



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE  
HIDALGO**

**FACULTAD DE QUIMICOFARMACOBIOLOGÍA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS.**

**ÁREA TEMÁTICA: BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIA**

**“DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE LICOPENO Y  
FIRMEZA MEDIANTE EL USO DE PRUEBAS NO  
DESTRUCTIVAS Y DESTRUCTIVAS PARA EVALUAR EL  
PROCESO DE MADURACIÓN EN FRUTO DE JITOMATE  
(*Lycopersicon Escualentum*) VARIEDAD SALADETTE”**

**Tesis**

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA:**

**QFB. RICARDO ADOLFO MANIVEL CHÁVEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**D.I. MA. GUADALUPE GARNICA ROMO**

Morelia, Michoacán; Agosto de 2011

### *Agradecimientos*

Deseo expresar mi más sincera gratitud a todas las personas que han hecho posible la realización de este trabajo de investigación:

A mis padres y mi familia, por su apoyo incondicional durante todo el tiempo que ha durado la realización de este trabajo.

A la Dra. Ma. Guadalupe Garnica Romo por el apoyo de su dirección y sus valiosos comentarios.

Al D.C Hector Eduardo Martínez Flores, D.C Consuelo de Jesús Cortés Penagos; al D.C Jorge Isidro Aranda Sánchez y M.C. Gabriel Arroyo Correa, integrantes del comité tutorial, por sus valiosas contribuciones, comentarios y consejos durante la construcción de este trabajo.

A la M.C. Berenice Yahuaca Juárez y al D.C Luis Chacón por todo su apoyo y consejos que finalmente contribuyeron a enriquecer este trabajo.

A CONACYT por la beca otorgada para la realización de este trabajo.

Al sr. Fco. López Ortíz propietario del invernadero hidropónico “San Francisco” S.P. de R.L. y a los ingenieros Darío Florez Murillo y Jade Castro Hernández por habernos facilitado el material requerido para esta investigación.

A todas aquellas personas que de manera directa e indirecta contribuyeron para el logro de esta meta.

Gracias

## ÍNDICE GENERAL

I.- Resumen-----	1
II.- Sumary-----	2
III.- Introducción -----	3
IV.- Antecedentes-----	5
4.1 El jitomate: aspectos generales-----	5
4.2 Importancia nutricional del jitomate-----	5
4.2.1 Carotenoides y licopeno en jitomate-----	6
4.2.1.1 Estabilidad-----	8
4.2.2 Licopeno-----	9
4.2.3 Beneficios del licopeno a la salud humana-----	10
4.3 Cambios asociados durante la maduración en jitomate-----	11
4.4 La calidad en frutos-----	12
4.4.1 Control de la calidad durante la producción-----	13
4.4.2 Indicadores de calidad en jitomate-----	15
4.5 Propiedades mecánicas de los frutos-----	16
4.6 Métodos no destructivos para evaluar la calidad en frutos-----	17
4.6.1 Impulso acústico-----	17
4.6.2 Importancia del color en alimentos-----	18
4.6.3 Medida del color en alimentos-----	19
4.6.4 Fundamentos de colorimetría-----	20
V. Justificación-----	23
VI. Hipótesis-----	24
Objetivos-----	25
General-----	25
Específicos-----	25
VII. Materiales y Métodos-----	26
7.1 Condiciones de almacenamiento-----	26
7.2. Caracterización fisicoquímica-----	26
7.3 Pruebas destructivas-----	26
7.3.1 Determinación de peso, densidad y pH-----	26
7.3.2 Determinación de firmeza-----	28

7.3.3 Determinación de acidez titulable y °Brix-----	28
7.3.4 Determinación del contenido de licopeno-----	29
7.4 Pruebas no destructivas-----	30
7.4.1 Determinación de color-----	30
7.4.2 Determinación de la señal de respuesta acústica-----	30
7.5 Análisis estadístico-----	32
VIII. Resultados-----	33
8.1 Propiedades fisicoquímicas evaluadas en jitomate-----	33
8.1.1 Determinación de peso-----	33
8.2 Pruebas destructivas-----	34
8.2.1 Evolución de acidez, pH y °Brix en jitomate-----	34
8.2.2 Evolución de la firmeza en jitomate-----	35
8.2.2.1 Determinación del módulo de Young-----	37
8.2.3 Identificación y determinación del contenido de licopeno en jitomate-----	38
8.3 Pruebas no destructivas-----	41
8.3.1 Evolución de los parámetros acústicos durante el almacenamiento en jitomate---	41
8.3.2 Evolución del color en jitomate-----	44
8.4 Relación entre parámetros no destructivos y destructivos evaluados en jitomate---	46
IX. Conclusiones-----	50
X. Bibliografía-----	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Ruta metabólica para la síntesis de licopeno y otros carotenoides-----	8
Figura 2.- Estructura del licopeno-----	9
Figura 3.- Situación de control de calidad a lo largo de la cadena de distribución de frutos -----	14
Figura 4.- Espacio de color CIE L*a*b* (superior) y coordenadas de cromaticidad C* H* (inferior) -----	21
Figura 5.- Diagrama esquemático del sistema experimental de impulso acústico-----	32
Figura 6.- Porcentaje de pérdida de peso en jitomate durante el periodo de almacenamiento-----	33
Figura 7.- Firmeza evaluada mediante la fuerza máxima a la compresión durante el periodo de almacenamiento -----	36
Figura 8.- Firmeza evaluada mediante la resistencia máxima a la penetración durante el periodo de almacenamiento -----	37
Figura 9.-Espectro de absorción uv-visible (400-550 nm) para licopeno en hexano durante el periodo de almacenamiento -----	39
Figura 10.- Cromatograma de HPLC de licopeno extraído de jitomate a 470 nm durante el periodo de almacenamiento-----	40
Figura 11.- Contenido de licopeno (mg/kg) en jitomate durante el periodo de almacenamiento -----	41
Figura 12.- Comportamiento de la frecuencia resonante en jitomate durante el periodo de almacenamiento-----	42
Figuras 13a y 13b.- Comportamiento del índice de firmeza (IF) y módulo de Young (M.Y) en jitomate durante el periodo de almacenamiento -----	43
Figura 14.- Evolución del color en jitomate durante el periodo de almacenamiento----	44
Figura 15.- Evolución de los parámetros de color L*, a* y b* en jitomate durante el periodo de almacenamiento -----	45
Figura 16.- Correlación entre la relación a*/b* y el contenido de licopeno (mg/kg) en jitomate -----	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Composición química promedio del jitomate variedad “Saladette”-----	6
Tabla 2.- Valores promedio de las distintas características fisicoquímicas evaluadas en jitomate durante el periodo de almacenamiento-----	34
Tabla 3.- Valores promedio de módulos de Young destructivo evaluados en jitomate durante el periodo de almacenamiento-----	38
Tabla 4.- Valores promedio de los diferentes índices de color evaluados en el jitomate— durante el periodo de almacenamiento-----	46
Tabla 5.- Resultados del análisis de regresión entre el módulo de Young no destructivo y los módulos de Young destructivos obtenidos de las pruebas de compresión y penetración, así como con el contenido de licopeno-----	47
Tabla 6.- Resultados del análisis de regresión entre el contenido de licopeno y algunos parámetros de color evaluados en el jitomate-----	48
Tabla 7.- Resultados del análisis de regresión entre distintos índices de color evaluados y el módulo de Young obtenido de la prueba de impulso acústico-----	49
Tabla 8.- Resultados del análisis de regresión entre distintos índices de color evaluados y el módulo de Young obtenido de la prueba de compresión-----	49

## I. Resumen

La cosecha de frutas en un estado de madurez adecuado es un factor de vital importancia debido a que de él depende la duración en almacenamiento del fruto, la calidad del producto final y la aceptación por parte del consumidor. En general, los atributos de calidad de un fruto incluyen no solo el sabor, color y firmeza, sino también la vida de anaquel, contenido nutricional e inocuidad del fruto. Sin embargo, son la firmeza y el color los atributos más importantes al momento de ser evaluados por los consumidores. El objetivo de este trabajo fue evaluar la firmeza y contenido de licopeno mediante ensayos destructivos y no destructivos en jitomate durante 15 días de almacenamiento a  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y 75-85 % H.R. Para lo cual, se formaron 2 lotes, cada uno conformado por 100 frutos. El lote 1 (L1) fue destinado para realizar las pruebas destructivas de impulso acústico y color, mientras que el lote 2 (L2) fue destinado para realizar las pruebas destructivas de compresión, penetración, acidez titulable, °Brix y contenido de licopeno. Los resultados indican que es posible identificar la etapa de madurez en el fruto mediante el uso de las metodologías empleadas y que los métodos no destructivos pueden reemplazar los métodos destructivos convencionales para determinar la firmeza, contenido de licopeno y el periodo de vida de anaquel del fruto.

**Palabras clave:** maduración, jitomate, impulso acústico, licopeno, firmeza.

## II. Summary

Harvesting of fruit at the right stage of ripeness is a vitally importance factor since on this depends the duration of the fruit storage, as well as the quality of the final product and acceptance by the consumer. Quality attributes include not only taste, color and firmness, but also shelf-life, nutritional content and safety of fruit. However, firmness and color are the most important when evaluated by consumers. The objective of this work was to evaluate firmness and lycopene content by destructive and nondestructive testing in tomato fruit during 15 days of storage at  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  and 75-85 % H.R. For which, two batches of fruits were selected with 100 fruits each one. One of them was designed to perform no destructive tests (L1); acoustic impulse response and color, while the second (L2) was designed to perform the destructive tests; compression and penetration force, titratable acidity, °Brix and lycopene content. The results indicates that it might be possible to identify the ripeness state of an individual tomatoes by using the present methods and that the nondestructive methods test could replace conventional destructive tests in order to determine tomato fruit firmness, lycopene content and expected shelf-life.

**Key words:** ripening, tomatoe, acoustic impulse response, lycopene, firmness.

### III. INTRODUCCIÓN

La demanda creciente de los consumidores por frutos de alta calidad ha llevado al desarrollo de nuevas técnicas para determinar la calidad de los productos hortofrutícolas de consumo fresco. Uno de los principales desafíos de la tecnología poscosecha es el desarrollo de tecnologías capaces de medir parámetros de calidad interna en frutas (Mills 2005, Diezma 2005).

La calidad de un fruto está relacionada tanto con factores internos (firmeza, contenido de azúcares, acidez y daños internos) y factores externos (forma, tamaño, defectos externos y daños). La textura es un parámetro cualitativo complejo y variable de gran importancia en la calidad de frutas y hortalizas. Diferentes factores como contenido de agua, las propiedades físicas de las paredes de las células y la estructura de los tejidos actúan conjuntamente para desarrollar la resistencia, firmeza y elasticidad características que conforman la textura. La importancia de este atributo ha conducido a numerosas investigaciones para utilizar métodos destructivos y no destructivos para determinar objetivamente parámetros de caracterización de la textura (Diezma 2005). En relación a la textura, la firmeza es un parámetro importante en la determinación de la calidad del fruto. Se sabe que la firmeza de la fruta es determinada por la estructura interna de la fruta y la fuerza de las células individuales (Mills 2005). Tradicionalmente la firmeza ha sido estimada de manera destructiva mediante la prueba Magness-Taylor. Esta prueba se basa en la introducción de una cabeza cilíndrica dentro del tejido del fruto para medir la máxima fuerza de penetración. Sin embargo esta prueba tiene 2 inconvenientes: es destructiva y las mediciones son altamente variables (García *et al.*, 2005).

Tanto la firmeza como las propiedades mecánicas de las frutas y hortalizas son buenos indicadores de su grado de madurez y de su posible vida de estantería. Por lo cual se han desarrollado diversas técnicas para la medida de estas propiedades en un intento de desarrollar métodos de clasificación de los productos en función de sus factores de clasificación. Desde los años 60 se han propuesto técnicas y dispositivos basados en métodos no destructivos como lo es la espectroscopia, impulso acústico, láseres, etc., para intentar correlacionar las características dinámicas con la calidad interna de los productos. Sin embargo la traslación de estas técnicas a los productos hortofrutícolas debe sortear algunas dificultades inherentes a los productos como son: las heterogeneidades en su estructura, además de formas irregulares y variables (García *et al.*, 2005, Diezma 2005). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la firmeza y

contenido de licopeno mediante ensayos destructivos y no destructivos en jitomate durante 15 días de almacenamiento a  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y 75-85 %

## IV. ANTECEDENTES

### 4.1 El jitomate: aspectos generales

La palabra jitomate proviene del náhuatl “xictomatl” que significa literalmente tomate con ombligo. El término jitomate fue utilizado por primera vez a fines del siglo XVI cuando los viajeros botánicos lo llevaron a Europa proveniente de América (Ramírez 2007).

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) es el fruto de la planta *Solanum Lycopersicum*, perteneciente a la familia de las *Solanaceae*. El fruto es una baya coloreada, carnosa, de forma oblonga u ovalada, succulenta y fragante, con tonos que van desde el amarillo hasta el rojo (según la variedad), de diámetro y peso variables y sabor ligeramente ácido, originaria de América del Sur, incluyendo México y cultivada en prácticamente todo el mundo (Llamas 2008; CVCA 2009).

El jitomate es la hortaliza de mayor importancia al considerar el volumen de producción y consumo en todo el mundo, siendo además uno de los primeros cultivos a nivel comercial producido por el método hidropónico. A nivel mundial los principales países productores son China, EUA y Turquía, con más del 50 % de la producción mundial, siendo por mucho, China el principal productor (Llamas 2008; Ramírez 2007).

El consumo de jitomate en México es principalmente en fresco, y gran parte de la producción se destina a exportación. En México se cultivaron aproximadamente 53, 522.62 Ha con una producción de 2, 043 814.556 t. en el 2009 (SAGARPA 2010).

De acuerdo con datos reportados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el estado de Michoacán se encuentra situado en el 3 lugar de producción a nivel nacional solo después de Sinaloa y Baja California, con una producción aproximada de 175 mil t., siendo Parácuero, Ecuandureo, Tacámbaro y Zamora los principales municipios productores.

### 4.2 Importancia nutricional del jitomate

El descubrimiento de su riqueza vitamínica (Tabla 1) junto con su agradable sabor y color, popularizó rápidamente su consumo hasta llegar a ocupar el lugar de importancia mundial que tiene en la actualidad (CVCA, 2009; Ramírez S. 2007; Ramírez *et al.*, 2005).

Tabla 1.- Composición química promedio del jitomate variedad “Saladette”

Fuente: Muñoz de Chávez y Ledezma *et al.*, (2002).

Humedad	92-95 %
Carbohidratos	4.30%
Proteínas	0.60%
Lípidos	0.20%
Fibra dietética	1.50%
Vitamina A (RAE)	253.5 mg / 100g
Ac. ascórbico	18 mg/100g
Ácido fólico	9 mg/100g
Niacina	0.6 mg /100g
Potasio	195 mg/100g
Fósforo	11 mg/100g
Calcio	7 mg/100g
Magnesio	7 mg/100g
Energía (Kcal)	21

El jitomate es considerado un alimento de alto valor nutricional debido a su bajo contenido en grasa, calorías y colesterol. Adicionalmente, es fuente importante de vitaminas A y C, fibra (celulosa, hemicelulosa y pectinas), minerales (principalmente K, P, Ca), carotenoides (licopeno y  $\beta$ -caroteno) y otros antioxidantes (Batu 1998; Drovomilska *et al.*, 2008; Drovin 2001).

Su contenido de licopeno lo ha convertido en uno de alimentos más estudiados. En variedades comunes de jitomate, la concentración de licopeno varía de 3-12 mg/100 g de fruta madura (Fernández *et al.*, 2007; Llamas 2008; Casierra *et l.*, 2007).

#### 4.2.1 Carotenoides y licopeno en jitomate

Los carotenoides son pigmentos responsables del color rojo, amarillo y anaranjado en diversas frutas, verduras e incluso algunos animales, como en jitomate, zanahoria, piña, cítricos, zempazuchitl, salmón, truchas, etc. Se han identificado en la naturaleza más de 600 de estos compuestos (Badui 2006; Meléndez *et al.*, 2007).

Químicamente son tetraterpenoides (formados por 8 unidades de isopreno), solubles en solventes orgánicos como, hexano, benceno, éter etílico, etc. pero insolubles en agua (Arandiga y Díaz 2008; Meléndez *et al.*, 2007). El espectro de absorción de los carotenoides es característico debido al sistema de dobles enlaces en su cadena hidrocarbonada. La posición de las bandas de absorción máxima (normalmente 3) dependen directamente del número de dobles enlaces en la molécula (Arandiga y Díaz 2008; Periago *et al.*, 2001). Además, poseen propiedades antioxidantes y actúan como secuestradores de radicales libres (Saavedra 2003).

En la Figura 1, se muestra la ruta metabólica para la síntesis de carotenoides que tiene lugar dentro de los plástidos en plantas superiores, en la cual se observa al mevalonato como precursor inicial (Abdul *et al.*, 2009; Yeung 2001). La primera reacción específica de la biosíntesis de carotenos es la condensación de dos moléculas de trans-geranylgeranyl pirofosfato para formar fitoeno (Figura 1). Todas las reacciones subsecuentes involucran la conversión de esta estructura básica (Abdul *et al.*, 2009; Arango 2006).

El licopeno sirve de precursor básico para la formación de la mayor parte de los carotenoides cíclicos. En la etapa final, puede darse la inserción de grupos funcionales de oxígeno (hidroxi, epoxi, etc.) para producir xantofilas, como la luteína y zeaxantina, entre otras (Saavedra 2003; Yeung 2001).

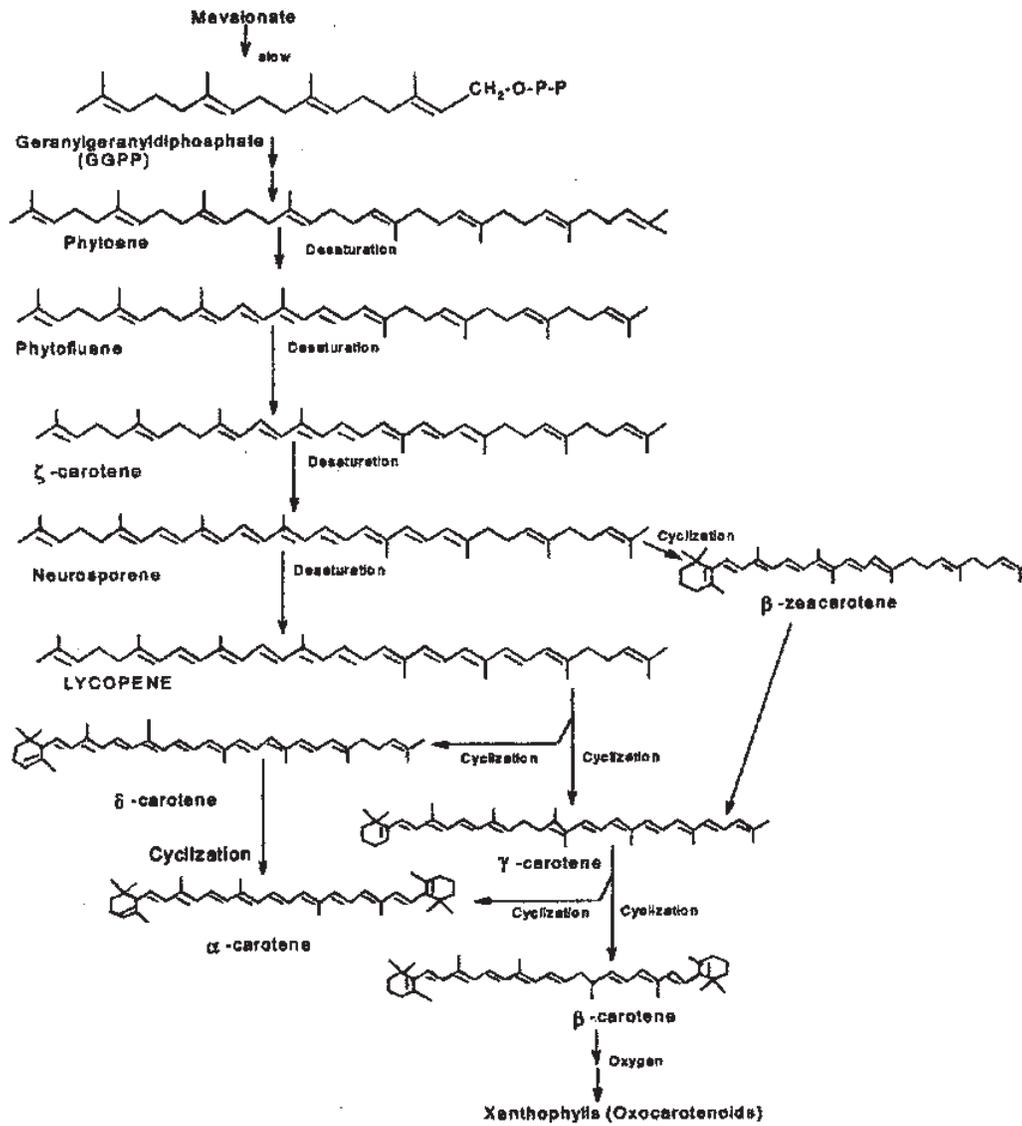


Figura 1.- Ruta metabólica para la síntesis de licopeno y otros carotenoides.

#### 4.2.1.1 Estabilidad

La causa principal del deterioro en los carotenoides es la oxidación que es mayor cuando se pierde la integridad celular (Candelas *et al.*, 2003 y 2006). Su alto grado de insaturación los hace fácilmente oxidables, siendo especialmente sensibles a la luz, oxígeno, temperaturas elevadas y pH extremos (Badui 2006; Candelas *et al.*, 2003; Fernández *et al.*, 2007).

Además de la degradación oxidativa, con facilidad se lleva a cabo la isomerización all-trans a all-cis, facilitada durante el procesamiento industrial y cocinado de los

alimentos. Como resultado se produce una disminución en la intensidad de color, puntos de fusión y coeficientes de extinción más bajos y un cambio en el valor máximo de absorción en el espectro ultravioleta-visible (Badui 2006; Casierra *et al.*, 2007; Llamas 2008). La autooxidación también se presenta causando la división de la molécula en fragmentos más pequeños, como aldehídos y cetonas (Nuñez *et al.*, 2007).

#### 4.2.2 Licopeno

Químicamente, es un polieno acíclico de fórmula molecular  $C_{40}H_{56}$  y peso molecular de 536.89 g/mol. De características lipofílicas, insoluble en agua pero soluble en solventes orgánicos, posee 11 dobles enlaces conjugados y 2 no conjugados los cuales, son los responsables del color rojo característico impartido no solo en jitomate, sino también en sandías, toronjas rojas, pimientos rojos, algunas variedades de guayabas, etc. (Ajmera 2006; Badui 2006; Hernández *et al.*, 2007).

Además, los dobles enlaces presentes en su estructura (Figura 2) son responsables de su actividad antioxidante, la cual es 2 veces mayor a la del  $\beta$ -caroteno y 10 veces mayor a la de  $\alpha$ -tocoferol (Gómez 2009; Meléndez *et al.*, 2007).

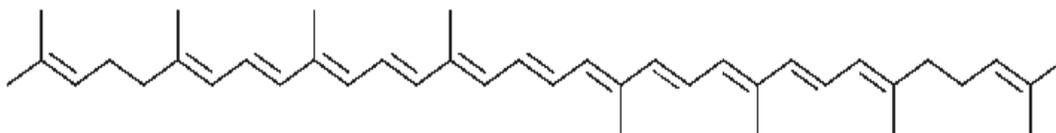


Figura 2. Estructura del licopeno.

En el jitomate, la concentración de licopeno aumenta conforme el fruto alcanza la madurez, constituyendo en esta etapa el 80-90% de los carotenoides totales, aunque también se encuentran cantidades mucho menores de  $\beta$ -caroteno y neurosporeno. Sin embargo, pueden presentarse grandes diferencias según el tipo de cultivo, variedad, clima, tipo de almacenamiento, etc. (Cardona *et al.*, 2006; Casierra *et al.*, 2007; Saavedra 2003).

Hansen y Chiu (2005) señalan la diversidad de los carotenoides en diversas partes del fruto. Esta situación ha sido descrita particularmente para el jitomate, donde los cromoplastos de la parte gelatinosa contienen glóbulos ricos en  $\beta$ -caroteno, mientras que los de la parte externa del pericarpio son ricos en licopeno.

La función del licopeno y otros compuestos relacionados con los carotenoides es la de absorber luz durante la fotosíntesis, protegiendo a la planta del efecto de radicales libres. El licopeno tiene la capacidad de actuar sobre estos radicales libres u oxígeno reactivo, generando productos inocuos para la integridad celular (Badui 2006; Saavedra 2003).

En general, los antioxidantes son compuestos que actúan sobre radicales libres y ha sido demostrado que inhiben la acción oxidativa del DNA, lo cual es causa de algunos tipos de cánceres (Badui 2006; Núñez et al., 2007). Dichos efectos degenerativos no están limitados al cáncer, ellos también pueden causar bloqueos en arterias, degradación del sistema nervioso y envejecimiento.

#### **4.2.3 Beneficios del licopeno en la salud humana**

La importancia actual del licopeno se debe principalmente a las propiedades benéficas reportadas a la salud humana. Ajmera (2006), Basuny *et al.*, (2009) y Periago *et al.*, (2001), reportan que su concentración en plasma sanguíneo es más alta que la de cualquier otro carotenoide, en la cual existe una mezcla de los diferentes isómeros del licopeno, siendo el isómero *cis* la forma predominante (50 %).

El licopeno actúa sobre las especies reactivas de oxígeno (EROS), reduciendo así el estrés oxidativo y el peligro de oxidación de biomoléculas importantes (proteínas, lípidos y ADN), lo cual está relacionado con el desarrollo de enfermedades crónicas como cánceres, osteoporosis, hipertensión y padecimientos cardiovasculares (Ajmera 2006; Badui 2006; Periago *et al.*, 2001).

Son diversos los beneficios reportados del licopeno, entre las que se han demostrado propiedades anticarcinogénicas y antiteratogénicas, particularmente en próstata, colon seno y tracto digestivo (Franceschi *et al.*, 1994; Giovanocci 1999; Giovanocci 2000). Además, previene la oxidación del colesterol de baja densidad (LDL) y con ello el riesgo de desarrollar arterosclerosis y enfermedades coronarias (Basuny *et al.*, 2009).

Arab y Setcks (2000) demostraron que la concentración de licopeno en tejido adiposo se correlaciona inversamente con el riesgo de infarto del miocardio, atribuyendo al licopeno un papel cardioprotector, disminuyendo así el riesgo de padecimientos cardiovasculares.

A pesar de que no se han determinado plenamente las bases fisiológicas ni fisicoquímicas de estas propiedades, parecen directamente relacionadas al elevado poder

antioxidante del licopeno (Arandiga y Díaz 2008; Periago *et al.*, 2001).

### 4.3 Cambios asociados durante la maduración en jitomate

En general, los frutos pasan a lo largo de su vida por una serie de etapas, caracterizadas por una secuencia de continuos cambios, los cuales pueden clasificarse en tres etapas fisiológicas fundamentales: crecimiento, maduración y senescencia (Biale 1964; Del Pilar Pinzón *et al.*, 2007; Theologis 1992).

De estas, la más importante y compleja es la maduración, la cual puede dividirse a su vez en dos fases: la madurez fisiológica y la madurez organoléptica, denominadas en inglés “maturation” y “ripening”, respectivamente (Gray *et al.*, 1992).

La maduración se define como un proceso bioquímico complejo en el cual el fruto experimenta una serie de cambios en su morfología y composición química (Angón *et al.*, 2006; Cameron y Fox 2002; Del Pilar Pinzón *et al.*, 2007; Gray *et al.*, 1992).

En el caso de frutos climatéricos como el jitomate, estos cambios son estimulados por el etileno, el cual regula la maduración por estimulación de cambios en la expresión de genes que incluye aquellos que codifican para enzimas involucradas en la biosíntesis de pigmentos, etileno, metabolismo de la pared celular, entre otros (Bili *et al.*, 2007; Bindur 2008; Cara y Giovannoni *et al.*, 2008).

Dentro de los cambios más notorios durante el proceso de maduración en jitomate se pueden mencionar los siguientes:

- a) **Disminución de la firmeza:** lo que se traduce en un reblandecimiento de los tejidos (Bautista *et al.*, 2005). Estos cambios son ocasionados por la degradación de los componentes estructurales de la pared celular por actividad de diversas enzimas como la poligalacturonasa (PG), pectinestereasa (PE) y celulasa (Batu 1998; Becerra *et al.*, 2009; Gómez y Camelo *et al.*, 2002).
- b) **Cambio de coloración:** de verde a rojo debido a la desaparición de la clorofila y síntesis de pigmentos, particularmente licopeno, responsable del color rojo característico del fruto en estado maduro (De Lourdes 2007; Helyes *et al.*, 2006; Zapata *et al.* 2007).
- c) **Pérdida de peso:** durante la maduración y el tiempo de almacenamiento, el fruto experimenta una pérdida de peso progresiva, la cual es debida principalmente por una deshidratación causada por la transpiración y respiración del fruto. (Charley 2006; Znidarcic y Pozrt *et al.*, 2006).

- d) **Aumenta la concentración de azúcares:** principalmente glucosa y fructosa y en menor cantidad sacarosa (López 2007); **y disminuye el contenido de ácidos:** siendo los ácido cítrico y málico los más importantes (Angón *et al.*, 2006; Osuna *et al.*, 2005; Santamaría 2009).
- e) **Generación de compuestos volátiles:** el olor particular de un fruto, es una mezcla compleja de compuestos orgánicos volátiles, aunque su concentración generalmente es pequeña (Ortíz 2008).
- f) En el jitomate son más de 400 compuestos lo cuales confieren al fruto sus propiedades sensoriales de aroma y sabor, como el 3-metilbutanol, 3-metil- y 2-metilbutirato, 2-metilpropanol, ácido-2-metilpropanoico, fenilacetaldehído, hexanal, entre otros (Camarena *et al.*, 2010; Charley 2006; Ramos *et al.*, 2010).

La madurez de un fruto tiene una marcada influencia sobre la calidad, vida útil de almacenamiento además de afectar el manejo poscosecha, el transporte y comercialización.

#### **4.4 La calidad en frutos**

La palabra “calidad” (latín “*Qualitas*”) significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es “grado de excelencia o superioridad o idoneidad para un uso particular (James 2004; Mondino y Ferratto *et al.*, 2006).

La calidad en los frutos está relacionada tanto con factores internos (firmeza, contenido de azúcares, contenido de ácidos y defectos), como con factores externos (forma, tamaño, color, defectos y daños causados), siendo el grado de madurez de los frutos cosechados, uno de los principales factores que determina su calidad en el mercado (Cameron y Fox *et al.*, 2002; García *et al.*, 2005).

Anteriormente, la percepción de la calidad en la industria de frutos y hortalizas estaba enfocada a los atributos externos. Actualmente, se han comenzado a considerar los atributos internos de cada producto junto a los externos en todas las etapas de producción como un criterio integrado del control de calidad (Bruhn 2007; Mondino y Ferratto *et al.*, 2006).

Dentro de los parámetros que forman parte del concepto global de calidad en un fruto podemos encontrar distintos atributos clasificables en una o varias de las subdivisiones siguientes:

**1. Parámetros de calidad normativa:** son aquellos que están contemplados en la legislación vigente aplicable a frutas y hortalizas (NOM-008-FITO-1995). Esta normativa sobre la calidad de los mismos contempla solo aspectos relativos al calibre, daños y otros como:

- Frutos sanos y limpios.
- Exentos de plagas y de heridas causadas por microorganismos.
- Exentos de humedad, olor y sabores extraños.

En la práctica, el control de muchos de estos parámetros es lento o más bien se asegura indirectamente mediante reglamentaciones referentes a etapas posteriores (SENASICA 2006).

**2. Parámetros de calidad de consumo:** son aquellos que el consumidor espera encontrar al degustar el producto. Son aspectos organolépticos de la calidad como el color, aroma y sabor, aunque dependiendo del conocimiento que posea el consumidor, incluirá atributos más complejos relacionados con las posibilidades de conservación, uso gastronómico y, por supuesto, su salud (Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Michoacán 2006; SENASICA 2006).

**3. Parámetros de calidad relativos a la tecnología alimentaria:** son los atributos cualitativos que deben tenerse en cuenta en los procesos industriales o aquellos que han sido identificados por la comunidad científica como importantes, pero que aún se encuentran en fase de estudio o simplemente se está desarrollando tecnología para su control (Diezma 2005; Valero 2002).

Estas categorías no deben entenderse como excluyentes, sino más bien como un conjunto global, cuyos elementos están sometidos a constante revisión y pueden pasar de un grupo a otro según evolucionen los adelantos científicos, los gustos de los consumidores y las normas alimentarias (Flores 2009; Valero 2002).

#### **4.4.1 Control de la calidad durante la producción**

La evaluación de calidad durante el proceso productivo no siempre es tan completa como sería deseable, debido a las dificultades técnicas y costo de mano de obra que

esto representa. Idealmente deberían realizarse controles de calidad en diversos puntos de la cadena comercializadora (Figura 3).

El productor, tiene que asegurar que los productos que enviará a sus clientes cumplen con la calidad requerida mediante el control del 100 % de su producción a través de sistemas implantados en las líneas de manipulación. Los puntos intermediarios de almacenamiento y distribución deben controlar que el producto no sufra mermas en su calidad debido al transporte mediante muestreos y controles de entrada o por medio de la instalación de sensores en la cámaras de almacenamiento (Comité Estatal Sanidad Vegetal 2006; FAO 2006).

Los puntos de venta igualmente deberían muestrear la calidad del producto que reciben y supervisar la mercancía que almacenan en cámaras y expositores. Incluso los consumidores finales deberían comprobar la calidad del producto que van a adquirir, y recibir recomendaciones de conservación y consumo (Valero 2002).

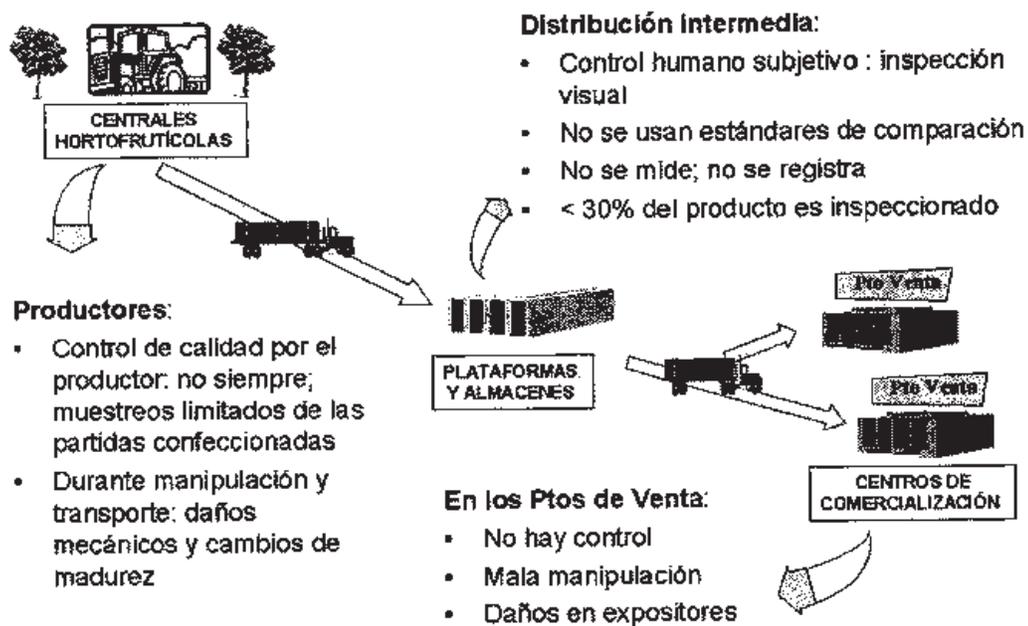


Figura 3.- Situación de control de calidad a lo largo de la cadena de distribución de frutos.

Sin embargo, esta situación ideal pocas veces se observa, salvo en casos especiales de empresas y cooperativas de gran prestigio. Los controles de calidad son en algunas

ocasiones inspecciones visuales, carentes de técnicas de medida que eliminen la subjetividad humana (FAO 2006; Valero 2002).

#### **4.4.2 Indicadores de calidad en jitomate**

En general, los atributos de calidad de un fruto incluyen no solo el sabor, color y firmeza, sino también la vida de anaquel, contenido nutricional e inocuidad del fruto. Sin embargo, son la firmeza y el color los atributos de calidad más importantes al momento de ser evaluados por los consumidores (Bili *et al.*, 2007; López 2007).

El color es probablemente el primer factor de calidad evaluado que determina la calidad global del fruto, ya que influye en la decisión de compra por parte del consumidor (Chen 2008; López y Gómez *et al.*, 2004). El estado de madurez en los jitomates es clasificado tradicionalmente en seis etapas basadas en el cambio externo de color del fruto pasando de verde a quebrando, rayando, rosa, rojo claro y rojo (NMX-FF-031-1997-SCFI; USDA 1999).

La evolución del color durante la maduración esta principalmente relacionada con la desaparición de las clorofilas y síntesis de licopeno, el cual es el responsable de color característico y constituye del 80-90 % del contenido total de pigmentos en la etapa de madurez completa. Además, el color depende en gran medida de la variedad y de las condiciones de almacenamiento (Gómez 2009; Helyes *et al.*, 2006).

Además del color, la firmeza es uno de los atributos de calidad más importante para los consumidores. La firmeza es utilizada en muchas ocasiones para establecer el momento óptimo de recolección o evaluar someramente la calidad durante el almacenamiento, comercialización o procesado inicial de los productos. (Badui 2006; Cameron y Fox *et al.*, 2002).

La relación entre el contenido de ácidos y sólidos solubles (SS) provee al fruto su sabor característico, además de ser empleado como un indicador de madurez tanto comercial y organoléptica (Angón *et al.*, 2006). La presencia de aminoácidos libres, minerales y compuestos volátiles también participan en la generación del sabor (Ortiz 2008).

En general, el valor nutricional del fruto depende de muchos factores como la variedad y cultivar. Otros factores importantes que influyen son las condiciones climáticas, la fertilización, el sistema de producción, riego, el estado de desarrollo de la planta, entre otros (Casierra *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2007; López 2007).

#### **4.5 Propiedades mecánicas de los frutos**

Son aquellas características físicas del fruto relacionadas con la textura percibida por la persona al consumir un alimento. La estimación de forma instrumental de estas propiedades se basa en la medida del comportamiento mecánico de los materiales biológicos (Alvis *et al.*, 2009; Valero 2002).

La textura puede definirse como un parámetro cualitativo complejo y variable de gran importancia en la calidad de un fruto de consumo en fresco, la cual está directamente relacionado con la firmeza del mismo (Abbott 2004; Valero 2002). Diversos factores como la presión de turgencia, rigidez de la pared celular, contenido de fibra y agua, temperatura, dimensiones geométricas del producto, variedad, determinan la respuesta reológica (Buitrago *et al.*, 2004).

Cada producto vegetal presenta propiedades diferentes, pero comúnmente la mayoría de las frutas y vegetales son considerados materiales viscoelásticos cuyo comportamiento mecánico y estructural a diferentes condiciones de fuerza y deformación es una combinación del estado sólido y líquido (Aguilera 2002; Villaseñor *et al.*, 2006).

Estas propiedades son importantes ya que proporcionan información acerca de la susceptibilidad del fruto al daño mecánico (cortes, abrasiones, grietas y magulladuras, deformación o fracturas) causado por el impacto, compresión o vibración sobre el producto en el momento de cosecha y/o poscosecha (Buitrago *et al.*, 2004; Ciro y Osorio 2008), y sirven de base para la adopción, diseño y optimización del sistema de empaque, transporte, manejo del producto y control de daños mecánicos (Abbott 2004; Villaseñor *et al.*, 2006).

La firmeza es la consistencia de los frutos, determinada tradicionalmente como la fuerza necesaria para deformar su superficie con el pulgar. Existen distintas técnicas para medir la firmeza, basadas en las características fuerza-deformación del fruto, siendo los métodos más empleados la prueba de compresión, punción y/o esfuerzo cortante, (Aguilera 2002; Alvis *et al.*, 2009; Grotte *et al.*, 2002).

Con este tipo de pruebas se obtienen datos de fuerza vs. distancia o fuerza vs. deformación, a partir de los cuales se pueden calcular diversos parámetros mecánicos como la resistencia máxima a la rotura, el módulo de elasticidad (módulo de Young), energía de ruptura o cualquier otra magnitud proporcional a éstas, relacionadas con la firmeza del fruto (Alvis *et al.*, 2009; Grotte *et al.*, 2002; Ciro y Osorio., 2008).

Cuando estos métodos destructivos son utilizados, la tendencia es utilizar tan pocas muestras como sea posible para evitar grandes pérdidas de producto, sin embargo, esto incrementa la variabilidad en los resultados de los parámetros evaluados (Valero *et al.*, 2007).

La capacidad de nuevas tecnologías que permitan la evaluación de la firmeza de manera no destructiva y automatizada permitirá incrementar el muestreo, reduciendo la variación en la evolución de la firmeza y podría ayudar a segregar la fruta altamente susceptible a magulladuras o frutas con estados similares de madurez en un lote (Diezma 2005; Valero *et al.*, 2007).

#### **4.6 Métodos no destructivos para evaluar la calidad en frutos**

Ya que la firmeza y las propiedades mecánicas de un fruto son buenos indicadores de su grado de madurez y de su posible vida de estantería, se han desarrollado diversas técnicas para la medida de estas propiedades en un intento de desarrollar métodos para clasificación de los productos en función de sus factores de clasificación (Diezma 2005; Mills 2005; Wang *et al.*, 2004).

Sin embargo la traslación de estas técnicas a los productos hortofrutícolas debe superar algunas dificultades inherentes a los productos como son las heterogeneidades en su estructura, además de formas irregulares y variables (Eccher 2005; García *et al.*, 2005).

##### **4.6.1 Impulso acústico**

El método de “impulso acústico” o “respuesta acústica” ha sido empleado para evaluar como la firmeza de los frutos se relaciona con las propiedades elásticas del mismo. En este método, el fruto es golpeado de forma controlada por un pequeño cuerpo impactante, generalmente un martillo o una esfera hecha de diferentes materiales (Baerdemaeker *et al.*, 2006; Mills 2005).

Dicho impacto genera una señal la cual es capturada con un micrófono o sensor que está situado a unos milímetros de la superficie de la muestra o en contacto directo con

ella. La ventaja del empleo del micrófono es el hecho de que no se precisa contacto entre la fruta y el transductor, ya que el contacto es factor de distorsión en la señal (Eccher 2005; García *et al.*, 2005; Landhal 2007).

A partir del espectro de la señal obtenida, es posible calcular el “índice de firmeza” del fruto en función de la frecuencia (f) y masa (kg) (Polcharski y Konopacka 2000). Este índice es comúnmente referido como SC (stiffnes coeficient) debido a su relación con la rigidez (stiffness) del fruto (Golias *et al.*, 2003; Shmulevich I. *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2004).

Cook y Rand (1973), propusieron un modelo matemático para la interpretación de comportamiento vibracional de fruta intacta donde el módulo de elasticidad (módulo de Young) puede ser estimado.

La evaluación del impulso acústico proporciona una indicación fiable de los cambios en las propiedades mecánicas de la fruta antes, durante y después de ser cosechadas, lo cual ha impulsado el uso de esta técnica para la evaluación no destructiva de la firmeza y grado de madurez en frutos (Landhal 2007; Molina *et al.*, 2006; Slaughter *et al.*, 2006; Shmulevich *et al.*, 2003).

#### **4.6.2 Importancia del color en alimentos**

El color es el principal atributo de calidad que tiene el consumidor para seleccionar los alimentos, la sensación que la persona experimenta al percibir el color influye sobre su reacción ante el alimento: puede rechazarlo sin considerar otras posibles características o aceptarlo de mejor o peor medida (Abbot 1999; Valero 2002). El simple color externo crea en el consumidor expectativas del sabor, ya que inconscientemente se asocian colores a sabores y aromas, sin que tenga que existir necesariamente una relación causa efecto (Arandiga y Díaz 2008).

Esta incidencia tiene lugar en áreas muy diferentes que abarcan todos los procesos de selección, elaboración y consumo, desde el empaquetado del producto hasta la presentación en el plato, pasando por la selección y manipulación industrial o la selección y compra por parte del consumidor (Aular y Dungan 2002; Calver y Wrolstad 2008; Olmo *et al.*, 2000).

La importancia del color en el ámbito de la tecnología de alimentos radica en su condición de factor de calidad, es decir, característica del alimento que influye en la aceptación del mismo por el consumidor y que le permite a éste establecer diferencias entre distintos productos que se presenten a su consideración. El color frente a la textura o al sabor del alimento, tiene una peculiaridad importante, su apreciación se realiza siempre en primer lugar (Aguilera 2002, Atzingen *et al.*, 2005; Reis *et al.*, 2006).

De mayor importancia tecnológica es la relación que existe entre el color y otros factores de calidad, su composición química y/ o grado de desarrollo o alteración en los alimentos. Estas relaciones múltiples son conocidas empíricamente por el hombre y usadas frecuentemente, en su diario contacto con los alimentos (Aguilera 2002; Calver y Wrolstad 2008).

Lo anterior justifica el uso cada vez más difundido del color como parámetro de selección y control de calidad para alimentos. Sin embargo, al medir el color en los alimentos hay que tomar en consideración muchos factores que, de no ser tratados adecuadamente, darán lugar a errores o confusiones, produciéndose resultados muy distintos al medir un mismo producto (Abbot 1999; Arandiga y Díaz 2008).

El mayor problema es que los alimentos pueden presentarse con distintas formas físicas, el jitomate, por ejemplo, puede ser una hortaliza, zumo, pasta o salsa, etc. Además, sufren transformaciones con el tiempo (maduración, fermentación, cambios de pH, etc.) por lo que cada alimento tiene particularidades específicas y ha de ser considerado individualmente (Abbot 2004; Calver y Wrolstad 2008; Gómez 2009).

#### **4.6.3 Medida el color en alimentos**

Como se comentó en el apartado anterior, el color es un aspecto importante y básico para los alimentos. Su estudio ha tomado gran importancia en la industria de los alimentos ya que se ha usado como herramienta para la automatización y control de procesos de elaboración de diversos productos y en el control de calidad del producto acabado (Aular y Dungan 2002; Reis *et al.*, 2006).

La medición del color puede ser realizada por métodos subjetivos y objetivos.

La forma de realizar la medición de forma subjetiva, es mediante la inspección visual del alimento. Sin embargo, en el campo de tecnología de alimentos, la observación visual de muestras para la especificación del color suele ser, en general inadecuada por

diversas razones: fatiga visual, dificultad para conseguir una iluminación uniforme y entorno apropiado, pobre memoria del color y tiempo (Arandiga y Díaz 2008; Marcus 2000).

De los métodos objetivos, se ha propuesto diversos sistemas, usados para definir la percepción humana del color de un objeto en términos numéricos, además de que han sido recomendados y utilizados por diversas comunidades científicas para su uso en la medición del color en alimentos (Montesinos 2003; Valero 2002).

#### **4.6.4 Fundamentos de colorimetría**

El color es la percepción visual de las características externas de una superficie o de un objeto, debido a la longitud de onda predominante en el espectro de emisión, reflexión o transmisión, procedente del mismo y de las características del órgano receptor (Gómez 2009: Guía de medición del color 2009).

Debido a la gran importancia que el estudio del color tiene en muchas actividades, fue necesario desarrollar sistemas de referencia del color aceptados a nivel internacional, haciendo posible unificar la terminología y tratar la medida del color de forma científica y objetiva (Artigas *et al.*, 2002, Montesinos 2003). Estos sistemas de referencia son espacios en los que a partir de una notación numérica, se pueden definir todos los colores.

Para especificar exactamente un color es necesario un mínimo de parámetros que lo definan. Los diversos sistemas de medida del color suelen basarse en estas 3 características básicas (Artigas *et al.*, 2002; Guía de medición de color 2009; Valero 2002):

- Tono o matiz: Se trata del color en sí mismo, es decir, la longitud de onda dominante del color y la cualidad que lo distingue de los demás. Es la respuesta que se da cuando se pregunta por el color de un objeto.
- Claridad o brillo: Es decir, si el color es del tipo claro u oscuro.
- Saturación: Indica la pureza o intensidad del color, permite distinguir entre colores claros y oscuros de una misma gama de colores, p.ej. rojo carmín, rojo escarlata, rojo fresa etc.

Son muchos los sistemas de mediada creados, sin embargo los espacios de color CIELAB y Hunter Lab son los de mayor importancia para la medida de color en alimentos (Aular y Dungan 2002; Valero 2002).

En 1976 la CIE (Comisión Internacional de Iluminación) creó el modelo de color  $L^*a^*b^*$  desarrollado a partir de su predecesor CIE (1931). Es el modelo de color actual más completo y se usa para describir todos los colores que el ojo humano puede ver. Este se fundamenta en el espacio de color CIE  $L^*a^*b^*$  que proporciona una representación tridimensional útil de los estímulos perceptibles del color (Figura 4) (Gómez 2009; Marcus 2000).

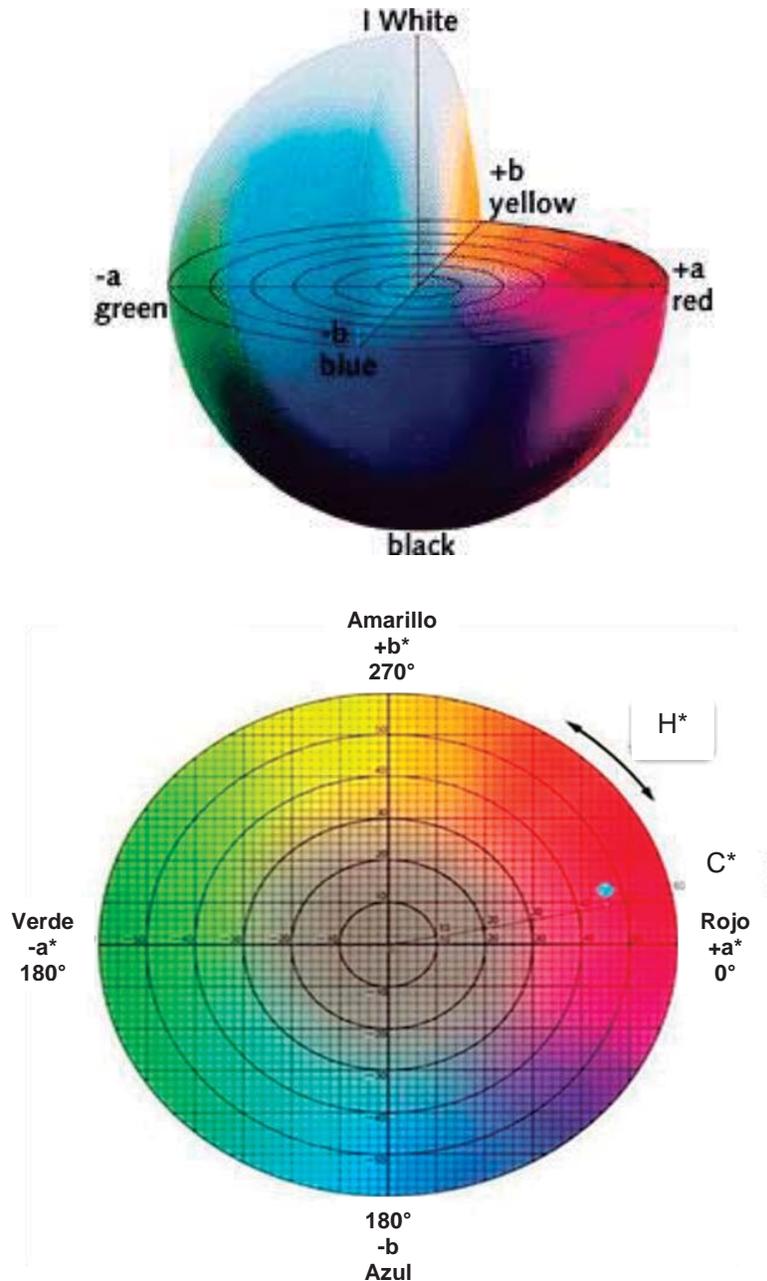


Figura 4.- Espacio de color CIE  $L^* a^* b^*$  (superior) y coordenadas de cromaticidad  $C^*$   $H^*$  (inferior).

Este sistema está definido por coordenadas rectangulares ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) y coordenadas cilíndricas ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $H^*$ ) donde  $L^*$  representa la luminosidad en escala de 0-100 (negro a blanco);  $a^*$  representa el componente verde (-) a rojo(+) y  $b^*$  el componente azul (-) a amarillo (+),  $C^*$  la cromaticidad o pureza de un color y  $H^*$  el color específico (Artigas *et al*, 2002; Reis *et al*, 2006).

Mientras que el sistema Hunter Lab toma como base la teoría de colores opuestos y define un espacio cartesiano de manera similar a como lo hace CIELAB para sus coordenadas  $L$ ,  $a$  y  $b$ , respectivamente (Aguilera 2002; Guía de medición de color 2009).

#### **IV. JUSTIFICACIÓN**

La calidad de los productos agrícolas hace referencia a una serie de características que determinan su grado de aceptación por parte del consumidor. Esta calidad está relacionada con diversas propiedades tanto externas como internas así como, la vida de anaquel del producto mismo, la cual generalmente es corta, limitando así su distribución y comercialización. Uno de los principales desafíos de la tecnología poscosecha, es el desarrollo de tecnologías capaces de medir parámetros de calidad interna en frutos. El conocimiento de estas propiedades es importante para lograr el manejo más apropiado del producto durante los periodos de cosecha y poscosecha. El presente trabajo se desarrolla en el ámbito de las técnicas de medida de parámetros de calidad en jitomate, enfocándose en el estudio de nuevas tecnologías de medida no destructivas que puedan llegar a sustituir ventajosamente a los métodos de medida tradicionales destructivos, logrando así, determinar el grado de madurez en jitomate.

## **V. HIPÓTESIS**

Mediante el uso de métodos acústicos y ópticos se podrá estimar la firmeza y contenido de licopeno en jitomate, los cuales al correlacionarlos con los datos obtenidos de las pruebas destructivas correspondientes, arrojaran resultados similares relacionados con la firmeza y contenido de licopeno y por consiguiente con el grado de maduración del fruto.

## **VI. OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Evaluar el potencial de técnicas no destructivas de impulso acústico y colorimetría, para su implementación el control y aseguramiento de la calidad en jitomate.

### **ESPECÍFICOS**

- 1.- Determinar los cambios en las propiedades fisicoquímicas de jitomate variedad “Saladette” durante su proceso maduración en condiciones de almacenamiento.
- 2.- Evaluar la firmeza del fruto por medio de métodos destructivos (compresión y penetración) y no destructivos (impulso acústico).
- 3.- Evaluar el contenido de licopeno por medio de métodos destructivos y no destructivos (colorimetría).
- 4.- Evaluación y correlación de los datos obtenidos entre las pruebas destructivas y no destructivas de firmeza y contenido de licopeno, respectivamente.

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

Como material vegetal se utilizó jitomate (*Lycopersicon esculentum*), variedad “Saladette” en estado verde de madurez cultivado en el invernadero San Francisco S.P. de R.L., en la ciudad de Morelia. Los frutos se seleccionaron presentando características homogéneas de color (verde), tamaños entre 5-6 cm de longitud y 3-4 cm de diámetro ecuatorial, libres de daños mecánicos, defectos físicos y uniformidad de peso.

Posteriormente, los frutos fueron lavados con detergente alcalino y desinfectados mediante inmersión en solución de hipoclorito de sodio al 1 % por 10 min.

Los frutos fueron divididos en 2 lotes: lote 1 (L1); lote 2 (L2). Cada lote estaba conformado por 100 frutos, numerados individualmente para su posterior identificación.

### 7.1 Condiciones de almacenamiento

Los lotes fueron almacenados en una cámara de almacenamiento Lab-Line Instruments (Modelo 0604-001), a una temperatura de  $20^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$  por un periodo de 15 días, manejando una humedad relativa (% H.R) del 75-85 %.

El lote 1 (L1) se destinó a realizar las pruebas no destructivas (impulso acústico y color), mientras que el lote 2 (L2) se utilizó para realizar las pruebas destructivas (acidez titulable, pH, sólidos solubles totales, contenido de licopeno, estimación de firmeza medida como la resistencia a la compresión y penetración, respectivamente).

Los frutos fueron removidos para su análisis después de 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días, seleccionando al azar 50 frutos del lote 1 (L1) y 15 frutos del lote 2 (L2) por intervalo de tiempo para la realización de las pruebas correspondientes.

### 7.2 Caracterización fisicoquímica

#### 7.3 Pruebas destructivas

##### 7.3.1 Determinaciones de peso, densidad y pH

El peso se determinó a cada uno de los frutos de ambos lotes por intervalo de tiempo utilizando una balanza analítica Denver Instruments (Modelo APx-200 Max. 200 g  $\pm$ 0.1 mg). El porcentaje (%) de pérdida de masa se calculó de acuerdo a la ecuación (1) (Gómez *et al.*, 2006):

$$\text{Ec. (1)} \quad \% m_p = \left( \frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100$$

Donde:

%  $m_p$  = porcentaje de pérdida de masa

$m_i$  = masa inicial (g)

$m_f$  = masa final (g).

La densidad se determinó mediante la ecuación (2) a todos los frutos de ambos lotes por intervalo de tiempo.

Ec. (2) 
$$\rho = \left(\frac{m}{v}\right)$$

Donde:

$\rho$  = densidad (g/ml).

$m$  = masa del fruto (g).

$v$  = volumen del fruto (ml).

El volumen de los frutos fue estimado empleando la ecuación (3) para determinar el volumen a un elipsoide (Jamal *et al.*, 2005):

Eq. (3) 
$$V = 1.334abc$$

La pérdida de densidad de los frutos se calculó de acuerdo a la ecuación (4) (Gómez *et al.*, 2006):

Eq. (4) 
$$\% d_p = \left(\frac{d_i - d_f}{d_i}\right) \times 100$$

Donde:

%  $d_p$  = porcentaje de densidad perdida

$d_i$  = densidad inicial (g/cm<sup>3</sup>)

$d_f$  = densidad final (g/cm<sup>3</sup>)

El pH de los frutos fue obtenido utilizando un potenciómetro HANNA Instruments (Modelo 210). La prueba se realizó previo a realizar la determinación de acidez titulable, introduciendo el electrodo en el jugo extraído y tomando la lectura correspondiente.

### 7.3.2 Determinación de firmeza

La firmeza de los frutos fue determinada mediante los ensayos de compresión uniaxial y penetración utilizando un Analizador de textura (Texture Analyzer TA-XT2t). Para lo cual, el fruto se colocó sobre la base del texturómetro, realizando los siguientes ensayos:

- a. Para el ensayo de compresión uniaxial se hizo incidir en el fruto un plato de compresión de 75 mm a una distancia compresión de 5 mm y una velocidad de desplazamiento de 1.0 mm/s.
- b. Para el ensayo de penetración se hizo incidir en el fruto un punzón de 2 mm de diámetro a una profundidad de penetración de 5 mm y una velocidad de desplazamiento de 1.0 mm/s.

Los resultados se expresaron en Newtons (N). A partir de los datos anteriores, el Módulo de Young (M.Y) fue calculado de acuerdo a la ecuación (5):

$$\text{Eq. (5)} \quad M.Y = \left( \frac{\sigma}{\epsilon} \right)$$

Donde:

M.Y = Módulo de Young (MPa)

$\sigma$  = Esfuerzo ( $\text{N/m}^2$ )

E = Deformación

### 7.3.3 Determinación de acidez titulable y °Brix

Para la realización de estas pruebas, se extrajo el jugo de los frutos en forma individual por intervalo de tiempo empleando un extractor de jugos Turmix (Modelo 120306).

Para la determinación de acidez titulable se pesaron 5 g del jugo extraído del fruto diluyéndose a un volumen de 50 ml con agua destilada. Se tituló con solución estandarizada de NaOH 0.1 N hasta alcanzar el vire de la solución (rosa pálido, pH=8.3), utilizando fenoftaleína como indicador. La acidez se expresó como porcentaje como ácido cítrico mediante la siguiente ecuación (6) (NMX-F-102-S-1978):

$$\text{Ec. (6)} \quad \% \text{ acidez} = \left( \frac{V \times N \times \text{meq. ácido}}{P} \right) \times 100$$

Donde:

V = Volumen empleado de NaOH en la titulación (ml)

N = Normalidad de NaOH (0.1 N)

P = Peso de la muestra (g)

meq. de ácido cítrico = 0.064 g

La determinación de sólidos solubles totales (°Brix) se realizó utilizando un refractómetro portátil ATAGO (rango 0-50°Brix) colocando 3-4 gotas del jugo extraído sobre el prisma del refractómetro, tomando la lectura correspondiente. Los resultados se reportaron como grados Brix (NMX-F-112-1970).

### 7.3.4 Determinación del contenido de licopeno

El contenido de licopeno fue determinado por el método de volúmenes reducidos de solventes orgánicos propuesto por Fish *et al.*, (2006), que consiste en lo siguiente:

Se pesaron con exactitud 0.4-0.6 g de puré de tomate en un vial de 40 ml cubierto de papel aluminio con el fin de evitar el paso de luz. Se añadieron 5 ml de acetona con 0.05 % de BHT (butil-hidroxitolueno), 5 ml de etanol y 10 ml de hexano. La mezcla fue colocada en un baño termo-agitador (Environ Shaker, Modelo 3527) a 180 rpm durante 15 min. Transcurrido este tiempo, 3 ml de agua destilada fueron adicionados a la mezcla, continuando con la agitación por 5 min más. Posteriormente, el vial fue colocado en posición vertical durante 5 min a temperatura ambiente para permitir la separación de fases.

De la fase superior de la mezcla (hexano) se tomaron 200 µl y se colocaron en una celda de cuarzo para obtener la absorbancia a 503 nm utilizando un espectrofotómetro (Smart Spect-3000). La ecuación (7) fue utilizada para calcular el contenido de licopeno:

$$\text{Eq. (7)} \quad \text{Licopeno mg/kg} = \left( \frac{A_{503} \times 31.2}{P} \right) \times 100$$

Donde:

$A_{503}$  = Valor de la absorbancia obtenida a 503 nm

P = gramos de muestra (g)

31.2 = Factor de conversión

Con la finalidad de corroborar la presencia del licopeno durante la maduración del

jitomate se realizó un análisis de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) siguiendo la metodología propuesta por Candelas *et al.*, (2006); el volumen restante de la fase superior (hexano) se filtró a través de filtros 0.22  $\mu\text{m}$  y analizó en un cromatógrafo Varian Prostar 240 con un detector de arreglo de diodos (PAD) en el que se instaló una columna  $\text{C}_{18}$  (30cmx1.2cm y 5 $\mu\text{m}$ ) en fase reversa. Se usó un sistema de fase móvil isocrático compuesto por acetonitrilo:metanol:2-propanol (38:60:2 v/v/v). La velocidad de flujo fue de un 1ml/min y se inyectaron 20  $\mu\text{l}$  de la muestra. El licopeno all-trans se cuantificó a una longitud de onda de 470 nm.

La identificación del licopeno se basó en la aparición de los picos en función del incremento de la concentración de la muestra.

## 7.4 Pruebas no destructivas

### 7.4.1 Determinación de color

Las mediciones de color se realizaron empleando un colorímetro ColorFlex, obteniendo los valores de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del sistema CIELab, sobre 4 puntos distintos de la epidermis en la parte ecuatorial del fruto, empleando una fuente iluminante C y 10° de observador, recomendados por CIE. Donde  $L^*$  representa el brillo o luminosidad de la superficie del fruto, cuya escala va de 0 a 100, en la cual el 0 representa al color negro y 100 al color blanco;  $a^*$  representa el cambio de color verde (-) a rojo (+) y  $b^*$  el cambio de color de azul (-) a amarillo (+).

De los valores obtenidos se calcularon los siguientes índices de color (López y Gómez 2004):

a. Relación  $a^*/b^*$

b. Índice de color de jitomate  $ICJ = \left( \frac{2000(a^*)}{L^*[(a^*)^2+(b^*)^2]^{0.5}} \right)$

c. Cromo =  $(a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$

d. Angulo Hue =  $\tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)^2 \times \left[ \frac{180}{\pi} \right]$

Las mediciones se realizaron en un cuarto oscuro a temperatura ambiente para minimizar interferencias de luz.

#### 7.4.2 Determinación de la señal de respuesta acústica

Las frecuencias de los frutos fueron obtenidas en 3 puntos equidistantes en la parte ecuatorial del fruto. De los valores de frecuencias obtenidos, el índice de firmeza (IF) y Módulo de Young (M.Y) fueron calculados empleando las ecuaciones (8) y (9), respectivamente:

$$\text{Eq. (8)} \quad IF = f^2 m^{2/3}$$

Donde:

IF es el índice de firmeza ( $\text{kg}^{2/3}/\text{s}^2$ )

f = frecuencia resonante (Hz)

m = masa del fruto (kg).

$$\text{Eq. (9)} \quad M.Y = f^2 m^{2/3} \rho^{1/3}$$

M.Y = Módulo de Young (MPa).

f = frecuencia resonante (Hz).

m = masa del fruto (kg).

p = densidad del fruto ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Para la realización de la prueba, el fruto fue colocado en posición vertical sobre un soporte suave de base firme. El impacto fue generado empleando una pequeña esfera de plástico (7.272 g) a manera de péndulo, impactando en la región ecuatorial del fruto con un ángulo de caída de  $15^\circ$  con respecto a la vertical. Tanto la posición del fruto como la altura de caída del péndulo, fueron seleccionadas en base a pruebas realizadas de manera previa, donde se comprobó que no existiera variación en la señal acústica, así como tampoco daño al fruto.

La señal acústica fue captada mediante un micrófono colocado a unos milímetros de la superficie del fruto en la parte opuesta a la zona de golpeo a razón de 5000 muestras por segundo y 50 milivoltios, y transferida mediante un amplificador A/D a una computadora portátil para el posterior análisis de los datos obtenidos (Figura 5).

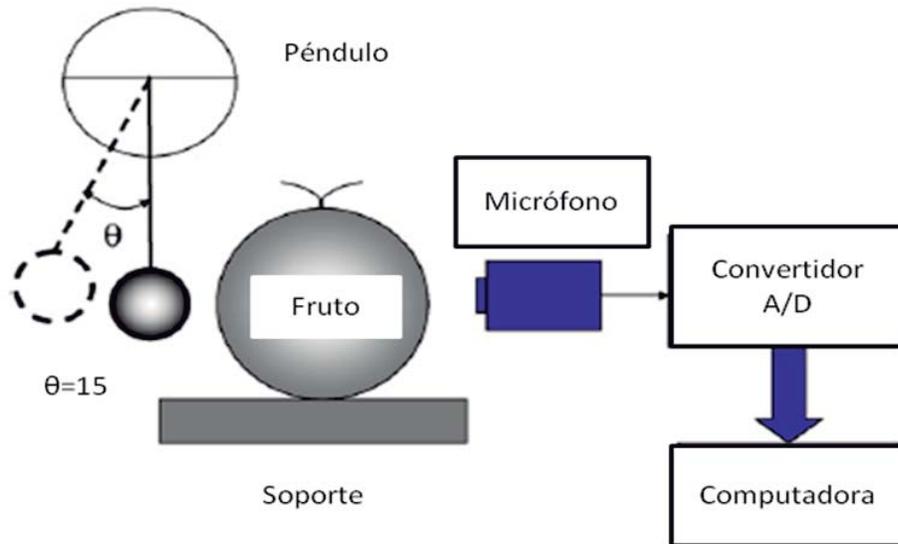


Figura 5.- Diagrama esquemático del sistema experimental de impulso acústico.

Los datos fueron analizados mediante el programa Data Studio el cual genera una rápida representación del espectro en función del tiempo. El programa Matlab versión 5, se utilizó para transformar la señal respuesta del dominio del tiempo en el espectro de frecuencia mediante Transformada Rápida de Fourier (FFT) e identificar la frecuencia dominante (o pico de frecuencia, donde la FFT relativa es mayor) en los frutos.

### 7.5 Análisis estadístico

La información obtenida se analizó mediante el programa JMP, versión 6, con el cual se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias mediante la prueba de Tukey, para comprobar diferencias significativas entre los días de almacenamiento. Adicionalmente se realizaron análisis correlación lineal entre los parámetros destructivos (firmeza y contenido de licopeno) y no destructivos (respuesta acústica y parámetros de color), respectivamente.

## VIII. RESULTADOS

### 8.1 Propiedades fisicoquímicas evaluadas en jitomate

#### 8.1.1 Determinación de peso

En el Figura 6, se observa que el porcentaje de pérdida de peso aumenta de forma progresiva y lineal con respecto al tiempo de almacenamiento, lo cual está asociado a los procesos de transpiración y respiración en los frutos, en este último proceso se metabolizan diversos sustratos a moléculas más simples generando calor, CO<sub>2</sub>, agua y energía. La pérdida de agua ocasiona también una disminución de la elasticidad y turgencia, ocasionando que el fruto se vuelva blando y se marchite generando así, una pérdida de densidad. Lo anterior repercute directamente en el valor comercial y la aceptabilidad por parte del consumidor (Becerra *et al.*, 2009; Znidarcic y Prozrt 2006).

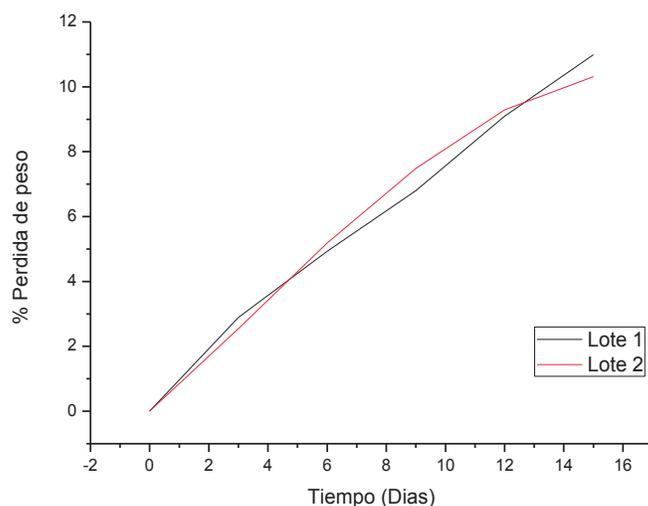


Figura 6.- Porcentaje de pérdida de peso en jitomate durante el periodo de almacenamiento.

La pérdida de peso mostró una tendencia similar en ambos lotes, disminuyendo en función del tiempo de almacenamiento (Figura 6). Para el lote 1 (L1) el peso cae de 107.542 g para el día 0 a 96.328 g para el día 15 de almacenamiento, lo cual representa una disminución del 10.42 % durante el periodo de almacenamiento, siendo los días 3 y 6 donde se presentó la mayor pérdida de peso, correspondiendo a 2.83 g y 2.47 g respectivamente (Cuadro 2).

Por lo que respecta al lote 2 (L2) el peso disminuye de 92.203 g en el día 0 a 82.357 g para el día 15 de almacenamiento, representando una pérdida del 10.67 %. Para L2 son

los días 3 (2.787 g) y 12 (2 g) donde se presenta la mayor pérdida de peso durante el almacenamiento (Cuadro 2).

Estas tendencias concuerdan con lo reportado por diversos autores bajo condiciones similares de almacenamiento para jitomate a las manejadas en este trabajo (Casierra *et al.* (2007); Ramírez *et al.* (2005); Znidarcic *et al.* 2006).

## 8.2 Pruebas destructivas

### 8.2.1 Evolución de acidez, pH y °Brix en jitomate

Los factores de acidez y pH presentaron un comportamiento inverso (< % de acidez, > pH) durante el periodo de almacenamiento (Tabla 2). El porcentaje de acidez disminuyó de un valor inicial de 0.3537 % a un valor de 0.2898 % al término del almacenamiento.

La disminución en la concentración de ácidos en los frutos puede explicarse en parte por el aumento de la concentración intra-fruto de CO<sub>2</sub> el cual, limita el paso succinato-malato en el ciclo de Krebs, por inhibición de la enzima succinato deshidrogenasa; así como también por la utilización de estos, como sustratos en el proceso de respiración (Abdul *et al.*, 2009; Galieta *et al.*, 2005).

El valor de pH del jugo registrado durante el periodo de almacenamiento presentó un incremento apenas significativo de 4.309 para el día 0 a 4.46 en el día 15 (Tabla 2). El comportamiento de este parámetro bajo las condiciones experimentales empleadas es similar con los resultados reportados por Becerra *et al.*, (2009), Clément *et al.*, (2008) y Abdul *et al.*, (2009).

*Tabla 2.-Valores promedio de las distintas características fisicoquímicas evaluadas en jitomate durante el periodo de almacenamiento.*

Día	Peso (g) L1	Peso (g) L2	°Brix	% Ácido cítrico	pH
0	107.5422 a	92.2038 a	3.77 a	0.3537 a	4.309 a
3	104.8078 ab	89.4161 b	3.963 ab	0.3602 a	4.312 a
6	101.9783 bc	87.5781 bc	4.336 b	0.341ab	4.372 ab
9	99.5047 cd	85.8259 cd	4.49 b	0.3337 ab	4.331 b
12	97.6707 d	83.8198 de	4.6 c	0.3103 bc	4.377 b
15	96.3287 d	82.3575 e	4.804 c	0.2898 c	4.46 b

*\*\*Medias con letras diferentes presentan diferencia significativa (P<0.05).*

El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) se incrementó durante el tiempo de almacenamiento de 3.77° para el día 0 a 4.804° para el día 15 (Tabla 2). Sin embargo,

dicho incremento apenas logra ser significativo a partir del día 12 de almacenamiento. Estos valores son muy similares a los reportados por López (2007), para la misma variedad de jitomate en condiciones similares de almacenamiento.

El incremento en los °Brix es atribuido a la hidrólisis de diversos polisacáridos, principalmente almidón, a azúcares simples responsables del incremento en este parámetro durante las etapas de crecimiento y desarrollo del fruto. Estos azúcares están conformados principalmente por glucosa y fructosa, los cuales se encuentran en concentraciones muy similares, y en menor proporción sacarosa (Casierra *et al.*, 2007; López 2007).

Las tendencias mostradas en los parámetros anteriores (°Brix, acidez titulable y pH) concuerdan con los datos reportados por Becerra *et al.*, (2009), Casierra *et al.*, (2008); Galieta *et al.*, (2005); Bili *et al.*, (2007) para estos mismos parámetros, aunque los resultados reportados por Juárez *et al.*, (2009) fueron mayores para el caso de °Brix, obteniendo valores máximos de 8°.

La poca variación observada en dichos parámetros es debida a la variedad de jitomate utilizado, el cual se considera como un jitomate ácido, además, de otros factores como las condiciones de cultivo, temperatura de almacenamiento, entre otros.

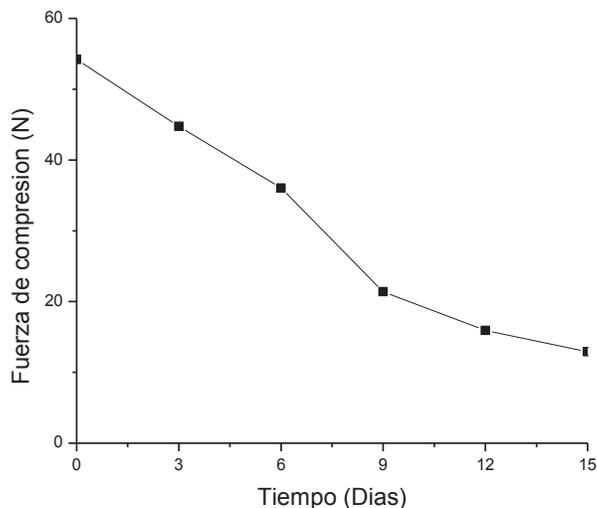
La relación azúcar-ácido provee a los frutos de su sabor característico, además de ser un indicador de su madurez comercial y organoléptica. Al inicio del proceso de maduración esta proporción es baja, debido al bajo contenido de azúcares y alto contenido de ácidos, lo que le da el sabor ácido al fruto. (Angón *et al.*, 2006).

### **8.2.2 Evolución de la firmeza en jitomate**

En las figuras 7 y 8, se observa que la firmeza medida como la resistencia a la penetración y compresión disminuyó con el tiempo de almacenamiento. Esta propiedad física de los frutos, cambia con el avance del proceso de madurez, con lo que se puede ilustrar los distintos estados de madurez por los que atraviesa el fruto durante el almacenamiento.

Angón *et al.* (2006) y Zhiguo Li *et al.*, (2010) consideran que durante la maduración del fruto, la velocidad de degradación de componentes estructurales está relacionada con el ablandamiento del fruto, existiendo además una pérdida de humedad debido a la transpiración, disminuyendo así, la presión de turgencia y debilitando finalmente la estructura y consistencia del fruto.

Durante los 15 días de almacenamiento, la fuerza máxima a la compresión disminuyó de 54.193 N a 12.926 N, representando una pérdida total del 76.14 % en la firmeza de los frutos (Figura 7).

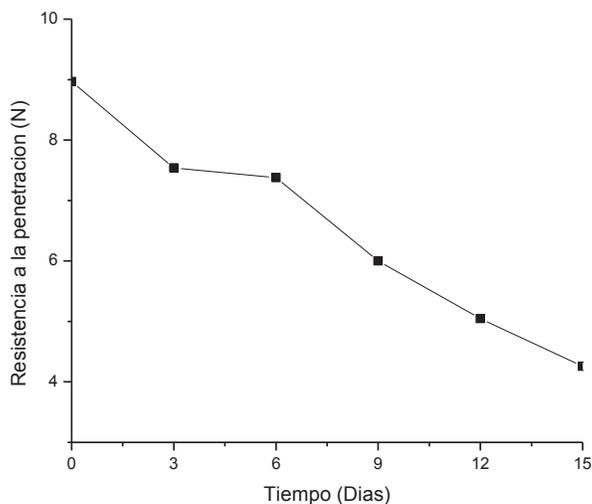


*Figura 7.- Firmeza evaluada mediante la fuerza máxima a la compresión durante el periodo de almacenamiento.*

Mientras que la resistencia a la penetración disminuyó de 8.966 N para el día 0 a 4.257 N para el día 15, lo cual representa un pérdida del 52.52 % de firmeza total (Figura 8).

Como se observa en la figuras 7 y 8, la mayor pérdida de firmeza en los frutos de jitomate ocurre durante los primeros 9 días de almacenamiento, en este caso los frutos han perdido un 79.48 % (32.8 N) del total de la firmeza perdida durante todo el almacenamiento, siendo entre los días 6 a 9 donde se presenta la mayor disminución en la firmeza (14.626 N). Mientras que para los días 12 y 15 de almacenamiento, a pesar de que la firmeza continúa disminuyendo, dicha pérdida ya no presenta diferencias significativas.

Un comportamiento similar se obtuvo en la firmeza evaluada mediante la resistencia a la penetración, donde la mayor pérdida de firmeza tiene lugar durante los primeros 9 días de almacenamiento, alcanzando un 37.06 % (2.9635 N) del total de la firmeza perdida, siendo los días 3 y 9 donde se presentan las pérdidas más importantes durante el almacenamiento (1.425 N y 1.374 N, respectivamente). De igual forma, no se presentan diferencias significativas para los últimos dos intervalos de tiempo del almacenamiento.



*Figura 8.- Firmeza evaluada mediante la resistencia máxima a la penetración durante el periodo de almacenamiento.*

En el caso particular de jitomate diversos estudios (Bali *et al.*, 2007; Galieta *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2005) han demostrado que enzimas como la pectinesterasa (PE) y poligalacturonasa (PG) son las que mayor actividad presentan en la pérdida de firmeza de los frutos, siendo activadas por la concentración de etileno.

### **8.2.2.1 Determinación del módulo de Young**

El módulo de Young (M.Y) se determinó a partir de los ensayos de compresión y penetración, respectivamente. El análisis estadístico mostró diferencias significativas en ambos durante el tiempo de almacenamiento (Tabla 3).

El valor del módulo Young a la compresión disminuyó presentando un valor medio entre el día 0 y día 15 de 0.5628 MPa y 0.0886 MPa, respectivamente; mientras que el módulo de Young a la penetración presentó un valor medio entre el día 0 y día 15 de 0.1633 MPa y 0.052 MPa, respectivamente.

Tabla 3.-Valores promedio de módulos de Young destructivo evaluados en jitomate durante el periodo de almacenamiento.

Modulo de Young (MPa)		
Día	Compresión	Penetración
0	0.5628±0.201	0.1633±0.05
3	0.3365±0.138	0.108±0.037
6	0.2618±0.11	0.0932±0.036
9	0.1403±0.072	0.0862±0.044
12	0.0921±0.048	0.0535±0.034
15	0.0886±0.028	0.052±0.0209

Esto es atribuible a la pérdida de firmeza en el fruto, la cual ocurre en su proceso de maduración. El módulo de Young es una característica de cada material y está relacionado con la rigidez del tejido del fruto cuando este es sometido a un esfuerzo de tensión o compresión y se interpreta como la fuerza máxima que se puede aplicar o en este caso soportar, antes de que el material se rompa (Ciro *et al.*, 2008). Por lo tanto, conforme el fruto madura, ofrece una menor capacidad de resistencia a la deformación y recuperación de su forma original ante la aplicación de una fuerza externa (Villaseñor *et al.*, 2006).

### 8.2.3 Identificación y determinación del contenido de licopeno en jitomate

El espectro uv-visible de los carotenoides es bastante característico, normalmente aparecen 3 máximos cuyas longitudes de onda dependen del número de dobles enlaces conjugados y del disolvente empleado. En el caso del licopeno, presenta 3 picos de absorción característicos ( $\lambda = 450, 470$  y  $503$  nm) (Melendez *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2006). En la figura 9, se observa los espectros de absorción uv-visible para el licopeno en hexano durante los diferentes intervalos de tiempo evaluados en almacenamiento.

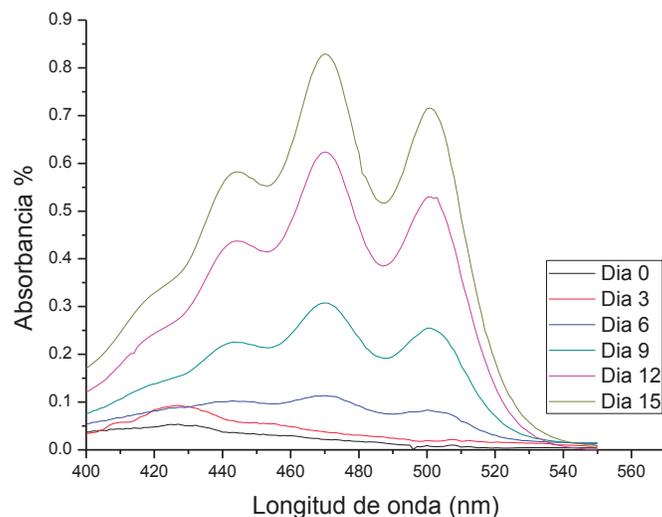


Figura 9.- Espectro de absorción uv-visible (400-550 nm) para licopeno en hexano durante el periodo de almacenamiento.

En la Figura 10, se muestra el cromatograma obtenido del análisis de HPLC. El único pico detectado a 470 nm, presenta un tiempo de elución de  $9.553 \pm 0.13$  min y es atribuible al licopeno. Algunos tiempos de retención reportados para el licopeno en jitomate fresco son los siguientes: 18.486 min. (Candelas *et al.*, 2006); 11.023 min. (De Souza *et al.*, 2008); 16.336 min. (Naviglio *et al.*, 2008) y 6.6 min. (Xu *et al.*, 2006). Las causas probables de estas variaciones y la obtenida en este trabajo son diversas, van desde el equipo utilizado, la fase móvil o sistema de solventes empleados, el tipo de columna, velocidad de inyección, etc.

Muy pocos carotenoides están en jitomate, donde el  $\beta$ -caroteno es el segundo en importancia, con aproximadamente un 14 % del total de carotenoides presentes. Usando este método, es imposible asegurar que otros carotenoides no están presentes en la muestra, sin embargo presentan una absorción muy pobre a 470 nm, como el caso del  $\beta$ -caroteno que presenta su máxima absorción a 450 nm y eluye a un tiempo mayor al del licopeno utilizando este método (Candelas *et al.*, 2006; Cox S. 2001; Xu *et al.*, 2006), por lo cual se puede asegurar que el pico identificado corresponde al licopeno principalmente.

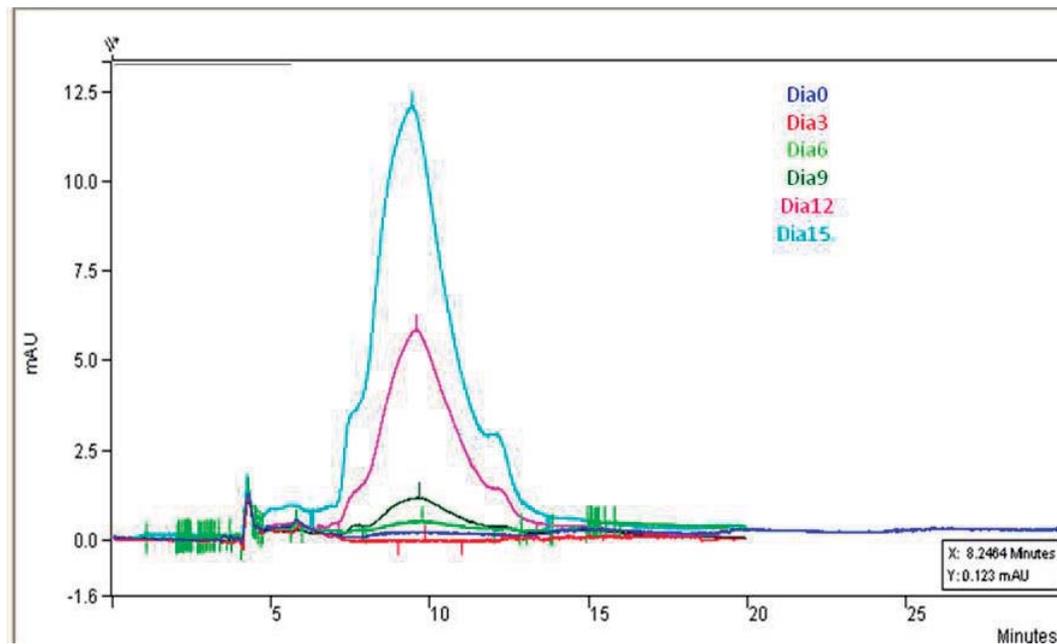
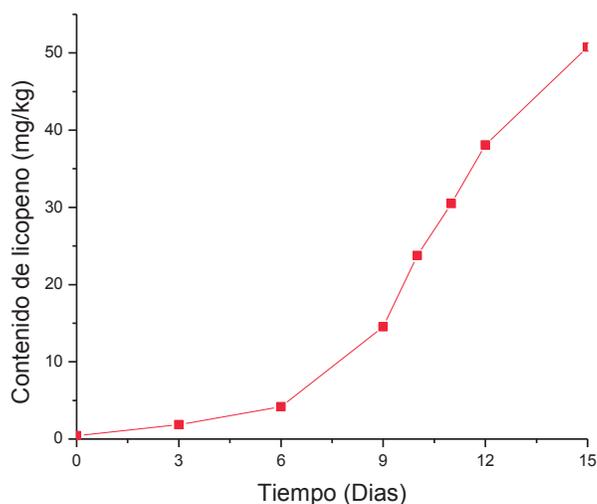


Figura 10.- Cromatograma de HPLC de licopeno extraído de jitomate a 470 nm durante el periodo de almacenamiento.

Para comprobar lo anterior, se realizó un barrido uv-visible dentro del área del pico obtenido y se comprobó que no existieran modificaciones en los espectros correspondientes en las distintas muestras empleadas, modificaciones que pudieran ser causadas por la presencia de algún otro compuesto, así mismo, el espectro Uv-vis (Figura 9) tampoco mostró modificación del espectro característico del licopeno.

La concentración de licopeno medida a través de la absorbancia a 503 nm, presentó un incremento durante el periodo de almacenamiento (Figura 11), existiendo así, una diferencia significativa en el contenido de licopeno según el estado de madurez del fruto. La máxima concentración obtenida de licopeno fue de 50.766 mg/kg, que equivale a 5.076 mg/100g de muestra fresca. Este valor se encuentra dentro de los valores promedio reportados para jitomate que van de 3-12 mg/100g (Candelas *et al.*, 2006; Llamas 2008).



*Figura 11.- Contenido de licopeno (mg/kg) en jitomate durante el periodo de almacenamiento.*

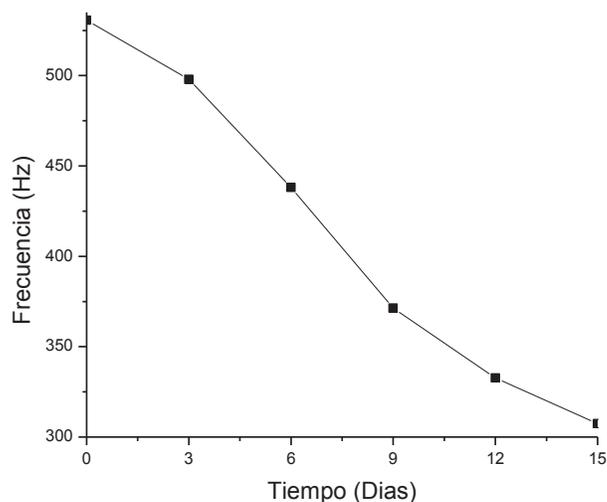
En la figura anterior se observa que a partir del 6<sup>to</sup> día de almacenamiento se presenta un incremento altamente significativo en el contenido de licopeno, siendo particularmente entre los días 9 y 12 de almacenamiento cuando presentó el mayor incremento en su contenido, siendo de 23.903 mg/kg, lo cual representa 47.085 % del total de la producción de licopeno durante el periodo de almacenamiento. Helyes *et al.*, (2006), reportan resultados muy similares a los de este trabajo.

Por otro lado, los días en que se presenta dicho incremento (6<sup>to</sup> día), coinciden con los días en el que los frutos comienzan a virar hacia la coloración roja característica, evidenciando de esta forma que el licopeno es responsable en gran parte de la coloración en los frutos de jitomate (Galieta *et al.*, 2005).

### **8.3 Pruebas no destructivas**

#### **8.3.1 Evolución de los parámetros acústicos durante el almacenamiento en jitomate**

Las frecuencias en los frutos de jitomate disminuyeron progresivamente en función del tiempo de almacenamiento (Figura 12), esta tendencia concuerda con la reportada por otros autores (Hernández 2005; León *et al.*, 2002; Correa *et al.*, 2004).



*Figura 12.- Comportamiento en la frecuencia resonante en jitomate durante el periodo de almacenamiento.*

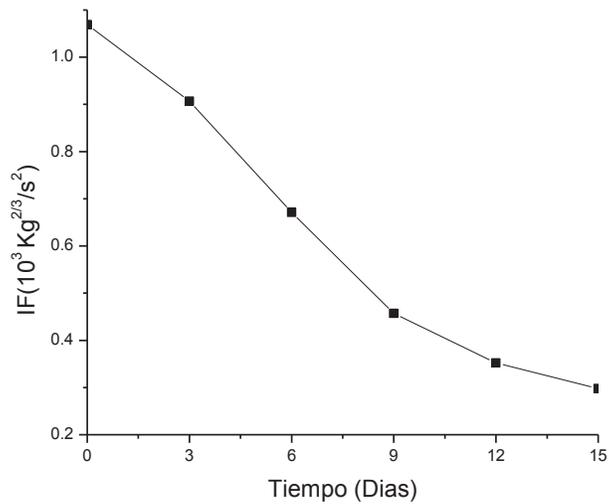
Las valores de frecuencias registrados durante los 15 días de almacenamiento de jitomate disminuyeron de 530.59 a 307.42 Hz, lo cual representa una disminución del 42.06 %. En la figura 12, se puede apreciar que durante los primeros 9 días del almacenamiento se presenta la mayor pérdida de frecuencia (159.286 Hz), representando el 71.36 % del total de frecuencia perdida. Por otro lado, es entre los días 6 y 9 es donde se tienen las mayores pérdidas de frecuencia por intervalo de tiempo evaluado (59.85 y 66.77 Hz, respectivamente). Para los días 12 y 15 del almacenamiento, los valores de frecuencias continúan disminuyendo, sin embargo no se encontraron diferencias significativas en estas etapas.

Los resultados obtenidos muestran una tendencia muy similar a la obtenida por Wang *et al.*, (2009), quienes trabajaron con jitomate en 2 distintos estados de madurez almacenados en condiciones similares a las de este trabajo, obteniendo una disminución de 451.91 a 304.54 Hz, lo que representa un 33.34 % de pérdida en su frecuencia.

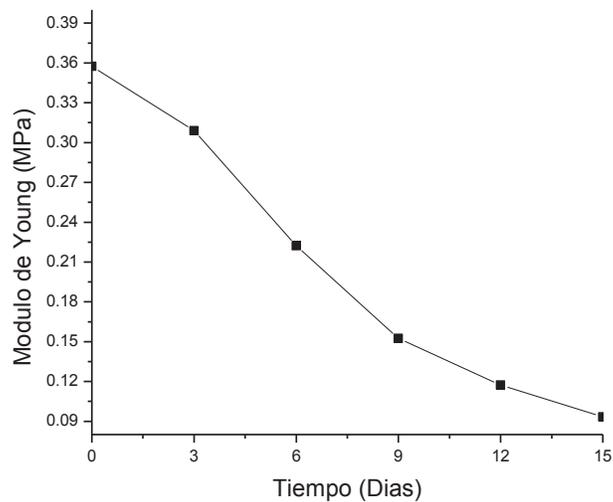
En la figura 13a, puede observarse el comportamiento del índice de firmeza (IF) en función del tiempo de almacenamiento. Se observa una disminución de 1.069 a 0.298 x 10<sup>3</sup> kg<sup>2/3</sup>/s<sup>2</sup>, lo cual representa una disminución del 72.12%, durante los 15 días de almacenamiento de los frutos.

El módulo de Young no destructivo (M.Y) disminuye en función del tiempo de almacenamiento de 0.3574 MPa para el día 0 a 0.0933 MPa en el día 15, significando una disminución del 68.63%, durante los 15 días de almacenamiento (Figura 13b).

Al igual como ocurre con los valores de frecuencia, los días 6 y 9 de almacenamiento son donde se presentó la mayor disminución de los valores tanto para el índice de firmeza como el módulo de Young. Dentro de este periodo, el IF disminuyó un 58.36 % del total, mientras que el M.Y disminuyó 59.25 % del total, durante el almacenamiento.



a)



b)

*Figuras 13a y 13b.- Comportamiento del índice de firmeza (IF) y módulo de Young (M.Y) en jitomate durante el periodo de almacenamiento.*

Ambos parámetros mencionados anteriormente, muestran tendencias muy similares a los reportados por Imran Al-Haq *et al.*, (2004), Plocharsk (2000), Ranatunga *et al.*, (2009) y Slaughter *et al.*, (2006) y son del mismo orden a los reportados por Wang *et al.*, (2009).

### 8.3.2 Evolución del color en jitomate

El cambio de color que se produce durante la maduración en jitomate supone una modificación de los pigmentos presentes en el mismo. La pérdida de color verde debida a la desaparición de la clorofila va asociada a la síntesis de compuestos carotenoides que imparten su color rojo típico al jitomate (Figura 14) (Gómez 2009; Helyes *et al.*, 2006).

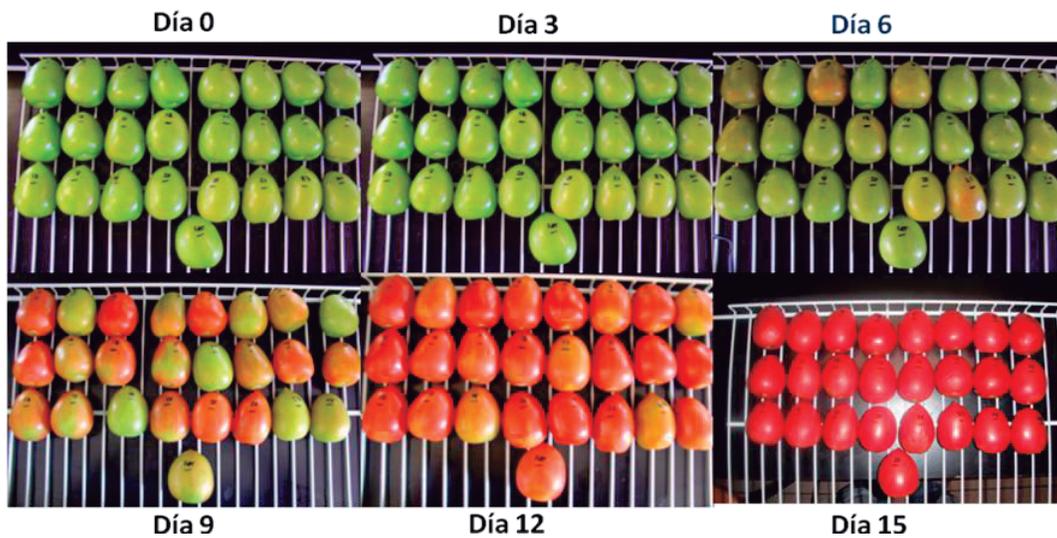


Figura 14.- Evolución del color en jitomate durante el periodo de almacenamiento.

En la Figura 15, se observa que el componente  $a^*$  mostró el cambio más significativo siguiendo una tendencia sigmoideal durante el proceso de maduración en los frutos en los parámetros evaluados. Se observa que es entre los días 6 y 9 cuando los valores de  $a^*$  pasan de negativos (color verde) a positivos (color rojo) (Figura 15). Dicha tendencia está relacionada al comienzo en la síntesis de licopeno y la desaparición de clorofila en los cloroplastos de las células (Zapata *et al.* 2007). Los valores obtenidos son muy similares a los reportados por Hernández *et al.*,(2007) y Helyes *et al.*,(2006).

Debido a que las cantidades de carotenoides incrementan en las etapas posteriores de almacenamiento (días 9, 12 y 15, respectivamente), cuando estos se acumulan, provocan un oscurecimiento de la coloración en el fruto, lo cual ocasiona una disminución en el valor de  $L^*$ . En este trabajo el valor de  $L^*$  disminuyó un promedio de 35.86 % durante el tiempo de almacenamiento (Figura 15).

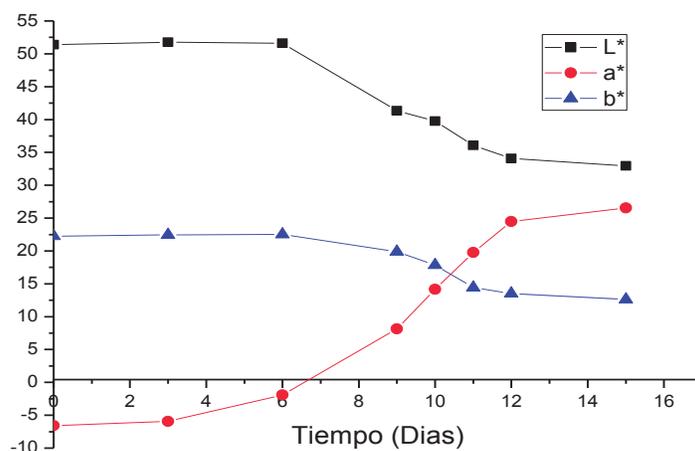


Figura 15.- Evolución de los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en jitomate durante el almacenamiento.

Esta tendencia coincide con la reportada por diversos autores (Helyes *et al.*, 2006; Radzevicius *et al.*, 2009), aunque los valores reportados por Clement *et al.*, (2008) son mayores a los obtenidos en este trabajo.

El valor del parámetro  $b^*$ , presentó una disminución significativa del 43.34 % en función del tiempo de almacenamiento (Figura 15). Esta disminución puede estar asociada a la degradación de pigmentos amarillos tanto  $\alpha$ - y  $\beta$ -carotenos, por diversos procesos oxidativos (Gómez 2009; Reis *et al.*, 2006).

En la Tabla 4, se puede apreciar que tanto el índice de color  $a^*/b^*$  y el índice de color de jitomate (ICJ) presentan un incremento progresivo en función del tiempo de almacenamiento, pasando de valores negativos a valores positivos. Para ambos índices, los valores obtenidos son muy similares a los reportados por Clement *et al.*, (2008) y Radzevicius *et al.*, (2009).

Tabla 4.-Valores promedio de los diferentes índices de color evaluados en jitomate durante el periodo de almacenamiento.

Día	a* /b*	ICJ	Croma (C*)	Hue (H*)
0	-0.2955 a	-11.0523 a	23.2862 c	94.4373 b
3	-0.2663 a	-9.9144 a	23.2878 c	98.6523 b
6	-0.0879 a	-3.1646 b	22.8243 c	117.3331 a
9	0.41 b	17.1384 c	21.8506 d	83.4193 c
12	1.8414 c	51.3367 d	28.0273 b	14.7211 d
15	2.2601 d	54.8788 e	29.4048 a	11.3214 d

\*\*Medias con letras diferentes presentan diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

a\* /b\*= relación a\* /b\*

ICJ = Índice de color de jitomate

Sin embargo, para el índice de color (ICJ), se encontraron diferencias significativas entre cada uno de los tiempos evaluados, indicando con esto que puede ser un mejor parámetro para evaluar el desarrollo de la coloración rojo y grado de madurez en el fruto (Artigas *et al.*, 2002; Berit *et al.*, 2004; Znidarcic y Pozrl 2006).

Los valores de cromaticidad (C\*) disminuyeron durante la maduración del fruto, sin embargo, en las etapas iniciales del almacenamiento, los valores de croma (C\*) no presentaron cambios significativos sino hasta cuando los frutos cambian de rosa a rojo claro (día 12). Sin embargo, algunos autores concluyen (López y Gómez 2004; Zapata *et al.*, 2007), que C\* no es un buen indicador de madurez en jitomate debido a que esencialmente es una expresión de la pureza o saturación simple de un color, pudiendo de esta forma, muestras con diferente color presentar valores similares en este parámetro. Los valores del ángulo Hue (H\*), que representan el tono o color, indican el ángulo de giro respecto al eje en el espacio de color CIELab (Figura 4, inferior), de acuerdo a los resultados obtenidos, estos comienzan en el cuadrante II (-a,+b), mostrando un cambio hacia el cuadrante I (+b,+a) a partir del día 9, indicando así, las distintas tonalidades que presenta el jitomate durante el almacenamiento, yendo desde verde hasta el rojo (Montesinos 2003).

#### 8.4 Relación entre parámetros no destructivos y destructivos evaluados en jitomate

En la tabla 5 se observan los resultados del análisis de correlación entre los módulos de Young obtenidos de las pruebas destructivas de compresión y penetración,

respectivamente, así como con el contenido de licopeno con el módulo de Young obtenido de la prueba no destructiva de impulso acústico, obteniéndose valores bastante aceptables de correlación para cada caso.

*Tabla 5.-Resultados del análisis de regresión entre el módulo de Young no destructivo y los módulos de Young destructivos obtenidos de las pruebas de compresión y penetración, así como con el contenido de licopeno.*

<b>Módulo de Young no destructivo (MPa)</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Módulo de Young, prueba de compresión (MPa)</b>	$y=0.561x+0.069$	0.928
<b>Módulo de Young, prueba de penetración (MPa)</b>	$y= 2.448x-0.018$	0.889
<b>Contenido de licopeno (mg/kg)</b>	$y= 1378.5x^2-791.5x+100.3$	0.959

Esto demuestra que el módulo de Young no destructivo se correlaciona directamente con la resistencia que presenta el fruto a la deformación durante su proceso de maduración, indicando con esto que puede ser empleado como indicador de la firmeza en el fruto. Tendencias similares son reportados por Armstrong *et al.*, (1997), Diezma *et al.*, (2003), Molina *et al.*, (2006).

Aunque los valores de correlación obtenidos son aceptables tanto para la prueba de compresión y penetración, respectivamente, se observa que la mejor correlación se obtiene para el módulo de Young de la prueba de compresión, indicando con esto que puede ser empleado para obtener una estimación más precisa de la resistencia que presenta el fruto de jitomate a la deformación. De igual forma, al correlacionar el módulo de Young no destructivo con el contenido de licopeno, se obtiene un valor muy aceptable de correlación ( $r^2= 0.959$ ), lo cual indica que el módulo de Young no destructivo puede emplearse como un indicador eficaz para estimar tanto el contenido de licopeno como la resistencia a la deformación en jitomate.

En la tabla 6, se observa la correlación obtenida entre el contenido de licopeno y distintos índices de color evaluados ( $a^*$ ,  $a^*/b^*$  e ICJ). Esto indica que el incremento de los valores de dichos parámetros se correlaciona directamente con el contenido de licopeno durante la maduración de los frutos, indicando con esto que el licopeno influye decisivamente en el cambio de color en jitomate.

Tabla 6.-Resultados del análisis de regresión entre el contenido de licopeno y algunos parámetros de color evaluados en el jitomate.

Contenido de licopeno (mg/kg)	Ecuación	R <sup>2</sup>
a*	y= 0.692x-5.217	0.963
a*/b*	y= 0.50x-0.310	0.987
ICJ	y= 1.395x - 9.086	0.967

Aunque se obtienen valores de correlación bastante aceptables para cada uno de los índices empleados, la relación a\*/b\* es la que mejor se correlaciona con el contenido de licopeno (Figura 16). Sin embargo, la correlación obtenida para el ICJ también es muy buena, de manera que es factible el utilizar ambos índices para la estimación del contenido de licopeno de forma no destructiva.

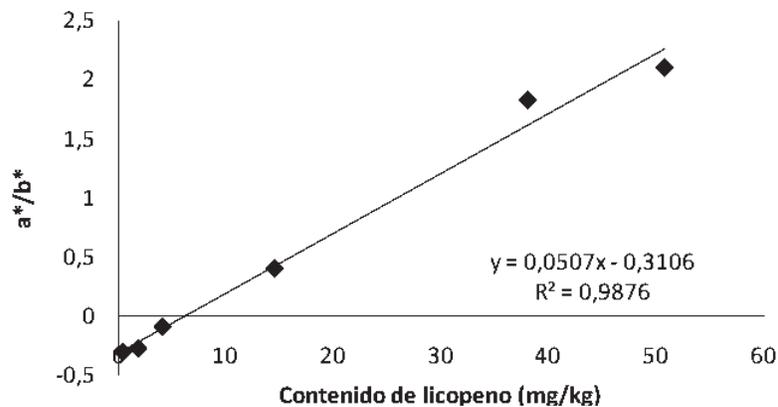


Figura 16.- Correlación entre la relación a\*/b\* y el contenido de licopeno (mg/kg) en jitomate.

En las tablas 7 y 8 se observa la correlación obtenida entre los distintos índices de color evaluados (a\*, a\*/b\* e ICJ) y los módulos de Young no destructivo y destructivo, obtenidos de las pruebas de impulso acústico y compresión, respectivamente. Esto indica que el incremento de los valores de dichos índices de color se correlaciona directamente con la disminución en el módulo de Young, el cual está asociado con la disminución de resistencia del fruto a la deformación. De esta forma, el módulo de Young no destructivo puede emplearse también como un buen indicador del contenido de licopeno en el fruto de jitomate.

Aunque se obtienen valores de correlación bastante aceptables para cada uno de los índices empleados, el parámetro  $a^*$  es el que mejor se correlaciona con el módulo de Young no destructivo, de forma que es más factible utilizar este parámetro como un indicador para la estimación de la resistencia a la deformación del fruto durante su proceso de maduración.

*Tabla 7.-Resultados del análisis de regresión entre distintos índices de color evaluados y el módulo de Young obtenido de la prueba de impulso acústico.*

Parámetros		Ecuación	R <sup>2</sup>
$a^*/b^*$	M.Y	$y= 0,0914x^2-0,2509x+0,2396$	0,924
ICJ	M.Y	$y= 9x10-5x^2-0,0072x+,2353$	0,946
$a^*$	M.Y	$y= 0,0004x^2-0,0138x+0,2334$	0,953

M.Y = Módulo de de Young obtenido de la prueba de impulso acústico (no destructivo)

ICJ = Índice de color en jitomate

*Tabla 8.-Resultados del análisis de regresión entre distintos índices de color evaluados y el módulo de Young obtenido de la prueba de compresión.*

Parámetros		Ecuación	R <sup>2</sup>
$a^*/b^*$	M.Y	$y= 0,177x^2-0,4519x+0,286$	0,822
ICJ	M.Y	$y= 0.0002x^2-0.013+0.2779$	0.841
$a^*$	M.Y	$y= 0.0007x^2-0.0238+0.2622$	0.85

M.Y = Módulo de de Young obtenido de la prueba de compresión (destructivo)

ICJ = Índice de color en jitomate

## IX. CONCLUSIONES

Las técnicas no destructivas de impulso acústico y colorimetría proporcionan una indicación fiable de los cambios en la firmeza y contenido de licopeno y por tanto del nivel de madurez del fruto de jitomate bajo las condiciones de almacenamiento empleadas, pudiendo así reemplazar los métodos destructivos tradicionales respectivos.

De acuerdo con el análisis estadístico, se obtiene una correlación aceptable entre el parámetro acústico coeficiente de elasticidad (EC) y los módulos de Young obtenidos de las pruebas de compresión ( $R^2= 0.928$ ) y penetración ( $R^2=0.889$ ), respectivamente. Indicando con esto que el módulo de Young no destructivo puede ser empleado como un parámetro con el cual poder estimar la firmeza en jitomate.

La determinación de los diferentes índices de color ( $a^*$ ,  $a^*/b^*$  y IC) es un método sencillo y no destructivo que proporciona una caracterización del color del fruto, control de calidad y estimación del contenido de licopeno en jitomate. En base a los resultados obtenidos del análisis estadístico la relación  $a^*/b^*$  mostró la mejor correlación ( $R = 0.987$ ) y diferencias significativas durante el periodo de almacenamiento. Sin embargo, es factible utilizar también el ICJ para la estimación del contenido de licopeno en etapas de madurez.

No se observaron señales de daño causado sobre la epidermis del fruto durante al término de los experimentos, confirmando con esto la naturaleza no destructiva de las técnicas de impulso acústico y color empleadas.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Abbot A.J. (1999). Quality measurements of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 15, pp. 207-225.
- Abbot A. J. (2004). Quality of fresh and processed foods. Pp. 265-274. En: <http://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=Q7fAp-arpEEC&oi=fnd&pg=PA265&dq=maturity+determination+of+tomatoes++using+acoustic+methods&ots=r dMgSPT4xG&sig=licv17eV3vNgkQUY87SIHQKT6-w#v=onepage&q&f=false>.
- Abdul H. M.; Bello I. A.; Ojlajira A.A. (2009). Comparison of biochemical and physiological properties of nigerian tomato fruits ripened under different conditions. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*. Vol. 9, no. 9, p.p. 1859-1877.
- Aguilera J. M. (2002). *Tecnología de los alimentos*. Instituto Politécnico Nacional. Editorial Tres guerras. Primera reimpresión. Pp.215-240.
- Ajmera Shefali. (2006). The effects of different cooking times and temperatures on tomato sauce lycopene content. Tesis Maestría en Ciencias. En: <http://etd.ohiolink.edu/view.cgi/Ajmera%20Shefali.pdf?bgsu1162846281>. Fecha de consulta: 2/03/2011
- Alvis A.; Páez M.; Lafont J. (2009). Propiedades mecánicas y viscoelásticas del Ñame. *Información Tecnológica*. Vol. 20, no. 5, pp. 75-81
- Angón G. P; Sánchez N., Hernández C.H. (2006) Índices para la determinación de las condiciones optimas de maduración de un fruto. En: <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/ensayo1130.pdf>
- Arab L. and Stecks S. (2000).Lycopene and cardiovascular disease. *AM. Journal of Clinic Nutrition*.Vol. 71, pp. 1691-1697.
- Arandiga M. G., Díaz S. S. (2008). Estudio del licopeno del tomate como colorante natural desde la prespectiva analítica e industrial. Tesis de licenciatura. Universidad Politécnica de Cataluña. En : <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5544/2/Memoria.pdf> Fecha de consulta: 6/04/2011
- Arango Mejía J. (2006). Análisis de expresión de los genes de la ruta biosintética de carotenos y cuantificación de carotenos en hojas y raíces de plantas de yuca a diferentes edades. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana. En:

- <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis80.pdf> Fecha de consulta: 5/04/2011
- Armstrong P. R., Stone M. L., Brusewitz G. H., (1997). Peach firmness determination using two different nondestructive vibrational sensing instruments. American Society of Agricultura Engineers. Vol. 40, pp. 699-703.
- Artigas M. J., Capilla P., Pujo J. (2002). Tecnología del color. Unveristat de Valencia. Pp. 15-23, 329-338.
- Atzingen M.C.; Manchado P.; Silva M.E. (2005). Evaluación de la textura de almidones y harinas en preparaciones sin glúten. Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria. Vol. 4, no. 5, pp. 319-323.
- Aular J. Rugeiro; Dungan J. (2002). Relación entre el color de la cáscara y las características del fruto y jugo de la parchita de maracuyá. Revista Briagro. Vol.14, pp. 47-51.
- Badui Dergal S. (2006). Química de los Alimentos. Editorial Pearson-Addison-Wesley, cuarta edición. Pp. 92-95, 406-413, 417-429.
- Baerdemaerker J; Hertog M.; Ketelaere B. (2006). Innovative measurement and modells for predicting shelf life of fresh foods during postharvest. Journal Poshavervest Technology and Innovation. Vol.1, no. 1, pp. 32-47.
- Basuny M. A., Gahfar A. M., Arafat S. (2009). Tomato lycopene is a natural antioxidant and can alliviate hypercholesterolemia. African Journal of Boitechnology. Col. 8, pp. 6627-6633.
- Batu All. (1998). Some factors affecting on determination and measurement of tomato firmness. Journal of Agriculture and Forestry. Vol. 22, pp. 411-418
- Becerra Y. M.; García P. A.; Hernández G. A.; Calderin G. A. (2009). Evaluación de la calidad de la guayaba, variedad enana roja EEA-123, durante el almacenamiento a temperatura ambiente. Revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 18, no. 2, pp. 70-73.
- Berit W. A., Rosenfeld H., Holte K., Baugerod H., Blomhof R. (2004). Color of postharvest ripened and vine ripened tomatoes as related to total antioxidant capacity and chemical composition. Vol. 39, pp. 295-302.
- Biale J. (1964). Growth, maturation and secescence in fruits. Plant Scienice. Vol. 146, pp. 886-888.

- Bili B. M., Legin K., Jiang J. (2007) Fruit quality of transgenic tomatoes with suppressed expresión of LeETR1 and LeETR 2 genes. *Asian Pacific Journal Clinic and Nutrition*. Vol. 16, suplemento (1). Pp. 122-1226.
- Bindur B. M. (2008). The ethylen receptors: Complex perception for a simple gas. *Elsivier Plant Sciencie*, vol. 175. Pp. 8-17.
- Bruhn C.M. (2007). Aspectos de calidad y seguridad alimentaria de interés para el consumidor. En *Tecnología Postcosecha de P*, Division of Agriculture and Natural Resources, Okland California USA, pp. 37-44.
- Buitrago G.; López A.; Coronado P. A.; Osorno F. (2004). Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. *Revista Brasileña de Ingeniería Agrícola y Ambiental*. Vol. 8, no.1, pp.102-110.
- Calver C. A., Wrolstad D. E.(2008). Color Quality of Fresh and Processed Food. *American Chemical Sociaty*. Pp. 131-139.
- Camarena F., Martínez- Mora J., Espinoza V., Ardid M. (2004). Estudio de la viabilidad de un dispositivo para la caracterización mediante ultrasonidos de la evolución temporal de las propiedades físicas de la corteza de naranja. *Revista acústica* 2004.
- Cameron G. A., Fox B. (2002). *Ciencia de los alimentos, nutrición y salud*. Editorial Limusa, quinta reimpresión. Pp. 299-307.
- Candelas C. Ma.; Alanis G. Ma.; Del Rio O. F. (2003) Extracción y cuantificación por HPLC de licopeno en tomate y polvo de tomate. (2003). En VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Pp. 236-244.
- Candelas C. Ma.; Alanis G. Ma.; Del Rio O. F. (2006) Cuantificación de licopeno y otros carotenoides en tomate y polvo de tomate. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Vol. 19, pp. 1-12.
- Cara B.; Giovannoni J. (2008). Molecular biology of ethylene during tomato fruit devolepment and maturation. *Elsivier*, vol. 175, pp. 106-113.
- Cardona M. E.; Ríos Luis A.; Restrepo V. (2006). Extracción del carotenoide licopeno del tomate Chonto (*Lycopersicum Esculentum*). *Revista de Química-Farmacéutica*. Universidad de Antioqui, Colombia. Vol. 13, pp. 44-53.
- Casierra P. F., Constanza C. M., Cardenas H. J. (2007) Quality of tomato fruits (*Solanum Lycopersicum L.*) harvested at different maturity stages. *Revista Agronomía Colombiana*. Universidad Nacional de Colombia. Vol. 26, pp. 300-307.

- Ciro V. H., Osório S. J. (2008). Avance experimental de la ingeniería postcosecha de frutas colombianas; resistencia mecánica para frutos de Uchuva. Red de Revistas Científicas de America Latina y el Caribe, España y Portugal. Vol. 75, pp. 39-46.
- Clement A., Dorais M., Vernon M., (2008). Nondestructive measurement of fresh tomato lycopene content and other physiological characteristics using visible-NIR spectroscopy. Journal of Agriculture and Food Chemistry. Vol. 56, pp. 9813-9818.
- CVCA (Comisión Veracruzana de Comercialización Agroalimentaria). (2009). Monografía del tomate. En:<http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/TAB4003236/MONOGRAF%CD A%20DE%20TOMATE.PDF> Fecha de consulta: 28/05/10
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Michoacán. (2006). Memorias del Diplomado en Inocuidad de los Alimentos de Origen Agrícola.
- Correa P. C., De la plaza P. J., Menezes R. D., Fernandino F. B. (2004). Postharvest maturity of avocados evaluated by non-destructive tests. Revista Brasileira de Productos Agroindustriais. Vol. 6, no. 1, pp.27-33.
- Cox Samuel E. (2006). Lycopene analysis and horticultural attributes of tomatoes. Universidad del Estado de Colorado. En: [http://www.landscapeimagery.com/Cox2001\\_lycopene.pdf](http://www.landscapeimagery.com/Cox2001_lycopene.pdf). Fecha de consulta: 14/06/2011.
- Cook J.R., Rand R. H. (1973). A mathematical study of resonance in intact fruits and vegetables using a 3-media elastic sphere model. Journal of Agriculture Engineering. Vol. 18, pp. 141-157.
- Charley Helen. (2006). Tecnología de alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Edit. Limusa-Noriega Editores. Pp. 651-668; 706-713.
- Chen Limei. (2008). Nondestructive measurement of tomato quality using visible and near infrared reflectance spectroscopy. Tesis de maestría. McGill University. Alberta, Canadá.
- Del Pilar P. I.; Fischer G.; Corredor G. (2007). Determinación de estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis sims*). Agronomía Colombiana. Vol. 25, no. 1, pp. 83-95.

- De Lourdes R.J. (2007). Influencia de la temperatura en el proceso de maduración de la banana. En: <http://www.educared.org/arg/enfoco/lapuntadelovillo/certamen/imgs/rosas.pdf>
- De Souza M. L.; Ferreira S. K.; Paes C. J.; Lopes T. (2008). L-ascorbic acid,  $\beta$ -carotene and lycopene content in papaya fruits (*Cariaca papaya*) with or without physiological skins freackles. *Sci. Agric.* Vol. 65, no.3, pp. 246-260.
- Diezma I. B., Ruiz Altisent M., Orihuel I. (2003). Determinación de la calidad interna de sandías sin semillas mediante la respuesta acústica a impactos de baja intensidad. *Actas de Horticultura.* No. 39. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, Pontevedra.
- Diezma Belén. (2005). Propiedades acústicas aplicadas a la determinación de los parámetros de calidad interna de productos hortofrutícolas. *Revista de Acústica.* Vol.35, num. 3 y 4.
- Drovomilska R., Mikiciuk M., Gubareweiz K. (2008). Evaluation of tomato cherry Fielding and fruit mineral composition alter using of bio-algen S-90 preparation. *Journal Elementol.* Vol. 13, no. 4, pp. 491-499.
- Drovin G. (2001). Evaluación de mezclas de manzanas producidas en la sierra de Querétaro y de cepas de levadura sobre la calidad del producto. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Eccher Z. P. (2005). Emerging Technologies for Nondestructive Quality Evaluation of Fruit. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research.* Vol. 14, pp. 13-23.
- FAO. (2006). Garantía de la inocuidad y calidad de los alimentos. Directrices para el fortalecimiento de los sistemas nacionales de control de los alimentos. En:[http://www.who.int/foodsafety/publications/capacity/en/Spanish\\_Guidelines\\_Food\\_control.pdf](http://www.who.int/foodsafety/publications/capacity/en/Spanish_Guidelines_Food_control.pdf). Fecha de consulta: 3/04/11
- Fernández R. V.; Camara M., Quintela J.C. (2007). Ingredientes bioactivos del tomate; el licopeno. *Nutr. Clin. Diet. Hosp.* Vol. 27, no. 3, pp. 36-40.
- Fish W., Perkins P., Collins J. (2006). A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis.* Vol. 15, pp. 309-317.
- Flores Rojas K. U. (2009). Determinación no destructiva de parámetros de calidad en frutas y hortalizas mediante espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano. Tesis doctoral. En:

- <http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/2070/9788478019427.pdf?sequence=1>. Fecha de consulta: 14/11/2009
- Franceschi S., Bidoli E., Vecchia C., Talamini R., (1994). Tomatoes and risk of digestive tract cancers. *International Journal of Cancer*. Vol. 59, pp. 181-184.
- Galieta G., Harte F., Molinari D., Capdevielle R. (2005) Aumento de la vida útil postcosecha de tomate usando una película de proteína de suero de leche. *Revista Iberoamericana de Postcosecha*. Vol. 6, no. 002, pp.117-123.
- García Ramos F.J., Valero C., Homer I., Ortiz C. J. (2005). Non-destructive fruit firmness sensors: a review. *Spanish Journal of Agricultural Research*. Vol. 3, pp. 61-73.
- Guía de medición de color. (2009). En <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-Metas-09-07-Medición-de-color.pdf>. Fecha de consulta: 14/04/2010
- Giovanocci E. (1999). Tomatoes, tomatoe bases products and cancer. Review on epdidemiologia literature. *Journal of the Natl. Cancer Institute*. Vol. 91, pp. 317-331.
- Giovanocci E. (2000). A review of epidemiologia studies of tomatoes, lycopene and prostata cancer. *Experimental biology and Medicine*, pp. 852-859.
- Golias J., Bejcek L., Gratz P., Klusacek S. (2003). Mechanical resonance method for evaluation of peach fruit firmness. *Hort. Sci.* Vol. 30, pp. 1-6.
- Gómez Gómez M. S. (2009). Deshidratado de tomate saladette en un secador de charolas giratorias. Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca. En: [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/10991.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10991.pdf)
- Gómez H. A., García P. A., Wang J. (2006). Acoustic impulse response potential to measure mandarin fruit ripeness during storage. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol.15, pp. 24-30.
- Gómez P. A.; Camelo A. F.L. (2002). Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira*. Vol. 20, no. 1, pp. 38-43.
- Gray J., Picton S., Shabbeer J., Schuch W. (1992). Molecular biology of fruit ripening and its manipulation with antisense genes. *Plant Molecular Biology*, 19; pp. 69-87.
- Grotee M., Duprat F., Pietri E., Loonis D. (2002). Young's modulus, Poissons ratio and Lamé's coefficients of Golden Delicious apple. *International Journal of Food Propierties*. Vol. 1, pp. 333.349.

- Guía de medición de color (2009). En: <http://es.scribd.com/doc/49576316/La-Guia-MetAs-09-07-Medicion-de-color>
- Hansen I. U., Chiu M.M. (2005). Isolation and composition of cromoplast form tomatoes. *Journal of Agricultura Food and Chemistry*. Vol. 53, pp. 6678-6682.
- Hernández G. A., García P. A., Wang J. (2005). Acoustic testing for peach fruit evaluation during peach storage stage. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol. 14, no. 2, pp. 28-34.
- Hernández M.; Rodríguez E.; Díaz C. (2007). Free hidroxycinamic acids, lycopene and color parameters in tomato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 55, pp. 8604-8015.
- Helyes L., Dimeny J., Pek Z.,Lugasi A. (2006). Effect of maturity stage on content, color and quality of tomato (*Lycopersicon Lycopersium (L.) Karsten*) fruit. *International Journal of Horitultural Sciencie*. Vol. 12, pp. 41-44.
- Imran A. M., Sugiyama J. (2004). Non-destructive acoustic firmness tester detects the effect of manure on muskmelon texture. *Postharvest Biology and Techonology*. Vol. 39, pp.142-145.
- Inestroza J. E. (1998). Tecnología para regular el proceso de maduración en tomate. *Journal Engeneering*. En: <http://www.horticulturaar.com.ar/bajar.php?tecnolog%EDA%20para%20regular%20del%proceso%20de%20>
- Jamal N., Ying Y., Wang J., Xu C. (2005), Firmness evolution of melon using its vibration characteristic and finite element analysis. *Journal of Zhejiang University Science*. Vol 6. pp. 483-490
- James P. (2004) *Gestión de la Calidad Total*. Editorial Prentice Hall. Capítulo 1.
- Juárez P. P., Castro B. R., Colinas L. T., Vallejo R. P. (2009) Evaluación de la calidad en frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*lycopersium escaulentum*) var. Cerasciforme. *Revista Chapingo, Serie horticultura*. Vol. 15, pp.5-9.
- Llamas O. J. M. (2008). Licopeno. *ANTAD*. En <http://antad.org.mx/articulos/licopeno.pdf> Fecha de consulta: 28/05/10.
- León C., Gaete G., Vargas Y. (2002). Método no destructivo para detectar el índice de madurez en *Persea americana mil*. *Revista mexicana de Física*. Vol. 3, pp. 131-132.

- Landhal S. (2007). Comprehensive evaluation of the acoustic impulse response of apples as a measure of fruit quality. Tesis doctoral. Katholieke Universiteit Leuven.
- López R. L. (2007). Niveles de azúcares y ácidos orgánicos en jitomate saladette (*Lycopersicum esculentum Mill*) almacenado a 10 y 20 analizados por HPLC. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa.
- López C. A.; Gómez P. A. (2004). Comparision of color indexes for tomato ripening. Horticultura Brasileira. Vol. 22, no. 3, pp. 534-537.
- Marcus R. T. (2000). Colorimety. En: <http://dsp-book.narod.ru/MISH/CH58.PDF>. Fecha de consulta: 23/01/11
- Meléndez M. A., Vicario M .I., Heredia F. (2007). Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Vol. 57, no. 2 pp. 109-117.
- Mills J.C. (2005). Non destructive test of fruit firmness with real time constraint. En: <http://www.csse.monash.edu.au/hons/projects/2005/Christopher.Mills/litrev.pdf>
- Molina D. P.; Alegre S.; Casero T., Casals M.; Bonany J.; Recasens L. (2006). Medición de la calidad en manzanas “Royal Gala”; comparación entre parámetros acústicos y parámetros tradicionales. Pp. 173-176. En: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/66/083/66083.pdf> Fecha de consulta: 15/09/10
- Mondino M. C.; Ferratto J. (2006) El análisis sensorial, una herramienta para la evaluación de la calidad desde el consumidor. Universidad Nacional de Rosario. En: <http://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/554/El%20análisis%20sensorial%20una%20herramienta%20para%20la%20evaluación%20de%20la%20calidad%20desde%20el%20consumidor.pdf?sequence=1>. Fecha de consulta: 3/10/10.
- Montesinos A. R. (2003). Especificación cromática de gama de colores usados en la industria el zapato. Universidad de Alicante. En: <http://web.ua.es/es/gvc/documentos/docs/colores-curtidos.pdf> Fecha de consulta: 10/04/2011
- Muñoz de Chávez M., Ledesma Solano J.A. (2002). Tablas de valor nutricional de alimentos. Editorial McGraw-Hill, primera edición. Pp. 67.
- NMX-FF-031-1997-SCFI. Productos no industrializados para consumo humano- Hortalizas frescas- Tomate (*Lycopersicum Esculentum Mill*). Especificaciones.

- NOM-008-FITO-1995. Requisitos y especificaciones fitosanitarias para la importación de frutas y hortalizas frescas (última modificación 22/05/09).
- Naviglio D.; Pizzolongo F.; Ferrara L.; Naviglio B.; Aragon A.; Santini A. (2008). Extraction of pure lycopene from industrial tomato waste using the extractor naviglio. *African Journal of Food Science*. Vol. 2, pp. 37-44.
- Núñez A. N., García R. N., Medita T. M.; López R.M. (2007). Efecto del contenido de licopeno de tomate (*Lycopersicon Escuelentum* var. Girona) sembrado en invernadero, bajo diferentes sistemas de cultivo con y sin injerto. En VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Pp. 340-345.
- Olmo M., Nadas A., García J. (2000). Nondestructive methods to evaluate maturity level of oranges. *Journal of Food Science*. Vol. 65, pp. 365-369.
- Ortiz S. J. (2008). Influencia de la adición de glucosidasas sobre el potencial aromático del tomate (*Solanum lycopersium L.*) Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Osuna García J. A.; Beltrán J.A., Vázquez V. V. (2005). Efecto del 1-metilciclopropeno sobre el comportamiento postcosecha del aguacate "Hass". *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 28, no. 001, pág. 1-8.
- Periago M.J., Martínez V. I., Ros G., Martínez C., López G. (2001). Propiedades químicas, biológicas y valor nutritivo del licopeno. *Ant. Vet.* Vol. 17, pp. 51-56.
- Plocharski W.; Konopacka J. (2000). Comparison of Magness-Taylor pressure test with mechanical, nondestructive methods of apple and pear firmness measurements. *Int. Agrophysics*. Vol. 14, pp. 314-318.
- Radzevicius A., Karkleliene R., Viskelis P., Bobinas C., Bobinaite R. (2009). Tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) fruit quality and physiological parameters at different ripening stages of Lithuanian cultivars. *Agronomy Research*. Vol. 7, pp. 718-718.
- Ramírez H., Peralta Manjarez R.M; Benavides Mendoza A. (2005). Efectos de prohexadiona en tomate y su relación con la variación de giberelinas y citocinas. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. Vol.11, pág. 283-290.
- Ramírez S. L. F. (2007). Efecto de la concentración de potasio en la solución nutritiva y su relación con la calidad en jitomate en cultivo sin suelo, bajo invernadero. Tesis profesional. Universidad Politécnica de Valencia. En:

- <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/416/41618395002.pdf>. Fecha de consulta: 23//03/2011
- Ratunga C. L., Jayaweera H. H. E., Suraweera S., Ariyaratne T. (2009). Effect of measurement of non-destructive firmness on tomato quality and comparison with destructive methods. Proceedings of Technical sessions Institute of Physics, Sir Lanka. Vol. 25, pp. 29-35.
- Reis R. C.; Ramos A. M.; Regazzi A. J.; Minim V.P. V.P; Stringueta P.C (2006). Almacenamiento de mango secado: Análisis fisicoquímico, microbiológico, color y sensorial. Ciencia y Tecnología Alimentaria. Vol. 5, no. 3, pp. 214-225.
- Römer S., Fraser P., Kiano J., Shipton P., Misawa N. (2000). Elevation of pro-vitamin A content of transgenic tomato plants. Nature Biotechnology. Vol. 18, pp. 666-669.
- Saavedra Del R. G. (2003). Efecto del medio ambiente sobre el contenido de licopeno y sólidos solubles del tomate para procesamiento. Seminario Internacional de Tomate para Procesamiento. Pp. 45-52.
- SAGARPA. (2010). Anuario Estadístico de la producción agrícola. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En: <http://www.sagarpa.gob.mx> Fecha de consulta: 30/03/10.
- Santamaría B. F.; Sauri D. E.; Espadas F.; Díaz P. G. (2009). Postharvest ripening and maturity indices for Maradol papaya. Interciencia, vol.34, no. 8, pp. 583-586.
- Shmulevich I., Howart M.S., Ioannides Y., (2003) Comparison between acoustic response and mass impact measurement techniques to asses avocado firmness. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. Pp. 687-694.
- SENASICA. (2006). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Lineamientos para la aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas y Buenas Prácticas de Manejo en productos hortofrutícolas del SENASICA”.
- Slaughter D. C.; Crisosto H.; Hasey J. K.; Thompson J. F. (2006). Comparision of instrumental and manual inspection of clingston peaches. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 26, pp. 1-7.
- Theologist A. (1992). One rotten apple spoils the whole bushel; The role of ethylene in fruit ripening. Vol, 70, pp. 181-184. En: <http://www.cavehill.uwi.edu/FPAS/bcs/courses/Biochemistry/BL38B/pdf6/theolog92cell.pdf> Fecha de consulta: 3/10/10.

- USDA. (1999). United States Department of Agriculture. Fruit and Vegetable Division. United States Standards for Grades of Canned Tomatoes,
- Valero U. C. (2002). Aplicación de la espectroscopía láser de reflectancia difusa (ERDT) a la medida de calidad interna de frutas y hortalizas. Tesis doctoral.
- Valero C., Crisosto C., Slaughter D. (2007). Relationship between nondestructive firmness measurements and commercially important ripening stage for peaches, nectarines and plums. *Postharvest biology and Technology*, ELSEVIER. Vol. 44, pp. 248-253.
- Villaseñor P.C.A.; Chávez F. A.; Saucedo V.C.; Salazar Z.A.; Landois P. L. L. (2006). Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de Melón (*Cucumis Melo L.*) bajo compresión axial. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 29, no. 002, pp. 157-162.
- Wang J.; Teng B.; Young Y. (2004). Pear dynamic characteristics in firmness detection. *Eur. Food Res. Technol.* Vol. 218, pp. 289-294.
- Wang J. Hernández G. A., García P. A. (2009). Evaluation of tomato quality during storage by acoustic impulse response. *Journal of Food Quality*. Vol. 2, pp 302-311.
- Xu F., Yuan Q.P., Dong H.R. (2006). Determination of lycopene and B-carotene by high performance liquid chromatography using sudan I as internal standard. *Journal of Chromatography*. Vol. 838, pp 44-49.
- Yeung D. (2001). Lycopene; The Facts. En [http:// www.lycopene.org](http://www.lycopene.org). Fecha de consulta: 15/05/09.
- Zapata L., Gerard L., Davies C., Olivia P.A. (2007). Correlación matemática de índices de color en tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. *Revista Ciencia, Docencia y Tecnología*. Vol18, pp. 207-226.
- Zhiguo L., Pingping L., Jizhan L. (2010). Effect of tomato internal structure on its mechanical properties and degree of mechanical damage. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 9, pp. 1816-1826.
- Znidarcic D.; Pozrt T. (2006). Comparative study of quality changes in tomato cv. "Malaki" whilst stored at different temperatures. *Acta Agriculturae Slovenica*, vol. 2, pp. 235-243.