir del primer día, además de medir el flujo. Las muestras se inyectaron en un cromatógrafo de gases Varian 3300 (Walnut Creek, CA.) equipado con un detector de conductividad térmica. La corrida se realizó en una columna Hayesep Q 100/120 de 6' x 18" y Helio como gas acarreador con tiempos de retención de 1.075 min. La concentración del gas se determinó directamente a partir de una curva estándar elaborada con gas CO₂ de concentración conocida obtenido de la compañía AGA gas.

Producción de Etileno

De la misma muestra de inyección y en el mismo cromatógrafo de gases, se cuantificó la producción de etileno (C₂H₄), según la metodología de Baez *et al.*, (1997). La detección de este gas se llevó a cabo en un detector de ionización de flama adaptada al equipo con un tiempo de retención de 1.950 min. La concentración del gas se determinó a partir de una curva estándar elaborada con gas C₂H₄ de concentración conocida obtenido de la compañía AGA gas.

Variables Físicas

Pérdida de Peso.

Se evaluarán 10 frutos de tomate cherry seleccionados de cada estado de madurez y tratamiento, los cuales se pesaron cada dos días para registrar la pérdida de peso. Para esta evaluación se utilizó una balanza Mettler Toledo PR802 (d=0.01 g). Los resultados fueron calculados como porcentaje de pérdida de peso por medio de la siguiente fórmula (Díaz-Pérez, 1998):

$$\% \text{ Pérdida de Peso} = \left[\frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \right] * 100$$

Firmeza

Esta variable fue evaluada según la técnica descrita por Bourne (1980), tomando 10 frutos por tratamiento y estado de madurez. La firmeza se evaluó por compresión aplicando, una fuerza de 0.5 Kg-f, para determinar los milímetros de deformación de los frutos durante el almacenamiento. Mediante el uso de un Penetrómetro Chatillon DFIS, equipado con un disco de 50 mm de diámetro y adaptado a una base Chatillon TCD 200, este análisis se realizó cada dos días

Color Externo

El color se determinó utilizando un colorímetro Minolta modelo CR-300, este equipo, convierte todos los colores comprendidos dentro del rango de percepción humana en códigos numéricos comunes, que se expresan con las notaciones L^* , a^* , y b^* , donde "L" indica la luminosidad, sus valores oscilan entre 0 que representa colores negros ó opacos y 100 representa colores blancos ó de máxima brillantez, "+/-a" va de colores verdes a rojos y "+/-b" de colores amarillos a azules. Para calcular el ángulo de matiz (Hue) y Cromaticidad (C), se emplearon las siguientes fórmulas: $\text{Hue} = \text{Arctang}(b/a)$ y $C = \sqrt{(a^2 + b^2)}$ (McGuire, 1992). Se evaluaron 10 frutos por tratamiento y estado de madurez determinando solamente el cambio de color en cáscara en dos puntos opuesto del fruto.

Variables Químicas

pH, Acidez Titulable y Sólidos Solubles Totales

Para medir pH, Acidez titulable y sólidos solubles totales, se utilizó la técnica descrita por el AOAC (1998). Se preparó un extracto pesando 5 g de tomate cherry en una balanza Mettler Toledo PR802 ($d=0.01$ g), se le añadieron

50 ml de agua destilada neutralizada y se homogeneizó en una licuadora comercial marca Osterizer por 1 minuto, posteriormente se filtro la muestra con una tela de organza. El pH y la Acidez titulable (% Ácido cítrico) se determinaron tomando una alícuota de 50 ml del extracto y se coloca en un titulador automático Mettler DL21, primeramente se tomo el valor de pH, posteriormente se titulo el extracto de tomate cherry con una solución de NaOH 0.1 N. La Acidez titulable se expreso como % de ácido cítrico, el cual es el ácido predominante en Tomate cherry.

Los sólidos solubles totales, se determinaron de manera directa colocando unas gotas de jugo de tomate cherry en un refractómetro de ABBE Leica Mark II, los resultados fueron expresados como grados Brix. Este refractómetro está equipado con compensador de temperatura y se calibra con agua destilada antes de iniciar las evaluaciones de las muestras.

Variable Nutricional

Contenido de Vitamina C

Para la realización de este análisis se tomaron 3 frutos por estado de madurez y tratamiento. La extracción se llevo a cabo tomando una parte del fruto a la cual se le adicionaron cuatro partes de agua deionizada (1:4). La mezcla fue homogenizada usando una licuadora convencional Osterizar a velocidad media por 2 minutos. La muestra homogenizada fue filtrada a través de una malla de organza, posteriormente a través de un papel filtro Whatman No. 41, el sobrenadante clarificado se hizo pasar por un cartucho Sep-Pak C18, y finalmente a través de una membrana de Nylon de 0.45 μm X 25 mm de diámetro, siempre manteniendo las muestras alejadas de la luz blanca. El

extracto se colocó en viales para posteriormente inyectar 20 μL en un cromatógrafo de líquidos Varian equipado con un detector UV con arreglo de diodos ProStar330, una bomba terciaria ProStar 230, equipado con una columna Varian C18 90A de 150 X 4.60 mm, (5 μm) operada a temperatura ambiente, a una longitud de onda de 254 nm con una fase móvil de KH_2PO_4 0.2 M y un flujo de 0.5 ml/min.

Para lograr obtener la cuantificación total del ácido ascórbico se tomó 1 mL del extracto obtenido al cual se le adicionó 1 mg de Dithiothreitol (para reducir el ácido dehidroascórbico a ascórbico y cuantificar el contenido total de ácido ascórbico), se dejó actuar el agente reductor durante 2 horas al abrigo de la luz blanca, posteriormente se inyectó en el cromatógrafo antes mencionado. Para el análisis de resultados se preparó una curva con estándar de ácido ascórbico Sigma de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, y 70 ppm, además de inyectar un estándar de ácido ascórbico diariamente entre cada 10 inyecciones para corroborar la eficacia de la curva preparada. Los resultados se analizaron con el área bajo la curva y utilizando la siguiente fórmula descrita por Gökmen *et al.*, (2000).

$$\text{Vitamina C} = \frac{C_f F}{10}$$

C_f : Concentración final (se determino usando la curva
 F: Factor de dilución

Para determinar el porcentaje de recuperación de la técnica utilizada se preparó un estándar de ácido ascórbico y se inyectó, posteriormente el mismo estándar fue utilizado para realizar la extracción, finalmente por diferencia se determinó el porcentaje de recuperación.

Diseño de Experimentos

El diseño para las variables destructivas como pH, Acidez Titulable, Sólidos Solubles Totales (°Brix) y Vitamina C fue un factorial en bloques totalmente al azar, donde los factores fueron: Estado de Madurez (Breaker, Turning, Pink, Light Red) y los bloques estuvieron representados por los tratamientos: Testigo y 500 ppb de 1-MCP, por otro lado para las variables no destructivas como Pérdida de Peso, Firmeza por compresión, Color externo y Respiración, el diseño fue de dos factores de medidas repetidas en el tiempo, con un factor nido, siendo el factor nido los frutos anidados en los estados de madurez.

Obtenidos los datos se analizaron estadísticamente para establecer la tendencia de las variables de respuesta y el efecto de los tratamientos, utilizando el paquete Estadístico MINITAB versión 13.1 (MINITAB, 2000).

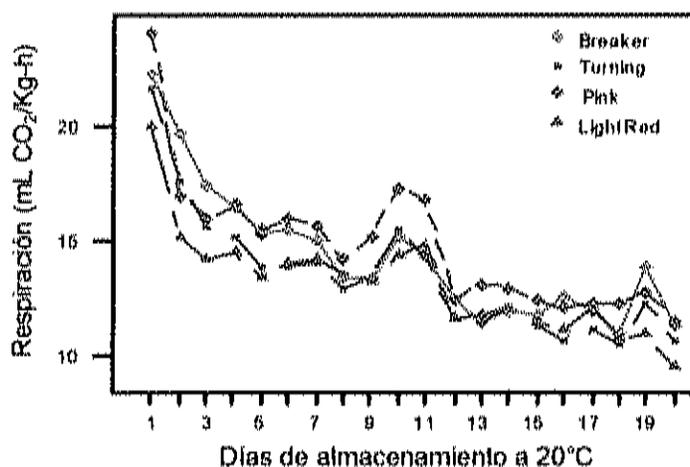


Figura 13. Interacción del estado de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en los cuatro estados de madurez, en la variable producción de dióxido de carbono

Los niveles máximos alcanzados de dióxido de carbono se presentaron al día inicial con 26 y 18 ml CO₂/Kg-h en frutos testigos y tratados con 1-MCP, respectivamente (Figura 14), posiblemente esta diferencia haya sido debida a la mayor maduración de los frutos testigos la cual pudo haber avanzado durante las 24 h que duró el tratamiento con 1-MCP.

En la Figura 14a se observa el comportamiento de los frutos testigos cosechados en los cuatro estados de madurez, apreciándose un descenso en la respiración de los frutos en los cuatro estados de madurez mostrando los frutos mas maduros la menor actividad, debido posiblemente a que los procesos fisiológicos y bioquímicos se encaminan a la senescencia. Por otro lado, en los frutos tratados con 500 ppb de 1-MCP (Figura 14b), los niveles de CO₂ se mantuvieron en menor contenido en comparación con el testigo y mas estables aun cuando los estados de madurez pink y light red fueron ligeramente mayores a los estados de madurez breaker y turning, esto es debido precisamente a su estado de madurez mas avanzado.

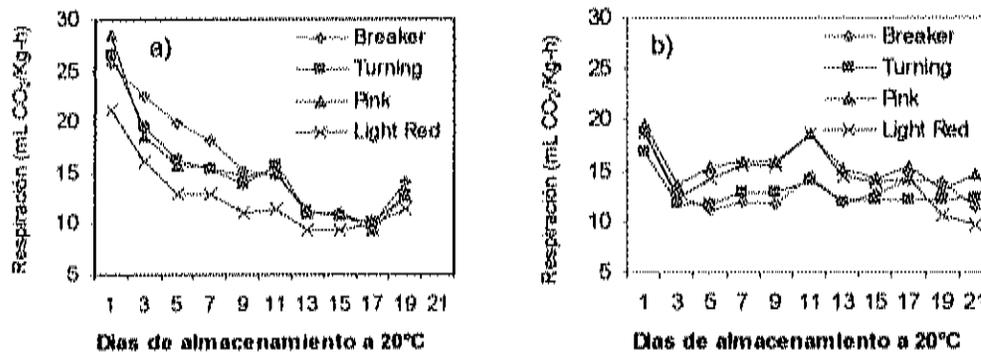


Figura 14. Producción de dióxido de carbono durante el almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP

Alvarado, (2003), reporta una producción de CO₂ de 14 a 15.5 ml CO₂/Kg-h en frutos de tomate variedad Gironda y Attention, tratados con 1-MCP y cosechados en estado breaker, estos valores fueron similares a los obtenidos en este estudio para los frutos de tomate tratados en estado breaker, aun cuando se evaluaron variedades diferentes.

Báez *et al.* (2001), al analizar el efecto de diferentes dosis de 1-MCP (125, 250, 500 ppb) en frutos de tomate roma, encontraron que el efecto en la producción de dióxido de carbono depende de la concentración de 1-MCP, a mayor concentración mas tiempo de retraso en la aparición del pico climatérico, obteniendo que para una concentración de 500 ppb el pico climatérico apareció al noveno día, lo cual coincide con los resultados de este estudio.

Producción de Etileno

El análisis de varianza para la variable de producción de etileno presentó diferencias significativas en los factores tratamiento ($p=0.000$) y tiempo

($p=0.000$), también en la interacción: tratamiento estados de madurez ($p=0.000$) en los frutos de tomate cherry (Anexo 1b).

En la Figura 15, se muestra el comportamiento general de los estados de madurez de los frutos de tomate cherry durante el almacenamiento, observándose un retraso en la velocidad y producción de etileno en función al estado de madurez de los frutos; donde los frutos en estado Breaker, fueron los de menor producción de etileno. La tendencia de los frutos de tomate cherry en los cuatro estados de madurez fue de aumentar hasta un nivel máximo, para posteriormente presentar una disminución hasta un valor mínimo, el cual indica que el fruto llega a la senescencia.

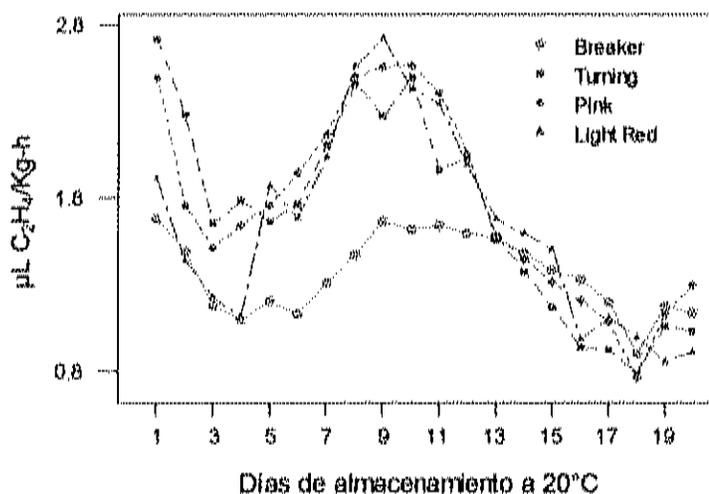


Figura 15. Interacción del estado de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez, en la variable de producción de etileno

La Figura 16, se muestra como se retrasó el pico de la máxima producción de etileno en los frutos de tomate cherry en el estado breaker

presentándose al día 13, mientras que, en los frutos en estado Turning, Pink y Light Red se observó a los 10 días aproximadamente en los frutos tratados con 1-MCP. En tanto, que en los frutos testigos no se presentó un incremento del etileno, debido tal vez a que la máxima producción de este compuesto ya se había efectuado, por efecto de la maduración de los frutos.

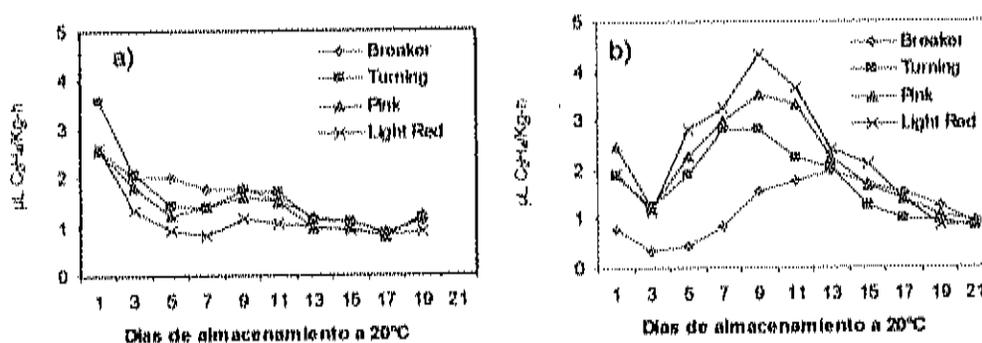


Figura 16. Producción de etileno durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP

El comportamiento del etileno se presentó de acuerdo al estado de madurez. La máxima producción de etileno concuerda con el climaterio observado en la respiración (Figura 14), el cual se presentó entre el día 11 y 13 de almacenamiento. Azcon-Bieto y Talon (1993), mencionan que frutos inmaduros poseen una baja velocidad de producción de etileno unido a la ausencia de síntesis auto catalítica, mientras que en frutos maduros la situación es totalmente diferente ya que se induce un estado basal de etileno común en todos los frutos que se activa por lesiones mecánicas, por heridas en los tejidos o bien se produce una auto catálisis de etileno que desciende cuando finaliza la maduración, este comportamiento lo podemos apreciar en la Figura 17, donde se muestran por separado los estados de madurez, observando que conforme el estado de madurez es menos maduro se tienen niveles de etileno menores, caso contrario en los frutos en estados de madurez mayores.

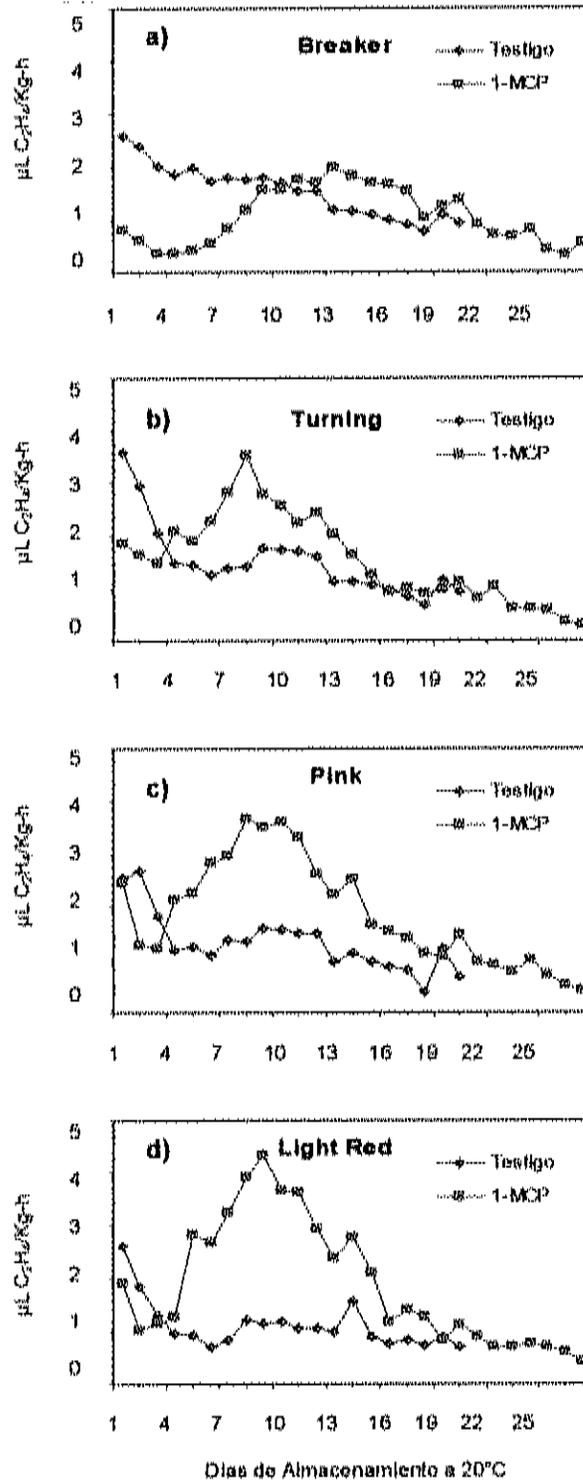


Figura 17. Producción de etileno en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en diferentes estados de madurez a) breaker, b) turning, c) pink, d) light Red

Wills y Ku (2002), encontraron valores de 2.1, 2.7 y 1.6 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{Kg-h}$ en frutos de tomate en estado de madurez red, cuando aplico 5, 10 y 100 $\mu\text{L/L}$ de 1-MCP respectivamente, a los 8 días de almacenamiento, estos resultados son inferiores a los obtenidos en nuestro estudio, donde la máxima producción de etileno fue de 4.5 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{Kg-h}$, el cual se presentó en el estado light red tratado. Esto indica que los tomates cherry son más productores de etileno y por lo tanto son más perecederos en comparación con otras variedades de tomate.

Variables Físicas

Pérdida de Peso

De acuerdo al análisis de varianza se presentaron diferencias significativas en los tratamientos, estados de madurez, y tiempo con un valor $p = 0.000$, 0.003 y 0.000 respectivamente (Anexo 2a). Las interacciones tratamiento estado de madurez y estados de madurez con el tiempo fueron significativas, donde el tratamiento de 500 ppb de 1-MCP fue efectivo para retrasar la pérdida de peso en los frutos de tomate cherry en los cuatro estados de madurez (breaker, turning, pink y light red) durante el almacenamiento a 20°C comparados con el testigo.

En la Figura 18, se representa el perfil general del porcentaje de pérdida de peso obtenido en cada uno de los estados de madurez breaker, turning, pink y light red, independiente del tratamiento con 500 ppb de 1-MCP. El comportamiento de la pérdida de peso fue similar en los cuatro estados de madurez alcanzando valores máximos de 4.69 % para frutos testigos, comparados con 3.4 % para frutos tratados con 500 ppb de 1-MCP, en el estado de madurez light red que fue el de mas avanzada en madurez.

Como se puede observar en la figura 18 y 19, la respuesta al 1-MCP sobre la pérdida de peso en los frutos de tomate cherry fue dependiente al estado de madurez, viéndose favorecida esta variable cuando la aplicación del 1-MCP se realiza en madurez menos avanzada y el porcentaje de pérdida de peso de los frutos fueron menores a los testigos. Esto posiblemente se debe a que en el estado de madurez light red ya tenían una estructura celular menos intacta y si se considera que la mayor pérdida de agua en frutos de tomate se pierde en forma de vapor a través de la cutícula y el pedúnculo principalmente, se puede aseverar que fue debido a la transpiración, la cual es influenciada por diferentes factores como características morfológicas y anatómicas, daños en la superficie del fruto y el estado de madurez, además de condiciones externas.

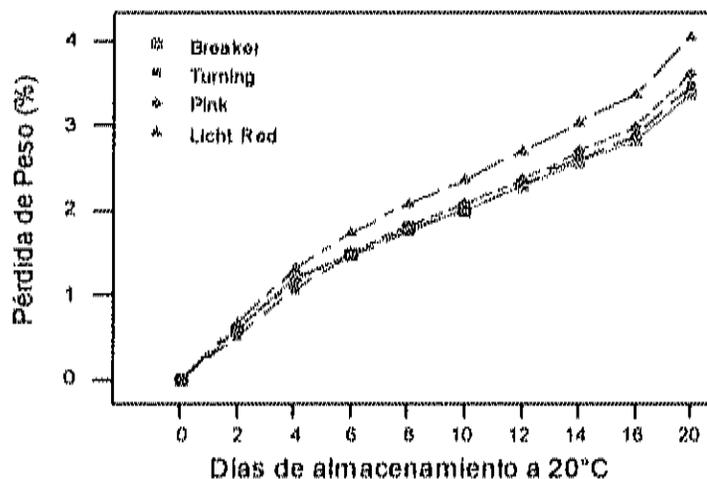


Figura 18. Interacción del estado de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez en la variable de pérdida de peso.

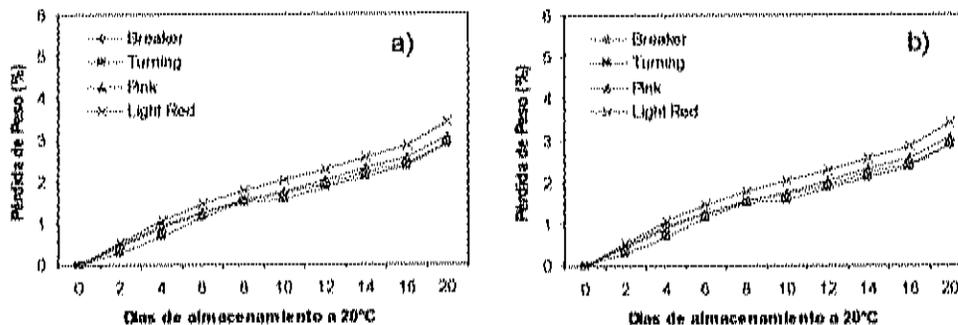


Figura 19. Porcentaje de pérdida de peso durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP

En la figura 20, se observa la tendencia de cada uno de los estados de madurez analizados con respecto a la variable de respuesta pérdida de peso en frutos de tomate cherry, observándose como el 1-MCP logró retrasar la pérdida de peso aproximadamente el 1 % con respecto al testigo lo que indica frutos con una mejor calidad y succulencia. Se observó un mayor porcentaje de pérdida de peso en los frutos más maduros testigos y tratados con 1-MCP con un 4.8 y 3.6 %, respectivamente, debido a que la estructura celular de los frutos en estado de madurez mas avanzado. Sin embargo, estos porcentajes se encontraban por debajo del porcentaje de pérdida de peso del 5 al 10 % descrito por Kader (2002), donde señala que de manera general los frutos pierden su calidad comercial.

Alvarado (2003), obtuvo en tomate bola en estado breaker almacenados por 20 días a 20°C valores por debajo del 3% de pérdida de peso al aplicar 500 ppb de 1-MCP por 12 horas, similares a los resultados obtenidos en este estudio los cuales fueron de 2.9 % en frutos tratados con 500 ppb de 1-MCP a los 20 días de almacenamiento, aun cuando la variedad es diferente se observó el mismo comportamiento en los frutos de tomate cherry tratados en el mismo estado de madurez.

Un estudio realizado por Jeong *et al.* (2002), en aguacate evaluaron el efecto del 1-MCP, sobre la maduración del fruto, y en el caso del parámetro de pérdida de peso lograron que sus tratamientos mantuvieran por 4 días mas la calidad de los frutos tratados con 0.45 ppb de 1-MCP por 24 horas comparada con sus testigos, mientras que en este estudio se logró un retraso de 4 días en el porcentaje de pérdida de peso al aplicar una dosis mas alta, esta diferencia pudiera deberse a la propia fisiología del fruto.

Por otro lado, en un estudio realizado por Wills y Ku (2002), en frutos de tomate en estado de madurez red tratados con 100 μ L/L de 1-MCP, obtuvieron una pérdida de peso del 3.7 % al día 10 de almacenamiento a 20°C, y a una dosis menor de este compuesto, el porcentaje de pérdida de peso fue mayor. Comparado con este estudio se observa para los mismos días de almacenamiento que la pérdida de peso de frutos tratados con 500 ppb de 1-MCP en estado light red fue menor al 2%, lo cual indica que el estado de madurez de los frutos afectan la respuesta del tratamiento en pérdida de peso.

En general la aplicación de 1-MCP logró disminuir 1% la pérdida de peso en los frutos de tomate cherry, independientemente del estado de madurez, debido quizás a que una manera de perder agua es mediante la respiración, y este proceso se vio disminuido (Figura 14). El proceso de la respiración, la degradación de almidón, azúcares y ácidos orgánicos, liberan dióxido de carbono, agua y energía, lo cual se manifiesta en una pérdida de peso, pero esto es mínimo comparado con la pérdida de agua por transpiración (FAO, 1993; Wills *et al.*, 1998).

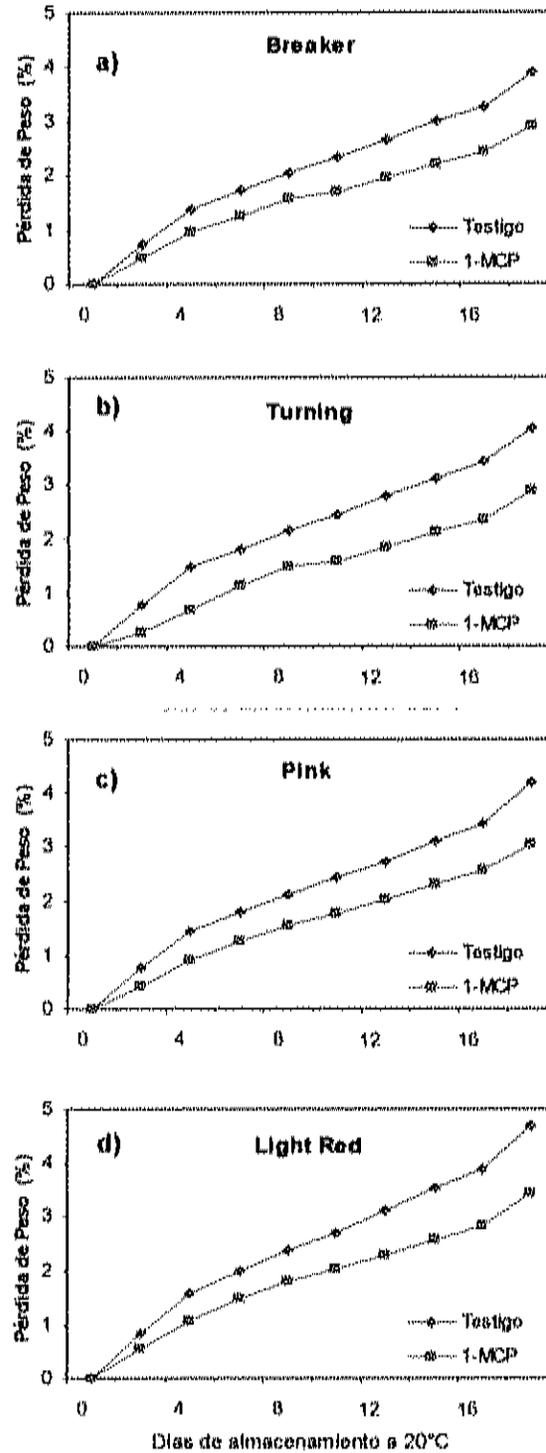


Figura 20. Pérdida de peso (%) en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en diferentes estados de madurez a) breaker, b) turning c) pink d) light Red

Firmeza

La firmeza es uno de los índices de calidad en frutos de tomate (Bourne, 1980; Artes *et al.*, 1998) y es uno de los cambios más evidentes durante la maduración del fruto (Wills *et al.*, 1998).

De acuerdo a los datos obtenidos en firmeza por deformación en los frutos de tomate cherry tratados con 500 ppb de 1-MCP en diferentes estados de madurez (Breaker, Turning, Pink y Light Red), se obtuvieron diferencias significativas en los tres factores, estado de madurez, tratamientos y tiempo, con un valor $p=0.000$ en cada factor (Anexo 2b). Así mismo las interacciones dobles, estado de madurez por tratamiento y estado de madurez por tiempo, fueron significativas con un valor $p=0.000$ (Anexo 2b).

En la figura 21, se muestra la deformación de los frutos de tomate cherry en los cuatro estados de madurez durante el almacenamiento, observándose un comportamiento similar en los estados de madurez de los frutos, con mayores valores en cuanto al aumento de la madurez del fruto. Cabe mencionar que los valores de firmeza de los frutos se mantuvieron en el rango de moderadamente blando (2.0 a 2.5 milímetros de deformación) según lo descrito por Cantwell (1998) para frutos de tomate. Este rango es indicativo como límite de calidad en función de esta variable, al final del almacenamiento independientemente del estado de madurez.

El perfil de la variable de respuesta firmeza para frutos de tomate cherry en diferentes estados de madurez en cada tratamiento, se muestra en la figura 22, donde se observa un retraso en la pérdida de firmeza de los frutos tratados con 1-MCP (Figura 22b) comparada con los frutos testigo (Figura 22a). En los frutos tratados con 1-MCP se mantuvo la firmeza por mayor tiempo por debajo del límite de 2.5 mm de deformación (Figura 22, línea punteada), donde incrementos superiores a este valor, corresponde a frutos blandos según la clasificación de Cantwell (1998).

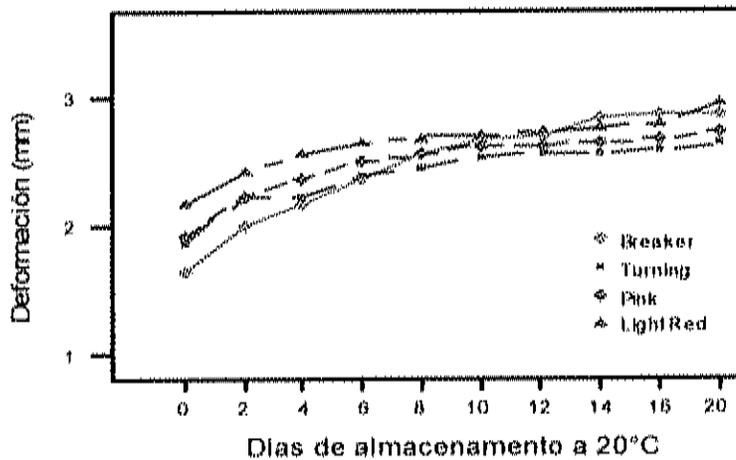


Figura 21. Interacción del estado de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez en la variable de firmeza por deformación expresada en milímetros (mm)

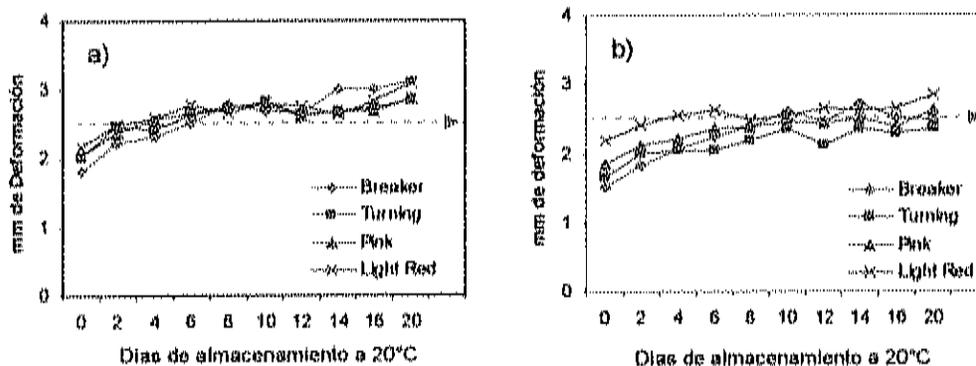


Figura 22. Firmeza expresada como mm de deformación durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP.

En la figura 23, se muestra la tendencia de los factores tratamientos (testigo y 1-MCP) y estados de madurez con respecto a la variable firmeza, la cual presentó una diferencia significativa entre los tratamientos. También, se puede apreciar como el efecto del 1-MCP es dependiente del estado de

madurez de los frutos, ya que a menor madurez, el efecto del 1-MCP favorece la retención de la firmeza de los frutos, observándose que en tomates en madurez breaker se retiene la firmeza 4 días más en comparación con los frutos testigos.

El efecto del 1-MCP en cada estado de madurez puede deberse a la actividad de enzimas relacionadas con el ablandamiento como la poligalacturonasa, pectinmetilesterasa y varias hidrolasas, las cuales en frutos en estado menos maduro posiblemente se encuentran inactivas y conforme avanza la madurez estas enzimas se activan y propician el ablandamiento en frutos de tomate (Brady *et al.*, 1982). Geovannoni *et al.* (1992) encontraron que la endopoligalacturonasa está ausente en los frutos verdes mientras que su actividad aumenta dramáticamente durante la maduración. Por otro lado la actividad de la exo-poligalacturonasa se ha detectado en tomates verdes, sin embargo, abarca solamente una pequeña fracción del total de la actividad de la poligalacturonasa en la maduración y no juega un papel importante en el ablandamiento.

Por otro lado, los frutos tratados con 500 ppb de 1-MCP en estado pink mantuvieron su firmeza por 10 días más, comparada con los frutos testigos. Mientras que el tratamiento con 1-MCP en frutos en estado light red no tuvieron el mismo efecto, debido a que la madurez es más avanzada y la mayoría de los procesos bioquímicos en el fruto ya se han realizado.

La eficacia del tratamiento con 1-MCP en retardar el ablandamiento como se observa en la Figura 24, donde este producto logró aumentar 6 días la vida de anaquel en base al parámetro de firmeza (la línea punteada indica el límite máximo de pérdida de firmeza según Cantwell, 1998).

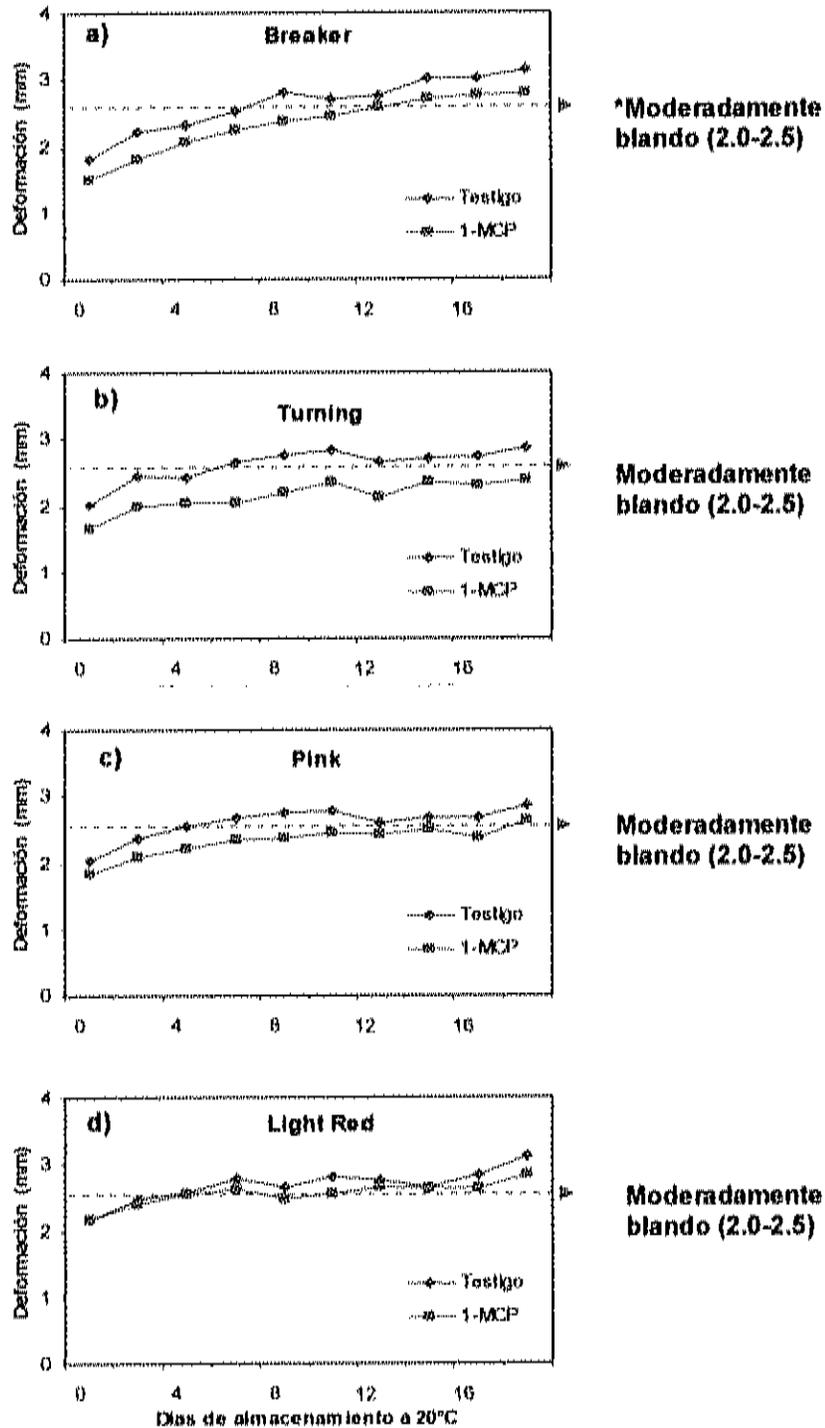


Figura 23. Firmeza en milímetros (mm) de deformación en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez a) breaker, b) turning c) pink d) light Red *(Cantwell, 1998).

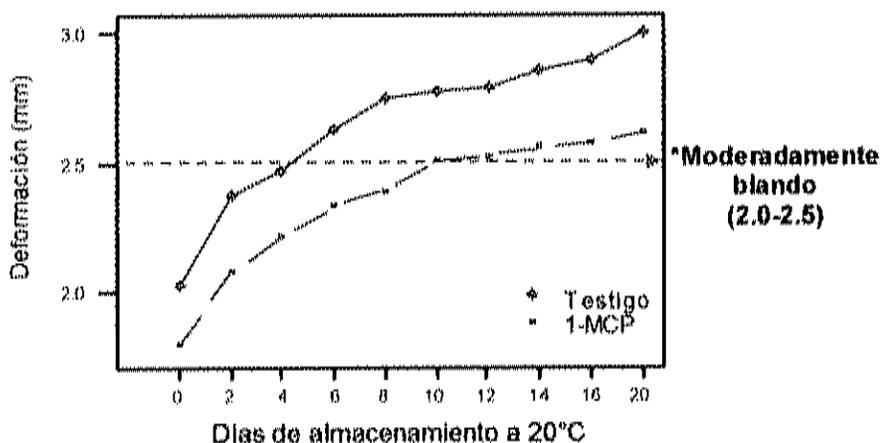


Figura 24. Interacción de los tratamientos con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez, en la variable de firmeza expresada como milímetros de deformación. *(Cantwell, 1998)

Estas diferencias pueden deberse quizás a que la actividad de las enzimas poligalacturonasas, específicamente la endopoligalacturonasa, la cual no muestra actividad en los frutos verdes sino que se activa hasta que el fruto inicia el proceso de maduración (Brady *et al.*, 1982).

Al igual que en este estudio, Raffo *et al.* (2002), mencionan que la firmeza en frutos de tomate cherry disminuye conforme avanza el estado de madurez. Así mismo Jiménez *et al.* (1996), evaluaron la firmeza en milímetros de deformación en frutos de tomate cherry en el cultivar Basketpack en cuatro estados de madurez como: turing, pink, light red y red encontrando valores de 1.31, 2.04, 2.63 y 2.65 mm de deformación para cada estado de madurez respectivamente, donde los resultados de este trabajo son similares a los de los frutos testigos.

En un estudio realizado por Hoerberichts *et al.* (2002), en tomate bola cv. Prisca en diferentes estados de madurez (mature-green, breaker y pink) tratados con 50 nL/L de 1-MCP obtuvieron después de 18 días de almacenamiento valores de 1.0 mm de deformación aplicando 3 N de fuerza en

frutos en estado breaker y de 1.2 mm en frutos en estado red. Estos valores no coinciden con lo reportado en nuestro estudio, debido tal vez, a la fuerza aplicada para evaluar la deformación y a la variedad evaluada.

Moretti *et al.* (2002), lograron retener la firmeza un 50% en frutos de tomate en estado breaker tratados con 1000 mL/L de 1-MCP por 12 horas a $22\pm 1^{\circ}\text{C}$, comparada con los frutos testigo. Aun cuando se evaluó punción, se puede observar al igual que en este estudio un retrasó en el ablandamiento de los frutos con este compuesto químico. De igual manera, Mostofi *et al.* (2003), aplicaron 250 nL/L de 1-MCP por 24 horas a 20°C en frutos de tomate en estado breaker, obteniendo un retraso en la pérdida de firmeza de 6 días en los frutos tratados, un comportamiento similares tuvieron nuestros frutos con una mayor dosis, ya que se logró retrasar la pérdida de firmeza 6 días en los frutos en estado breaker.

Báez *et al.* (2001), aplicaron en tomate roma dosis de 500 ppb de 1-MCP por 12 horas a temperatura ambiente, logrando retrasar 9 días la pérdida de firmeza en los frutos comparada con los frutos testigos. Los resultados de esta investigación difieren en el tiempo que retarda el ablandamiento, debido quizás a la variedad y a la forma de expresar esta variable, la cual fue por punción y en este estudio fue compresión, pero aun así, el efecto del 1-MCP fue evidente para mantener la firmeza en los frutos de tomate.

Color

La calidad en tomates frescos esta principalmente determinada por la apariencia (color, aspecto visual), firmeza, sabor y valor nutritivo, siendo la apariencia el atributo mas importante para los consumidores (Artes *et al.*, 1998).

Luminosidad. Esta variable representa lo luminoso del fruto, un fruto verde es más luminoso que un fruto maduro, la luminosidad es un parámetro que disminuye durante el almacenamiento en frutos de tomate.

El análisis de varianza obtenido para esta variable arrojó diferencias significativas en estado de madurez, tratamiento, tiempo, en las interacciones dobles estado de madurez por tratamiento, estado de madurez por tiempo, tratamiento tiempo con un valor $p=0.000$ (Anexo 2c).

Como se puede apreciar en la Figura 25, conforme avanza el estado de madurez, menor es la luminosidad, teniendo al día 0 valores promedio de 40 para los frutos light red y de 49 en frutos en tomates breakers. Por otro lado, la aplicación de 1-MCP, retrasó la pérdida de luminosidad aun en los frutos de madurez más avanzada (Figura 26), debido a que este compuesto retarda los efectos de la maduración (Blankenship y Dole, 2003).

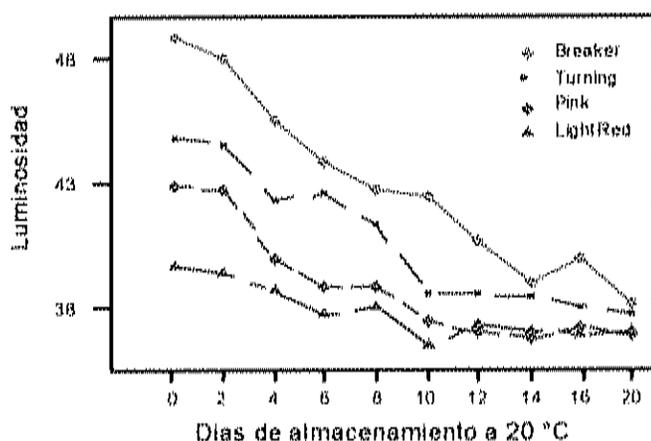


Figura 25. Interacción de los estados de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez, en la variable de color luminosidad.

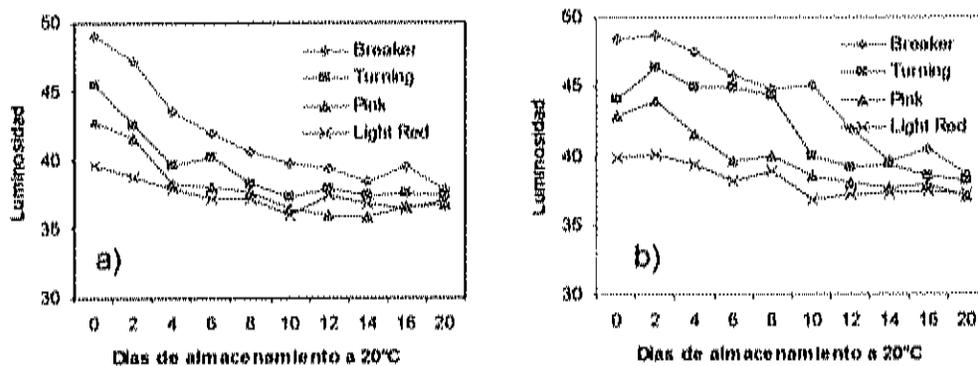


Figura 26. Luminosidad durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP.

En la Figura 27, se puede observar la luminosidad en los frutos de tomate cherry en cada estado de madurez, donde un decremento de esta variable se hace evidente conforme avanza la madurez, debido a que frutos de color rojo son menos luminosos que frutos verdes, amarillos o naranjas. El tratamiento con 1-MCP, mantiene por más tiempo mayores valores de luminosidad de los frutos tratados, en los cuatro estados de madurez breaker, turning, pink y light red presentan los valores iniciales de luminosidad de 49.1, 45.5, 42.86, 39.6 respectivamente al final del almacenamiento los valores fueron muy similares en ambos tratamientos. Jiménez *et al.* (1996), evaluaron la luminosidad en frutos de tomate cherry de dos variedades en diferentes estados de madurez reportando valores de luminosidad de 37.6 en frutos rojos, valor similar al obtenido en los frutos de este estudio al final del almacenamiento.

De manera general, conforme la madurez mas avanza menor es la luminosidad de los frutos y al aplicar 1-MCP se logra retener por más tiempo la perdida de esta variable.

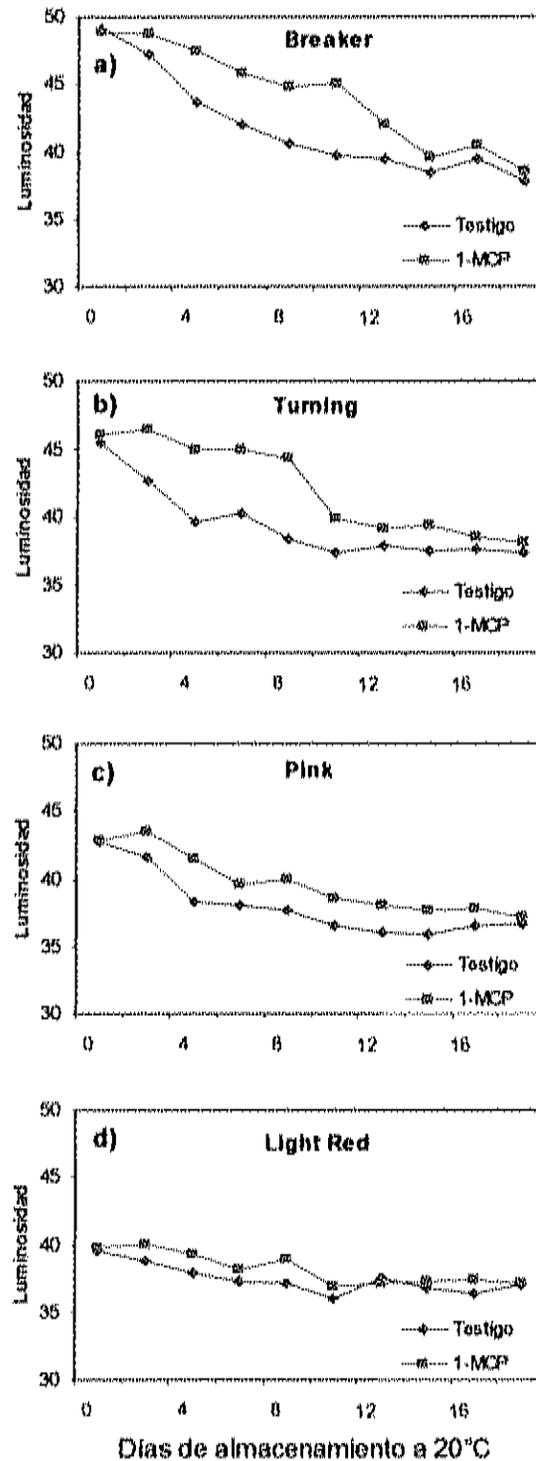


Figura 27. Luminosidad en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez. a) Breaker, b) Turning c) Pink d) Light Red

Cantwell (1998), reporta valores de luminosidad de 46.5 ± 2.7 para frutos de tomate cherry en un estado breaker, similares a los tomates de este estudio a la misma madurez con luminosidad de 49.06 y 48.40 para frutos testigos y tratados con 1-MCP, respectivamente.

Raffo *et al.* (2002), evaluaron luminosidad en tomates en diferentes estados de madurez, encontrando valores de luminosidad de 49.2 y 46.3 en el estado breaker y turning, respectivamente, estos valores son similares a los obtenidos en este estudio. Por otro lado, no se obtuvo similitud al comparar el estado de madurez pink y light red, ya que los frutos de este estudio presentaron valores de luminosidad ligeramente menores, debido quizás a la variedad evaluada o a una selección no uniforme de la madurez.

Cromaticidad. Esta variable indica la saturación o pureza del color que se presenta en frutos durante el almacenamiento.

De acuerdo al análisis de varianza para cromaticidad en los frutos de tomate cherry se presentaron diferencias significativas para los tratamientos ($p=0.020$), para los estados de madurez y tiempo ($p=0.000$), las interacciones dobles estado de madurez por tiempo y estado de madurez por tratamiento ($p=0.000$) (Anexo 2d).

En la Figura 28, se muestra el comportamiento de la cromaticidad de los frutos de tomate cherry en los diferentes estados de madurez durante el almacenamiento bajo simulación de mercadeo. En los cuatro estados de madurez, se observa un patrón similar con una tendencia a aumentar conforme avanzan los días de almacenamiento, debido al desarrollo de colores más saturados en el fruto.

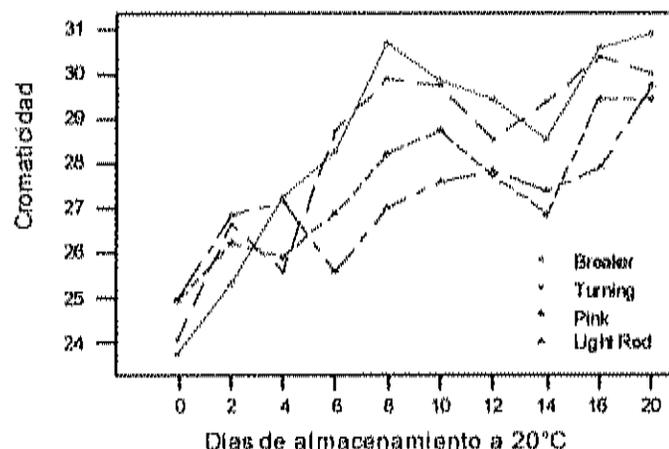


Figura 28. Interacción de los estados de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez en la variable de color cromaticidad.

La Figura 29, muestra la cromaticidad para los frutos de tomate cherry testigos y tratados con 1-MCP en cada estado de madurez, observándose una tendencia a aumentar independientemente de la madurez y el tratamiento.

Al igual que en la luminosidad, los frutos de tomate cherry tratados con 1-MCP en su madurez breaker y turning, presentaron un ligero retraso en el incremento de la cromaticidad, mostrando al final del estudio similares valores de esta variable que los frutos testigos.

Valores similares de cromaticidad se presentaron entre los frutos con madurez pink y light red tratados con 1-MCP y testigos, estos se puede deber a que la efectividad del 1-MCP se logra en frutos con madurez menos avanzada (Blankenship y Dole, 2003), logrando retrasar este proceso, mientras que en frutos parcialmente maduros (pink) este evento ya se desencadenó y el 1-MCP se vuelve poco efectivo, como se observo en la Figura 29 c y d.

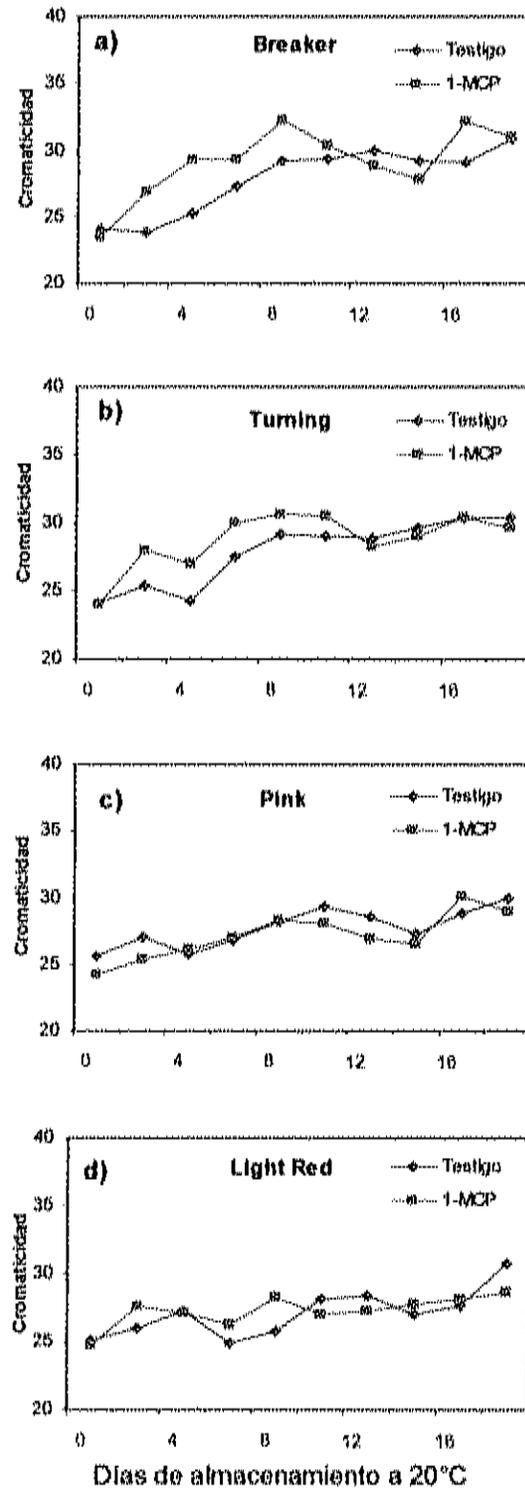


Figura 29. Cromaticidad en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez a) Breaker, b) Turning c) Pink d) Light Red

En un estudio realizado por Raffo *et al.* (2002), encontraron para frutos de tomate cherry en 4 estados de madurez ligeras variaciones en la cromaticidad entre los frutos obteniendo valores promedio de 14, los cuales se encuentran por debajo de los obtenidos en este estudio, (de 24 a 30 durante el almacenamiento a 20°C), lo que indica frutos con un color mas puro. Por otro lado, Báez *et al.* (2001), encontraron al final del almacenamiento valores de cromaticidad de 36 para frutos de tomate tratados con 1-MCP y 27 para frutos testigo, los cuales, comparados con nuestro estudio fueron mas elevados, debido quizás a la variedad.

Ángulo de Matiz. Durante la maduración se degradan clorofilas responsables del color verde y se sintetizan pigmentos como los carotenoides, responsables del color rojo en frutos de tomate (Willis *et al.*, 1998; Nuez, 1995).

Los resultados mostraron diferencias significativas en el ángulo de matiz de frutos de tomate cherry en los estados de madurez, tratamiento, tiempo, en las interacciones dobles estado de madurez tratamiento, estado de madurez tiempo, con valores $p=0.000$ en todos los análisis de varianza (Anexo 2e).

La Figura 30, muestra el comportamiento del ángulo de matiz durante el almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en distintos estados de madurez, los cuales van de colores verdes con un ángulo de matiz cercano a 100 en los tomates en estado breaker hasta valores rojos claros cercanos 50 en los light red (Figura 3, circulo de color). Esto corrobora que los frutos se encontraban efectivamente en los distintos estados de madurez clasificados por el color de la cáscara. Durante el almacenamiento a 20°C en los frutos mostrando una tendencia a reducir el angulo de matiz, hasta un color promedio de 47 °Hue, que ubica a los frutos en un color rojo según el circulo de color reportado por MINOLTA (1993).

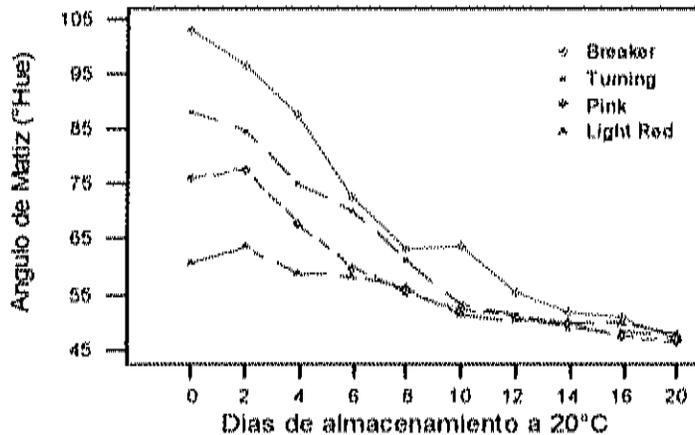


Figura 30. Interacción de los estados de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez en la variable de color ángulo de matiz (°Hue).

En la Figura 31, se observa como tanto los frutos testigos como los tratados con 1-MCP alcanzaron el color rojo característico de frutos de tomate maduros, el cual es muy apreciado por el consumidor. Los frutos de tomate en un estado breaker tratados con 1-MCP alcanzaron el color rojo hasta el día 20 de almacenamiento, contra 14 días en los frutos testigos los cuales presentaron. Mientras que en el estado de madurez light red, las diferencias en °Hue no fueron tan marcadas pero si significativas, donde los frutos de tomate cherry tratados desarrollaron los mismo valores al día 14 de almacenamiento. De acuerdo a lo observado se puede decir que el 1-MCP logró retrasar la aparición de pigmentos responsables del color rojo con mayor efectividad en los frutos en los estados de madurez menos avanzados. En un estudio realizado por Moretti *et al.* (2002), encontraron que el contenido de carotenoides en frutos tratados con diferentes dosis de 1-MCP (250, 500 y 1000 mL/L), logró retrasar la síntesis de estos pigmentos, los frutos testigo presentaron 190% mas de carotenoides que los frutos tratados con la dosis mas alta de 1-MCP, aunque en este estudio no se evaluaron estos pigmentos, se sabe que son los

responsables de la coloración roja y por lo tanto si se retrasa el cambio de color se puede asumir que la síntesis de los pigmentos se vio retardada.

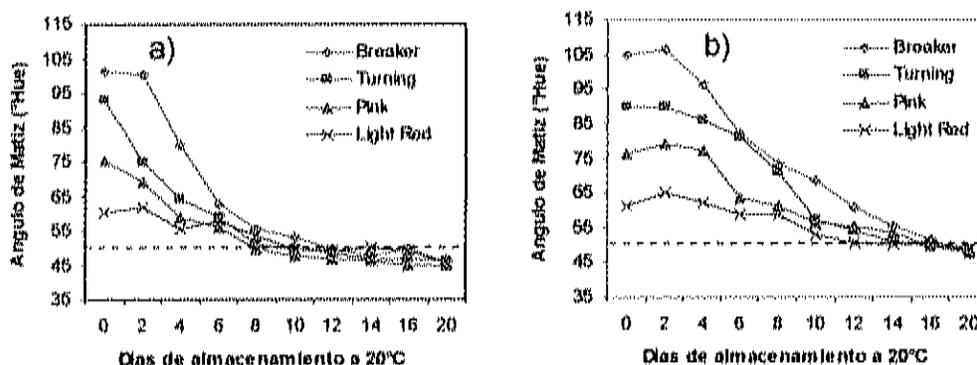


Figura 31. Ángulo de matiz durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP (La línea punteada indica los valores de °Hue para el estado de madurez red).

En la Figura 32 se observa que, aún cuando los frutos de tomate cherry tratados en los cuatro estados de madurez quedaron con un ángulo hue ligeramente mayor, a los frutos testigos, estos alcanzaron la coloración óptima para consumo, la cual es de una tonalidad roja con °Hue de 48.8.

Valores similares fueron encontrados por Mostofi *et al.* (2003), al aplicar 250 nL/L de 1-MCP por 24 horas a 20°C a frutos de tomate en estado verde maduro y posteriormente almacenados a 20°C reteniendo el cambio de color hasta el día 6, logrando el mismo color que los frutos testigos hasta el día 18 de almacenamiento, con un valor final de °Hue 49, estos valores coinciden con los encontrados en nuestro estudio a los 20 días de almacenamiento a 20°C.

Báez *et al.* (2001), realizaron un estudio en tomate roma con 500 ppb de 1-MCP logrando retrasar 9 días el cambio de color de verde a rojo comparada con el testigo. En nuestro estudio el retraso fue de 6 días para adquirir esa tonalidad, las diferencias en tiempo de retraso se deben a que la acción del 1-MCP depende de diversos factores dentro de los cuales esta la variedad.

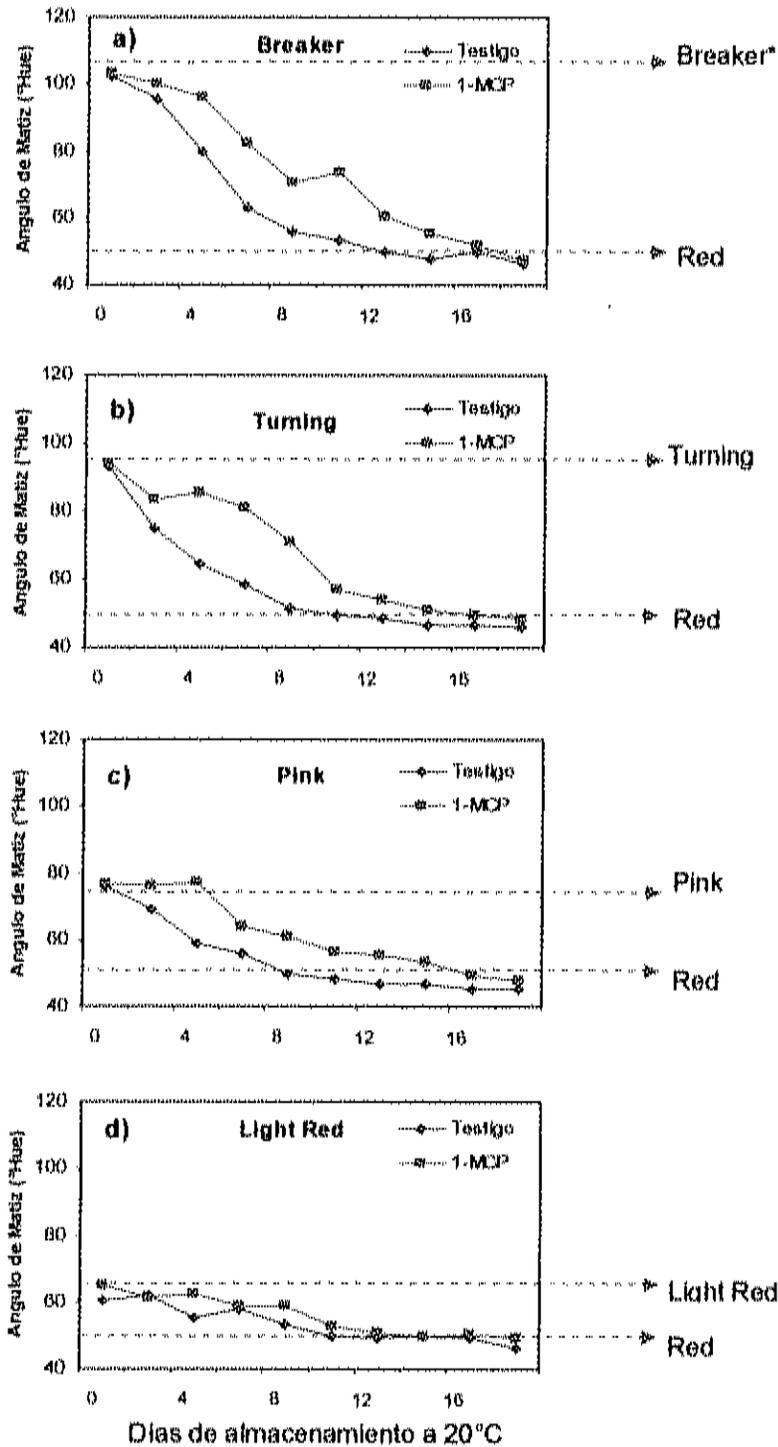


Figura 32. Ángulo de matiz ($^{\circ}$ Hue) en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez. a)Breaker, b)Turning c)Pink d)Light Red (* valores iniciales de $^{\circ}$ Hue para los frutos de tomate)

Variables Químicas

pH

El análisis de varianza para pH, mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p=0.000$), mas no entre estados de madurez ($p=0.099$), ni en la interacción estado de madurez por tiempo (Anexo 3a).

La variación del pH durante el almacenamiento de los tomates en los diferentes estados de madurez presentó un similar comportamiento, teniendo una tendencia a incrementar hasta valores de pH de 4.5-4.6 en el día 12, para posteriormente empezar a descender hasta valores de 4.3 (Figura 33).

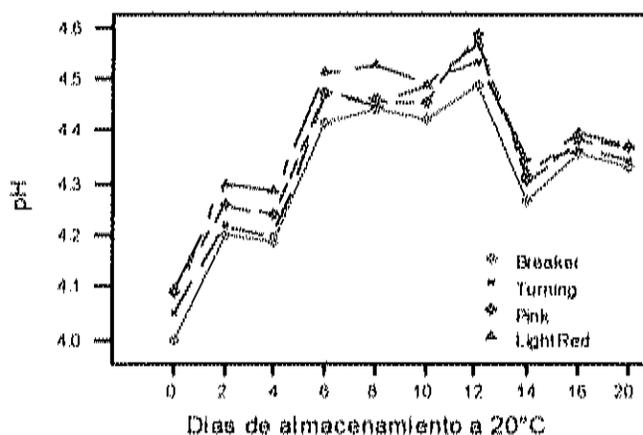


Figura 33. Interacción de los estados de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en los cuatro estados de madurez en la variable química de pH.

En la Figura 34, se observa el perfil del pH en los tomates en los distintos estados de madurez, donde la tendencia fue de aumentar hasta los días del 8 al 14 para posteriormente disminuir. Esto se puede relacionar con el proceso de respiración (Wills *et al.*, 1998).

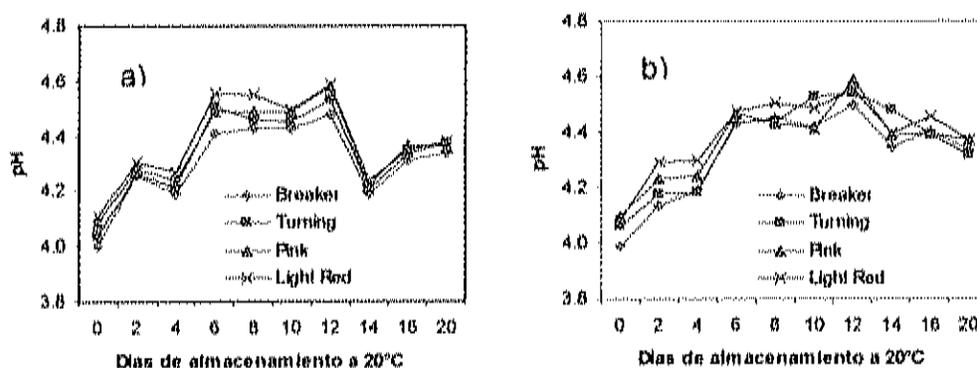


Figura 34. pH durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez. a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP

En la figura 35, se presentan los valores de pH en los frutos de tomate cherry en los cuatro estados de madurez en los tratamientos testigos y tratados con 1-MCP durante el almacenamiento bajo simulación de mercadeo. Donde se observa un comportamiento similar en todos los frutos aun con la aplicaron de 1-MCP.

Los valores de pH para tomate oscilan entre 4.0-4.8 (Nuez, 1995), por otro lado Cantwell (1998), obtuvo para frutos de tomate en estado breaker pH de 4.17 y 4.12 para frutos rojos, nuestros frutos en estado Breaker obtuvieron valores por debajo de lo reportado y los frutos rojos si presentaron valores similares. Alvarado (2003), reporta valores de pH entre 3.86-4.1, coinciden al inicio del experimento ya que aumentan hasta 4.5 y posteriormente disminuyen

Jiménez *et al.* (1996), evaluaron pH en tomate cherry en diferentes estados de madurez, encontrando un ligero incremento conforme avanza la madurez con pH de 4.08 en frutos en estado cambiante y de 4.23 en estado rojo, estos valores coinciden con el rango encontrado en este estudio que va de 3.9 hasta 4.3 aun cuando se encontraron diferencias significativas. Un cambio en pH en ese rango no afecta el sabor del fruto. En un estudio realizado por Kader *et al.* (1977), en tomate cherry encontraron valores de pH de 4.5, y en la

variedad Cal Ace cosechados en diferentes estados de madurez encontraron que conforme el fruto madura de breaker a red, el pH aumenta de valores de 4.3 a 4.65 aproximadamente, nuestro cultivar presento valores mas bajos de pH. Maul *et al.* (2000) evaluaron por 8 días a 20°C frutos de tomate en estado de madurez light red, obteniendo valores de pH de 4.76, por otro lado Artes *et al.* (1998), encontraron valores de pH de 4.05 al corte en frutos de tomate en estado breaker, lo cual coincide con los valores de este estudio en los frutos al momento del corte.

Acidez Titulable (% Ácido Cítrico)

El análisis de varianza para la acidez titulable no mostró diferencias significativas en el tratamiento ($p=0.411$), lo que resulta favorable ya que esto indica que el sabor no cambio al aplicar el 1-MCP, por otro lado los factores que presentaron diferencias significativas fueron el estado de madurez y el tiempo ($p=0.000$), en tanto que las interacción del estado de madurez con el tiempo no fueron significativas ($p=0.474$) (Anexo 3b)

En la Figura 36 se presenta el comportamiento de los estados de madurez con respecto al tiempo, observándose la misma tendencia en los cuatro estados de madurez, presentando un ligero incremento en el día 10, el cual coincide con el incremento en el pico de dióxido de carbono y de etileno. Conforme el fruto es menos maduro, más alta es la acidez, debido a que se tienen mas reservas de los ácidos orgánicos y conforme el fruto maduro estos son utilizados en el metabolismo del fruto (Kader, 2002).

La acidez titulable, representa el contenido de ácidos orgánicos, en el caso de tomate el ácido cítrico es el predominante, el cual en nuestro estudio presento una tendencia a disminuir durante el almacenamiento en los cuatro estados de madurez, disminuyendo de valores iniciales de 0.65-0.75 hasta 0.40-0.45 % de ácido cítrico.

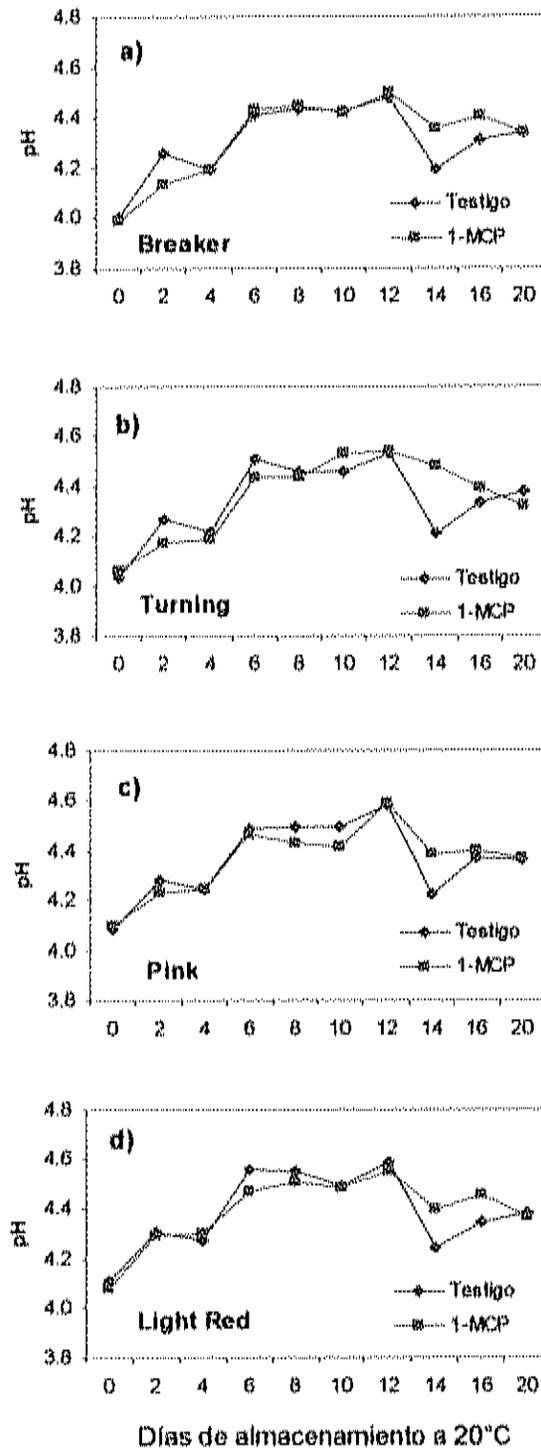


Figura 35. pH en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez a) Breaker, b) Turning c) Pink d) Light Red.

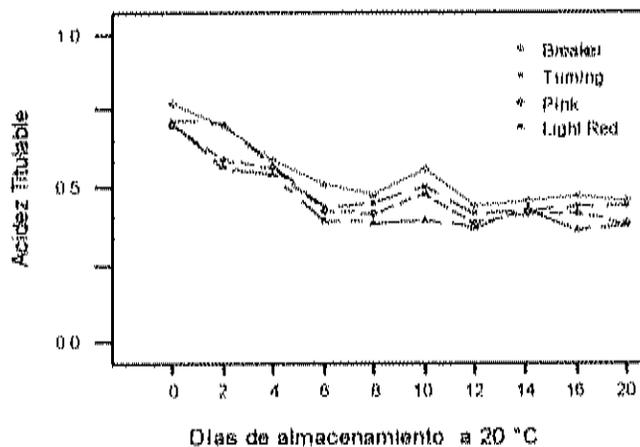


Figura 36. Interacción de los estados de madurez con el tiempo de almacenamiento a 20°C de frutos de tomate cherry en los cuatro estados de madurez, en la variable química acidez titulable expresada como ácido cítrico.

La Figura 37, nos muestra, como entre tratamientos no se presentaron diferencias significativas en cada estado de madurez, lo cual resulta favorable para nuestro tratamiento con 1-MCP, ya que además de prolongar la vida de anaquel, mantiene las características de sabor del fruto de tomate cherry. Moretti *et al* (2002), encontraron que el tratamiento con 1-MCP no afectó la acidez titulable del fruto de tomate, al igual que en este estudio.

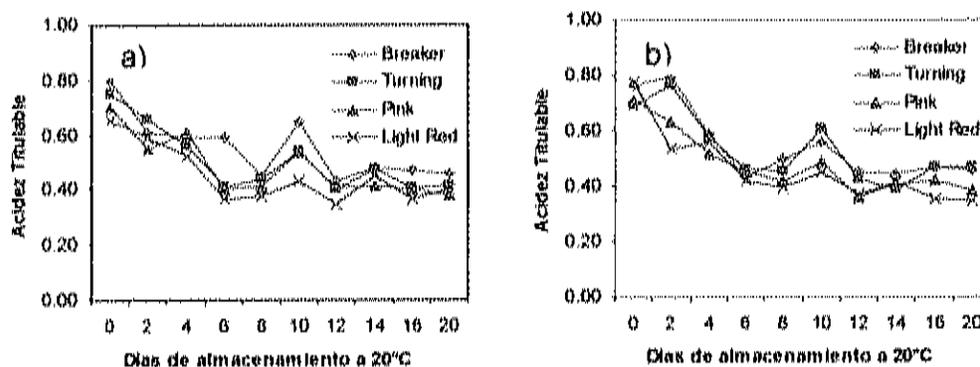


Figura 37. Acidez titulable durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez en cada tratamiento a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP.

En la Figura 38, se observa la tendencia a disminuir que presento la acidez titulable en los frutos de cada estado de madurez, debido a que conforme avanza el proceso de maduración el contenido de ácidos orgánicos presentes en el fruto tiende a disminuir (Wills *et al.*, 1998).

Maul *et al.* (2000), encontraron valores de acidez titulable de 1.17 % en frutos de tomate bola en estado de madurez light red almacenados 8 días a 20°C, estos valores se encuentran por encima de lo encontrado en este estudio, los cuales para ese día de almacenamiento presentaban valores promedio de 0.4 % en frutos de tomate cherry en estado light red, esta diferencia puede deberse al tipo de tomate evaluado. Por otro lado, Raffo *et al.* (2002), en un estudio realizado en frutos de tomate cherry cosechados en diferentes estados de madurez, reportaron valores de acidez titulable de 0.79 % para frutos breaker y de 0.69 % para frutos en un estado light red, los cuales coinciden con los encontrados en nuestro estudio, al día 0.

Wills y Ku. (2002), reportaron valores del 1.13 % de acidez titulable en frutos de tomate maduros, expuestos a 100 $\mu\text{L/L}$ de 1-MCP, los valores encontrados en nuestro estudio fueron diferentes aun en el estado mas verde, debido quizás a que se utilizó diferente dosis y variedad. Sin embargo, Moretti *et al.* (2002), encontraron valores similares a los obtenidos en este estudio al aplicar 500 ppb de 1-MCP en frutos de tomate, solamente al final del almacenamiento nuestros resultados difieren ya que la acidez disminuyo hasta valores de 0.4 %. En un trabajo realizado por Mir *et al.* (2003), en frutos de tomate, observaron que la aplicación de 1-MCP no afecto el contenido de acidez titulable, esto concuerda con nuestro estudio donde el 1-MCP no tuvo efecto en esta variable.

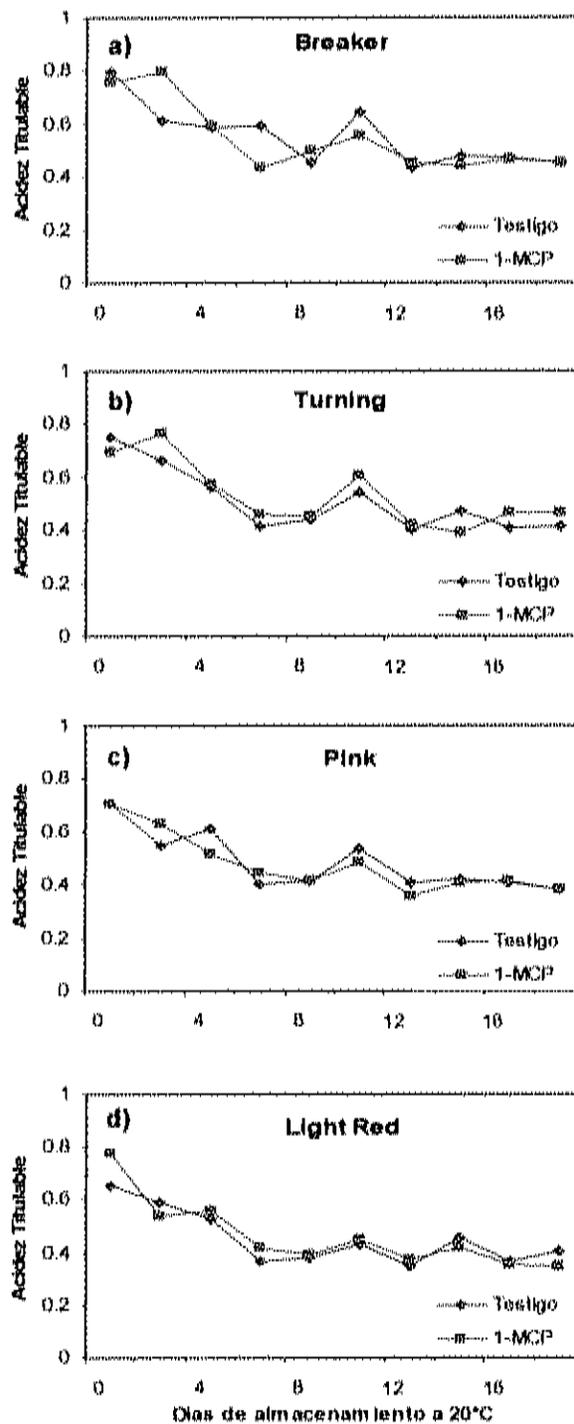


Figura 38. Perfil de la variable química acidez titulable (% Ácido Cítrico) en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez. a) Breaker, b) Turning c) Pink d) Light red.

Cantwell (1998), reporta valores de acidez de 0.39 % para frutos en estado Breaker y de 0.48 % en estado rojo, estos valores solo coinciden con los nuestros al final del almacenamiento, hay que tomar en cuenta que son diferentes variedades y de variedad en variedad se presentan diferencias en la maduración y por lo tanto en sus variables químicas que lo acompañan.

Sólidos Solubles Totales (°Brix)

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 3c), se presentaron diferencias significativas en los tres factores, estado de madurez ($p=0.000$), tratamiento ($p=0.034$) y tiempo ($p=0.000$), la interacción estado de madurez tiempo no resultó significativa ($p=0.061$).

La Figura 39, muestra los °Brix de los tomates en cada estado de madurez y tratamiento, donde se puede observar que aun cuando el estadístico resulta significativo, realmente no se afecta el sabor con la aplicación en 1-MCP, y que estas diferencias puedan deberse a la variabilidad de la muestra.

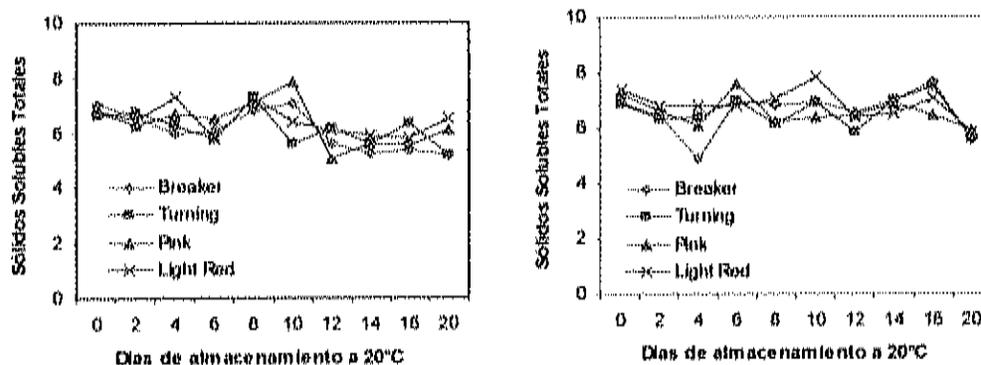


Figura 39. Sólidos solubles totales expresados como °Brix durante el almacenamiento a 20°C en frutos de tomate cherry en cuatro estados de madurez a) Tratamiento testigo b) Tratamiento con 500 ppb de 1-MCP

En un estudio realizado por Raffo *et al.* (2002), en frutos de tomate cherry encontraron valores de 5.4 hasta 7.38 desde un estado verde hasta un estado rojo, los cuales coinciden con los encontrados en este estudio que al momento de corte.

En la Figura 40, se representa el comportamiento de cada estado de madurez, donde solo hubo ligeras diferencia durante el tiempo de almacenamiento a 20°C, además se aprecia como los sólidos solubles totales se mantuvieron en un rango de 7 y 5 °Brix.

Maul *et al.* (2000), reportan valores de sólidos solubles (°Brix) de 3.73 después de 8 días de almacenamiento a 20°C en frutos de tomate. Artes *et al.* (1998), analizaron tomates en estado breaker al día de cosecha encontrando valores de sólidos solubles totales de 5.3, estos valores no coinciden con los nuestros en similares condiciones, debido tal vez por la variedad o por el manejo poscosecha.

Moretti *et al.* (2002), encontraron valores de 3.75 y 4.2 °Brix como mínimos y máximos, en frutos de tomate bola tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP (250, 500 y 1000 ppb), los cuales fueron menores a los obtenidos en nuestro estudio oscilando de 7.2 a 5.4 °Brix, esta diferencia puede deberse a la variedad ya que los tomates cherry tiene mayor contenido de sólidos solubles totales.

Variable Nutricional

Vitamina C

El contenido de vitamina C reportado es el total, obtenido una vez reducido todo el ácido dehidroascórbico que se había formado durante el almacenamiento y el proceso de extracción.

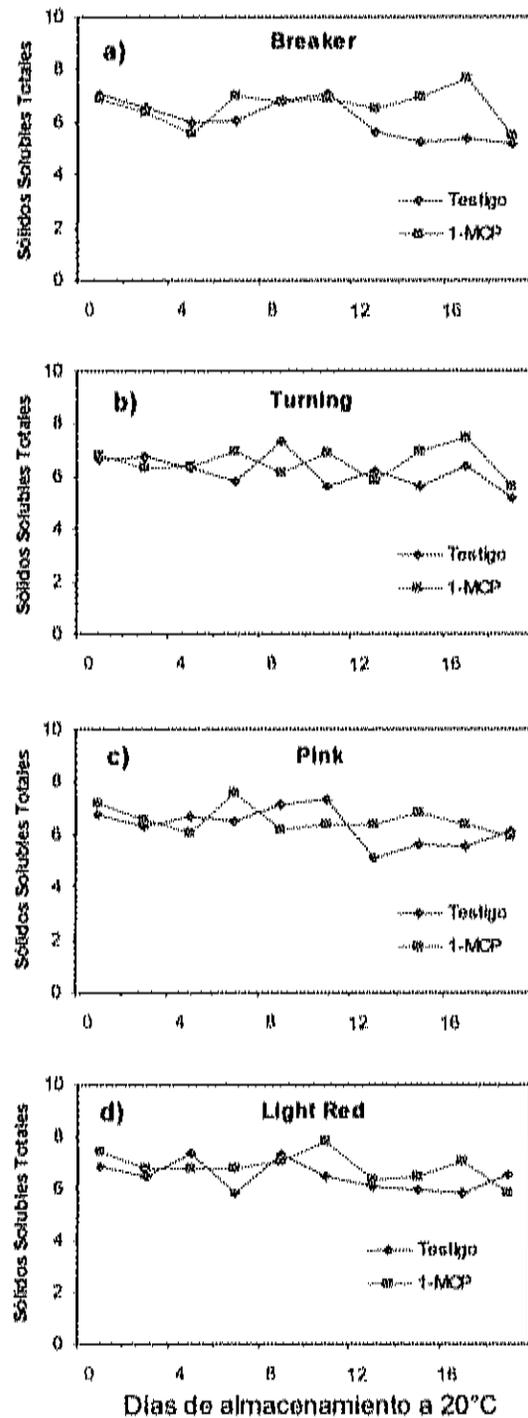


Figura 40. Perfil de la variable química sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez a) Breaker, b) Turning c) Pink d) Light red

El tiempo de retención resultante de este compuesto fue de 4.8 minuto a un flujo de 0.5 mL/min, lo cual fue corroborado con la inyección de dos estándares de ácido ascórbico a diferentes concentraciones (Figura 41). Además se obtuvo un 96.7 % de recuperación en la técnica de extracción descrita por Gökmen *et al.*, (2000).

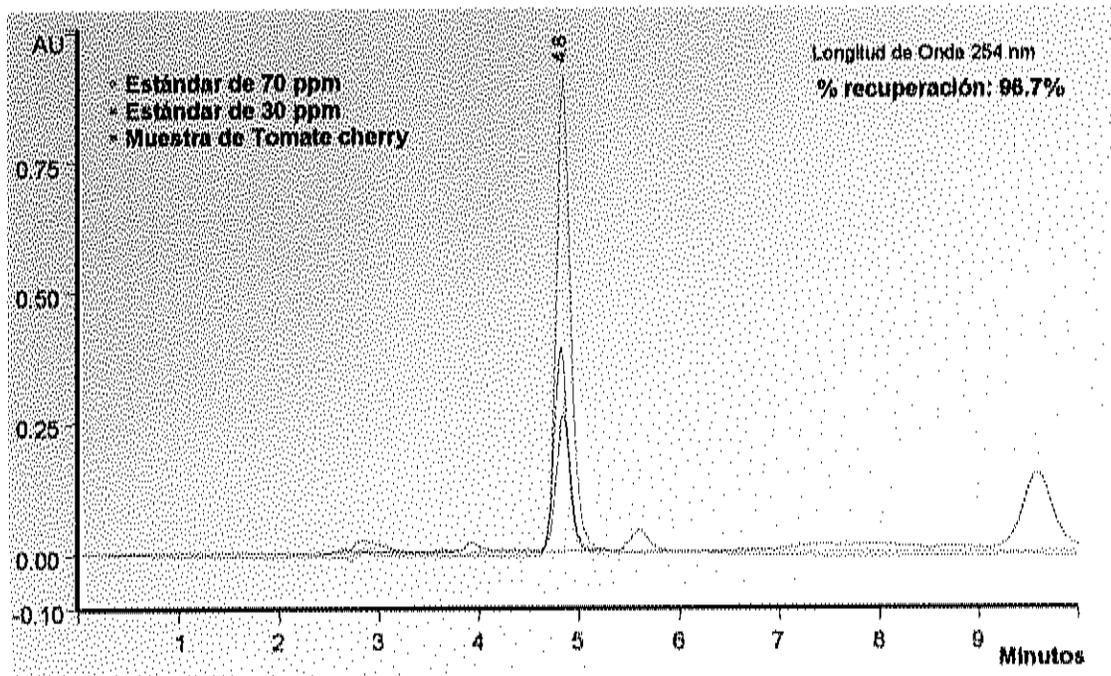


Figura 41. Cromatograma del contenido de vitamina C de una muestra de tomate contra un estándar de ácido ascórbico con un tiempo de retención de 4.8 min.

El análisis de varianza para el contenido de vitamina C total mostró diferencias significativas en los factores de estados de madurez, y tiempo con valores $p=0.000$, el tratamiento no resultó significativo. Por otro lado la interacción estado de madurez por tiempo resultó significativa ($p=0.000$) (Anexo 4a).

De acuerdo a los resultados, el tratamiento con 1-MCP no afectó el contenido de vitamina C, pero si es diferente entre cada estado de madurez durante el almacenamiento a 20°C.

Los niveles de vitamina C encontrados en los frutos tratados con 500 ppb de 1-MCP en estado breaker, presentaron valores ligeramente más altos, aun cuando no se encontraron diferencias significativas por efecto del tratamiento encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos, el tiempo y en la interacción tratamiento por tiempo.

El contenido de vitamina C se retuvo con la aplicación de 1-MCP obteniendo valores máximos de 26.55 mg/100g, comparado con 22.8 mg/100g de vitamina C en frutos testigos (Figura 42) en el estado turning. El comportamiento general fue incrementar el contenido de vitamina C hasta el día 12, posteriormente empezó a disminuir. Este incremento coincide con los cambios en el pico del etileno, además del cambio más evidente en color.

En el estado de madurez pink, la tendencia del contenido de vitamina C en frutos de tomate cherry almacenados a 20°C con aplicación de 1-MCP, mostraron valores máximos de 28.59 y 22.94 mg/100g para frutos tratados y testigos respectivamente. En el estado light red la tendencia fue distinta a la presentada en los demás estados de madurez, presentándose un decremento desde el día 0, descendiendo hasta valores de 23.78 mg/100g de vitamina C.

En el estado light red se observó, un efecto notable del 1-MCP, ya que la mayoría del ácido ascórbico se había degradado, comparada con los frutos testigos. Pero el mayor contenido inicial de vitamina C se encontró en frutos en madurez light red. Betancourt *et al.* (1977), analizaron el contenido de vitamina C en frutos en un estado breaker y los almacenó a 20°C, encontrando que el analizado directamente de la planta contenía mayor vitamina C, este resultado coincidió con lo obtenido en este estudio.

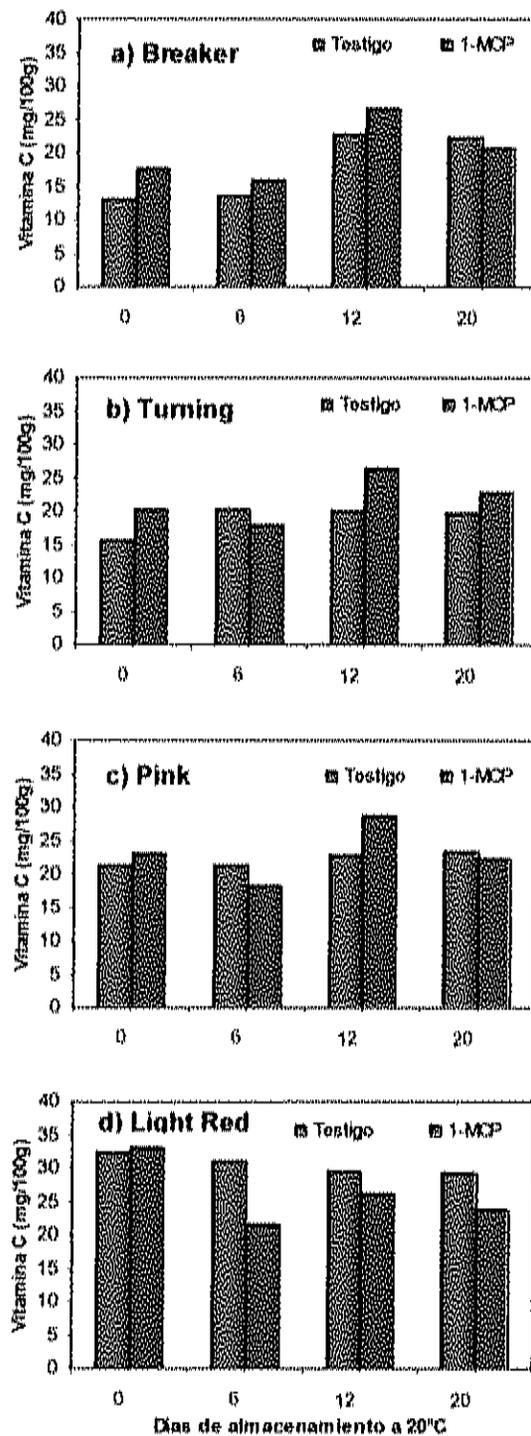


Figura 42. Perfil del contenido de vitamina C en frutos de tomate cherry testigos y tratados con 500 ppb de 1-MCP en cada estado de madurez. a) Breaker, b) Turning c) Pink d) Light red

De acuerdo a los valores de vitamina C obtenidos en los frutos en cada estado de madurez se puede decir que el efecto del 1-MCP fue dependiente del estado de madurez, observándose un incremento en el contenido de vitamina C conforme se da la maduración.

Cantwell (1998), reportó valores de vitamina C de 18.0 mg/100g en frutos de tomate en estado breaker y de 22.5 mg/100g en red, estos valores son menores a los obtenidos en este estudio, esta diferencia puede deberse a la variedad ya que los frutos de tomate cherry presentan un mayor contenido de vitamina C que el tomate bola según lo reportado por Benton en 1999.

Desde hace mucho tiempo existe la controversia del comportamiento de la vitamina en poscosecha y definitivamente va a depender del fruto del que se estudie. Además, otros factores que afectan su contenido es el estado de madurez, manejo poscosecha y tipo de cultivar, por ejemplo Fryer *et al.*, (1954), realizaron un análisis en tomate en diferentes estados de madurez y encontraron que el contenido de ácido ascórbico aumentaba con la maduración. Mismo comportamiento reporto Tanamachi (2002), en diferentes híbridos de tomate, encontrando un incremento conforme el fruto madura y un posterior decremento en las etapas de senescencia (cuando empiezan a consumirse las reservas para el metabolismo del fruto), estos resultados coinciden con los obtenidos en este estudio.

Por otro lado, en un estudio realizado por Raffo *et al.* (2002), en tomate cherry cosechado en diferentes etapas de madurez, no encontraron diferencias significativas en el contenido de vitamina C entre los frutos con valores promedios de 13.5 mg/100g para un estado de madurez breaker y conforme se avanza la madurez (estado red) el contenido disminuye hasta 11.0 mg/100g, estos valores son diferentes a los obtenidos en nuestro estudio quizás debido a que difieren variedad, origen, tipos de cosecha. Además, de las condiciones para determinar el contenido de vitamina C fueron diferentes (columna, cromatógrafo, flujo y manejo de la muestra).

De acuerdo a los valores de vitamina C obtenidos en los frutos en cada estado de madurez se puede decir que el efecto del 1-MCP fue dependiente del estado de madurez, observándose un incremento en el contenido de vitamina C conforme se da la maduración.

Cantwell (1998), reportó valores de vitamina C de 18.0 mg/100g en frutos de tomate en estado breaker y de 22.5 mg/100g en red, estos valores son menores a los obtenidos en este estudio, esta diferencia puede deberse a la variedad ya que los frutos de tomate cherry presentan un mayor contenido de vitamina C que el tomate bola según lo reportado por Benton en 1999.

Desde hace mucho tiempo existe la controversia del comportamiento de la vitamina en poscosecha y definitivamente va a depender del fruto del que se estudie. Además, otros factores que afectan su contenido es el estado de madurez, manejo poscosecha y tipo de cultivar, por ejemplo Fryer *et al.*, (1954), realizaron un análisis en tomate en diferentes estados de madurez y encontraron que el contenido de ácido ascórbico aumentaba con la maduración. Mismo comportamiento reporto Tanamachi (2002), en diferentes híbridos de tomate, encontrando un incremento conforme el fruto madura y un posterior decremento en las etapas de senescencia (cuando empiezan a consumirse las reservas para el metabolismo del fruto), estos resultados coinciden con los obtenidos en este estudio.

Por otro lado, en un estudio realizado por Raffo *et al.* (2002), en tomate cherry cosechado en diferentes etapas de madurez, no encontraron diferencias significativas en el contenido de vitamina C entre los frutos con valores promedios de 13.5 mg/100g para un estado de madurez breaker y conforme se avanza la madurez (estado red) el contenido disminuye hasta 11.0 mg/100g, estos valores son diferentes a los obtenidos en nuestro estudio quizás debido a que difieren variedad, origen, tipos de cosecha. Además, de las condiciones para determinar el contenido de vitamina C fueron diferentes (columna, cromatógrafo, flujo y manejo de la muestra).

Selvarajah *et al.* (2001), encontraron que la aplicación de 0.1 ppm de 1-MCP retrasa la degradación del contenido de vitamina C. Los frutos tratados con 1-MCP tardaron 4 semanas en alcanzar los niveles máximos alcanzados por los frutos testigos. En nuestro estudio dependiendo del estado de madurez fue la respuesta al 1-MCP manteniendo en los frutos en madurez pink niveles de vitamina C ligeramente superiores que el testigo en el estado pink, no así para los estados breaker, turning y light red, en los cuales los niveles fueron ligeramente inferiores.

CONCLUSIONES

1. El contenido de vitamina C en frutos de tomate cherry al momento del corte varia dependiendo del estado de madurez, siendo mayor en estados de madurez mas avanzados y conforme el fruto es más verde es menor el contenido de vitamina C.
2. El contenido de vitamina C en frutos de tomate cherry se incrementa durante el almacenamiento en frutos cosechados en estados de madurez breaker y turning al final del almacenamiento, mientras que los frutos cosechados en estado pink aumentaron ligeramente su contenido y por ultimo los frutos cosechados en estado de madurez light red mantuvieron su contenido de vitamina C durante el almacenamiento bajo simulación de mercadeo.
3. La aplicación de 500 ppb de 1-MCP mantuvo los niveles de vitamina C en los frutos cosechados en los cuatro estados de madurez al final del almacenamiento a 20°C.
4. La aplicación de 500 ppb de 1-MCP fue efectiva en retrasar 6 días el ablandamiento del fruto, el cambio de color que se presenta de un estado de madurez breaker a red se presento 6 dias después en los frutos tratados comparados con los frutos testigo, la acidez titulable y el pH no se ven afectados con la aplicación de 1-MCP, los sólidos solubles totales tienden a disminuir ligeramente. La respuesta en los cambios fisiológicos de los frutos tratados con 500 ppb se presentan dependiendo del estado del estado de madurez.

LITERATURA CITADA

Abeles F.B., Morgan P.W., and Salviet, Jr M.E. 1992. Fruit ripening, abscission, and postharvest disorders. In: Ethylene in plant biology. 2da edition, Academic Press Inc. Harcourt Bruce Javonovich, publisher. p 182-221

Abbott J.A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology Vol. 15: 207-225.

Abushita A.A., Daood H.G., and Biacs P.A. 2000. Changes in carotenoides and antioxidants vitamins in tomato as a function of varietal and technology factors. J. Agric. Food Chem. Vol.48: 2075-2081.

Ahrens M., and Hubner D.J. 1990. Physiology and firmness determination of ripening tomato fruit. Physiology Plantarum Vol. 78: 8-14.

Alvarado H.M. 2003. Control de la maduración en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) mediante el uso de etileno y 1-MCP. Tesis de Maestría, CIAD Unidad Culiacán. Culiacán Sinaloa México. p1-72.

Araiza E., Siller J., Baez M., Garcia R., Heredia B., y Sanchez E. 1997. Maduración de frutos de tomate de larga vida de anaquel. Resumen CIAD. Culiacán, Sin. p 3-4.

Artes F., Sanchez E., and Tijskens 1998. Quality and shelf life of tomatoes improved by intermittent warming. Lebensm. Wiss. u.- Technol., Vol. 31: 427-431.

AOAC., 1998. Oficial methods of analysis. 14 th ed. Association of analytical chemists. Washington D.C.

Alexander, L., and Grierson D. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany*, Vol.53: 2039-2055.

Arrigoni O. and De Tullio M.C., 2000. The role of ascorbic acid in cell metabolism: between geg-directed functions and unpredictable chemical reactions. *Journal. Plant. Physiology*. Vol. 157: 481-488.

Azcon-Bieto, J. y Talon, M. 1993. Fisiología y bioquímica vegetal. Editorial McGraw Hill Interamericana de España. Madrid España.

Badui, D. S. 1997. Vitaminas en: Química de los Alimentos. Tercera edición. Editorial Alhambra Mexicana, México D.F.: p. 89-94,213-223.

Baez, S.M., Siller J., Muy D., Araiza E., Contreras L. y Sañudo A. 2001. Smartfresh: Una novedosa tecnología para extender la vida de anaquel en tomate. *Tecnología de Alimentos* Vol. 36: 7-11.

Baez, S.M., J. Siller, J.B. Heredia, T. Portillo, E. Araiza, E. Garcia y M.D Muy. 1997. Fisiología poscosecha de frutos de chicozapote durante condiciones de mercadeo. *Interamerican. Society. Tropical Hortscience*. Vol. 41:209-214

Barret D.M., García E., and Wayne J. E. 1998. Textural modification of processing tomatoes. *Critical Reviews on Food Science ans Nutrition* Vol.38 p 173-258.

Barry C.S., Llops-Tous I., and Grierson D. 2000. The regulation of 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic acid synthase gene expression during the transition from system-1 to system-2 ethylene synthesis in tomato. *Plant Physiology* Vol. 123: 979-986.

Baritelle A.L., Hyde G.M., Fellman J.K., and Varlth J 2001. Using 1-MCP to inhibit the influence of ripening on impact properties of pear and apple tissue. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 23: 153-160.

Bartoli C.G., Pastori G.M., and Foyer C.H. 2000. Ascorbate biosynthesis in mitochondria is linked to the electron transport chain between complexes III and IV. *Plant Physiology* Vol. 123: 335-343.

Benton J. 1999. *Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse, and Home Garden*. Ed. CRC Press. Washington D.C.

Betancourt L.A., Stevens M.A., and Kader A. 1977. Accumulation and loss of sugars and reduced ascorbic acid in attached and detached tomato fruits. *J. Americ. Soc. Hort. Sci.* Vol. 102 (6): 721-723.

Blankenship S.M. 2001. Ethylene effects and the benefits of 1-MCP. *Perishable Handling Quarterly*, Nov. Issue No. 108. Postharvest Research and Information Center. University of California, Davis. p 2-4

Blankenship S.M. and Dole J.M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 28: 1-25.

Bleecker A.B. and Kende H. 2000. Ethylene: A gaseous signal molecule in plants. *Annu. Rev Cell Dev. Biology*. Vol. 16: 1-18.

Block G. 1991. Vitamin C and cancer prevention: the epidemiologic evidence. Amer. J. Clin. Nutr. Vol. 53(1): 270S-282S

Bourne, M.C. 1980. Texture evaluation of horticultural crops. HortScience Vol. 15 (1): 51-57.

Brady C.J., MacAlpine G. McGlasson W.B. and Ueda Y. 1982. Polygalacturonasa in tomato fruits and the induction of ripening. Aust J. Plant Physiol. Vol. 9: 171-178.

Brecht, J.K. 1987. Locular gel formation in developing tomato fruit and the initiation of ethylene production. HortScience. Vol.22: 476-479

Brin, M. 1982. Ascorbic Acid: chemistry, metabolism and uses. Adv. Chem Ser. 200, Amer. Chem Soc., p 369-377.

CAADES 2002. Confederación de Asociaciones de agricultores del estado de Sinaloa. Reporte estadístico del ciclo de siembra 2000-2001.

Cantwell, M. 1998. Procedimiento optimo para la maduración de tomates (jitomates). En: Maduración de frutos procedimientos y recomendaciones. Postharvest Horticulture Serie No.9 . Postharvest Outreach Program. Department of pomology University of California Davis, California 95616. p31-32D.

Carr, A. and Frei B. 1999. Does vitamin C act as a prooxidant under physiological conditions?. The FASEB journal Vol. 13: 007-1024.

Cathcart, R.F. 1991. A Unique Function of Ascorbate. *Medical Hypothesis* Vol.35: 32-37.

Chan, SWY and Read PC. 1998. The role of ascorbic acid in oral cancer and carcinogenesis. *Oral Diseases* Vol. 4: 120-129.

Chang, C., Kwok SF., Bleecker AB., and Meyerowitz EM. 1993. Arabidopsis ethylene response gene ETR1: similarity of product to two-component regulators. *Science* Vol. 262: 539-544.

Chamarro, L.J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. En Nuez V.F., 1995. El cultivo del tomate, Ed. Mundi-Prensa, España Capítulo 2, p 44-90.

CNPH, 2002. Confederación Nacional de Productores Hortícolas. Cierre de temporada 2001-2002. Culiacán, Sinaloa, México. p 1-30

Csala, M., Braun L., Mile V., Kardon T., Szarka A., Kupcsillik P., Mandl J., and Banhegyi G. 1999. Federation of European Biochemical Societies. Vol. 460: 539-543.

Davey, M.W., Gilot C., Persiau G., Ostergaard J., Han Y., Bauw G.C., and Van Montagu M.C. 1999. Ascorbate Biosynthesis in Arabidopsis Cell Suspension Culture. *Plant Physiology*. Vol. 121: 535-543

DeEil, J.R, Murr D.P, Porteous M.D., and Vasantha-Rupasinghe H.P. 2002. Influence of temperature and duration of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) treatment on apple quality. *Postharvest biology and Technology*. Vol. 24: 349-353.

De Gara L, Paciolla C, Tommasi F, Liso R, Arrigioni O. 1994. In vivo inhibition of galatono- γ -lactone conversion to ascorbate by lycorine. *Journal of Plant Physiology* Vol.144: 649-653.

Del caro, A., Piga A., Vacca V., and Agabbio M. 2004. Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. *Food Chemistry* Vol. 84: 99-105.

Department of Health 1991. Dietary referent values for food energy and nutrients for the United Kingdom. London HMSO

Díez, N.M.J. 1995. Tipos varietales. En: *El cultivo del tomate*, Nuez V.F. Capitulo 3 Ed. Mundi-Prensa, España. p 95-129.

Doner, L.W. and Hicks K.B. 1981. High-performance liquid chromatographic separation of ascorbic acid, dehydroascorbic acid, and diketogluconic acid. *Analytic Biochemistry*. p. 15-45.

Dong, L., Lurie S., and Zhou H. 2002. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums. *Postharvest Biol. Technol.* Vol.24:135-145.

Dorais, M., and Papadopoulos A.P. 2001. Greenhousee Tomato Fruti Quality. *Horticultural Reviews*, Vol 26: 239-319.

Douglas, RM, Chalker EB and Treacy B. 2000. Vitamin C for preventing and treating the common cold. *Cochrane Database Syst Rev* , 2:CD000980.

Esquinas A. J., and Nuez V.F. 1995. Situación taxonomica, domesticacion y difusión del tomate. Capítulo 1. En: El tomate, Nuez V.F., 1995. Mundi-Prensa, España, p 15-41.

Fan X., and Matthels, J.P. 2000. Reduction of ethylene-induced physiological disorders of carrots and iceberg lettuce by 1-methylcyclopropene. HortScience Vol. 35 p 1312-1314..

FAO 1993. Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Colección FAO: Capacitación, N° 17/2) ISBN 92-5 302766-5 Código FAO: 17 AGRIS: J11.

FAOSTAT 1999. Food and Agriculture Organization of the United Nation. FAO. Statical database Copyright FAO 1990-1999.

FAO, 2003. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Statical database Copyright FAO 1990-2002.

Fennema, Owen R. 1993. Química de los Alimentos. Editorial Acribla S.A. Segunda edición. p. 81-86.

Feng, X., Apelbaum, A., Sisler, E. C., Goren, R. 2000. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. Postharvest Biology and Technology 20:143-150.

Food and Nutrition Board. 1980. Recommended Dietary Allowances, 9th ed., pp. 72-82. Washington D.C. National Academy Press.

Forti G. and Eill G. 1995. The function of ascorbic acid in photosynthetic phosphorylation. Plant Physiology Vo. 109 p 1207-1211.

Foyer C.H. 2000. Ascorbic Acid. In: Alscher RG, Hess JL, eds. Antioxidants in higher plants. Boca Raton: CRC Press, p 31-58.

Franck C., Baetens M., Lammerty n J., Verboven P., Davey M.W., and Nicolai B.M. 2003. Ascorbic acid concentration in cv. Conference pears during fruit development and postharvest storage. J. Agric. Food Chem. Vol. 51 p 4757-4763.

Fryer H.C., Ascham L., Cardwell A.B., Frazier J.C., and Willis W.W. 1954. Relation between stage of maturity and ascorbic acid content of tomatoes. American Society for Horticultural Science. P 365-371.

Glionnoni J.J., DellaPenna D., Bennett A.B., and Fischer R.L., 1992. Polygalacturonase and tomato fruit ripening. Hort. Rev. Vol.13 p 67-103

Gökmen V., Kahraman N., Demir N., and Acar J. 2000. Ezymatically validated liquid chromatographic method for the determination of ascorbic and dehydroascorbic acids in fruits and vegetables. Journal of Chromatography A. Vol. 881 p 309-316.

Hancock R.D, and Viola R. 2002. Biotechnological approaches for L-ascorbic acid production. TRENDS in Biotechnology Vol. 20(7) p 299-305.

Harderburg R., Watada A.E, and Wang Ch. Y. 1990. The commercial storage of fruits, vegetables, florist and nursely stocks. USDA, p 6-27

Harris D.R., Seberry J.A. Wills RBH., and Spohr L.J. 2000. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methycyclopropene to delay the ripening of banana. Postharvest Bol. Technol. Vol.20 p 303-308.

Harvey M.A., Mittova V., Kiddle G., Heazlewood J., Bartoli C.G., Theodoulou L., and Foyer C. 2003. Control of Ascorbate Synthesis by Respiration and Its Implications for Stress Responses. *Plant Physiology*, Vol. 133, p. 443–447.

Henshall, J.D. 1981. In *Vitamin C (Ascorbic Acid)*, eds. J.N. Counsell & DH Horning, London: Applied Science Publishers Ltd. 87-123.

Hirayama T, and Alonso J.M. 2000. Ethylene captures a metal! Metal ions are involved in ethylene perception and signal transduction. *Plant Cell Physiol*. Vo. 41 p 548-555.

Hoeberichts F.A., Van Der Plas L.H.W., and Woltering E.J. 2002. Ethylene perception is required for the expression of tomato ripening-related genes and associated physiological changes even at advanced stages of ripening. *Postharvest Biology and Technology* Vol. 26 p 125-133.

Howard PA, and Meyers DG. 1995. Effect of vitamin C on plasma lipids. *Ann Pharmacother*, Vol. 29: p 1129-1136 .

Jeong J., Huber D.J., and Sargent S.A. 2002. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysacchrides of avocado (*Persea americana*) fruit. *Postharvest Biology and Technology* Vol. 25 p 241-256.

Jiang YM, Joyce DC and Macnish AJ. 1999. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. *Postharvest Biology and Technology* Vol.16, 187-193

Jimenez M., Trejo E., and Cantwell M. 1996. Cherry tomato storage and quality evaluations. University of California. Vegetable research reports.

Johnson P.R. and Ecker J.R 1998.The ethylene gas signal transduction pathway: A molecular perspective. Annu. Rev. Genet. Vol.32 p 227-254.

Joyce, D., Beasley D., Macnish A., and Taylor M. 2000. Recent progress in postharvest and disease control for cut flowers. <http://pathfastpublishing.com>

Kader, A.A., Stevens M.A., Albright-Holten M., Morris L.L., and Algazi M. 1977. Effect of fruit ripeness when picked on flavour and composition in fresh market tomatoes. J. Am. Soc. Hortic. Sci. Vol. 102 p 724-731.

Kader A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. Third Ed. Division of agriculture and natural resources. University of California, Davis

Kallio H., Yang B., and Peippo 2002. Effects of different origins and harvesting time on vitamin C, tocoferol, and tocotrienols in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berries. J. Agric. Food. Chem. Vol. 50 p 6136-6142.

Kinet J.M and Peet M.M. 1997. Tomato. In: The physiology of vegetables crops, ed. Wien. CAB International. P 207-245

Klein, P.B., Kurilich, C.A. 2000. Processing effects on dietary antioxidants from plant foods. HortScience, Vol.35(4):580-584

Kostman T.A., Tarlyn N.M., Loewus F.A., and Franceschi V.R. 2001. Biosynthesis of L-ascorbic acid and conversion of carbons 1 and 2 of L-ascorbic

acid to Oxalic occurs within individual calcium oxalate. *Plant Physiology* Vol. 125 p 634-640.

Ku V.V.V, Wills R.B.H. and Ben-Yehoshua S. 1999. 1-Methylcyclopropene can differentially affect the postharvest life of strawberries exposed to ethylene. *HortScience*, Vol. 34 p 119-1120.

Lee, S.K. and Kader, A.A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* Vol. 20, p. 207-220.

Lelièvre, I.M., Latché, A., Jones, B., Bouzayeun, M., Pech, I.C. 1997. Ethylene and fruit ripening. *Physiology Plantarum*, Vol. 101, p. 727-739.

Lester E.G. and Crosby M.K. 2002. Ascorbic acid, folic acid, and potassium content in postharvest green-flesh Honeydew muskmelon: Influence of cultivars; fruit size, soil type and year. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol 127 (5) p 843-847.

Levine, M., Rumsey,S.C., Daruwala, R., Park, J.B., and Wang, Yahohui. 1999. Criteria and recommendations for vitamin C intake. *J. Amer. Med. Assoc.*, Vol. 281. No.15 P 1415-1423.

Liang, Y., Lu J., and Shang S. 1996. Effect of gibberellins on chemical composition and quality of tea (*Camellia sinensis* L.). *J. Sci. Food Agric.*, Vol. 72 p 267-270.

Lisiewska, Z., and Kmiecik W. 1996. Effect of levels of nitrogen fertilizer, processing conditions and periods of storage for frozen broccoli and cauliflower on vitamin C retention. *Food Chem.* Vol. 57 p 267-270.

Loewus FA, and Loewus MW. 1987. Biosynthesis and Metabolism of ascorbic acid in plants Crit. Rev. Sci. Vol.5: p 101-119.

Macnish AJ., Joyce DC., Simmons DH and Hofman PJ. 1999. Native cut flower. Extending postharvest life using 1-MCP treatment. Rural Industries Research and Development Corporation. No. 99/155.

May J.M, 1999. Is ascorbic acid an antioxidant for the plasma membrane?. The FASEB Journal, Vol. 13 P 995-1006

Mapson L.W. 1970. Vitamins in fruits. In: The biochemistry of fruits and their products Ed. A.C. Hulme. Academia press, London N.Y. Vol. 1 p 369-386.

Maul E., Sargent S.A. Sims C.A., Baldwin E.A., Balaban M.O. and Huber D.J. 2000. Tomato flavor and aroma quality as affected by storage temperature. Journal of Food Science Vol. 65 No. 7, p1228-1237

Minolta 1993. Caracterización precisa del color (control del color desde la percepción sensorial a la instrumentación). E-537205. Alemania. p. 1-21.

Mir, N. Canoles, M., Beaudry, R., Baldwin, E., and Mehla C. 2003. Inhibiting tomato ripening with 1-Methylcyclopropene. Amer. Hort. Scie

Moretti C.L., Araujo A.L.A, Marouelli W.A and Silva W.L.C. 2002. 1-Methylcyclopropene delays tomato fruit ripening. Horticultura Brasileira, Vol. 20, (4) p. 659-663.

Mostofi Y., Tolvonen P.M.A., Lessani H., Babalar M., and Lu C. 2003. Effects of 1-methylcyclopropene on ripening of greenhouse tomatoes at three storage temperatures. *Postharvest Biology and Tchnology* Vol27 p 285-292.

Mc Guire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* Vol. 27 (12). p 1254-1255

Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Librería Agropecuaria. Mundi Prensa, Guadalajara Jalisco.

Oba K, Fukui M, Imai Y, Iriyama S, and Nogaru K. 1994. L-galactono- γ -lactone dehydrogenase: partial characterization, induction of activity and role in synthesis of ascorbic acid in wounded white potato tuber tissue. *Plant and Cell Physiology* Vol. 35 p 473-478

Oba K, Ishikawa S, Nishikawa M, Mizuno H, and Yamamoto T. 1995. Purification and properties L-galactono- γ -lactone dehydrogenase, a key enzyme for ascorbic acid of biosynthesis, from sweet potato roots. *Journal of Biochemistry* Vol.117 p 120-124

Ojeda J, Silveira GM, Baez SR., Troncoso RR, Mercado RJ., y Bringas TE. 1999. Predicción de la vida de anaquel del tomate usando características de calidad. *Horticultura Mexicana*. Vol. 4(2) p 73

Pauling L. 1970. Vitamin C and common cold. *Freeman, San Francisco, CA*

Raffo A., leonardi C., Fogliano V., Ambrosino P., Salucci M., Gennaro L., Bigianesi R., Guiffrida f., and Quaglia G. 2002. Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) harvest at different ripening stages. *J. Agric. Food Chem.* Vol 50 p 6550-6556.

Reid M.S. 1998. Biología de la producción y acción del etileno En: Maduración de frutos procedimientos y recomendaciones. Postharvest Horticulture Serie No.9 . Postharvest Outreach Program. Department of pomology University of California Davis, California 95616.

Reid M.S. 2002. Ethylene in postharvest technology. In: Postharvest technology of horticultural crops. Third ed. Division of agriculture and natural resources. University of California, Davis

Rhodes M.J.C. 1980. Respiration and senescence of plant organs In: Biochemistry of plants Vol. 2. Academia press, Inc.

Riquelme, B. 1995. Poscosecha de tomate para consume en fresco, capitulo 15. En: Nuez, V.F., 1995. El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa, España p 590-623.

Saito, K, Nick, J.A., and Loewus, F.A. 1990. D-glocosone and L-sorbone, putative intermediates of L-ascorbic acid biosynthesis in detached bean and spinach leaves. Plant Physiol. Vol. 94, p 1496-1500.

Sakurai N., and Nevis D.J. 1993 Changes in physical properties and cell wall polysaccharides of tomato (*Lycopersicon esculentum*) pericarp tissue.

Salisbury, Frank B. and Ross Cleon W. 1994. Capítulo 1. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V.

Salunke D.K., and Desai B.B. 1984. Tomato. Postharvest biotechnology of vegetables Vol. 1 CRC Press. Inc. Florida USA

Salviet M. E. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest biology and Technology* Vol.15 p 279-292.

Salviet M.E. Jr. 1993. Internal carbon dioxide and ethylene levels in ripening tomato fruit attached to or detached from the plant, *Physiol. Plant.*, Vol (89) p 204-210.

Sams C.E. 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology* Vol. 15 p 249-254.

Saori, N.B. Fujita, S., Miyozae, R., Okugawa, M. 1995. Distribution of ascorbate oxidase activities in the fruits of family cucurbitaceae and some of their properties. *J. Food Biochem.* Vol.19:321-327.

Selvarajah S., Bauchot A.D. and John P. 2001. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* Vol.23 p 167-170.

Serek, M., Sisler, E.C., Reid, M.S. 1994. Novel gaseous ethylene binding inhibitor prevents ethylene effects in potted flowering plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science* Vol.119, p 1230-1233.

Serek, M., E.C. Sisler T. Tirosh and S. Mayak 1995. 1-Methylcyclopropene prevents bud, flower and leaf abscission of geraldton waxflower. *Hortscience* Vol.30: p 1310

Siller J., Muy D., Baez M.A., y Alcantar M. 1998. Características de calidad y vida de anaquel de frutos de tomate del cv FT-4413 cosechados en dos

temporadas de producción. Informe técnico. CIAD, AC. Unidad Culiacán, Sinaloa. P 3-5.

Sisler E.C., Goren R., and Huberman M.. 1985. Effect of 2,5-Norbornadiene on abscission and ethylene production in citrus leaf explants. *Physiol Plant*. Vol. 63 p 114-120.

Sisler E.C. and Blankenship S.M., 1993. Diazocyclopentadiene (DACP) in light sensitive reagent for the ethylene receptor in plants. *Plant Growth Reg.* Vol. 12 p 125-132.

Sisler, E.C. and Serek, M. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiology Plantarum* Vol.100, p 577-582.

Sisler E. and serek M. 1999. Compounds controlling the ethylene receptor. *Bot. Bull. Acad. Sin.* Vol.40: p 1-7

Smirnoff N. 1995. Antioxidants systems and plant response to the environment. In: Smirnoff N, Ed. Environment and plant metabolism. Flexibility and acclimation. Oxford: Bios Scientific Publisher, p 217-243.

Smirnoff N. 1996. Function and metabolism of ascorbic acid in Plants. *Annals of Botany* Vol. 78: p661-669.

Smirnoff N. and Wheele G.L. 1999. Ascorbic acid metabolism in plants. Ed. Bryant J.A. *Plant Carbohydrate Biochemistry*. Oxford, GBR: BIOS Scientific Publishers Ltd., p 215-249.

Smirnoff N., Conklin P., and Loewus F. 2001. Biosynthesis of ascorbic acid in plants. A renaissance. *Annu. Rev. Plant Biol.* Vol. 52 p. 437-467

Smirnoff N. 2003. Vitamin C booster. *Nature biotechnology.* Vol. 21 p 134-136

Solomon, O, Svanberg, U, Sahstrom, A. 1995. Effect of oxygen and fluorescent light on the quality of orange juice storage at 8°C. *Food Chem.* Vol. 53: p 363-368.

Soto Z.G., Yahia EM., Steta Gandara. 2000. Changes in ascorbic acid and relation with ascorbate oxidase and ascorbate peroxidase in vine-ripe or ethylene ripened tomato fruit. Tesis: Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, 76010, México y Agros SA de CV, Rancho la Soledad, Mpo de Colon, Querétaro, México. P 81-90.

Tanamachi C.M. 2002. Niveles de antioxidantes y calidad poscosecha en nuevas variedades híbridas de tomate. Tesis de Maestría. CIAD Unidad Culiacán. Culiacán, Sinaloa, México.

Tannenbaum, S.R. y Wishnok, J.S. 1987. Inhibition of nitrosamine formation by ascorbic acid. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* Vol. 198: 354-363.

Tieman D.M., and Klee H.J. 1999. Differential expression of two novel members of the tomato ethylene-receptor family. *Plant Physiology.* Vol. 120 p 165-172

Toledo M.E., Ueda Y., Imahori Y., and Ayaki M. 2003. L-ascorbic acid metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) during postharvest storage in light and dark. *Postharvest Biology and Technology* Vol. 28 p 47-57.

Ulle, J. 2001. El tomate. La más popular de las hortalizas. Artículo de difusión. Horticultura. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Valadez López Artemio 2001. Producción de hortalizas. Editorial Limusa SA de CV Grupo Noriega Editores. p45-56.

Vanderslice JT., Higgs DJ., Hayes JM., and Black G., 1990. Ascorbic acid and dehydroascorbic content of foods-as-eaten. J. Food Compos. Anal. Vol. 3 p 105-110.

Wang K.L., Li H., and Ecker J.R. 2002. Ethylene biosynthesis and signaling networks. The Plant Cell p S131-S151.

Warnock S.J. 1988. A review of taxonomy and phylogeny of the genus *Lycopersicon*. Hortscience, Vol. 23(4) p 669-673

Watada A. E. 1987. Vitamins. In: Postharvest physiology of vegetables Ed. J. Weichman. Marcel Dekker, New York, NY. p 455-467.

Weichmann J. 1987. Postharvest physiology of vegetables. Marcel Dekker Inc. p. 3-8.

Wills, R. B., McGlasson, B., Graham, D., y Joyce, D. 1998. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Editorial Acribia. Zaragoza. España.

Wills R.B.H. and Ku V.V.V, 2002, Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 26 p 85-90.

White P.J., 2002. Recent advances in fruit development and ripening: an overview. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 53, No. 377, Fruit Development and Ripening Special Issue, p. 1995-2000

Xuentong Fan and James P. Matthels. 2000. Yellowing of broccoli in storage is reduce by 1-metilcyclopropene. *Hortscience* Vol. 35(5). p 885-887.

Yang S.F. 1985. Biosynthesis and action of ethylene. *Ortiz*.Vol. 20(1) p 41-45.

Yuan J.P, and Chen F. 1998. Degradation of Ascorbic Acid in aqueous solution. *J. Agric. Food Chem*. Vol. 46: p 5078-5082.

Zofoli J.P. 2002. Una novedosa alternativa para prolongar la conservación de frutas. *Agronomía y Forestal*; Año 4.

ANEXOS

Los cuadros de análisis de varianza serán presentados de la siguiente manera, primeramente las variables fisiológicas como producción de dióxido de carbono y etileno, enseguida las variables físicas como pérdida de peso, firmeza por compresión y color externo (luminosidad, cromaticidad y ángulo de matiz). Posteriormente las variables químicas como pH, acidez titulable y sólidos solubles totales, y al final la variable nutrimental de vitamina C.

Las abreviaciones de los factores y sus interacciones son las siguientes:

EM: Estados de Madurez

Trat: Tratamientos

Tiempo: Días de almacenamiento

Trat*EM. Interacción doble estado de madurez por los tratamientos

EM*Tiempo: Interacción doble estado de madurez por los días de almacenamiento

Fru (EM): Factor nido, frutos anidados en el estado de madurez

ANEXO 1**Variables Fisiológicas****1a. Análisis de varianza para la variable de respuesta de producción de dióxido de carbono**

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	8.807	8.807	8.807	1.61	0.206
EM	3	138.750	138.750	46.253	29.13	0.004
Tiempo	19	2158.221	2158.221	113.591	20.78	0.000
Trat*EM	3	354.432	354.432	121.477	22.22	0.000
EM*Tiempo	57	113.479	113.479	1.991	0.36	1.000
Fru(EM)	4	5.352	5.352	1.588	0.29	0.884
Error	232	1258.230	1258.230	5.467		
Total	319	4058.280				

1b. Análisis de varianza para la variable de respuesta de producción de etileno

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	24.6198	24.6198	24.6198	66.28	0.000
EM	3	7.4436	7.4436	2.4812	1.71	0.303
Tiempo	19	63.4390	63.4390	3.3389	8.99	0.000
Trat*EM	3	28.2922	28.2922	9.4307	25.39	0.000
EM*Tiempo	57	15.7122	15.7122	0.2757	0.74	0.910
Fru(EM)	4	5.8198	5.8198	1.4549	0.39	0.004
Error	232	86.1789	86.1789	0.3715		
Total	319	231.5055				

ANEXO 2**Variables Físicas****2a. Análisis de varianza para la variable de respuesta pérdida de peso**

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	90.132	90.132	90.132	940.89	0.000
EM	3	13.935	13.935	4.645	5.68	0.003
Tiempo	9	892.481	892.481	99.165	1035.18	0.000
Trat*EM	3	1.139	1.139	0.380	3.96	0.008
EM*Tiempo	27	4.829	4.829	0.179	1.87	0.005
Fru(EM)	36	29.441	29.441	0.818	8.54	0.000
Error	720	68.972	68.972	0.096		
Total	799	1100.928				

2b. Análisis de varianza para la variable de respuesta firmeza por deformación (mm)

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	17.8655	17.8655	17.8655	229.32	0.000
EM	3	6.2191	6.2191	2.0730	5.90	0.002
Tiempo	9	55.2573	55.2573	6.1397	78.81	0.000
Trat*EM	3	3.9515	3.9515	1.3172	16.91	0.000
EM*Tiempo	27	5.4221	5.4221	0.2008	2.58	0.000
Fru(EM)	36	12.6556	12.6556	0.3515	4.51	0.000
Error	720	56.0916	56.0916	0.0779		
Total	799	157.4626				

2c. Análisis de varianza para la variable de respuesta de color externo luminosidad

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	672.82	672.82	672.82	210.31	0.000
EM	3	2977.30	2977.30	992.43	438.84	0.000
Tiempo	9	4151.13	4151.13	461.24	144.17	0.000
Trat*EM	3	100.63	100.63	33.56	10.49	0.000
EM*Tiempo	27	755.92	755.92	28.00	8.75	0.000
Fru(EM)	36	81.41	81.41	2.26	0.71	0.901
Error	720	2303.41	2303.41	3.20		
Total	799	11042.67				

2d. Análisis de varianza para la variable de respuesta de color externo cromaticidad.

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	40.201	40.201	40.201	5.40	0.020
EM	3	231.009	231.009	77.003	11.45	0.000
Tiempo	9	2121.117	2121.117	235.680	31.64	0.000
Trat*EM	3	106.189	106.189	35.396	4.75	0.030
EM*Tiempo	27	436.466	436.466	16.165	2.17	0.001
Fru(EM)	36	242.163	242.163	6.727	0.90	0.634
Error	720	5362.323	5362.323	7.448		
Total	799	8539.468				

2e. Análisis de varianza para la variable de respuesta de color externo ángulo de matiz.

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	11584.6	11584.6	11584.6	264.48	0.000
EM	3	23074.7	23074.7	7691.6	300.72	0.000
Tiempo	9	124669.3	124669.3	13852.1	316.24	0.000
Trat*EM	3	1671.5	1671.5	557.2	12.72	0.000
EM*Tiempo	27	23178.3	23178.3	858.5	19.60	0.000
Fru(EM)	36	920.8	920.8	25.6	0.58	0.976
Error	720	31537.4	31537.4	43.8		
Total	799	216636.7				

ANEXO 3**Variables Químicas****3a. Análisis de varianza para la variable de respuesta de pH.**

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	0.36951	0.36951	0.12317	29.20	0.000
EM	3	0.01156	0.01156	0.01156	2.74	0.099
Tiempo	9	8.10152	8.10152	0.90017	213.37	0.000
EM*Tiempo	27	0.10844	0.10844	0.00402	0.95	0.536
Error	359	1.51453	1.51453	0.00422		
Total	399	10.10555				

3b. Análisis de varianza para la variable de respuesta de acidez titulable (% ácido cítrico).

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	0.00395	0.00395	0.00395	0.68	0.411
EM	3	0.4699	0.4699	0.15666	26.88	0.000
Tiempo	9	4.60113	4.60113	0.51124	87.70	0.000
EM*Tiempo	27	0.15672	0.15672	0.00580	1.00	0.474
Error	359	2.09267	2.09267	0.00583		
Total	399	7.32446				

3c. Análisis de varianza para la variable de respuesta de sólidos solubles totales.

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	12.0756	12.0756	12.0756	16.16	0.000
EM	3	6.5283	6.5283	2.1761	2.91	0.034
Tiempo	9	56.6322	56.6322	6.2925	8.42	0.000
EM*Tiempo	27	29.8365	29.8365	1.1051	1.48	0.061
Error	359	268.2874	268.2874	0.7473		
Total	399	373.3600				

ANEXO 4

Variable Nutricional

4a. Análisis de varianza para la variable de respuesta de vitamina C.

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	4.64	4.64	4.64	0.66	0.418
EM	3	1199.32	1199.32	399.77	57.05	0.000
Tiempo	3	360.27	360.27	120.09	17.14	0.000
EM*Tiempo	9	432.83	432.83	48.09	6.86	0.000
Error	79	553.57	553.57	7.01		
Total	95	2550.62	2550.62			

3c. Análisis de varianza para la variable de respuesta de sólidos solubles totales.

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	12.0756	12.0756	12.0756	16.16	0.000
EM	3	6.5283	6.5283	2.1761	2.91	0.034
Tiempo	9	56.6322	56.6322	6.2925	8.42	0.000
EM*Tiempo	27	29.8365	29.8365	1.1051	1.48	0.061
Error	359	268.2874	268.2874	0.7473		
Total	399	373.3600				

ANEXO 4

Variable Nutricional

4a. Análisis de varianza para la variable de respuesta de vitamina C.

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Trat	1	4.64	4.64	4.64	0.66	0.418
EM	3	1199.32	1199.32	399.77	57.05	0.000
Tiempo	3	360.27	360.27	120.09	17.14	0.000
EM*Tiempo	9	432.83	432.83	48.09	6.86	0.000
Error	79	553.57	553.57	7.01		
Total	95	2550.62	2550.62			