



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**CALIDAD E INOCUIDAD DE JITOMATE (*Lycopersicum  
esculentum* L.) FRESCO ALMACENADO A DIFERENTES  
TEMPERATURAS: RELACIÓN DEL CONTENIDO DE  
AZÚCARES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS CON LA ADHERENCIA  
DE *Escherichia coli* (ECET)**

**DIEGO IBARRA CANTÚN**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

PUEBLA, PUEBLA

2012

---



## COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUE- 43-2-03

### CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Diego Ibarra Cantún** alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección de la Profesora **Dra. Adriana Delgado Alvarado** por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Calidad e inocuidad de jitomate (*Lycopersicum esculentum* L.) fresco almacenado a diferentes temperaturas: relación del contenido de azúcares y ácidos orgánicos con la adherencia de *Escherichia coli* (ECET)** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla 20 de julio de 2012.

  
\_\_\_\_\_  
Diego Ibarra Cantún

Nombre y Firma

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Adriana Delgado Alvarado

Vo. Bo. Profesora Consejera

Nombre y Firma

La presente tesis, titulada: **Calidad e inocuidad de jitomate (*Lycopersicum esculentum* L.) fresco almacenado a diferentes temperaturas: relación del contenido de azúcares y ácidos orgánicos con la adherencia de *Escherichia coli* (ECET)**, realizada por el alumno: **Diego Ibarra Cantún**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

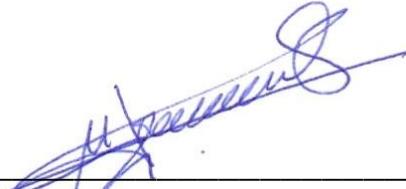
CONSEJERA:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. ADRIANA DELGADO ALVARADO

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. BRAULIO EDGAR HERRERA CABRERA

ASESORA:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. MARÍA LORENA LUNA GUEVARA

Puebla, Puebla, 20 de julio de 2012

CALIDAD E INOCUIDAD DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* L.) FRESCO  
ALMACENADO A DIFERENTES TEMPERATURAS: RELACIÓN DEL  
CONTENIDO DE AZÚCARES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS CON LA ADHERENCIA  
DE *Escherichia coli* (ECET)

Diego Ibarra Cantún, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2012

La inocuidad es un requisito importante de aceptación en el jitomate (*Lycopersicon esculentum* L.), para permitirle abrir nuevos mercados. En los que además, el fruto debe cumplir con ciertos estándares de calidad relacionados con sus propiedades físicas y químicas. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas y químicas del fruto de jitomate almacenado a diferentes temperaturas en presencia de *Escherichia coli* (ECET). Se utilizaron frutos de jitomate variedad *Charleston*, cultivados en invernadero de hidroponía en el Municipio de Aquixtla, Puebla. Los frutos se sometieron a dos temperaturas de almacenamiento (7 y 22°C), inoculados con  $7 \log_{10}$  UFC/mL de *E. coli* (ECET). Se evaluaron algunas propiedades físico-químicas como color, firmeza, pH y °Brix. Además se determinó la relación del contenido de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) y ácidos orgánicos (ácido ascórbico y ácido cítrico) con la sobrevivencia de *E. coli* (ECET) adherida a los pericarpios de frutos almacenados a 7 y 22°C. Los resultados mostraron la sobrevivencia de *E. coli* en ambas temperaturas de almacenamiento, siendo la temperatura de 22°C la que propicio significativamente el desarrollo de esta bacteria y por ende su adherencia al pericarpio de los frutos. Las propiedades físico-químicas se afectaron por la colonización de *E. coli* (ECET), particularmente en la luminosidad y la firmeza, independientemente de la temperatura de almacenamiento. La reducción de la firmeza fue mayor en frutos inoculados y almacenados a 22°C, en comparación con la obtenida en frutos expuestos a 7°C. La cromátida  $a^*$  presentó valores máximos a 22°C, influenciando significativamente los índices  $a^*/b^*$  y  $(a^*/b^*)^2$ . La colonización y adherencia de *E. coli* (ECET) en la superficie del jitomate se favoreció por la cantidad de azúcares solubles totales presentes, siendo más alto el recuento de bacterias a temperatura ambiente (22°C), donde la cantidad de azúcares también fue mayor. La colonización y adherencia de ECET en la superficie del jitomate se relacionó con los factores intrínsecos como el contenido de azúcares solubles, y acumulación de ácido ascórbico, y del factor extrínseco: temperatura de almacenamiento, debido a que estos compuestos propician condiciones adecuadas para el desarrollo y adherencia de las bacterias. Se concluye que las condiciones de almacenamiento influyen diferencialmente sobre el crecimiento, adherencia de *E. coli* (ECET), así como en el color y firmeza de los frutos de jitomate.

Palabras clave: azúcares, ácidos orgánicos, adherencia, *Lycopersicon esculentum* L.

SAFETY AND QUALITY OF FRESH TOMATO (*Lycopersicum esculentum* L.)  
STORED AT DIFFERENT TEMPERATURES: RELATION OF SUGARS AND  
ORGANIC ACIDS WITH THE ADHESION OF *Escherichia coli* (ETEC)

Diego Ibarra Cantún, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2012

Safety is an important requirement for acceptance in tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) to enable its trade in new markets. In order to be accepted into the latter, the fruit must meet certain quality standards related to its physical and chemical properties. The main aim of this study was to determine the physical and chemical properties of tomato fruit stored at different temperatures in the presence of *Escherichia coli* (ETEC). Tomato fruits of *Charleston* variety were used, grown in greenhouse under hydroponics in the Municipality of Aquixtla, Puebla. The fruits were stored at 7 and 22°C, inoculated with  $7 \log_{10}$  CFU/mL *E. coli* (ETEC). Several physical-chemical properties such as color, strength, pH and °Brix were evaluated. The relation of sugar contents (glucose, fructose and sucrose) and organic acids (ascorbic acid and citric acid) with the survival of *E. coli* (ETEC) attached to the pericarp of fruits stored at 7 and 22°C was also determined. The results showed the survival of *E. coli* at both storage temperatures; being the temperature of 22°C the most significantly suitable for the development of this bacteria, and thus its adherence to the pericarp of the fruit. The physical-chemical properties were affected by colonization of *E. coli* (ETEC), particularly in the luminosity and firmness, regardless of the storage temperature. Firmness reduction was greater in fruits inoculated and stored at 22°C, compared to that obtained in fruits exposed to 7°C. Chromatid  $a^*$  presented maximum values at 22°C, significantly influencing the  $a^*/b^*$  and  $(a^*/b^*)^2$  indexes. Colonization and adherence of *E. coli* (ETEC) in the surface of tomatoes was favored by the amount of total soluble sugars present, the count of bacteria was higher at room temperature (22°C), wherein the amount of sugars was also higher. The colonization and adherence of ETEC on the surface of tomatoes was associated with intrinsic factors such of soluble sugars, and ascorbic acid accumulation and the extrinsic factor of storage temperature, because these compounds enable conditions for the development and adherence of the bacteria. We conclude that storage conditions differentially influence on growth, adherence of *E. coli* (ETEC) and the color and firmness of tomato fruit.

Key-words: adherence, *Lycopersicum esculentum* L., organic acids, sugars.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los mexicanos y mexicanas que pagan impuestos y quienes a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) me brindaron el apoyo financiero para realizar mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, por la formación académica a través del Posgrado de Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional.

A la Dra. Adriana Delgado Alvarado, por sus enseñanzas y motivación a culminar satisfactoriamente mi formación.

A la Dra. Ma. Lorena Luna Guevara, por sus enseñanzas y consejos brindados durante toda mi formación académica, pero sobretodo por su amistad.

Al Dr. Braulio Edgar Herrera Cabrera, por sus aportaciones y compartir sus valiosos conocimientos.

A la M.C. Greta Hanako Rosas Saito, por su apoyo para la realización de las microscopias de barrido.

Al Sr. Norberto Zamora, Ing. Armando Zamora e Ing. David Fernandez, por habernos brindado las facilidades de realizar este trabajo, transmitirnos sus conocimientos.

A mis amigos del laboratorio: Pati, Teresita, Gabriel, Yola y Giza, por sus porras.

## DEDICATORIAS

A DIOS, quien puso en mi camino diversas pruebas y ángeles para poder superarlas.

A mis padres Filiberto Hipolito y Dolores del Socorro, que con su ejemplo de trabajo constante, su gran amor y fe, siempre están apoyándome durante todo y con todo.

A mi tía Cande, mi segunda madre, tu apoyo incondicional es un motivo para seguir adelante.

A mis hermanas Mary y Lupita, gracias por ser un estímulo para triunfar y ser un gran ejemplo de superación.

A mi esposa Madai Gizeh, por la paciencia, palabras de aliento y apoyo incondicional. Sin ella, mi trabajo hubiera sido otro. Te amo.

A mi abuelita Lupita, gracias por tus licuados, tus canicas, por hacer de mi niñez un hermoso recuerdo.

A mi abuelita Maria, por sus historias, por ser mi amiga pero sobretodo por compartir su sabiduria.

A mi toda familia, quisiera nombrarlos a cada uno de ustedes pero son muchos, los adoro.

A mi hija Eliana, gracias ser el mayor motivo para lograr esta meta. Te amo.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
I. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
III. JUSTIFICACIÓN .....	5
IV. OBJETIVOS GENERALES .....	7
4.1 Objetivos particulares .....	7
V. HIPOTESIS.....	8
5.1 Hipótesis particulares .....	8
VI. ANTECEDENTES .....	9
6.1 Generalidades del jitomate .....	9
6.2 Estructura del fruto .....	10
6.3 Composición del fruto de jitomate .....	11
6.3.1 Carbohidratos.....	12
6.3.1.1 Monosacáridos .....	14
6.3.1.2 Oligosacáridos.....	15
6.3.2 Ácidos orgánicos .....	16
6.3.3 Compuestos nitrogenados.....	17
6.3.4 Componentes volátiles .....	17
6.3.5 Pigmentos .....	18
6.3.6 Componentes de la pared celular.....	19
6.3.7 Minerales.....	20
6.3.8 Vitaminas.....	21
6.3.8.1 Vitamina C o ácido ascórbico .....	21
6.4 Propiedades físico-químicas del jitomate .....	22

6.4.1 Color.....	22
6.4.2 Firmeza .....	24
6.4.3 pH.....	24
6.4.4 Sólidos solubles totales (°Brix) .....	24
6.4.5 Acidez titulable .....	25
6.5 Cambios en la composición durante el desarrollo del fruto .....	25
6.5.1 Condiciones de almacenamiento .....	27
6.6 Microbiota presente en vegetales crudos .....	28
6.7 Fuentes de contaminación .....	29
6.8 Mecanismo de sobrevivencia .....	31
6.9 Cultivo de jitomate en condiciones de invernadero .....	31
6.9.1 Sistema de hidroponía.....	32
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
7.1 Área de estudio .....	36
7.2 Material vegetal .....	36
7.3 Cepas bacterianas .....	36
7.4 Inoculación .....	36
7.5 Condiciones de crecimiento y recuento microbiano .....	37
7.6 Observación de adherencia.....	37
7.7 Propiedades físicas de frutos inoculados y sin inocular .....	38
7.7.1 Color, firmeza, pH, °Brix, acidez titulable (% ácido cítrico).....	38
7.8 Composición química de frutos inoculados y sin inocular .....	39
7.8.1 Azúcares solubles totales.....	39
7.8.2 Azúcares reductores por método enzimático .....	40
7.8.3 Ácido ascórbico o vitamina C .....	41

7.9 Análisis estadístico .....	42
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
8.1 Determinación de las curvas de crecimiento de <i>Escherichia coli</i> (ECET) en jitomates a diferentes temperaturas de almacenamiento .....	43
8.2 Adherencia de <i>Escherichia coli</i> (ECET) en la superficie de los jitomates inoculados y sin inocular y almacenados a diferentes temperaturas.....	44
8.3 Propiedades físicas de frutos inoculados y sin inocular .....	46
8.3.1 Color.....	48
8.3.2 Firmeza .....	52
8.3.3 pH.....	53
8.3.4 Sólidos solubles totales (°Brix) .....	54
8.3.5 Acidez titulable (% ácido cítrico).....	55
8.4 Propiedades químicas de frutos inoculados y sin inocular .....	57
8.4.1 Azúcares solubles totales.....	57
8.4.2 Glucosa, fructosa y sacarosa .....	58
8.4.3 Ácido ascórbico .....	64
8.5 Relación de los nutrientes/componentes químicos con la adherencia de <i>Escherichia coli</i> (ECET) .....	66
IX. DISCUSIÓN GENERAL.....	69
X. CONCLUSIONES GENERALES .....	80
XI. BIBLIOGRAFIA.....	82
XII. ANEXOS .....	95

## LISTA DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 6.1	Valores de la composición del fruto de jitomate maduro ..... 12
Cuadro 6.2	Fuentes de contaminación de frutas y verduras y prácticas de manejo que propician sobrevivencia o desarrollo ..... 30
Cuadro 8.1	Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de propiedades físico-químicas de jitomate ..... 47
Cuadro 8.2	Efecto del inóculo en propiedades de color en jitomate con respecto a las temperaturas de almacenamiento..... 48
Cuadro 8.3	Efecto del inóculo en propiedades físicas en jitomate con respecto a las temperaturas de almacenamiento..... 48
Cuadro 8.4	Propiedades de color de jitomate sin inocular almacenado a dos diferentes temperaturas..... 50
Cuadro 8.5	Propiedades de color de jitomate inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas..... 51
Cuadro 8.6	Efecto de inóculo en propiedades químicas de jitomate con respecto a las temperaturas de almacenamiento..... 57
Cuadro 8.7	Contenido de glucosa, fructosa y sacarosa de jitomate sin inocular almacenado a dos diferentes temperaturas..... 59
Cuadro 8.8	Contenido de glucosa, fructosa y sacarosa de jitomate inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas ..... 61
Cuadro 9.1	Correlaciones de parámetros de color con variables físicas y químicas de fruto de jitomate en tratamientos con y sin inóculo . 74
Cuadro 9.2	Correlaciones de firmeza con variables físicas y químicas de fruto de jitomate en tratamientos con y sin inóculo ..... 75
Cuadro 9.3	Correlaciones de variables químicas de fruto de jitomate en tratamientos con y sin inóculo ..... 76

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 6.1 Fruto con parte del pedicelo y zona de abscisión .....	9
Figura 6.2 Sección transversal de un fruto maduro.....	10
Figura 6.3 Sección transversal de un fruto en desarrollo .....	11
Figura 6.4 Curva de desarrollo, actividad respiratoria y producción de etileno en frutos de jitomate.....	15
Figura 6.5 Molécula de sacarosa .....	16
Figura 6.6 Molécula de ácido ascórbico .....	22
Figura 7.1 Diagrama de flujo general de metodología.....	35
Figura 8.1 Curvas de crecimiento de <i>Escherichia coli</i> (ECET) a temperatura de refrigeración 7°C y a temperatura ambiente 22°C.....	43
Figura 8.2 Micrografías de barrido de pericarpio de jitomate sin inóculo e inoculado con <i>Escherichia coli</i> (ECET) a temperatura ambiente 22°C .....	44
Figura 8.3 Micrografías de barrido de pericarpio de jitomate sin inóculo e inoculado con <i>Escherichia coli</i> (ECET) a temperatura refrigeración 7°C .....	45
Figura 8.4 Firmeza de frutos de jitomate sin inóculo e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.....	53
Figura 8.5 pH de frutos de jitomate sin inóculo e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.....	54
Figura 8.6 Sólidos solubles totales (°Brix) de frutos de jitomate sin inóculo e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.....	55
Figura 8.7 Ácido cítrico de frutos de jitomate sin inóculo e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas .....	56
Figura 8.8 Azúcares solubles totales de frutos de jitomate sin inóculo e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.....	58

Figura 8.9	Azúcares reductores (glucosa+fructosa; Glu+Fru), sacarosa (Sac) y relación de Glu+Fru/Sac de frutos de jitomate sin inóculo e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.....	62
Figura 8.10	Proporción de azúcares solubles totales de frutos de jitomate sin inóculo e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.	64
Figura 8.11	Proporción de ácido ascórbico de frutos de jitomate sin inóculo e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.....	65
Figura 8.12	Curva de crecimiento de <i>Escherichia coli</i> (ECET) y contenido de azúcares solubles totales (%AST) de frutos de jitomate sin inóculo e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.....	67
Figura 9.1	Ecología de comunidades microbianas.....	77

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Página</b>
Cuadro 8.1A Firmeza de jitomate sin inocular e inculado almacenado a dos diferentes temperaturas .....	95
Cuadro 8.2A pH de jitomate sin inocular e inculado almacenado a dos diferentes temperaturas .....	95
Cuadro 8.3A Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) de jitomate sin inocular e inculado almacenado a dos diferentes temperaturas .....	96
Cuadro 8.4A Ácido cítrico de jitomate sin inocular e inculado almacenado a dos diferentes temperaturas.....	96
Cuadro 8.5A Azúcares solubles totales de jitomate sin inocular e inculado almacenado a dos diferentes temperaturas .....	97
Cuadro 8.6A Efecto de inóculo en los azúcares de jitomate almacenado a 7°C .....	97
Cuadro 8.7A Efecto de inóculo en los azúcares de jitomate almacenado a 22°C .....	98
Cuadro 8.8A Ácido ascórbico de jitomate sin inocular e inculado almacenado a dos diferentes temperaturas .....	98
Cuadro 9.1A Coeficiente de correlación Pearson de las características fisicoquímicas de frutos de jitomate con inóculo .....	99
Cuadro 9.2A Coeficiente de correlación Pearson de las características fisicoquímicas de frutos de jitomate sin inóculo .....	100

## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Actualmente la producción y consumo de hortalizas ha tomado gran importancia debido a que forma parte de la dieta, por su fácil acceso y gran disponibilidad. El cultivo de jitomate ocupa un lugar significativo entre los cultivos más importantes de nuestro país (Rodríguez et al., 2006; Bautista et al., 2008). Particularmente en el Estado de Puebla en los últimos 10 años, se ha venido fomentado la producción de hortalizas, incluyendo al jitomate. Estas actividades económicas han llegado a ser una alternativa viable en ciertas regiones del estado, que permite introducir cultivos más rentables y controlar una serie de factores ecológicos y ambientales que generalmente limitan la producción agrícola (SAGARPA, 2009). En el 2010, la producción fue de 31,394 tn con un valor de \$2,510,320 (INEGI, 2011), de las cuales 53% (9,275 tn) las produjo el Municipio de Aquixtla, principal zona productora de jitomate bajo agricultura protegida en el estado (Portilla, 2010).

La producción de jitomate para el mercado internacional marca diferencias sustanciales en criterios de competitividad, en donde se distinguen dos tendencias productivas. La primera, comprende una gama muy amplia de actividades organizadas y requisitos como el aspecto, presentación, sanidad, grado de maduración, criterios de calidad y de temporalidad de la oferta; uso de un paquete tecnológico adecuado, planeación de la comercialización, todo ello basado en criterios de calidad y productividad para competir en el mercado internacional. Mientras que la segunda, donde la producción está destinada al mercado nacional, implica un manejo mínimo de tecnología basada en riego y técnicas manuales, donde el uso de insumos es poco controlado. Los criterios de calidad más que orientarse al consumidor, se limitan a considerar la maduración natural tratando de controlar la actividad pecedera del producto, desde el momento de corte hasta su colocación en el mercado (Barrón *et al.*, 2002).

Las condiciones de producción, prácticas de manejo y post cosecha, pueden generar ambientes propicios para el crecimiento de microorganismos, ocasionando un riesgo potencial en la contaminación y deterioro del producto

(Sánchez y Olivares, 2008). Lo anterior impide dar cumplimiento, con las exigencias actuales de calidad y el reclamo por parte de los consumidores.

Entre los géneros de los microorganismos patógenos más comúnmente aislados en los vegetales crudos incluyendo al jitomate, se encuentra el género *Escherichia* cuyos patogrupos corresponde a ECET, ECEH, ECEI. Particularmente ECET tiene la capacidad de adherencia a superficies vegetales, siendo el paso inicial como una de las vías de supervivencia de los microorganismos (Vila *et al.*, 2008), afectando la acción de los agentes químicos utilizados para la sanitización (Iturriaga *et al.*, 2003).

El mecanismo anterior puede relacionarse directamente con la inocuidad del producto, impidiendo su comercialización (Sapers, 2001). Esta problemática conduce a la búsqueda de conocimiento y acciones que estén encaminadas para obtener productos inocuos y de calidad, que permitan a pequeños productores competir en nuevos mercados. Con base en los antecedentes mencionados, la presente investigación se enfoca en el estudio de los factores intrínsecos y extrínsecos de crecimiento y/o de la microbiota patógena presente sobre el jitomate almacenado durante el periodo post-cosecha, de tal forma que se pueda contribuir en la prevención de pérdidas económicas a productores y cumplir requisitos de calidad e inocuidad en jitomate.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los factores de aceptación de un producto hortícola, como lo es el jitomate, está relacionado con su inocuidad, ya que una calidad libre de microorganismos puede abrir nuevos mercados. Por eso, el consumo del jitomate debe considerar medidas preventivas de inocuidad en su producción y comercialización. Los agricultores de nuestro país, con productos inocuos y medidas higiénicas pueden comercializar su producto en el exterior. Los alimentos contaminados causan riesgos de salud a los consumidores que puede derivar en problemas de salud pública, lo que ocasiona pérdidas económicas a las comunidades y regiones productoras, por lo que tener el control de la inocuidad de alimentos contribuye a contar con una herramienta importante de comercio.

Lo anterior se relaciona con lo ocurrido en junio de 2008, la Agencia de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) por sus siglas en inglés, lanzó una alerta sanitaria a productores de jitomate sinaloenses por un posible brote de *Salmonella*, asociado con más de 350 personas infectadas en los Estados Unidos de Norteamérica por dicho microorganismo (Pérez, 2008). A pesar de lo anterior, actualmente se percibe una demanda creciente por frutos frescos y mínimamente procesados lo cual impone una gran responsabilidad en la producción, almacenamiento, comercialización e industrialización de los alimentos frescos para proveer un producto seguro y nutritivo. Las reglas actuales impuestas por estándares sanitarios y fitosanitarios pueden crear nuevas barreras para el comercio interno y de exportación. Como lo es la Ley de Desarrollo Rural Sustentable publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 2001, particularmente en el título tercero del Fomento Agropecuario y de Desarrollo Rural Sustentable, Capítulo I del Fomento a las actividades económicas del Desarrollo Rural, se plantea como objetivo el incremento de la productividad y la competitividad en el ámbito rural, para lo cual el fomento de la sanidad vegetal y la inocuidad de los productos es uno de los medios para lograrlo.

De ahí que resulte importante identificar los factores que promueven el crecimiento y la adherencia de microorganismos patógenos presentes en el jitomate, y que

estos puedan ser capaces de producir biopelículas en la superficie del fruto, asociados con enfermedades gastrointestinales derivadas del consumo de vegetales crudos.

Por lo que existe la necesidad de crear propuestas que identifiquen atributos de calidad química del jitomate, que relacionen la contribución que pueden tener algunos de los principales compuestos químicos del fruto de jitomate (como el contenido de azúcares y ácidos orgánicos) con la adherencia sobre el pericarpio, considerando diferentes temperaturas de almacenamiento del fruto, lo que generará información para un manejo más adecuado post-cosecha del fruto y permitirá tener mas opciones para lograr frutos de jitomate de calidad e inocuos.

### III. JUSTIFICACIÓN

El jitomate es un fruto muy importante en la alimentación humana, debido a que es una fuente significativa de carbohidratos, minerales, vitaminas y antioxidantes (Lenucci *et al.*, 2006), los cuales son componentes esenciales en un alimento saludable. Aunado a lo accesible y económico, lo hace un fruto de gran consumo en la dieta de los mexicanos. Sin embargo, debido a que el jitomate en su mayoría es consumido de forma cruda y/o en ensaladas o jugos, puede poseer condiciones óptimas para el crecimiento de determinados microorganismos, que pueden incorporarse al alimento desde su cultivo hasta el consumo, en cuyas etapas pueden verse afectadas su inocuidad.

La adherencia de un microorganismo en la superficie de un vegetal es el paso inicial a una de las vías de supervivencia de los microorganismos en el jitomate (Vila *et al.*, 2008), lo que afecta la acción de agentes químicos utilizados para la sanitización (Iturriaga *et al.*, 2003). En investigaciones recientes sobre jitomate se han identificado bacterias enteropatógenas de diferentes patogrupos de *Escherichia coli*, enterobacterias como *Citrobacter brakii* y *Enterobacter cloacae*, que participan como microorganismos alternantes en la carga microbiana que puede estar presente sobre las superficies alimentarias y que eventualmente pueden sobrevivir a través de la formación de biopelículas (Luna, 2011).

La posible sobrevivencia de las bacterias en los frutos de jitomate conlleva a la presente investigación, con el fin de conocer de manera más detallada cuales podrían ser los posibles factores ambientales que favorecen el crecimiento microbiano y su adherencia sobre la superficie del fruto. Lo anterior con la finalidad de plantear una estrategia de manejo para los productores relacionada con la calidad sanitaria del producto, que se vería reflejado en un mejor precio y una mayor aceptación en el mercado del jitomate, además de contribuir en el cumplimiento de las normas de inocuidad agroalimentaria propuestas por algunas instituciones como el Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Puebla (CESAVEP), Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria

(SENASINCA), lo que llevaría a la obtención del reconocimiento México Calidad Suprema.

Por tal motivo la presente investigación tiene contemplada como región de estudio a la localidad de Cuautieco, perteneciente al Municipio de Aquixtla, Puebla, donde se requiere que las condiciones en los sistemas de producción bajo invernadero se orienten a que los productos cumplan con las exigencias de calidad e inocuidad a nivel regional, nacional y en algún momento también de exportación, para la comercialización del fruto.

## IV. OBJETIVOS GENERALES

Estudiar en jitomate fresco almacenado a diferentes temperaturas (7°C y 22°C), la relación entre el contenido de azúcares solubles y ácidos orgánicos en el pericarpio con la adherencia de *Escherichia coli* (ECET).

Establecer la relación entre el crecimiento y sobrevivencia de *Escherichia coli* (ECET) con la composición química y propiedades físico-químicas del fruto de jitomate almacenado a diferentes temperaturas.

### 4.1 Objetivos Particulares

1. Evaluar el desarrollo de *E. coli* ECET mediante cinéticas de crecimiento considerando las temperaturas de 7 y 22°C durante 7 días de almacenamiento.
2. Evidenciar la adherencia de *E. coli* en jitomate después de 7 días de almacenamiento a dos temperaturas (7°C y 22°C).
3. Evaluar las propiedades físico-químicas (color, firmeza, pH, % sólidos solubles) en frutos de jitomate tipo bola, inoculados con *E. coli*, durante 7 días de almacenamiento bajo dos temperaturas (7°C y 22°C).
4. Evaluar el contenido de azúcares solubles totales (fructuosa, glucosa y sacarosa) y ácidos orgánicos (cítrico y ascórbico) en frutos de jitomate tipo bola, inoculados con *E. coli*, durante un almacenaje de 7 días bajo dos temperaturas (7°C y 22°C).
5. Conocer la relación de azúcares y ácidos orgánicos acumulados en el pericarpio del jitomate fresco que propicie la adherencia de *E. coli* (ECET).
6. Establecer una estrategia de prevención de la adherencia de microorganismos de acuerdo a los contenidos de azúcares y ácidos orgánicos de jitomate tipo bola.

## V. HIPOTESIS

La adherencia de *Escherichia coli* (ECET) es inducida por la acumulación de azúcares (glucosa, fructuosa y sacarosa), y ácidos orgánicos (ácido cítrico y ácido ascórbico) en el pericarpio del jitomate bajo condiciones específicas de temperatura de almacenamiento.

### 5.1 Hipótesis Particulares

1. Las propiedades físicas (color, firmeza, pH, % sólidos solubles totales (°Brix)) de jitomate bola cosechado en madurez fisiológica se modifica al ser inoculado con *E. coli* a siete días de almacenamiento con diferente temperatura (7°C y 22°C).
2. El contenido de azúcares (fructuosa, glucosa y sacarosa) y ácidos orgánicos (ácido cítrico y ácido ascórbico) de jitomate bola cosechado en madurez fisiológica se modifica al ser inoculado con *E. coli* a siete días de almacenamiento con diferente temperatura (7°C y 22°C).
3. Existe adherencia de *E. coli* (ECET) en jitomate bola con madurez fisiológica después de 7 días de almacenamiento a 7°C y 22°C.
4. La adherencia de *E. coli* (ECET) sobre el pericarpio de jitomate puede verse favorecida por la acumulación de azúcares (fructuosa, glucosa y sacarosa) y ácidos orgánicos (ácido cítrico y ácido ascórbico) en el fruto.

## VI. ANTECEDENTES

### 6.1 Generalidades del jitomate

El jitomate (*Lycopersicon esculentum*) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. De acuerdo a la taxonomía generalmente aceptada se tiene la siguiente clasificación (Nuez, 2001):

Clase: Dicotiledóneas.

Orden: Solanales (Personate).

Familia: Solanaceae.

Subfamilia: Solanoideae.

Tribu: Solaneae.

Género: *Lycopersicon*.

Especie: *esculentum*.

El fruto de jitomate es una baya bi o plurilocular que se desarrolla a partir de un ovario de 5-10 mg y alcanza un peso final en la madurez que oscila entre los 5 y 500 g, según variedades y condiciones de desarrollo (Fernández-Ruiz, 2007). El fruto está unido a la planta por un pedicelo con un engrosamiento articulado que contiene la capa de abscisión (Figura 6.1). Durante la recolección del fruto la separación puede realizarse por la zona de abscisión o por la zona peduncular de unión al fruto. En las variedades industriales la presencia de parte del pedicelo es indeseable por lo que se prefieren cultivares que se separan fácilmente por la zona peduncular (Nuez, 2001).



Figura 6.1 Fruto con parte del pedicelo y zona de abscisión. (Fuente: Autor, 2011)

## 6.2 Estructura del fruto del jitomate

El fruto maduro del jitomate está constituido, básicamente, por el pericarpio, tejido placentario y semillas (Figura 6.2).



Figura 6.2 Sección transversal de un fruto maduro. (Fuente: Autor, 2011)

El pericarpio se compone de pared externa, paredes radicales o septos que separan los lóculos y la pared interna o columela. Se origina de la pared del ovario y consta de un exocarpo o piel, un mesocarpo parenquimático con heces vasculares y el endocarpo constituido por una capa unicelular que rodea los lóculos. Las cavidades loculares son huecos en el pericarpio. Un fruto desarrollado posee, al menos, dos lóculos. Los lóculos contienen las semillas rodeadas por una masa gelatinosa de células de paredes delgadas de tipo parenquimático que llenan las cavidades loculares cuando el fruto está maduro. Este tejido, formado por una excrecencia de la placenta que rodea gradualmente las semillas, aparece tempranamente durante los primeros 10 días y en los días siguientes llena totalmente la cavidad locular y entra en contacto con las paredes externas y radicales de los carpelos, pero no se une a ellas (Nuez, 2001).

El fruto tiene dos sistemas vasculares principales, uno que se extiende desde el pedicelo por la pared externa del pericarpio y el otro que va a las semillas a través de las paredes radicales y columela (Figura 6.3). En el extremo proximal del fruto los vasos que pasan a través del pericarpio están distribuidos de manera uniforme con pocas ramificaciones, mientras en el extremo distal se ramifican

considerablemente. Al aumentar la ramificación, la sección de los vasos disminuye pero la proporción de floema a xilema aumenta. Generalmente el sistema vascular forma una red interconectada con muy pocos extremos ciegos.

Las haces vasculares se extienden paralelamente al pericarpio externo. Estos haces separan las paredes en exocarpo y endocarpo (Nuez, 2001).



Figura 6.3 Sección transversal de un fruto en desarrollo. (Tomado de: Nuez, 2001)

### 6.3 Composición del fruto de jitomate

Actualmente se sabe que el sabor del jitomate se define por diferentes compuestos como los azúcares (fructosa y glucosa) (Davies y Hobson, 1981), aminoácidos libres (glutamato) y ácidos orgánicos (ácido cítrico y ácido málico), pero en mayor medida por los más de 400 compuestos volátiles que proporcionan su aroma (Maneerat *et al.*, 2002; Anza *et al.*, 2006; Narain *et al.*, 2010; Sorrequieta *et al.*, 2010; Dávila-Aviña *et al.*, 2011). Así mismo el fruto fresco de jitomate es rico en vitamina C, el poder calórico del jitomate es bastante modesto debido a su escaso contenido en materia seca y grasas (Nuez, 2001). Tanto el contenido en agua como los componentes restantes dependen tanto de la variedad, nutrición, condiciones de cultivo, etc., lo que hace poco factible dar valores precisos. En el Cuadro 6.1 se dan algunos valores promedio de los componentes de mayor interés en el fruto de jitomate.

Cuadro 6.1 Valores de la composición del fruto de jitomate maduro.

Componente	Peso fresco %
Materia seca	6.50
Carbohidratos totales	4.70
Grasas	0.15
N proteico	0.40
Azúcares reductores	3.00
Sacarosa	0.10
Sólidos solubles totales (°Brix)	4.50
Ácido málico	0.10
Ácido cítrico	0.20
Fibra	0.50
Vitamina C	0.02
Potasio	0.25

Fuente: (Nuez, 2001)

### 6.3.1 Carbohidratos

Los carbohidratos son compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, presentan la formula general  $C_x(H_2O)_n$ , y tienen estructura de polihidroxialdehído o de polihidroxiacetona. Estos son los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza, y también los más consumidos por los seres humanos (en muchos países constituyen entre 50 y 80% de la dieta poblacional) (Badui, 2006). Los carbohidratos que provienen del reino vegetal son más variados y abundantes que los del reino animal; se originan como producto de la fotosíntesis y son los principales compuestos químicos que almacenan la energía radiante del Sol. Casi todos los compuestos orgánicos que se encuentran en las plantas y en los animales son derivados de los hidratos de carbono. En general, los azúcares simples no se encuentran libres en la naturaleza, sino en forma de polisacáridos,

como reserva de energía (almidones), o como parte de la estructura firme del producto, ya sea como fibra dietética, celulosa, pectinas, gomas y hemicelulosa, siendo estas últimas no digeribles, ya que el organismo humano no puede metabolizarlos (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010).

Existe un gran número de carbohidratos, dentro de los más conocidos son sacarosa, glucosa, fructosa, almidón y celulosa, pero también hay otros que, aunque se encuentran en menor concentración tienen mucha importancia por sus propiedades físicas, químicas y nutrimentales. La estructura química de los carbohidratos determina su funcionalidad y características, mismas que repercuten de diferentes maneras en los alimentos, principalmente en el sabor, viscosidad, estructura y color. Es decir, las propiedades de los alimentos, tanto naturales como procesados, dependen del tipo de carbohidratos que contienen y de las reacciones en que éstos intervienen (Badui, 2006).

Los jitomates en etapas iniciales tienen concentraciones relativamente elevadas de almidón, y se ha sugerido que al hidrolizarse, éste se vuelve un contribuyente importante de la cantidad de azúcares en el fruto maduro (Walker y Ho, 1977). Los azúcares constituyen la mayoría de los sólidos solubles en las variedades comerciales de jitomate, con valores del 1.5 al 4.5% del peso fresco, lo que equivale a 65% de los sólidos solubles totales. Los azúcares libres más abundantes son glucosa y fructosa, que se encuentran en proporciones similares. La sacarosa, que es la principal forma de transporte de foto-asimilados de las hojas, no suele exceder del 0.1% del peso fresco, aunque algunas especies no comerciales contienen grandes cantidades de sacarosa y muy poca glucosa y fructosa. El contenido de azúcares en los frutos de jitomate se incrementa durante el desarrollo, y se acelera cuando el color empieza a cambiar a amarillo y aumenta paulatinamente durante la maduración, por lo que la recolección prematura afecta negativamente al contenido de azúcares (Martínez-Barajas, 2003).

El sombreado, el descenso en la duración de la luz y la eliminación de las hojas tienen un efecto negativo ya que disminuyen el contenido de azúcares. El efecto

de los macronutrientes sobre el contenido en azúcares es pequeño, si bien un exceso de nutrición nitrogenada lo afecta negativamente (Nuez, 2001).

### **6.3.1.1 Monosacáridos**

Los monosacáridos son las moléculas de carbohidratos más simples, por lo que ya no pueden ser degradados a moléculas más simples por hidrólisis, a menudo son conocidos como azúcares simples. Éstos pueden unirse para formar estructuras mayores, oligosacáridos y polisacáridos y que a su vez pueden ser convertidos en monosacáridos por hidrólisis (Fennema, 2000).

La glucosa es el monosacárido más abundante en la naturaleza, se encuentra en diferentes frutas y hortalizas, su concentración depende básicamente del grado de madurez de la especie (Hernández y Sastre, 1999). Debido a que la glucosa es dextrorrotatoria (gira a la derecha sobre el plano de la luz polarizada) también se le conoce con el nombre de dextrosa, esta se emplea comercialmente en la elaboración de un gran número de alimentos y se obtiene de la hidrólisis controlada del almidón. La glucosa es una forma de carbohidrato importante en el metabolismo de las células, su oxidación completa a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , por medio de la glucólisis y el ciclo de Krebs, genera ATP, unidad básica de transferencia de energía en los sistemas biológicos (Badui, 2006). Por lo que el contenido de los distintos azúcares en la frutas varía según en grado de maduración de éstas. Por ejemplo, en la fase inicial del desarrollo del durazno y del chabacano, los monosacáridos son más abundantes que la sacarosa; sin embargo, cuando los frutos alcanzan su estado comestible, los primeros se reducen a costa de la síntesis del disacárido (Badui, 2006).

En la maduración de las frutas climatéricas, como en el caso del jitomate, el etileno provoca la activación de diversas enzimas que catalizan la síntesis de fructosa, glucosa y sacarosa a partir del almidón; por su importancia destacan la sacarosa sintetasa y la invertasa (Boatella, 2004). En la figura 6.4 se muestran estas transformaciones; como se puede observar, el almidón da origen a la

sacarosa, la que a su vez produce la mezcla de los respectivos monosacáridos que la constituyen (Nuez, 2001).

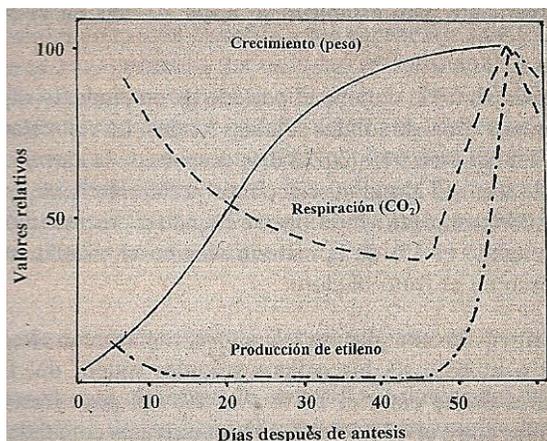


Figura 6.4 Curva de desarrollo, actividad respiratoria y producción de etileno en frutos de jitomate. (Tomado de: Nuez, 2001)

### 6.3.1.2 Oligosacáridos

En el área de los alimentos, los oligosacáridos más importantes son los disacáridos y algunos tri y tetra sacáridos. Durante la formación de oligosacáridos, uno de los azúcares elimina su OH anomérico para poder establecer el enlace glucosídico. En general, los disacáridos se han dividido de acuerdo con su poder reductor, de esta manera tenemos aquellos capaces de reducir las soluciones de Fehling (como lactosa, celobiosa, isomaltosa y maltosa), y los que no la reducen, como sacarosa (Badui, 2006).

La sacarosa, es el disacárido presente en el jitomate, está compuesta por una unidad de  $\alpha$ -D-glucopiranosilo y otra  $\beta$ -D-fructofuranosilo, unidas cabeza con cabeza (por los extremos reductores), en lugar la forma más usual cabeza-cola (figura 6.5). La sacarosa es un producto intermedio principal de la fotosíntesis, en muchas plantas constituye la forma principal de transporte de azúcar desde las hojas a otras partes de la planta. En un inicio se cuenta con valores cercanos a 2.8% (Demnitz-King *et al.*, 1997), pero conforme se avanza la maduración del fruto de jitomate este se degrada en glucosa y fructosa (Teijón, 2004).

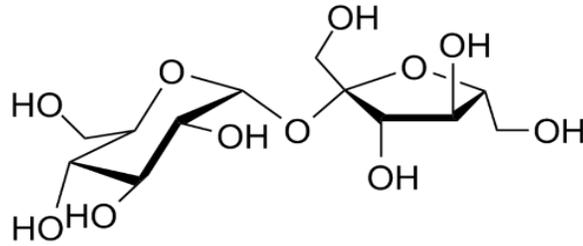


Figura 6.5 Molécula de sacarosa.

### 6.3.2 Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos se concentran habitualmente en los frutos de numerosas plantas como el jitomate, son compuestos orgánicos que poseen al menos un grupo ácido, como ejemplo tenemos al ácido cítrico, málico, oxálico, salicílico y ácidos grasos (López, 2007). El grupo ácido más común es el grupo carboxilo. Los ácidos orgánicos derivan de rutas metabólicas cíclicas mismas que llevan a cabo las plantas y algunos microorganismos para formar glúcidos o azúcares, por ejemplo el ciclo de Krebs y el ciclo de glioxilato que es una forma modificada del ciclo de los ácidos tricarbóxicos o de Krebs (Lehninger *et al.*, 2008).

Los ácidos orgánicos son de gran importancia debido a que en conjunto con el contenido de azúcares determinan el sabor de los frutos (Stevens *et al.*, 1977). El ácido predominante en el fruto maduro de jitomate es el cítrico, seguido del málico; otros ácidos tales como el fórmico, acético, transaconítico son minoritarios. La acidez se concentra fundamentalmente en la cavidad locular y es relativamente baja en el mesocarpo externo (Nuez, 2001).

La acidez máxima durante la maduración coincide con la aparición del color rosado, descendido después progresivamente. La acidez del jitomate, así como la relación entre málico y cítrico, dependen en gran medida de la variedad (Chamarro, 2000). El contenido en potasio guarda una relación muy estrecha con la acidez en el jitomate, ya que el jugo del jitomate se comporta como un tampón constituido por ácidos débiles (cítrico y málico) y bases fuertes (fundamentalmente potasio). La acidez del jitomate aumenta con la fertilización nitrogenada en la que los nitratos son más eficaces que la forma amónica y disminuye con el fósforo. La

conjunción de una fertilización elevada en nitrógeno y potasio favorece, no solo la acidez, sino también la actividad de las enzimas pépticos, el rendimiento en frutos y reduce la incidencia de las alteraciones en la maduración. La influencia del calcio y el magnesio sobre la acidez del jitomate es escasa (Nuez, 2001).

### **6.3.3 Compuestos nitrogenados**

Si bien el contenido en nitrógeno total disminuye desde la formación del fruto hasta el inicio de la madurez, se ha observado un aumento del nitrógeno (no proteico) soluble en alcohol durante la maduración y algunos autores han encontrado un pequeño aumento en el nitrógeno proteico precediendo al pico climatérico. Sin embargo, la información disponible es poco consistente. No obstante, hoy está fuera de duda que, aunque durante la maduración se produce una degradación importante de proteínas, también se sintetizan enzimas relacionados con los cambios que tienen lugar durante este periodo (Nuez, 2001). El contenido de nitrógeno total aumenta con la fertilización nitrogenada debido fundamentalmente al nitrógeno no proteico, mientras el contenido en proteínas no resulta afectado (Chamarro, 2000). Durante la maduración, los aminoácidos libres totales permanecen relativamente constantes, pero la concentración en ácido glutámico, que es el predominante en el jitomate maduro, aumenta considerablemente mientras el ácido aspártico lo hace en menor proporción. Excepto la serina y treonina, que alcanzan un máximo antes de la completa madurez del fruto, los restantes aminoácidos disminuyen durante la maduración, lo que se ha atribuido a su utilización para la síntesis de proteínas (Nuez, 2001).

### **6.3.4 Componentes volátiles**

La fracción volátil del jitomate está constituida por más de 400 sustancias, entre las que se encuentran hidrocarburos, éteres, fenoles, aldehídos, alcoholes, cetonas, ésteres, lactonas, compuestos sulfurados, aminas y una amplia gama de

moléculas heterocíclicas (Nuez, 2001), estos compuestos volátiles en amplia variedad proporcionan el aroma característico del fruto (Dávila-Aviña *et al*, 2011).

La composición y concentración de los compuestos volátiles puede intensificar la percepción del sabor del tomate, estas concentraciones pueden variar según la variedad, estado de madurez, periodo de almacenamiento y tratamientos postcosecha (Boukobza y Taylor, 2002). El sabor característico del jitomate está dado por la interacción entre ácidos orgánicos, azúcares y compuestos volátiles (Baldwin *et al.*, 2008). Los ácidos orgánicos y azúcares se perciben mediante el sentido del gusto, donde son disueltos en la saliva e interactúan con los receptores del gusto y envían señales al cerebro donde se transformarán para desencadenar una sensación de sabor (Beullens *et al.*, 2008). La concentración en sustancias volátiles reductoras aumenta durante la maduración del fruto y es superior en cultivos al aire libre que en los de invernadero (Nuez, 2001).

### **6.3.5 Pigmentos**

El color verde de los jitomates inmaduros se debe a la clorofila. Con el inicio de la maduración los cloroplastos empiezan a transformarse en cromoplastos, inicialmente en el tejido placentario gelatinoso que rodea las semillas y luego en el pericarpio desde la zona distal hacia el pedúnculo. La clorofila empieza a degradarse y se sintetizan los pigmentos amarillos, fundamentalmente xantofilas, y  $\beta$ -caroteno, que se hacen más aparentes con la progresiva destrucción de la clorofila. Posteriormente, aunque continúa la síntesis de dichos compuestos, el jitomate adquiere una coloración roja debido a la rápida acumulación de licopeno (Arias, 2000). El  $\beta$ -caroteno contribuye de forma importante al color del fruto en las primeras etapas de la maduración, alcanzando su valor máximo poco antes del total desarrollo del color y junto al  $\alpha$ -caroteno, se encuentra en pequeñas cantidades en el fruto verde-maduro. Otros carotenos no cíclicos como el fitoeno, fitoflueno y  $\gamma$ -caroteno, ausentes en frutos verdes, se acumulan durante la maduración. La síntesis de carotenoides se inhibe a temperaturas superiores a 32°C. Algunos cambios de color, textura, sabor, etc., son responsabilidad de las

diferentes concentraciones de aminoácidos libres y composición de pigmentos (Pratta, 2011). Además, se sabe que la iluminación es un factor importante en el desarrollo del color de los jitomates y afecta a la síntesis de licopeno (Chamorro, 2000).

### **6.3.6 Componentes de la pared celular**

Las paredes celulares vegetales son un conjunto de compuestos de gran complejidad estructural de los diversos polisacáridos que contribuyen a una serie de procesos celulares. Estas paredes limitan y regulan la expansión de las células manteniendo la adhesión entre las células, permitiendo que los órganos crezcan y se desarrollen con propiedades mecánicas sólidas. Los componentes de polisacáridos de las paredes celulares de todas las plantas se pueden clasificar en tres clases (Popper, 2008). Las moléculas de celulosa se unen en microfibrillas para proporcionar una dura carga de fibras de soporte en las paredes celulares. La hemicelulosa, tiene la capacidad formar enlaces de hidrógeno en la superficie de las microfibrillas y se superponen para atar las microfibrillas, que proporciona un marco de carga molecular de las paredes celulares primarias y secundarias (O'Neill y York, 2003).

De la tercera clase de los polisacáridos importantes son las pectinas. Esta clase de polisacáridos está compuesta de diversos polisacáridos ácidos de distintas posibilidades de modulación estructural y, juntos, estos polímeros pueden ser integrados en grandes redes que modulan las propiedades de las células y el apoplasto pared matrices (Willats, 2001).

La hemicelulosa y la pectina son dos grupos de polímeros de la pared celular con variadas características estructurales. La visión actual, es que estos polisacáridos están integrados en las paredes celulares, donde contribuyen al conjunto de materiales flexibles que imparten una gama de multi-funcionalidad a las paredes celulares de las planta (Willats y Knox, 2003).

Por lo que los principales componentes de la pared celular del jitomate son pectinas, hemicelulosas, celulosa y algunas proteínas. La progresiva pérdida de la firmeza que se produce con la maduración es el resultado de la solubilización gradual de la protopectina de las paredes celulares para formar pectinas y otros productos. Simultáneamente, la degradación de la pared celular producida por el crecimiento propio de la célula puede ser responsable del adelgazamiento de la pared celular. La pared celular constituye entre 1 y 3% del peso fresco y contiene un 6-7% de cenizas, un 16-20% de proteínas y el resto está constituido por carbohidratos, fundamentalmente pectinas, hemicelulosas y celulosa en la relación 11:6:3 (Nuez, 2001).

Los compuestos pécticos insolubles de la lámina media, actúan como cemento intercelular y son en gran medida, responsables de la firmeza y plasticidad de los frutos jóvenes. Las sustancias pécticas experimentan cambios y degradación por mecanismos enzimáticos durante las últimas fases de la maduración, acompañados por la pérdida casi completa de la cohesión de los tejidos. En este proceso parecen desempeñar un papel importante los enzimas pépticas. Si bien el jitomate posee enzimas celulolíticas, estas parecen tener un efecto muy escaso sobre la celulosa de las paredes primaria y secundaria (Nuez, 2001).

### **6.3.7 Minerales**

El potasio es el mineral más abundante y el que tiene una mayor influencia en la calidad del fruto y junto con nitratos y fosfatos, constituyen 93% de las sustancias minerales del jitomate (Chamarro, 2000). El calcio debe estar por encima del 0.12% para evitar el riesgo de la aparición de la podredumbre apical; mientras Cenariu *at el.* (2008), reportan una concentración entre 30-50 mg/kg de peso fresco (PF) del fruto. El 70% del Ca total de la planta es retenido por las hojas, mientras los frutos sólo contienen 5% y a diferencia del potasio, una vez asimilado por las hojas, la translocación del Ca al fruto es muy escasa (Nuez, 2001). Entre las causas que pueden dar lugar a una deficiencia de Ca en el fruto se encuentran una nutrición inadecuada, el crecimiento rápido del fruto, salinidad elevada en la

zona radical, el abonado excesivo con nitrógeno amónico, etc. El cloruro cálcico aplicado por pulverización es fácilmente absorbido por las hojas y el fruto. El Mg se distribuye de manera uniforme en las hojas y frutos y tiene efectos beneficiosos sobre las alteraciones de la maduración especialmente cuando los niveles de potasio son bajos. En una planta adulta 25% del nitrógeno y potasio totales se encuentra en las hojas, mientras el fruto contiene 60% (Nuez, 2001). Además se reportan cantidades de 1.5 mg/kg de hierro y 130-150 mg/kg de sodio (Cenariu *et al.*, 2008).

### **6.3.8 Vitaminas**

Las vitaminas comprenden un grupo diverso de compuestos orgánicos, que son micronutrientes esenciales (Fennema, 2000), los cuales facilitan el metabolismo de otros nutrimentos y mantienen diversos procesos fisiológicos vitales para todas las células activas. En los alimentos se encuentran en cantidades muy pequeñas, que van desde unos cuantos microgramos hasta 200 miligramos por kilogramos (Combs, 1992). La concentración de vitaminas en vegetales está en función de aspectos genéticos, radiación solar (influye en la vitamina C y la tiamina), disponibilidad de agua, época del año, fertilización, temperatura promedio (influye en los carotenos), topografía, cosecha, almacenamiento, grado de madurez en el momento del corte, etc., (Badui, 2006).

#### **6.3.8.1 Vitamina C o ácido ascórbico**

La vitamina C, es uno de los factores de mayor importancia en la calidad nutricional de muchos cultivos hortícolas por sus numerosas actividades biológicas en el cuerpo humano. El contenido de vitamina C en frutas y verduras puede estar influenciada por diversas razones como las diferencias genotípicas, condiciones climatológicas, prácticas culturales, métodos de madurez y cosecha, procedimientos de manejo y de postcosecha (Lee y Kader, 2000).

Por otra parte se sabe que el ácido ascórbico es un derivado de los hidratos de carbono (su síntesis química parte de la D-glucosa), tiene una estructura de cetona cíclica que corresponde a la forma enólica de la 3-ceto-1-gulofuranolactona (Figura 6.6); contiene un enol entre los carbonos 2 y 3 que la hace un agente ácido y altamente reductor, por lo que se oxida muy fácilmente (Fanasca *et al.*, 2006). Algunas frutas, sintetizan el ácido ascórbico paralelamente a los pigmentos, aun cuando este disminuye una vez recolectadas, también existe la situación inversa, puesto que el contenido se incrementa después de la cosecha. Incluso, dentro del mismo fruto esta vitamina no es homogénea, como la manzana que acumula hasta 80% de ácido ascórbico en la cascara o en el corazón, o bien el centro de la piña que concentra la mayor cantidad de vitamina C (Badui, 2006). En el caso del jitomate, es considerado como una hortaliza con un valor nutricional importante, por la cantidad de antioxidantes presentes, además su contenido en vitamina C representa un objetivo de mejora prometedor, ya que esta vitamina desempeña un papel importante en la prevención de enfermedades degenerativas, cánceres, desórdenes neurológicos y de la vista. A su vez Roselló (2006) menciona que el ambiente tiene una gran influencia en la acumulación de vitamina C en jitomate.

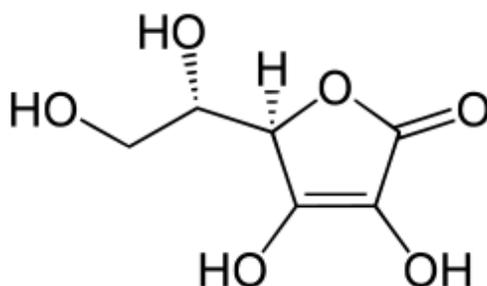


Figura 6.6 Molécula de ácido ascórbico.

## 6.4 Propiedades físico-químicas del jitomate

### 6.4.1 Color

En la comercialización del jitomate, excluyendo el tamaño de los frutos, el factor más determinante en la aceptación por parte del consumidor es el color. La

estrecha relación que existe entre la evolución de los pigmentos y el estado de madurez de los frutos permite una fácil diferenciación en base a los cambios que experimenta el color (Nuez, 2001).

El color en el jitomate es una característica de calidad extremadamente importante, ya que determina la madurez y vida postcosecha, y es el factor determinante en cuanto a la aceptabilidad por parte del consumidor. La clorofila y carotenoides son los responsables del color en el jitomate. En las fases tempranas de desarrollo la clorofila imparte un color verde, y cuando el jitomate inicia el proceso de maduración, la clorofila se degrada y los carotenoides son sintetizados (Zapata *et al.*, 2007). Los carotenoides (licopeno, caroteno y xantofilas) son los responsables de los colores rojo, naranja y amarillo del jitomate (Sánchez *et al.*, 1999). Por ello, se han desarrollado numerosas escalas de color para realizar la clasificación subjetiva del estado de maduración. El empleo de la medida de color mediante la escala triestímulo de Hunter con los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$ , ha sido utilizada desde 1958 en estudios que requerían la medida objetiva del color en los frutos. Las dimensiones son:

$L^*$ = proporciona el valor de la luminosidad, los valores se encuentran de 0 a 100 donde los valores más pequeños representan negro y los altos al blanco.

$a^*$ = indica un rango de color de rojo a verde, los valores positivos son rojos, los negativos verdes y un cero da un valor neutro.

$b^*$ = indica un rango de color azul a amarillo, los valores positivos son azules y los valores negativos amarillos. al igual que el valor de  $a^*$  un cero da un valor neutro.

Además a partir de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$ , se han calculado diferentes índices que muestran una mejor aproximación a las sensaciones percibidas por el ojo humano; siendo de los más utilizados  $a^*/b^*$ , que es la propuesta de la relación rojo/amarillo, y  $(a^*/b^*)^2$  que se considera como la relación entre el contenido de licopeno y los cambios de color (Zapata, 2007).

#### **6.4.2 Firmeza**

Las propiedades texturales pueden servir como un indicador de madurez y como un parámetro de calidad para el consumidor. La firmeza, está ligada a la evolución de la maduración, que es percibida por el tacto entre los dedos (Barrett *et al.*, 1998). Esta propiedad es muy importante para la comercialización en fresco de productos vegetales por razones del cumplimiento de normas o estándares establecidos, estrategias de mercadeo y eficacia en el empleo de recursos para la labor de la cosecha (Ramos-García, 2010). La reducción de la consistencia de la firmeza en los frutos es debida a la actividad de la enzima poligalacturonasa sobre las pectinas y las paredes celulares, lo que provoca cambios en las características de los tejidos que conducen al ablandamiento. En los frutos verdes no existe esta enzima, pues se forma como expresión de la información genética durante la maduración. Para la evaluación de la consistencia del jitomate por métodos objetivos se pueden aplicar procedimientos destructivos que miden la resistencia que ofrecen a la penetración, corte o compresión; y las técnicas no destructivas que evalúan la firmeza de los frutos a la compresión (Nuez, 2001).

#### **6.4.3 pH**

El pH, es la medida de la actividad de los iones hidrogeno e indica acidez, misma que puede ser determinada por métodos potenciométricos. En frutos, como en el caso del jitomate, también se considera un parámetro de calidad importante tanto para su consumo como para su procesado en la industria alimentaria. Al igual que el pH otros parámetros de calidad como la concentración de sólidos solubles son de gran importancia para la selección de variedades que pueden ser utilizadas en la fabricación de productos a base de jitomate (Binoy *et al.*, 2004; Nuez, 2001).

#### **6.4.4 sólidos solubles totales (°Brix)**

El contenido de sólidos solubles totales en fruto de jitomate normalmente es de 4°Brix (Santiago *et al.*, 1998) en promedio, y son los factores agronómicos como el

riego (volumen total de agua, momento de corte de riego) y de clima durante el periodo de maduración que pueden hacer variar los °Brix para frutos de una misma variedad entre 4 y 6 (Aguayo y Artés, 2004). Los azúcares constituyen cerca del 65% de los sólidos solubles totales, mientras que el resto está constituido principalmente por ácidos orgánicos, minerales, lípidos y a bajas concentraciones muchos otros compuestos. En consecuencia, un aumento en el contenido de sólidos solubles produce también un aumento en el sabor (Nuez, 2001).

#### **6.4.5 Acidez titulable**

Un atributo de calidad importante en el procesamiento de productos a base de jitomates es la acidez titulable (% ácido cítrico). Si este atributo se modifica se afecta significativamente la industria alimenticia. La acidez puede ser afectada durante la madurez del fruto (Gordon *et al.*, 2011). Cabe recordar, que el ácido cítrico es el ácido más abundante en el jitomate y el mayor contribuyente de la acidez titulable total (Paulson y Stevens, 1974), y que los frutos maduros presentan una disminución en la acidez (García y Barrett, 2005).

#### **6.5 Cambios en la composición durante el desarrollo del fruto**

Durante el proceso de maduración, la pared celular sufre diversas modificaciones debido a la actividad de varias enzimas, como la poligalacturonasa, pectina metil-esterasa, endo- $\beta$ -manasa,  $\alpha$  y  $\beta$ -galactosidasas, y  $\beta$ -glucanasas, provocando el reblandecimiento de la fruta entera mediante la alteración de la textura debido a la degradación de los componentes estructurales necesarios para reforzar la pared celular y la adhesión de las células (Fischer y Bennett, 1991). A su vez, conforme continúa el crecimiento del fruto de jitomate, el contenido en materia seca, referido al peso fresco, disminuye, debido a la dilución producida por la rápida incorporación de agua. La acumulación de almidón durante el periodo de crecimiento rápido parece tener influencia en el contenido final de sólidos solubles

totales. La velocidad de acumulación de almidón alcanza un máximo a los 20-25 días después de la antesis y llega a suponer un 20% de la materia seca. El almidón empieza a hidrolizarse cuando el crecimiento del fruto alcanza el máximo, representando 1% de la materia seca en el estadio verde maduro y 0.03% del peso fresco en el fruto maduro (Nuez 2001).

Los azúcares, principalmente glucosa y fructosa, que son los compuestos más abundantes con 22% y 25% respectivamente, representan cerca de la mitad de la materia seca o 65% de los sólidos solubles totales del fruto maduro, (Martínez-Barajas, 2003). Demnitz-King (1997) reporta que el contenido en azúcares solubles totales oscila entre 1.2% y alcanza casi 4% del peso fresco del fruto y los sólidos solubles totales entre 4% y 9% en los cultivares comerciales (Nuez, 2001). El contenido en sólidos solubles totales es inversamente proporcional al rendimiento en frutos y aumenta con la superficie foliar. Cuando el fruto comienza a crecer, el contenido en azúcares reductores aumenta desde 0.1% del peso fresco del ovario a 3.5% en la maduración. El contenido en azúcares es mayor en las paredes que en los lóculos. La sacarosa representa un rango de 1% a 2.8% de la materia seca al iniciarse la maduración, pero el metabolismo de la sacarosa es importante para el crecimiento del fruto (Demnitz-King, 1997). Después de la polinización, el contenido en azúcares reductores y almidón aumenta acusadamente, pero el contenido de sacarosa disminuye de 1% a 0.2% del peso fresco del fruto en 8 días. Aunque la sacarosa es el principal asimilado importado por el fruto, el contenido en sacarosa es siempre bajo. Dado que la velocidad de importación de fotosimilados es inversamente proporcional a la concentración de sacarosa en el fruto, la hidrólisis de la sacarosa puede estar regulando la importación (Nuez, 2001).

El contenido de ácidos orgánicos aumenta durante el desarrollo del fruto y se acumula, preferentemente, en los lóculos. Los principales ácidos orgánicos en el jitomate son el málico y el cítrico, que representan 13% de la materia seca. Al principio del crecimiento el ácido málico es el predominante, mientras el cítrico sólo representa 25%. El pH en frutos de jitomate reporta valores de 4.1 a 4.4

(Juárez-López *et al.*, 2009), mientras que en jugo del fruto maduro entre 4 y 4.8 (Nuez, 2001).

El nitrógeno, fósforo y potasio suponen más del 90% del contenido en minerales. Durante el desarrollo del fruto, el nitrógeno y el fósforo disminuyen desde 3% a 0.6% y de 2% a 0.4% de la materia seca, respectivamente, mientras el potasio permanece constante, alrededor del 3% (Nuez, 2001). El potasio representa 85% de los cationes en el fruto y su acumulación es proporcional a la materia seca. Esta relación varía con la concentración de potasio en la solución nutritiva y las condiciones de cultivo. El aumento en el suministro de potasio incrementa la acidez y el color del fruto. La deficiencia en potasio produce un acortamiento en el periodo de crecimiento del fruto y aumenta el máximo de la respiración climatérica (Vallejo y Estrada, 2004).

### **6.5.1 Condiciones de almacenamiento**

El control de la temperatura es la principal herramienta para prolongar la vida útil y mantener la calidad de los productos vegetales. Al aplicar bajas temperaturas durante el almacenamiento, se logra un aumento sustancial del tiempo de conservación de los productos vegetales. Para evitar las lesiones por congelación, se recomienda conservar a una temperatura poco superior al punto de congelación (Gamage y Shafiur-Rahman, 2003). Para establecer condiciones de conservación frigorífica del jitomate, debe tenerse en cuenta el estado de maduración. Los jitomates en estado verde maduro deben conservarse a 12-15°C y 85-90% H.R., mientras que los jitomates maduros pueden conservarse a temperaturas inferiores, recomendándose 10-12°C (Riquelme, 2000).

La duración del periodo de conservación está limitada por la aparición de numerosas alteraciones, tanto de origen microbiano como fisiológico; en función del grado de maduración, la conservación por frío puede prolongarse desde unos pocos días hasta un máximo de 4-6 semanas. La conservación a temperaturas inferiores de las indicadas debe evitarse pues produce “daño por frío”,

caracterizado por el desarrollo de una maduración lenta y anormal, así como el incremento de la sensibilidad a los ataques por microorganismos (Nuez, 2001).

## **6.6 Microbiota presente en vegetales crudos**

Las frutas y verduras son productos perecederos, y susceptibles de deterioro microbiano y físico, pueden considerarse como potencialmente contaminados por microorganismos patógenos. El origen, características físicas y estructurales, y composición química de las hortalizas, son determinantes de su contenido cualitativo y cuantitativo de microorganismos (Fernández-Escartín, 2000).

La población microbiana se localiza fundamentalmente sobre las partes externas de frutas y verduras, que por lo general corresponde a la que existe en el entorno. La presencia de microorganismos patógenos está determinada por las prácticas que se sigan en la fertilización del cultivo y las condiciones sanitarias prevalecientes incluida la cosecha. Monge y Chinchilla (1996) reportan niveles de *E. coli* (en  $\log_{10}$  UFC/mL) en verduras crudas muestreadas en mercados, de 2-3 para col, 3 para zanahoria, 3-6 para hojas de cilantro, 4-5 lechuga, 3-4 rábanos y 1-2 jitomates.

Entre las bacterias más comunes en los vegetales crudos predominan los bacilos Gram negativos aerobios como *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Hafnia alvei*, *Erwina carotovora*, *Pseudomonas spp*, *Flavobacterium sp*, *Proteus sp*, *Klebsiella sp*, *Xanthomonas sp*, *Escherichia intermedia*, *Acinetobacter sp*, *Serratia sp* y *A. hydrophila*; destacan entre los Gram positivos *Lactobacillus sp*, *Enterococcus*, *Bacillus* y *Micrococcaceae*, aislados de brócoli, coliflor, zanahoria, pepinos, lechuga, jitomate, papas y chicharos (Fernández-Escartín, 2000).

A partir de verduras crudas es posible recuperar una diversidad de bacterias patógenas; las enteropatógenas son más frecuentes en aquellas provenientes de terrenos expuestos a la contaminación fecal evidente (riesgo con aguas negras, uso de fertilizantes orgánicos provenientes de aves, ganado mayor y animales domésticos próximos), pero también es posible su hallazgo en terrenos exentos de

estas prácticas como los mercados o expendios de hortalizas (Rivera-Jacinto *et al*, 2009). Existen evidencias que sostienen que la presencia y abundancia de *E. coli* puede corresponder como indicador de contaminación fecal (Arias-Echandi y Antillón, 2000).

## **6.7 Fuentes de contaminación**

Las frutas y verduras se encuentran expuestas a contaminaciones de tipo directa y origen causadas por microorganismos patógenos antes, durante y después de su cosecha. En la precosecha son variables las fuentes de contaminación como son: el suelo, el agua de riego, la presencia de materia fecal humana o animal, el tipo de abono utilizado, el aire y las personas encargadas de cuidar de la zona de cultivo. En la etapa de post-cosecha destaca la maquinaria y equipo, los recipientes, animales domésticos y silvestres, el polvo del ambiente y los vehículos de transporte (Beuchat, 1996).

Fundamentalmente estas fuentes de contaminación propician el crecimiento microbiano en las superficies de los vegetales. La naturaleza y abundancia de la flora contaminante (bacterias, virus, hongos, levaduras, parásitos) es muy variable entre los diferentes productos y, depende de la cercanía al suelo en donde se desarrollan, las condiciones de humedad y viento, la estación del año, la proximidad de los animales y el tipo de agua usada en la irrigación. Por lo que, en los jitomates que se ofrecen al público los microorganismos pueden provenir de una diversidad de fuentes de contaminación (García-Sánchez *et al.*, 2003) (Cuadro 6.2).

Cuadro 6.2 Fuentes de contaminación de frutas y verduras y prácticas de manejo que propician sobrevivencia o desarrollo.

- 
1. Uso para riego de agua contaminada con desechos humanos y animales.
  2. Trabajadores portadores.
  3. Equipo y recipientes mal saneados.
  4. Uso de estiércol como fertilizante.
  5. Fauna nociva y animales domésticos.
  6. Uso de agua contaminada para lavado.
  7. Equipo y material usado en la cosecha.
  8. Contaminaciones cruzadas.
  9. Abuso de la temperatura.
  10. Inadecuada cocción.
- 

Fuente: (Fernández-Escartín, 2000)

Los microorganismos aportados por las fuentes de contaminación mencionadas en el Cuadro 6.2, incluyen la microbiota patógena y deteriorativa, considerando las especies tanto primaria, como oportunistas. La falta de integridad de los frutos puede propicia el ingreso de microorganismos. En gran medida la flora de frutas y verduras refleja la del ambiente en el cual se desarrollan. Es de esperar mayor carga microbiana en aquellas que se localizan en el suelo (fresas, cacahuates, zanahorias), que en las que se desarrollan alejadas (jitomates, manzanas). En estas últimas predominan bacterias Gram positivas como corinebacterias (*Arthobacter*), bacilos y micrococos que constituyen cerca del 70% de  $10^{6-9}$  bacterias que suelen existir por g de suelo (Brackett *et al.*, 1994). La lluvia afecta la carga microbiana disminuyendo su número por arrastre mecánico, pero contribuye a su incremento; propicia algún grado de actividad al elevar la humedad relativa. Entre los animales como fuente de contaminación a las verduras se incluyen los domésticos, los de crianza, los silvestres y los insectos (Fernández-Escartín, 2000).

## **6.8 Mecanismo de sobrevivencia**

En las frutas y verduras existen varios nutrientes para sostener la población y multiplicación de microorganismos, tanto deterioradores como patógenos. De acuerdo a los componentes (sustratos) de los alimentos que los microorganismos utilicen se pueden clasificar como: proteolíticos, lipolíticos o fermentativos. La clasificación anterior depende de las condiciones ambientales y otros factores que son determinantes para el desarrollo microbiano. (Fernández-Escartín, 2000).

Adicionalmente Tauxe *et al.*, (1997) reportan que la sobrevivencia y crecimiento de los microorganismos en vegetales frescos depende de la interacción de varios factores como: características de los microorganismos presentes, estado fisiológico de la planta y su resistencia a los procesos metabólicos microbianos, condiciones del ambiente que rodean al vegetal (humedad relativa, temperatura, composición de la atmósfera, entre otros) y los efectos de las prácticas de cultivo y procesos post cosecha. Asimismo la sobrevivencia y virulencia de la flora bacteriana y deteriorativa depende de la expresión de ciertos genes en respuesta a las condiciones del ambiente que las rodea (Archer, 1996). La expresión es modulada por un proceso de señalización conocido como Quorum Sensing (QS) el cual depende de la síntesis y reconocimiento de señales químicas conocida como autoinductores (Smith *et al.*, 2004). Entre los mecanismos de virulencia y sobrevivencia regulados por el QS se encuentran la esporulación, síntesis de péptidos antimicrobianos, adherencia y formación de biopelículas (Balaban y Koyfman, 2001).

## **6.9 Cultivo de jitomate en condiciones de invernadero**

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una de las hortalizas de mayor consumo *per cápita* a nivel mundial y de las más ampliamente cultivadas en invernadero (Sánchez-del Castillo *et al.*, 2009). En los últimos años el interés por encontrar sistemas de producción que incrementen el rendimiento, calidad e

inocuidad de los frutos ha sido la prioridad de muchos especialistas. El sistema de producción de jitomate en invernadero que normalmente se practica en Europa, Estados Unidos y México, consiste en el uso de variedades de hábito indeterminado, en densidades de población que van de 2 a 3 plantas·m<sup>-2</sup>, donde los tallos de las plantas se dejan crecer hasta más de 7 m de longitud, para cosechar 15 o más racimos por planta, en un solo ciclo de cultivo por año llegando a alcanzar rendimientos de hasta 400 t·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> (Resh, 2004).

Las técnicas de cultivo del jitomate han experimentado cambios, la utilización de invernaderos con cobertura plástica, sistemas de control climático, equipo de riego y fertilización, etc., se ha difundido ampliamente con el fin de mejorar el crecimiento y el desarrollo del jitomate y, consecuentemente, aumentar la productividad e incrementar la calidad de los frutos (Abad, 2000). Asociado a la demanda de productos hortícolas, principalmente durante los meses de invierno, cuando las condiciones de luz y temperatura limitan la producción agrícola, hace que la productividad y calidad sean los factores fundamentales en el cultivo del jitomate para consumo fresco y especialmente si es destinado a mercados distantes, para lo cual es necesario garantizar frutos consistentes, inocuos y de larga duración (Nuez, 2001).

### **6.9.1 Sistema de hidroponía**

La palabra hidroponía acuñada por W. F. Gericke en los años 30's, se deriva del griego "*hydro*" que significa "agua" y "*ponos*" que quiere decir "trabajo", por lo tanto, literalmente se puede interpretar como "trabajo con agua" (Fanasca *et al.*, 2006). El concepto de hidroponía se define como la disciplina que estudia el crecimiento de las plantas sin utilizar suelo, sino en un medio inerte tal como grava, arena, vermiculita, piedra pómez o aserrín, a los cuales se les añade una solución de nutrimentos que contienen todos los elementos esenciales necesarios para la planta para su crecimiento y desarrollo normal (Resh, 2001).

La principal importancia de la hidroponía radica en la posibilidad real de producir cultivos hortícolas con un uso muy eficiente del agua, con frecuencia, haciendo

uso de agua con altos contenidos de sales, en espacios reducidos y sin necesidad de suelo, utilizando un enfoque de sustentabilidad dado que los volúmenes de recursos utilizados obedecen estrictamente a las necesidades fisiológicas de los cultivos (Torneró *et al*, 2004). El ámbito de aplicación de la técnica de la hidroponía puede considerarse demasiado diverso, ya que puede ser utilizada ampliamente con fines de autoconsumo, capacitación, producción para el mercado, investigación y enseñanza, en una amplia gama de niveles tecnológicos, climas y cultivos. Esta puede realizarse de manera rústica en el traspatio de la casa del agricultor con fines de autoconsumo o bien en invernaderos (Alphi y Tognoni, 1991) con sistemas de automatización muy sofisticados, donde se producen cultivos altamente rentables para exportación.

En los años correspondientes a la década de 1990 y lo que va del siglo XXI, la utilización de invernaderos para producción de hortalizas, ha permitido a los agricultores aumentar la producción por unidad de superficie.

### ***Ventajas de la hidroponía:***

Baca (1988), menciona entre otras, las siguientes ventajas y desventajas de los sistemas de producción en hidroponía:

1. Ajustes adecuados en la presión osmótica (concentración de sales) de la solución nutritiva por cultivo y por época del año. Con facilidad y rapidez es posible corregir deficiencias nutrimentales y ajustes predeterminados en el pH.
2. Aprovechamiento del uso de las relaciones mutuas de aniones y cationes predeterminados y ajustes apropiados en las relaciones y concentraciones de micronutrientes.
3. Alto grado de eficiencia en el uso del agua y pueden utilizarse aguas más salinas con relación a las utilizadas en cultivos tradicionales.
4. Reducción en gran medida de la contaminación del ambiente y los riesgos de erosión.

### ***Desventajas de la hidroponía:***

1. El costo inicial de un sistema de producción bajo hidroponía a nivel comercial es alto.
2. Para su manejo a nivel comercial se requiere de habilidad técnica y de niveles altos de capacitación en diferentes áreas del conocimiento como comercialización, fisiología y nutrición vegetal, química inorgánica y riego, entre otros.
3. Se requiere tener bases sólidas sobre el comportamiento de los mercados de aquellos cultivos que se desean producir, particularmente de los precios que alcanzan el producto y en las demanda por época del año.
4. Conocer a detalle y manejar la especie que se desea cultivar, sus necesidades nutrimentales, consumo de agua, etapas fenológicas, días de madurez, etc.

Lara (1998) menciona que los principales componentes de un sistema hidropónico son: el cultivo, el sustrato en el que se desarrolla y la solución de donde adquiere los nutrimentos, incluido el oxígeno. El mismo autor considera que el componente clave de la producción en hidroponía es la solución nutritiva. No obstante, deben considerarse otros componentes por las características mismas de ellos como son: calidad de agua, el sistema de riego, la infraestructura como camas, sombreo, ventilación si se trabaja al interior de un invernadero, etc.

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se muestra el diagrama de flujo general de la metodología seguida durante esta investigación.

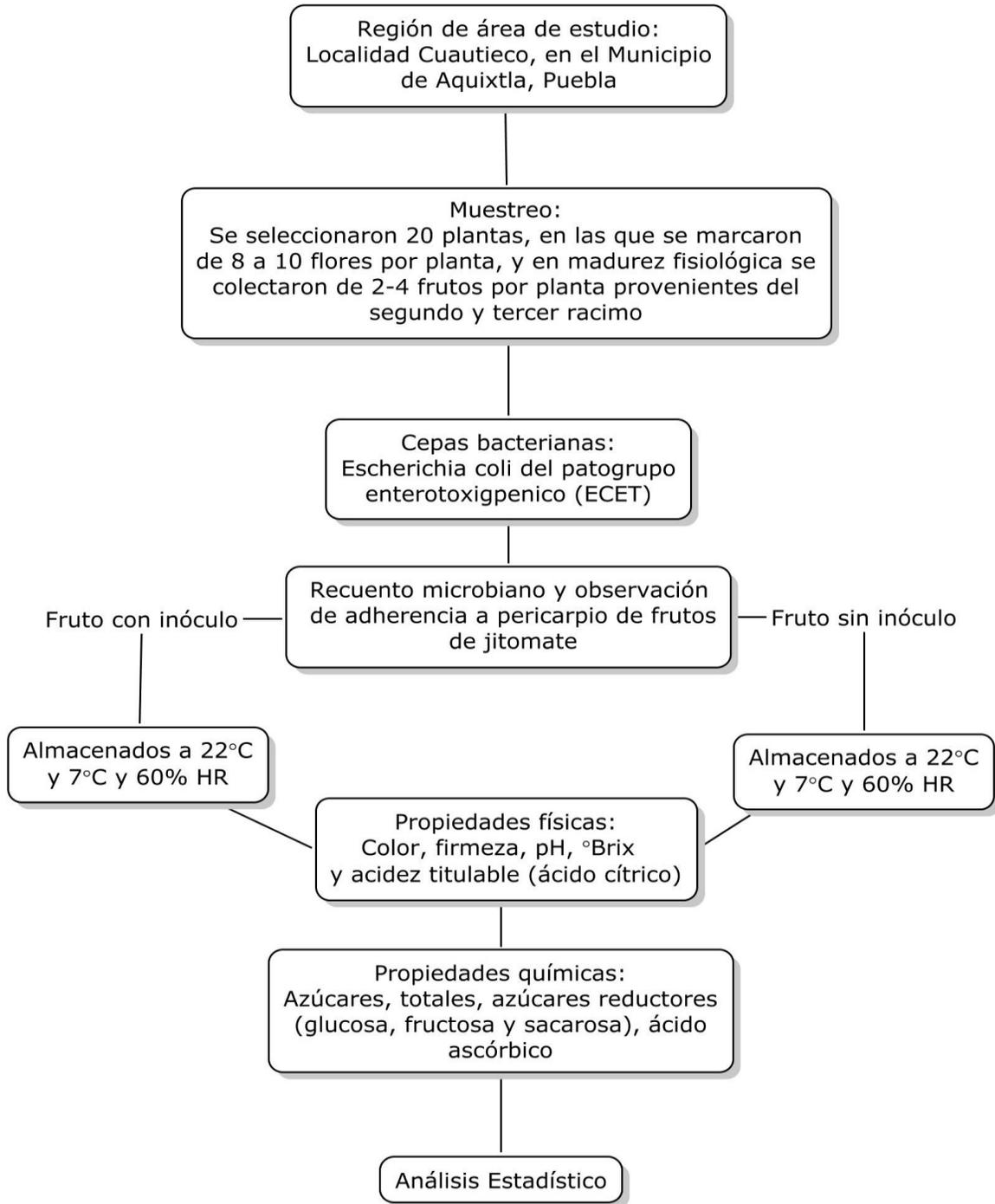


Figura 7.1 Diagrama de flujo general de metodología.

### **7.1 Área de estudio**

De acuerdo a un diagnóstico previo realizado por Luna (2011), se identificó a la localidad de Cuautieco perteneciente al Municipio de Aquixtla, Puebla como una de las regiones de mayor producción de jitomate en agricultura protegida.

### **7.2 Material vegetal**

El material que se utilizó fue jitomate tipo bola de la variedad “Charleston”, los frutos se recolectaron de la parte central de un invernadero de hidroponía, ubicado en la Localidad de Cuautieco perteneciente al Municipio de Aquixtla, Puebla, México. Se seleccionaron 20 plantas, en las que se marcaron de 8 a 10 flores por planta, y en la madurez fisiológica se colectaron de 2-4 frutos por planta provenientes del segundo y tercer racimo. Los frutos cosechados fueron transportados y almacenados en condiciones de refrigeración hasta su procesamiento en el laboratorio. Posteriormente los frutos fueron lavados y desinfectados por inmersión en una solución de etanol a 70% durante 5 minutos, previamente al procesado de las muestras.

### **7.3 Cepas bacterianas**

Se utilizó una cepa de campo de *Escherichia coli* del patogrupo enterotoxigénico (ECET). La cual fue aislada y recuperada de frutos de jitomate de diversos invernaderos de la región de Aquixtla, Puebla.

### **7.4 Inoculación**

Previamente a la inoculación se hizo crecer *Escherichia coli* (ECET) en caldo Soya Tripticaseína hasta alcanzar un crecimiento entre  $10^6$  y  $10^7$  UFC/mL, mismo que fue confirmado espectrofotométricamente con una absorbancia de 1.1 a 590nm.

Durante la inoculación se utilizaron 100  $\mu$ L de la suspensión de *E. coli*(ECET), provenientes de un caldo TSB (Caldo de Soya Tripticaseína), el cual fue

distribuido en gotas en superficies cercanas al pedúnculo de los frutos dentro de un diámetro de 2 a 3 cm. Para evitar la deshidratación de los tejidos y garantizar la adherencia de los microorganismos, los frutos inoculados fueron introducidos en cajas petri que contenían papeles filtro Whatman No. 4 pre-humedecidos con agua estéril.

### **7.5 Condiciones de crecimiento y recuento microbiano**

Los frutos inoculados y los frutos control (sin inóculo), se introdujeron nuevamente en cajas petri estériles, para ser almacenados en contenedores de plástico cerrados herméticamente, en los cuales la atmósfera interior contenía una humedad relativa de 60% ajustada con una con sal saturada de bromuro de sodio (Iturriaga *et al.*, 2007). Los contenedores fueron sellados y almacenados a 7°C y 22°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ). Las condiciones de almacenamiento (temperatura y humedad relativa) se monitorearon con un registrador ambiental datalogger (Marca HOBO).

Para el recuento de microorganismos provenientes de frutos inoculados y sin inóculo, fueron removidos de los contenedores después de 1.5, 24, 72, 120 y 168 horas de almacenamiento. Posteriormente 5 g de fruto fueron homogenizados en 50 mL de agua peptonada al 0.1%, con un ultrahomogenizador T25 IKA\_WERKE, Staufen. A continuación se realizaron diluciones seriadas de  $10^4$  a  $10^7$  de UFC/g para después hacer el recuento por vertido en placa en TSA (agar soya tripticaseína). El recuento de las colonias se hizo después de 24 horas de incubación a 37°C y se confirmó con pruebas bioquímicas tradicionales: Triple Azúcar Hierro (TSI), Agar Lisina Hierro (LIA), Movilidad-Indol-Ornitina (MIO), Citrato de Simmons, Prueba de Voges-Proskauer (VP) y Rojo de Metilo (RM).

### **7.6 Observación de adherencia**

Las muestras de pericarpio de los frutos de jitomate fueron preparadas para la microscopia electrónica de barrido considerando dos tratamientos, uno sin inóculo

y otro con inóculo en los tiempos de 1.5, 120 y 168 h en dos condiciones de almacenamiento (7°C y 22°C) de acuerdo con Iturriaga *et al.* (2007).

Para la obtención de las muestras de cada tratamiento se cortaron secciones del pericarpio de aproximadamente 10x10x5 mm y se fijaron con gluteraldehído a 2.5 % por 24 h. Posteriormente se realizaron tres lavados seriados de 5 minutos con solución amortiguadora de fosfato de sodio 0.02M a un pH de 7 y se procedió a deshidratar las muestras con series graduales de concentración de etanol (30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90%) por 45 minutos y tres lavados de 30 minutos cada uno con etanol a 100%. El secado de los tejidos se realizó a punto crítico mediante una secadora (Sandri-780A), después del secado los tejidos se colocaron y orientaron sobre porta-muestras usando una cinta doble adhesiva de carbón y se recubrieron con oro durante 4 minutos en una ionizadora de metales (Ion Sputter JFC1100, Jeol, Fine Coat). Finalmente las muestras se observaron en un Microscopio Electrónico de Barrido (JEOL-JSM 6390) con un rango de operación de 10 al 15 Kv.

## **7.7 Propiedades físicas de frutos inoculados y sin inocular**

### **7.7.1 Color, firmeza, pH, °Brix, acidez titulable (% ácido cítrico)**

Todas las mediciones se determinaron en frutos en madurez fisiológica con tres repeticiones; en jugo extraído a partir de 10 g de frutos inoculados y sin inocular.

**Color:** se determinó en tres repeticiones evaluando la zona ecuatorial del fruto, utilizando el sistema HunterLab mediante un colorímetro (Minolta CR300). Las mediciones fueron realizadas en la superficie alrededor de la zona ecuatorial del fruto y en tres partes diferentes, considerando las coordenadas cromáticas  $L^*$ (luminosidad),  $a^*$ (tonalidades de verde a rojo) y  $b^*$ (tonalidades de amarillo a azul). A su vez los valores  $a^*$  y  $b^*$  se ocuparon para calcular los índices  $a^*/b^*$  y  $(a^*/b^*)^2$  (Arias *et al.*, 2000).

**Firmeza (KgF):** se midió mediante un texturometro (TAXT plus) y fue registrada en términos de la fuerza necesaria para la penetración de 5 mm de la zona ecuatorial y deformación producida en frutos por compresión.

**pH:** se determinó en el jugo extraído a partir de 10 g de fruto un potenciómetro (WPA CD310).

**°Brix:** se registraron con un refractómetro digital (ATAGO POCKET), en el jugo extraído a partir de 10 g de fruto, y se expresaron en porcentaje (%) de sólidos solubles totales.

**Acidez titulable:** se determinó por titulación con NaOH al 0.1 N hasta conseguir un pH de 8.1 en el jugo extraído a partir de 10 g de fruto, el resultado se expresó como equivalentes de ácido cítrico (%).

## **7.8 Composición química de frutos inoculados y sin inocular**

Los ensayos se determinaron en frutos de jitomate tipo bola cosechados en madurez fisiológica con tres repeticiones para azúcares solubles totales y con nueve repeticiones para azúcares por método enzimático y ácido ascórbico.

### **7.8.1 Azúcares solubles totales**

Los azúcares solubles totales se determinaron por medio del método de Antrona de acuerdo con (Montreuil *et al.*, 1997) con modificaciones para un micro-método. Se pesaron 100 mg de cada fruto, haciendo tres extracciones sucesivas con 5 mL de etanol al 80% en baño maría con temperatura de 70°C, los extractos obtenidos se colocaron a sequedad en una estufa a 50°C, se re-suspendieron en 1 mL de agua destilada.

Se realizaron diluciones de 1:100 (12 µL de extractos y 1188 µL de agua destilada) de las extracciones, con la finalidad de que la concentración quedara dentro de la curva de calibración realizada con glucosa. Posteriormente se tomaron 600 µL de las diluciones y se agregaron 600 µL de agua destilada. Para

realizar el ensayo se tomaron 3 mL de reactivo de antrona y se agregaron a los extractos en hielo por 5 min para después transferirlos a baño maría por 10 min. Por último antes de la lectura se colocaron los extractos nuevamente en hielo por 5 min. Las determinaciones de azúcares solubles totales se detectaron mediante un espectrofotómetro (JENWAY) a una absorbancia de 625 nm, utilizando glucosa como estándar para la curva de calibración en un rango de concentración de 0-250 µg/mL. Los contenidos de azúcares fueron expresados en g·100g<sup>-1</sup> de PF.

### **7.8.2 Azúcares reductores por método enzimático**

Para la medición de azúcares reductores se pesaron 100 mg de fruto, se colocaron en frascos con 5 mL de etanol a 80% (v/v) en baño María (70°C) durante 10 min y se recolectó el sobrenadante. Este procedimiento se repitió de 5 veces en cada muestra, hasta que el tejido del fruto quedo decolorado. Los sobrenadantes se depositaron en frascos de vidrio para llevarlos a sequedad en una estufa de aire forzado a 50 °C. Los extractos secos se re-suspendieron en 1 mL de agua destilada, los cuales fueron almacenados a -20 °C hasta la determinación de los azúcares solubles.

Los azúcares se cuantificaron de manera secuencial glucosa, fructosa y sacarosa mediante curvas estándares de calibración preparadas previamente (Scholes *et al.*, 1994). Para su lectura se realizaron diluciones de 1:10 de las extracciones para que estas quedaran dentro de la curva de calibración. Para cada estándar de glucosa, fructosa y sacarosa se hizo una solución stock con 15 mg de cada azúcar que se disolvieron en 6 mL de agua destilada para tener una concentración de 2.5 mg mL<sup>-1</sup>. De esta solución se colocaron 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 µL en tubos eppendorf, los cuales se aforaron a 1000 µL con agua destilada. Para obtener las concentraciones de 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225 y 250 µg.

Para medir los azucares solubles de cada ensayo se colocaron 200 µL de amortiguador HEPES 100 mM (pH 7.5), 10 µL de NAD 40 mM (Sigma), 10 µL de ATP 100 mM pH 7 (Sigma), 10 µL de glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (Roche), y

10  $\mu\text{L}$  de la muestra del extracto de cada muestra o 10  $\mu\text{L}$  de la solución de estándares.

Para la determinación de glucosa, a cada ensayo se adicionó 10  $\mu\text{L}$  de hexocinasa (0.05 U por 1  $\mu\text{L}$  de amortiguador HEPES) (Roche) y se dejó actuar durante 20 min antes de hacer la lectura a 340 nm. El contenido de fructosa se determinó después de agregarle 10  $\mu\text{L}$  de fosfoglucoasa isomerasa (0.06 U por 1  $\mu\text{L}$  de amortiguador HEPES) (Roche) y 20 min después se tomó la lectura. Finalmente para la determinación de sacarosa se adicionaron 10  $\mu\text{L}$  de invertasa (0.8 U por 1  $\mu\text{L}$  de amortiguador HEPES) (Sigma) y se dejó 20 min a temperatura ambiente antes de registrar la lectura. Para todas las lecturas se utilizó un espectrofotómetro lector de microplacas (Multiskan Ascent, Labasytem, Thermo). Los resultados obtenidos se expresaron en % ( $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  de PF).

### **7.8.3 Ácido ascórbico o vitamina C**

Las determinaciones de ácido ascórbico total se realizaron por el método descrito por Noctor y Foyer (1998). Se utilizaron 100 mg de fruto haciendo una extracción con 1 mL de ácido perclórico (1M); el extracto se centrifugo a 7440 g por un tiempo de 10 min a 4°C. Se tomaron 500  $\mu\text{L}$  del sobrenadante y se le adicionó 100  $\mu\text{L}$  de buffer de fosfato de sodio pH 7.6 (120 mM) posteriormente se procedió a ajustar el pH entre 5 y 6 de la mezcla con 50-60  $\mu\text{L}$  de carbonato de potasio 2.5 M. La mezcla neutralizada se centrifugó a 7440 g por 10 min a 4°C.

Para la cuantificación del ascorbato total se tomaron 100  $\mu\text{L}$  del sobrenadante de la mezcla neutralizada con el carbonato de sodio; se agregaron 140  $\mu\text{L}$  del buffer de fosfato de sodio pH 7.6 (120 mM) y 10  $\mu\text{L}$  de DDT (20 mM), la mezcla se incubó a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad por 30 minutos. Se toman 100  $\mu\text{L}$  y se agregan 900  $\mu\text{L}$  de buffer de fosfato de sodio pH 5.6. Posteriormente la absorbancia se leyó a una longitud de onda de 265 nm antes y después de la adición de 20  $\mu\text{L}$  de ascorbato oxidasa (0.05 U), se monitoreó el decline hasta el final de la reacción (donde se observa valores iguales o similares) en un espectrofotómetro TermoLab UV/Visible. El blanco consistió en

amortiguador de fosfato de sodio pH 5.6. La diferencia entre la absorbancia inicial (sin enzima) y la final (después de agregar la enzima) es el equivalente del contenido de ácido ascórbico multiplicado por el coeficiente de extinción del ácido ascórbico ( $12.8 \text{ mm}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), los resultados se expresaron como  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$  PF.

## **7.9 Análisis estadístico**

El diseño experimental utilizado para el análisis de los datos fue un completamente al azar debido a que las unidades experimentales (frutos de jitomate) fueron homogéneos y cultivados bajo un mismo sustrato y condiciones ambientales. Los frutos de jitomate con tratamiento y sin tratamiento se distribuyeron para su estudio y análisis en forma totalmente aleatoria.

A cada conjunto de datos, por ejemplo, los valores de los efectos en temperaturas de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas, contenido de azúcares, ácidos orgánicos y adherencia de microorganismos en el pericarpio de frutos, se les realizó un análisis de varianza (ANOVA), un análisis de comparación de medias bajo la prueba de diferencia significativa honesta (Tukey), y los coeficientes de correlación de Pearson con la finalidad de conocer el grado de correlación entre las variables estudiadas.

El paquete estadístico que se utilizó fue Statistical Analysis System (SAS), versión 6 (SAS Institute, 1995).

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Determinación de las curvas de crecimiento de *Escherichia coli* (ECET) en jitomates a diferentes temperaturas de almacenamiento

A pesar de que los invernaderos ofrecen barreras físicas en contra de algunas fuentes de contaminación por bacterias patógenas, Ozorco (2008) reporta hasta 0.5 NMP/g de *Escherichia coli* en frutos de jitomate cultivados en invernaderos bajo el sistema de hidroponía. En este trabajo la curva de crecimiento de *Escherichia coli* realizada en jitomate a temperatura ambiente (22°C) muestra una adecuada sobrevivencia del microorganismo en el pericarpio del fruto (Figura 8.1), manteniendo un crecimiento de más de 9 logaritmos a las 120 h. Sin embargo, en temperatura de refrigeración (7°C), además de que se detecta un crecimiento menor, se observó una disminución de 2 logaritmos a partir de las 72 h, respecto al crecimiento de *Escherichia coli* a temperatura ambiente (Figura 8.1), lo que sugiere que una temperatura de almacenamiento de 7°C afecta el desarrollo del microorganismo en estudio.

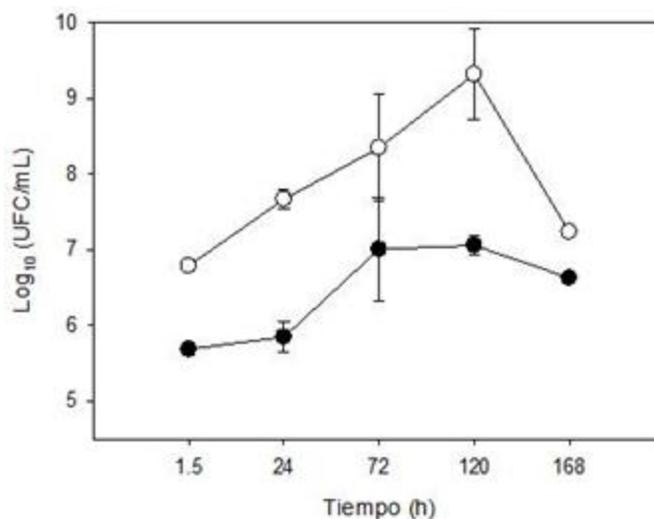


Figura 8.1 Curvas de crecimiento de *Escherichia coli* (ECET) a temperatura de 7°C (—●—) y a temperatura 22°C (—○—). Las barras indican el error estándar (n=3)( $P < 0.05$ ).

## 8.2 Adherencia de *Escherichia coli* (ECET) en la superficie de los jitomates inoculados y no inoculados y almacenados a diferentes temperaturas

Investigaciones recientes señalan que las bacterias crecen en forma distinta una vez que se adhieren a una superficie y posteriormente pueden llegar a formar biopelículas (Navia *et al.*, 2010). La formación de estas biopelículas por microorganismos patógenos en las frutas y verduras frescas durante la recolección, transporte, tratamiento y almacenamiento aumenta potencialmente el riesgo de transmisión de enfermedades en las personas que consumen estos productos (Beuchat, 2002). En este estudio a través de micrografías de barrido se muestra el pericarpio de los frutos de jitomate que fueron inoculados y de aquellos que sirvieron como control (sin inoculo). En la figura 8.2A se puede observar el pericarpio del fruto que no fue inoculado, donde se nota la ausencia de bacterias.

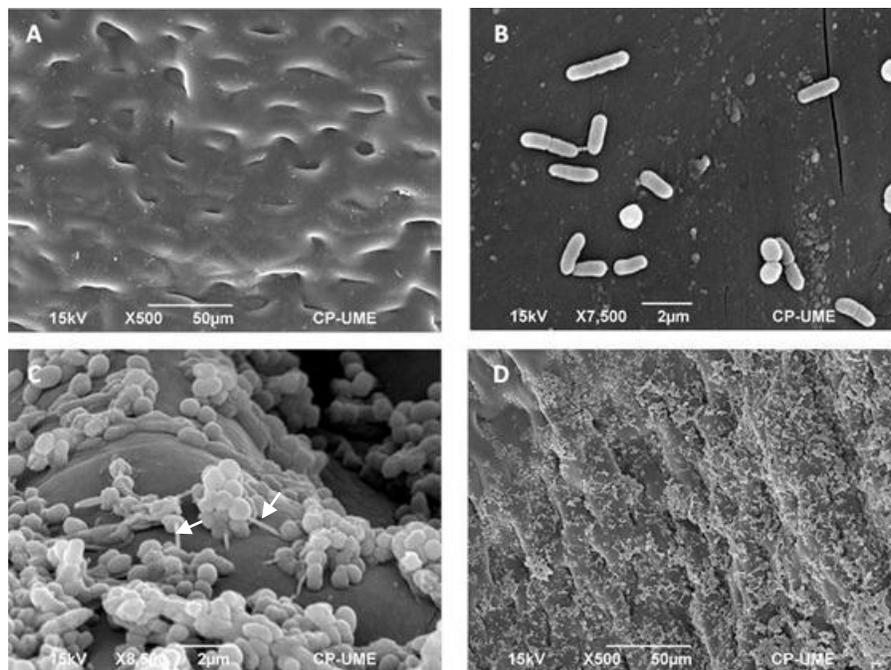


Figura 8.2 Micrografías de barrido de pericarpio de jitomate sin inoculo e inoculado con *Escherichia coli* (ECET) a temperatura ambiente 22°C. (A) micrografía sin inoculo, (B) micrografía con 1.5 horas de inoculación, (C) micrografía con 72 horas de inoculación (flechas indican la presencia de fimbrias) y (D) microscopias con 168 horas de inoculación.

A través de las micrografías se aprecia que desde 1.5 horas de incubación, ya existe un gran número de bacterias dispersas sobre la superficie de los frutos inoculados a temperatura ambiente 22°C (Figura 8.2B), a las 72 horas de inoculación es muy notable la adhesión de *E. coli* en el pericarpio del fruto de jitomate por medio de fimbrias (flecha, Figura 8.2C), y a las 168 horas se observa la completa adhesión de las bacterias al fruto (Figura 8.2D). Se sabe que las fimbrias al ser estructuras proteicas que reconocen un amplio rango de blancos moleculares, permiten a la bacteria interactuar con diversas superficies abióticas y también unirse a tejidos (Suescún, 2006). En el caso de la temperatura de almacenamiento de refrigeración a 7°C, en el fruto que no fue inoculado aunque no se observa la presencia de bacterias, se detecta cierto daño en el pericarpio ocasionado por el efecto de la baja temperatura de almacenamiento del fruto (Figura8.3A).

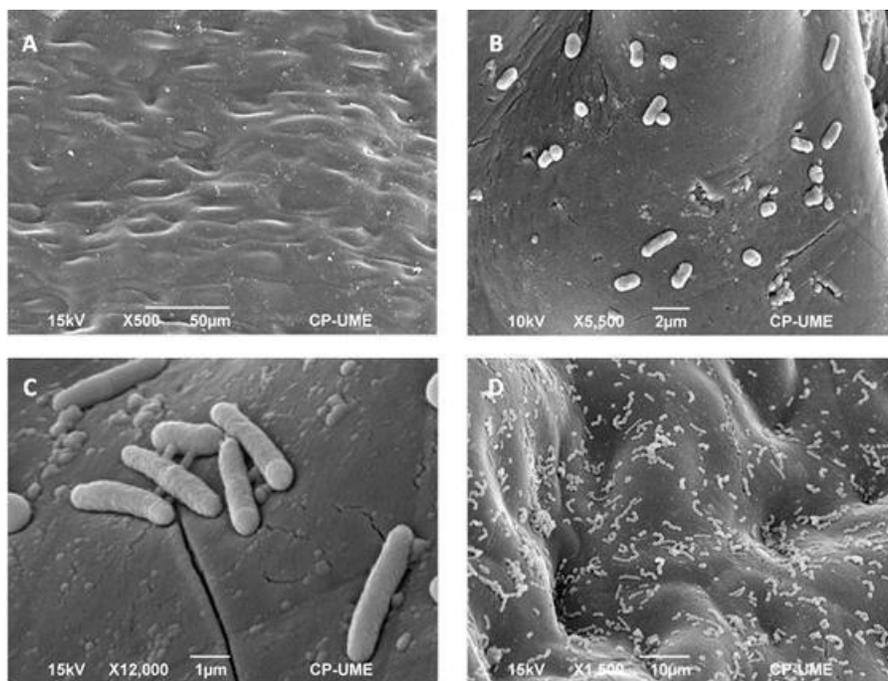


Figura 8.3 Micrografías de barrido de pericarpio de jitomate sin inóculo e inoculado con *Escherichia coli* (ECET) a temperatura refrigeración 7°C. (A) micrografía sin inóculo, (B) micrografía con 1.5 horas de inoculación, (C) micrografía con 72 horas de inoculación y (D) microscopias con 168 horas de inoculación.

En el tiempo de incubación de 1.5 horas se observan escasas bacterias sobre la superficie de los frutos inoculados (Figura 8.3B), a las 72 horas de inoculación se detecta también la presencia de fimbrias y por tanto la adhesión de *E. coli* en el pericarpio del fruto (Figura 8.3C), para las 168 horas se aprecia la completa adhesión al fruto pero en menor cantidad de bacilos (Figura 8.3D) en comparación con los frutos almacenados a 22°C (Figura 8.2D), en donde es notable que es una temperatura idónea para la sobrevivencia de *E. coli* (ECET). Las observaciones hechas en las micrografías evidencian que *Escherichia coli* (ECET) es capaz de adherirse al pericarpio de jitomate, independientemente de las condiciones de almacenamiento (22°C o 7°C) de los frutos inoculados, siendo la temperatura de 22°C la más óptima para la adhesión.

En el Cuadro 8.1 se muestran las medias, los coeficientes de variación y cuadrados medios de las variables analizadas de los frutos de jitomate inoculados y sin inocular, los datos indican una consistencia en la información con el modelo estadístico utilizado para sistemas biológicos que permite tener un coeficiente de variación de hasta 25 %. Además se observa que la mayoría de las variables evaluadas presentan diferencia altamente significativa en relación con el factor de temperatura, por lo que la condición de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento tienen gran influencia en los resultados obtenidos.

### **8.3 Propiedades físicas de frutos inoculados y sin inocular**

En el Cuadro 8.2 se presentan los promedios del efecto del inoculo en las propiedades de color de los frutos de jitomate estudiados en las dos condiciones de almacenamiento, temperatura ambiente 22°C y temperatura de refrigeración 7°C, en la mayoría de las variables evaluadas se exhiben diferencias significativas con la presencia del inoculo con excepción del factor  $b^*$ . Los resultados del análisis estadístico evidencia el efecto que tuvo el tratamiento (con y sin inóculo) y la temperatura de almacenamiento, sobre las variables de color evaluadas en los frutos de jitomate.

Cuadro 8.1 Medias, coeficientes de variación y cuadrados medios de propiedades físico-químicas de jitomate.

Variable	Media	Coef variación	Cuadrados medios			
			Tratamiento	Temperatura	Tiempo	Error
<b>L</b>	38.911	0.088	2.070**	171.531**	22.936**	0.001
<b>a*</b>	13.052	0.229	22.934**	403.728**	75.041**	0.001
<b>b*</b>	16.267	3.691	14.070**	0.07 <sup>NS</sup>	8.358*	0.361
<b>a*/b*</b>	0.814	4.177	0.002 <sup>NS</sup>	1.600**	0.240**	0.001
<b>(a*/b*)<sup>2</sup></b>	0.731	8.119	0.045 <sup>NS</sup>	4.945**	0.795**	0.003
<b>Firmeza (Kg<sup>F</sup>)</b>	1.984	21.906	1.182 <sup>NS</sup>	4.519**	0.764	0.188
<b>pH</b>	4.073	19.630	0.012 <sup>NS</sup>	5.821 <sup>NS</sup>	0.09 <sup>NS</sup>	0.639
<b>% SST (°Brix)</b>	3.568	7.580	9.204**	13.537**	0.588**	0.073
<b>% Ac. Cítrico</b>	0.197	10.877	0.004 <sup>NS</sup>	0.027**	0.074**	0.001
<b>Azuc. Total (%)</b>	1.214	21.001	0.033 <sup>NS</sup>	0.315 <sup>NS</sup>	1.087**	0.064
<b>Glucosa (%)</b>	0.063	22.707	0.001 <sup>NS</sup>	0.023**	0.001 <sup>NS</sup>	0
<b>Fructosa (%)</b>	0.059	19.105	0.001 <sup>NS</sup>	0.008**	0.001 <sup>NS</sup>	0
<b>Sacarosa (%)</b>	0.053	23.478	0.001 <sup>NS</sup>	0.006**	0.003**	0
<b>Ac. Ascórbico (mg·100 g<sup>-1</sup> PF)</b>	55.151	18.715	266.522	2718.422**	592.176	106.52

\*\* Altamente significativo. P<0.0001

\* Significativo

NS = No Significativo

Cuadro 8.2 Efecto del inóculo en propiedades de color en jitomate con respecto a las temperaturas de almacenamiento.

Tratamiento	Temperatura	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$a^*/b^*$	$(a^*/b^*)^2$
Sin Inóculo	7°C	39.023 <sup>a</sup>	11.886 <sup>b</sup>	16.706 <sup>a</sup>	0.726 <sup>b</sup>	0.578 <sup>b</sup>
	22°C	38.510 <sup>b</sup>	15.175 <sup>a</sup>	16.578 <sup>b</sup>	0.910 <sup>a</sup>	0.841 <sup>a</sup>
Con Inóculo	DMS	0.02	0.017	0.027	0.002	0.003
	7°C	41.417 <sup>a</sup>	14.199 <sup>b</sup>	16.009 <sup>a</sup>	0.648 <sup>b</sup>	0.438 <sup>b</sup>
	22°C	36.692 <sup>b</sup>	14.947 <sup>a</sup>	15.774 <sup>a</sup>	0.970 <sup>a</sup>	1.065 <sup>a</sup>
	DMS	0.019	0.016	0.484	0.027	0.047

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En el Cuadro 8.3 se aprecian los valores promedio de las propiedades físicas (firmeza, pH, °Brix y Ac cítrico) por tratamiento y por temperatura de almacenamiento de los frutos de jitomate evaluados. Las diferencias entre tratamientos (sin y con inóculo) y entre temperaturas de almacenamiento (7°C y 22°C) resultaron estadísticamente significativas en casi todas las variables.

Cuadro 8.3 Efecto del inóculo en propiedades físicas en jitomate con respecto a las temperaturas de almacenamiento.

Temperatura	Temperatura	Firmeza	pH	°Brix	% Ac. Cítrico
Sin Inóculo	7°C	2.463 <sup>a</sup>	4.468 <sup>a</sup>	3.580 <sup>b</sup>	0.210 <sup>a</sup>
	22°C	1.866 <sup>b</sup>	3.648 <sup>a</sup>	4.340 <sup>a</sup>	0.168 <sup>b</sup>
Con Inóculo	DMS	0.348	0.854	0.13	0.018
	7°C	2.150 <sup>a</sup>	4.300 <sup>a</sup>	2.606 <sup>b</sup>	0.226 <sup>a</sup>
	22°C	1.583 <sup>b</sup>	3.874 <sup>b</sup>	3.746 <sup>a</sup>	0.182 <sup>b</sup>
	DMS	0.358	0.111	0.26	0.013

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 8.3.1 Color

El color en frutos de jitomate es un criterio muy importante ya que en algunas ocasiones se utiliza como índice de calidad, además de ser la característica externa más importante en la determinación del punto de maduración y de la vida post-cosecha tomada por productores y consumidores (Hernández *et al.*, 2007).

En el Cuadro 8.4 se muestran los valores de los parámetros de color en los frutos de jitomate sin inocular. Los parámetros de color incluyen a  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (tonalidades de verde a rojo) y  $b^*$  (tonalidades de amarillo a azul) del sistema HunterLab, el índice  $a^*/b^*$  es la relación entre color rojo/amarillo, el índice  $(a^*/b^*)^2$  se refiere a la relación del contenido de licopeno/maduración de los frutos de jitomate. De los resultados obtenidos se observa que el parámetro  $L^*$  referente a la luminosidad presenta diferencia significativa ( $P < 0.0001$ ) en ambas temperaturas de almacenamiento, obteniéndose los valores más altos de  $L^*$  en la temperatura de 7°C, es decir, que los frutos presentaron mayor luminosidad, lo anterior debido a que la baja temperatura conservó el fruto retardando su maduración en comparación a los frutos a almacenados a 22°C, los cuales a partir de las 72 h alcanzan la madurez de consumo, por lo que se produce la completa síntesis de carotenoides (López-Camelo y Gómez, 2004). Lo anterior se comprueba con los valores del parámetro  $a^*$ , que en la condición de 22°C tiene un valor más alto a partir del tiempo de 120 h, propiciado por la síntesis de carotenos, específicamente licopeno, el principal caroteno responsable de la coloración rojiza en el jitomate (Ordoñez *et al.*, 2009).

En el caso del parámetro  $b^*$  y la relación  $a^*/b^*$  se presentaron diferencias significativas entre condiciones de almacenamiento, mostrando un aumento significativo a partir de las 120 h (Cuadro 8.4), que coincide con la próxima maduración del fruto, como consecuencia de la disminución de clorofilas caracterizadas por tonalidades verdosas (González, 2010). En el caso de la relación  $(a^*/b^*)^2$  los valores mayores se presentaron al final del periodo evaluado, por ejemplo a temperatura de 22°C, el valor mayor se detectó a las 120 h y a 7°C fue a las 168 h (Cuadro 8.4), debido a que se da el proceso de maduración y por ende la producción de licopeno.

Cuadro 8.4 Propiedades de color de jitomate sin inocular almacenado a dos diferentes temperaturas.

Temperatura	Tiempo (h)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$a^*/b^*$	$(a^*/b^*)^2$
7°C	1.5	32.224 <sup>e</sup>	6.700 <sup>e</sup>	12.772 <sup>e</sup>	0.524 <sup>e</sup>	0.274 <sup>e</sup>
	24	37.628 <sup>d</sup>	10.778 <sup>c</sup>	17.370 <sup>c</sup>	0.620 <sup>c</sup>	0.385 <sup>c</sup>
	72	39.414 <sup>c</sup>	14.284 <sup>b</sup>	16.464 <sup>d</sup>	0.867 <sup>b</sup>	0.752 <sup>b</sup>
	120	42.122 <sup>b</sup>	10.642 <sup>d</sup>	18.926 <sup>a</sup>	0.562 <sup>d</sup>	0.315 <sup>d</sup>
	168	43.730 <sup>a</sup>	17.030 <sup>a</sup>	18.000 <sup>b</sup>	0.946 <sup>a</sup>	0.895 <sup>a</sup>
	DMS	0.077	0.042	0.112	0.006	0.01
22°C	1.5	39.010 <sup>b</sup>	11.720 <sup>e</sup>	16.164 <sup>c</sup>	0.725 <sup>d</sup>	1.080 <sup>b</sup>
	24	39.478 <sup>a</sup>	14.742 <sup>c</sup>	17.450 <sup>b</sup>	0.844 <sup>c</sup>	0.713 <sup>d</sup>
	72	37.308 <sup>d</sup>	13.068 <sup>d</sup>	15.184 <sup>e</sup>	0.860 <sup>b</sup>	0.740 <sup>c</sup>
	120	38.938 <sup>c</sup>	16.798 <sup>b</sup>	15.350 <sup>d</sup>	1.094 <sup>a</sup>	1.197 <sup>a</sup>
	168	37.818 <sup>c</sup>	19.550 <sup>a</sup>	18.742 <sup>a</sup>	1.043 <sup>a</sup>	1.088 <sup>b</sup>
	DMS	0.053	0.069	0.058	0.007	0.013

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Dentro de los parámetros de color en los frutos inoculados se muestra que los valores de  $L^*$  tuvieron diferencia significativa ( $P < 0.0001$ ) en ambas temperaturas de almacenamiento (Cuadro 8.5), misma tendencia que se observó en frutos sin inóculo, detectándose los valores más altos en la temperatura de 7°C, mientras que en los frutos almacenados a 22°C, se observó un descenso más severo en los valores debido a la pérdida de luminosidad ocasionada por la pronta maduración de los frutos.

Cuadro 8.5 Propiedades de color de jitomate inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.

Temperatura	Tiempo (h)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$a^*/b^*$	$(a^*/b^*)^2$
7°C	1.5	43.372 <sup>a</sup>	6.312 <sup>e</sup>	15.452 <sup>c</sup>	0.408 <sup>e</sup>	0.166 <sup>e</sup>
	24	38.482 <sup>e</sup>	10.818 <sup>c</sup>	15.032 <sup>d</sup>	0.719 <sup>b</sup>	0.517 <sup>b</sup>
	72	42.170 <sup>c</sup>	10.186 <sup>d</sup>	15.868 <sup>b</sup>	0.641 <sup>d</sup>	0.412 <sup>d</sup>
	120	40.764 <sup>d</sup>	11.706 <sup>b</sup>	15.252 <sup>c</sup>	0.767 <sup>a</sup>	0.589 <sup>a</sup>
	168	42.300 <sup>b</sup>	11.974 <sup>a</sup>	17.270 <sup>a</sup>	0.693 <sup>c</sup>	0.480 <sup>c</sup>
	DMS	0.054	0.057	0.049	0.004	0.006
22°C	1.5	40.372 <sup>a</sup>	8.208 <sup>e</sup>	17.152 <sup>ab</sup>	0.478 <sup>d</sup>	0.229 <sup>d</sup>
	24	33.074 <sup>e</sup>	15.040 <sup>c</sup>	13.810 <sup>d</sup>	1.089 <sup>b</sup>	1.186 <sup>b</sup>
	72	38.418 <sup>b</sup>	12.880 <sup>d</sup>	18.550 <sup>a</sup>	0.694 <sup>c</sup>	0.482 <sup>c</sup>
	120	35.478 <sup>d</sup>	17.430 <sup>b</sup>	16.172 <sup>bc</sup>	1.077 <sup>b</sup>	1.161 <sup>b</sup>
	168	36.118 <sup>c</sup>	21.180 <sup>a</sup>	14.362 <sup>cd</sup>	1.474 <sup>a</sup>	2.174 <sup>a</sup>
	DMS	0.071	0.053	2.268	0.128	0.223

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En los frutos inoculados el parámetro  $a^*$  tuvo en general valores mayores en la condición de 22 °C, detectándose que fue a partir de las 120 h que se tuvieron valores mayores al valor promedio de los frutos en esta misma temperatura de almacenamiento ( $a^* = 14.947$ ; Cuadro 8.2), mientras que los frutos que no fueron inoculados presentaron un valor promedio más alto ( $a^* = 15.175$ ; Cuadro 8.2), lo que sugiere que dicho tratamiento no afecta en la síntesis de carotenos, relacionado con las tonalidades rojizas que se alcanzan durante la maduración del fruto (Arias *et al.*, 2000). Asimismo se pudo observar que los valores de  $a^*$  fueron en frutos inoculados en comparación con los no inoculados en ambas condiciones de almacenamiento después de 168 h de almacenamiento (Cuadros 8.4 y 8.5).

En el caso de  $b^*$  se observa diferencia significativa a través de los tiempos en ambas condiciones de almacenamiento, sin embargo en la condición de 22°C, se detectó el valor mayor a las 72 h y a 7°C hasta las 168 h. Aunque en los valores promedios dentro del tratamiento con inóculo no se detectaron diferencias significativas por efecto de la temperatura de almacenamiento (Cuadro 8.2).

El índice  $a^*/b^*$ , que tiene que ver con la relación entre el color rojo/amarillo, presento diferencias significativas entre condiciones de almacenamiento, en ambos tratamientos con y sin inóculo, mostrando en promedio un valor mayor a 22°C (Cuadro 8.2). En el caso de los frutos inoculados en la condición de 7°C el valor mayor se apreció a las 120 h, mientras que a 22°C fue hasta las 168 h (Cuadro 8.5), que coincide con la próxima maduración del fruto, como consecuencia de la disminución de clorofilas caracterizadas por tonalidades verdosas (González, 2010). En el caso de la relación  $(a^*/b^*)^2$  también se observan diferencias significativas entre condiciones de almacenamiento dentro de un mismo tratamiento (Cuadro 8.2), y las tendencias coinciden con las de la relación  $a^*/b^*$  (Cuadro 8.5).

### 8.3.2 Firmeza

La firmeza del jitomate se define como la resistencia que opone el fruto para ser deformado, está determinada por varios compuestos que integran la pared celular, entre los que destacan los pectatos de calcio y magnesio (Sahagún *et al*, 2009). Entre los principales compuestos que determinan la conformación estructural se encuentran las pectinas, celulosa, hemicelulosa y proteínas (Paul *et al.*, 1999). De acuerdo a la Figura 8.4 referente a la firmeza de los frutos de jitomate sin y con inóculo almacenado a dos temperaturas, se distingue que los frutos inoculados presentaron una mayor tendencia a disminuir, y fue más acentuado el efecto a 22°C, en comparación a los frutos almacenados a 7°C sin inóculo, en los cuales a partir de las 72 horas la firmeza tiende a aumentar.

Aunado a esto en el Cuadro 8.1A en el anexo se muestra que la firmeza de los frutos no presentan diferencia significativa dentro de tratamiento y condición de almacenamiento, con excepción en frutos almacenados a 22°C con inóculo que a las 120 h presenta el valor más bajo reportado y a su vez se nota que se tienen valores más altos en los frutos que fueron almacenados a temperatura de refrigeración 7°C. Sin embargo, en el Cuadro 8.3 se muestra que existe diferencia

significativa entre las condiciones de almacenamiento independientemente del tratamiento, donde los promedios más altos se presentan en temperatura de refrigeración 7°C (2.463 Kg<sup>F</sup> sin inóculo y 2.150 Kg<sup>F</sup> con inóculo).

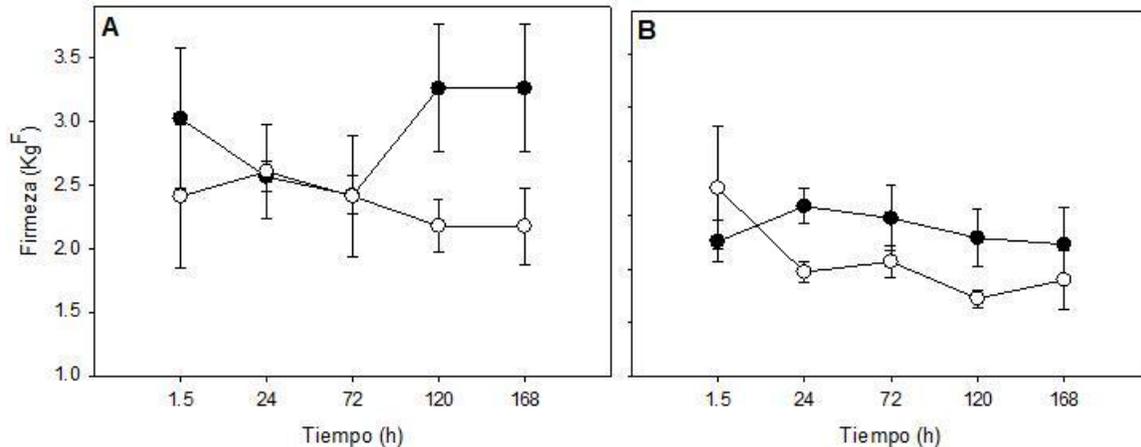


Figura 8.4 Firmeza de frutos de jitomate sin inóculo (●) e inoculado (○) almacenado a dos diferentes temperaturas (A) a 7°C y (B) 22°C. Las barras indican el error estándar (n=3).

### 8.3.3 pH

Respecto al pH, los frutos almacenados a 22°C independientemente del tratamiento (con y sin inóculo), presentaron una tendencia similar (Figura 8.5). En el caso de los frutos almacenados a 7°C no tuvieron una tendencia definida, por ejemplo sin inóculo el pH fue mayor a las 72 h y después decreció, mientras que en los frutos inoculados el pH mayor se registró a las 120 h y después disminuyó (Figura 8.5) (Cuadro 8.2A, en anexo). Entre temperaturas de almacenamiento los valores de pH en frutos sin inóculo no presentaron diferencias significativas, pero los frutos inoculados en promedio presentaron un pH mayor ( $P \leq 0.05$ ) a 7°C respecto a los frutos almacenados a 22°C (Cuadro 8.3). Los valores de pH de los frutos evaluados se encuentran dentro de los reportados por diferentes autores quienes reportan valores de 4.0 hasta 4.8 (García y Barret, 2005; Juárez-López *et al.*, 2009; Nuez, 2001).

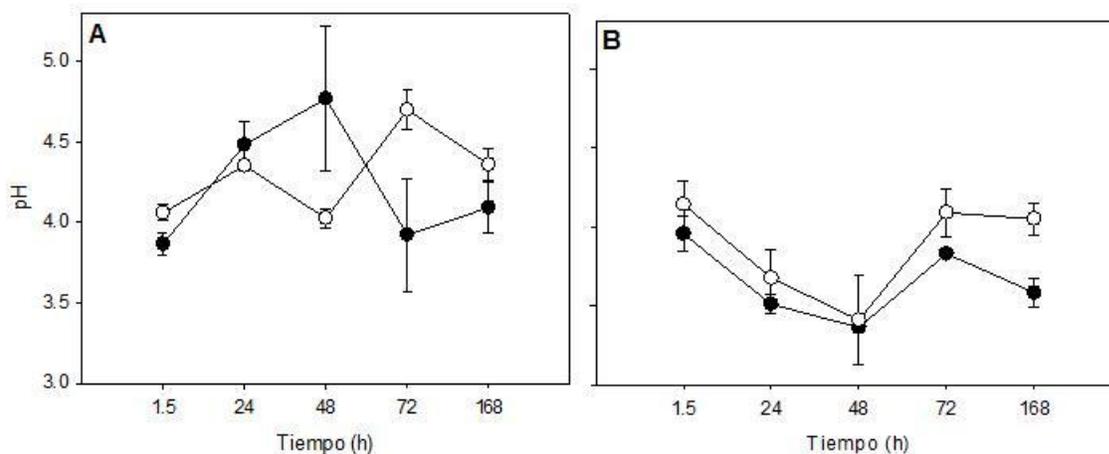


Figura 8.5 pH de frutos de jitomate sin inóculo (●) e inoculado (○) almacenado a dos diferentes temperaturas (A) a 7°C y (B) 22°C. Las barras indican el error estándar (n=3).

### 8.3.4 Sólidos solubles totales (°Brix)

Algunos autores consideran a la firmeza, la acidez titulable y los sólidos solubles totales como los criterios de calidad más importantes para el fruto del jitomate (Jones, 1999; Batu, 2004), inclusive se reconoce a los sólidos solubles totales de gran importancia ya que la mayor parte de ellos proviene de los azúcares, específicamente glucosa y fructosa (Anthon y Barret, 2011). Los sólidos solubles tienden a aumentar durante la maduración de los frutos de jitomate para posteriormente mantenerse constantes (Gautier *et al.*, 2008). Una tendencia similar se observó en este trabajo (Figura 8.6), donde se detectaron diferencias significativas dentro de los tratamientos y entre las condiciones de almacenamiento, los valores mayores ( $P \leq 0.05$ ) se presentaron en los frutos almacenados a temperatura de 22°C independientemente del tratamiento (Cuadro 8.3), debido a que esta temperatura favorece la pronta maduración de los frutos lo cual se relaciona con el aumento en el contenido del porcentaje de sólidos solubles totales (SST).

El contenido de °Brix (SST) en los tratamientos sin inóculo en ambas temperaturas de almacenamiento (7 y 22°C), no presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) a través de los tiempos de incubación (Cuadro 8.3A, anexo), pero en el tratamiento con inóculo a 7°C a las 120 y 168 h, los °Brix fueron significativamente mayores ( $P \leq 0.05$ ) respecto a las 72 h (Cuadro 8.3A, anexo) (Figura 8.6).

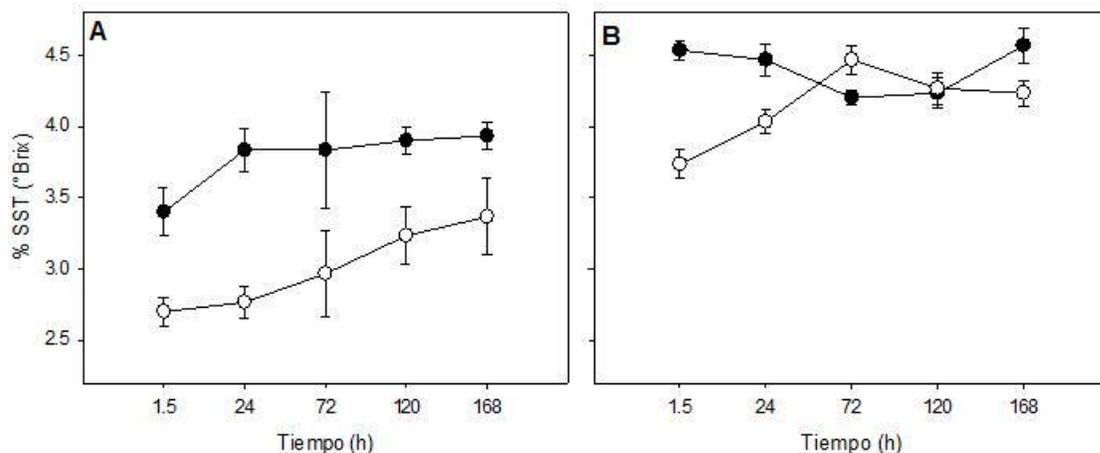


Figura 8.6 Solidos solubles totales (°Brix) de frutos de jitomate sin inóculo (—●—) e inoculado (—○—) almacenado a dos diferentes temperaturas (A) a 7°C y (B) 22°C. Las barras indican el error estándar (n=3).

### 8.3.5 Acidez titulable (% ácido cítrico)

El ácido cítrico es el ácido más abundante en el jitomate y el de mayor contribución al total de la acidez titulable. La disminución de la acidez titulable coincide con el aumento de la madurez de los frutos y se supone que se debe a una la pérdida de ácido cítrico (Anthon y Barret, 2011).

En la Figura 8.7 se confirma lo reportado en bibliografía (Casierra-Posada y Aguilar-Avedaño, 2008) ya que independientemente del tratamiento, es visible en

el contenido de ácido cítrico la tendencia a disminuir conforme se aproxima la maduración de los frutos.

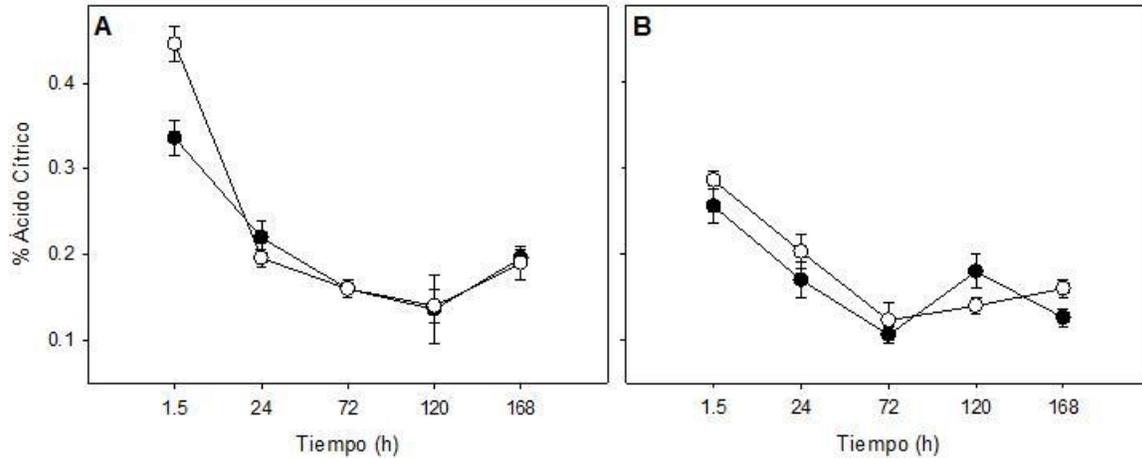


Figura 8.7 Ácido cítrico de frutos de jitomate sin inóculo (●) e inoculado (○) almacenado a dos diferentes temperaturas (A) a 7°C y (B) 22°C. Las barras indican el error estándar (n=3).

Aunque la acidez titulable en todos los tratamientos tiene una tendencia similar a disminuir, por condición de almacenamiento se detecta que en promedio el porcentaje de ácido cítrico es significativamente mayor a 7°C respecto a la condición de 22°C (Cuadro 8.3), lo que sugiere que la temperatura de almacenamiento si afecta significativamente el porcentaje de ácido cítrico presente en los frutos contribuyendo a que la acidez disminuya más rápido a 22°C debido a que se incrementa la madurez de los frutos (García y Barret, 2005). Por condición de almacenamiento, tanto a 7°C como a 22°C, los porcentajes de acidez titulable fueron estadísticamente mayores y diferentes ( $P \leq 0.05$ ) a las 1.5 h en ambos tratamientos con y sin inóculo (Cuadro 8.4A, anexo), con la particularidad de que en la condición de 7°C aun cuando presenta una tendencia decreciente conforme pasa el tiempo de almacenamiento, a las 168 horas la acidez tiende a incrementar ligeramente al final del experimento (Figura 8.7).

## 8.4 Propiedades químicas de frutos inoculados y sin inocular

El Cuadro 8.6 detalla el efecto que tuvieron en promedio los tratamientos con y sin inóculo en algunos componentes químicos de los frutos de jitomate con respecto a las temperaturas de almacenamiento. La mayoría de las variables dentro de un mismo tratamiento tuvieron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de la temperatura, con excepción del contenido de los azúcares solubles totales y del ácido ascórbico en el tratamiento sin inóculo donde no se presentó diferencia entre las temperaturas.

Cuadro 8.6 Efecto de inóculo en propiedades químicas de jitomate con respecto a las temperaturas de almacenamiento.

Tratamiento	Temperatura	Azúcares totales	Glucosa	Fructosa	Sacarosa	Ácido Ascórbico
Sin Inoculo	7°C	1.230 <sup>a</sup>	0.078 <sup>a</sup>	0.067 <sup>a</sup>	0.060 <sup>a</sup>	50.830 <sup>a</sup>
	22°C	1.243 <sup>a</sup>	0.050 <sup>b</sup>	0.049 <sup>b</sup>	0.043 <sup>b</sup>	55.710 <sup>a</sup>
Con Inoculo	DMS	0.157	0.009	0.006	0.007	6.247
	7°C	1.051 <sup>b</sup>	0.074 <sup>a</sup>	0.067 <sup>a</sup>	0.059 <sup>a</sup>	47.683 <sup>b</sup>
	22°C	1.328 <sup>a</sup>	0.047 <sup>b</sup>	0.053 <sup>b</sup>	0.049 <sup>b</sup>	68.327 <sup>a</sup>
	DMS	0.225	0.005	0.004	0.004	8.023

Media armónica para Glucosa 29.423, Fructosa 30.967, Sacarosa 33.492, Ac. Ascórbico 18.947 en jitomate sin inóculo.

Media armónica para Fructosa 32.307, Sacarosa 34.885, Ac. Ascórbico 16.941 en jitomate con inóculo.

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 8.4.1 Azúcares solubles totales

Durante la maduración de los frutos de jitomate existe una serie de cambios en la composición química, en el que participan azúcares solubles, que constituyen aproximadamente 60% de los sólidos solubles, además de ácidos orgánicos (principalmente cítrico), aminoácidos, lípidos y minerales que determinan el sabor del fruto (Peirirset *al.*, 1998). El contenido de azúcares totales se incrementa conforme avanza la maduración de los frutos (Nuez, 2001), tendencia que se

observó también en los resultados de este trabajo en la mayoría de los tratamientos evaluados (Figura 8.8). Sin embargo, entre tratamientos en una misma condición de almacenamiento tuvo tendencias diferentes, por ejemplo a 7°C aunque el porcentaje de azúcares solubles totales a las 1.5 h fue similar, a partir de las 72 h se detectan diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 8.5A, anexo), aunque para las 120 horas a pesar de que se observa diferencia numérica, no se detecta diferencia significativa (Cuadro 8.5A, anexo).

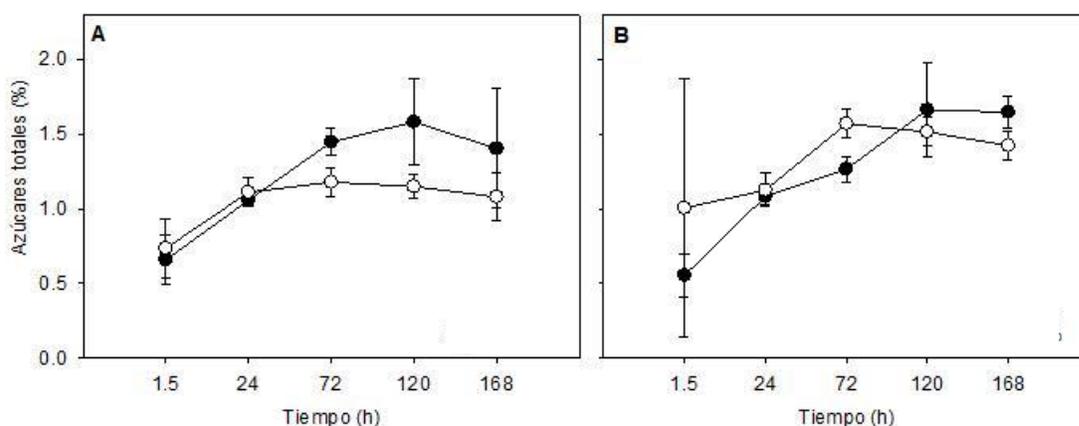


Figura 8.8 Azúcares solubles totales de frutos de jitomate sin inoculo (—●—) e inoculado (—○—) almacenado a dos diferentes temperaturas (A) a 7°C y (B) 22°C. Las barras indican el error estándar (n=3).

#### 8.4.2 Glucosa, fructosa y sacarosa

La composición de sacarosa, glucosa y fructosa juega un papel clave en la definición de la dulzura en diversos frutos (Zhang *et al.*, 2011). Se sabe que conforme avanza la maduración de los frutos se da una acumulación de glucosa y fructosa mientras que el contenido de sacarosa disminuye (Martínez-Barajas *et al.*, 2003). En este trabajo el contenido de glucosa en frutos sin inóculo no presenta diferencia significativa independientemente de la temperatura de almacenamiento

(Cuadro 8.7); pero en frutos con inoculo (Cuadro 8.8) se presenta diferencia significativa solo en algunos tiempos con valores similares y menores en comparación con los obtenidos a temperatura de refrigeración. Entre tratamientos se detectó que el contenido de glucosa tuvo poca variación excepto a las 1.5 h en el tratamiento con inoculo que tuvo un valor estadísticamente superior al de los frutos sin inoculo, y a las 72 h, el fruto sin inoculo fue estadísticamente mayor ( $P \leq 0.05$ ) que el contenido de glucosa en el fruto con inoculo (Cuadro 8.6A, ver anexo). Respecto al contenido de fructosa entre tratamientos se tuvo más variación, por ejemplo a las 24 y 72 h, se detectaron valores estadísticamente menores en frutos con inoculo, pero a partir de las 120 h el contenido de este azúcar fue igual o mayor que en los frutos sin inoculo (Cuadro 8.6A, ver anexo).

Cuadro 8.7 Contenido de glucosa, fructosa y sacarosa de jitomate sin inocular almacenado a dos diferentes temperaturas.

Temperatura	Tiempo (h)	Glucosa (%)	Fructosa (%)	Sacarosa (%)
7°C	1.5	0.067 <sup>a</sup>	0.058 <sup>bc</sup>	0.051 <sup>b</sup>
	24	0.081 <sup>a</sup>	0.076 <sup>ab</sup>	0.048 <sup>b</sup>
	72	0.092 <sup>a</sup>	0.084 <sup>a</sup>	0.082 <sup>a</sup>
	120	0.070 <sup>a</sup>	0.046 <sup>c</sup>	0.048 <sup>b</sup>
	168	0.077 <sup>a</sup>	0.072 <sup>ab</sup>	0.070 <sup>ab</sup>
	DMS	0.035	0.024	0.028
	22°C	1.5	0.045 <sup>a</sup>	0.051 <sup>a</sup>
24		0.055 <sup>a</sup>	0.045 <sup>a</sup>	0.036 <sup>b</sup>
72		0.048 <sup>a</sup>	0.045 <sup>a</sup>	0.048 <sup>ab</sup>
120		0.047 <sup>a</sup>	0.051 <sup>a</sup>	0.030 <sup>b</sup>
168		0.059 <sup>a</sup>	0.055 <sup>a</sup>	0.059 <sup>a</sup>
DMS		0.02	0.018	0.019

Media armónica para Glucosa 6.104, Fructosa 5.932, Sacarosa 6.511 a temperatura de 7°C.  
 Media armónica para Glucosa 5.497, Fructosa 6.240, Sacarosa 6.72 a temperatura de 22°C.  
 Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

El contenido de fructosa en frutos sin inoculo a 7°C presenta diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre los tiempos que duro el experimento con una tendencia progresiva en los valores obtenidos, en contraste con los que tuvieron en frutos almacenados a 22°C que no presentaron diferencia significativa con respecto a los tiempos (Cuadro 8.7). Los frutos con inoculo tanto a 7°C como los almacenados a 22°C, presentaron diferencia significativas con respecto a los tiempos con valores similares (Cuadro 8.8). Con respecto a la sacarosa que desempeña un papel integral como fuente de carbono y energía para tejidos no fotosintéticos, se considera fundamental para el metabolismo de la planta y el metabolito más dominante implicado en el crecimiento y desarrollo de los frutos (Park *et al.*, 2009), siendo este azúcar metabolizado para formar glucosa y fructosa (Martinez-Barajas *et al.*, 2003).

Los resultados de este trabajo mostraron que los frutos sin inoculo a 7°C y 22°C presentan diferencia significativa en algunos tiempos con una tendencia ligera a aumentar conforme transcurre el tiempo de almacenamiento (Cuadro 8.7), misma tendencia se presenta en los frutos con inoculo con un aumento en los valores a partir de las 24 horas en frutos almacenados a temperatura de refrigeración, mientras que a temperatura de 22°C no se detectó ese incremento (Cuadro 8.8).

Aunque la sacarosa es la forma principal de azúcar en la translocación en el jitomate (Walker y Ho, 1977), las dos hexosas, glucosa y fructosa, en cantidades aproximadamente iguales, representan aproximadamente 53% de los sólidos solubles totales del fruto, mientras que la contribución de sacarosa es muy pequeña (Davies y Kempton, 1975). En este trabajo se detectaron cantidades aproximadamente iguales de los tres azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) en los frutos analizados independientemente de la temperatura de almacenamiento (Cuadro 8.7. y 8.8).

Cuadro 8.8 Contenido de glucosa, fructosa y sacarosa de jitomate inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.

Temperatura	Tiempo (h)	Glucosa (%)	Fructosa (%)	Sacarosa (%)
7°C	1.5	0.083 <sup>ab</sup>	0.074 <sup>ab</sup>	0.076 <sup>a</sup>
	24	0.067 <sup>b</sup>	0.055 <sup>c</sup>	0.040 <sup>c</sup>
	72	0.064 <sup>b</sup>	0.057 <sup>bc</sup>	0.054 <sup>bc</sup>
	120	0.090 <sup>a</sup>	0.087 <sup>a</sup>	0.068 <sup>ab</sup>
	168	0.069 <sup>b</sup>	0.066 <sup>bc</sup>	0.061 <sup>ab</sup>
	DMS	0.018	0.017	0.014
	22°C	1.5	0.055 <sup>a</sup>	0.072 <sup>a</sup>
24		0.046 <sup>ab</sup>	0.049 <sup>bc</sup>	0.042 <sup>b</sup>
72		0.054 <sup>a</sup>	0.058 <sup>ab</sup>	0.057 <sup>a</sup>
120		0.031 <sup>b</sup>	0.036 <sup>c</sup>	0.024 <sup>c</sup>
168		0.053 <sup>a</sup>	0.057 <sup>ab</sup>	0.056 <sup>ab</sup>
DMS		0.017	0.014	0.014

Media armónica para Glucosa 6.287, Fructosa 5.932, Sacarosa 6.562 a temperatura de 7°C.  
 Media armónica para Glucosa 6.287, Fructosa 6.885, Sacarosa 7.304 a temperatura de 22°C.  
 Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ )

En la figura 8.9 se resumen gráficamente las tendencias de acumulación de los azúcares reductores glucosa+fructosa (Glu+Fru), sacarosa y la relación de glucosa más fructosa respecto a la cantidad presente de sacarosa (Glu+Fru/Sac) en ambos tratamientos (con y sin inoculo) en cada condición de almacenamiento (7 y 22°C). Con estos resultados se detectó que el almacenamiento de los frutos a 22°C propicio valores de Glu+Fru más bajos (Figura 8.9D) en comparación con aquellos de frutos que fueron sometidos a 7°C tanto en frutos con inoculo como sin inoculo (Figura 8.9A). Dentro de cada condición de almacenamiento la acumulación de azúcares reductores (Glu+Fru) tuvieron tendencias diferentes, Por ejemplo, a 7°C en los frutos sin inoculo se tuvieron contenidos de azúcares reductores más altos en la mayoría de los tiempos (24, 72 y 168 h) aunque sin diferencias estadísticas (Figura 8.9A). A 22°C aunque también se tuvieron valores más altos en los frutos sin inoculo las diferencias fueron menos marcadas (Figura 8.9B). Estas tendencias sugieren la influencia de la temperatura y del inóculo en los azúcares que pueden ser utilizados como sustratos por el microorganismo

*Escherichia coli* (ECET) para su sobrevivencia en el pericarpio de los frutos de jitomate.

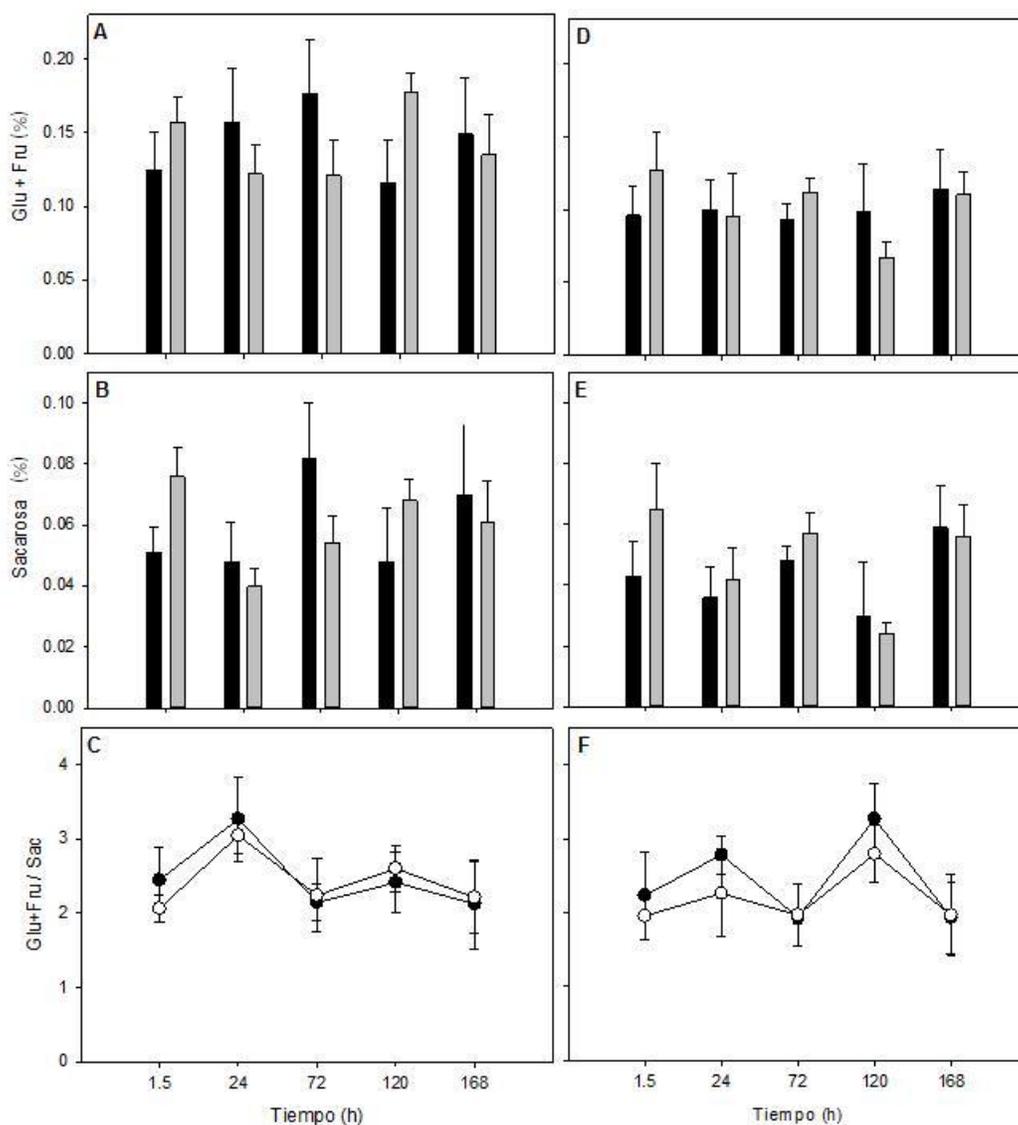


Figura 8.9 Azúcares reductores (glucosa+fructosa; Glu+Fru), sacarosa (Sac) y relación de Glu+Fru/Sac de frutos de jitomate sin inóculo (■, ●) e inóculo (□, ○) almacenado a dos diferentes temperaturas. (A, B y C) 7°C y (D, E y F) 22°C. Las barras indican el error estándar (n=6).

Respecto al contenido de sacarosa se detectó una tendencia similar a la de los azúcares reductores (Glu+Fru) con contenidos mayores a 7°C (Figuras 8.9B y 8.9E). En la relación de glucosa más fructosa respecto a la cantidad presente de sacarosa (Glu+Fru/Sac) se tuvo un comportamiento muy similar en ambos tratamientos (con y sin inóculo). Por condición de almacenamiento, aunque con valores mayores a 7°C en ambos tratamientos se tuvo una tendencia muy similar, pero a partir de las 72 h, a 7°C los frutos con inóculo presentaron valores mayores; mientras que a 22°C los frutos sin inóculo tuvieron valores mayores (Figuras 8.9C y 8.9F). El contenido mayor de glucosa, fructosa y sacarosa que se tuvo en los frutos almacenados a 7°C, en comparación con los expuestos a 22°C, se debe a que en bajas temperaturas se acumulan azúcares, por una reducción del metabolismo respiratorio que retarda la degradación de los carbohidratos (Bernstein y Bernstein, 1998).

Por otra parte, como una forma de estimar la proporción de azúcares totales que tienen disponibles los jitomates en ambos tratamientos a través del almacenamiento, se hizo el cálculo en cada tiempo de la proporción de azúcares totales conforme avanzaba el tiempo, para lo cual se dividió la cantidad de azúcares que se tuvo a las 24 h entre la que se registró a las 1.5 h (periodo 1), en el periodo 2 se dividió la cantidad de azúcares a las 72 h entre el contenido de azúcares a las 24 h y así sucesivamente durante el tiempo que duraron los tratamientos. Se detectaron resultados diferentes en cada condición de almacenamiento. A 7°C la proporción de azúcares totales fue alta al inicio y tendió a decrecer conforme avanzaron los periodos de almacenamiento, independientemente del tratamiento, con valores más bajos en el tratamiento con inóculo a excepción del último periodo (Figura 8.10A). A 22°C se tuvo un comportamiento similar a excepción del segundo periodo en el que hubo mayor contenido de azúcares solubles totales en el tratamiento con inóculo respecto al tratamiento sin inóculo (Figura 8.10B). Además cabe destacar que en ambas condiciones de almacenamiento los frutos inoculados tuvieron valores menores de azúcares solubles totales lo que sugiere que podrían haber sido utilizados como sustrato por *Escherichia coli* (ECET).

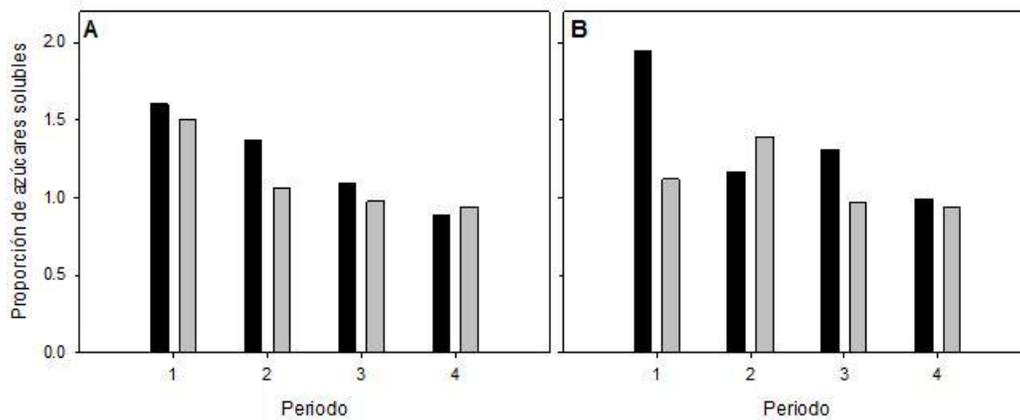


Figura 8.10 Proporción de azúcares solubles totales de frutos de jitomate sin inoculo (■) e inoculado (□) almacenado a dos diferentes temperaturas (A) 7°C y (B) 22°C.

### 8.4.3 Ácido ascórbico

De acuerdo con diferentes autores (Zambrano *et al.*, 1996; Abushita *et al.*, 1997) el contenido de ácido ascórbico se incrementa con la maduración en los frutos de jitomate, teniendo los contenidos más altos en los frutos maduros. Tendencia que también se observó en este trabajo en las dos condiciones de almacenamiento probadas (Figura 8.11). Sin embargo, a 7°C, a pesar de que el contenido de ácido ascórbico aumentó a través del periodo de almacenamiento (1.5-168 h), en el tratamiento sin inoculo no se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), mientras que con inoculo a partir de las 72 h se detectó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto a las 1.5 y 24 h (Figura 8.11A) (Cuadro 8.8A, ver anexo). En contraste a 22°C aun cuando el tratamiento con inoculo tuvo valores de ácido ascórbico mayores que el tratamiento sin inoculo (Figura 8.11 C), no mostró diferencias significativas durante el periodo de almacenamiento (1.5-168 h) que duro el tratamiento (Cuadro 8.8A, ver anexo).

Los valores mayores de ácido ascórbico en el tratamiento con inóculo en ambas condiciones de almacenamiento sugieren que dicho ácido orgánico no es utilizado como sustrato por el microorganismo *Escherichia coli* (ECET), como lo mencionan DaVey y O'toole (2000), quienes señalan que las características metabólicas de las bacterias dentro de una agrupación de las mismas, son distintas a las de sus homólogos. Por lo que dicho microorganismo puede producir sustancias poliméricas que propician un medio adecuado para su movilidad y adhesión al pericarpio de los frutos (Atabek, 2006).

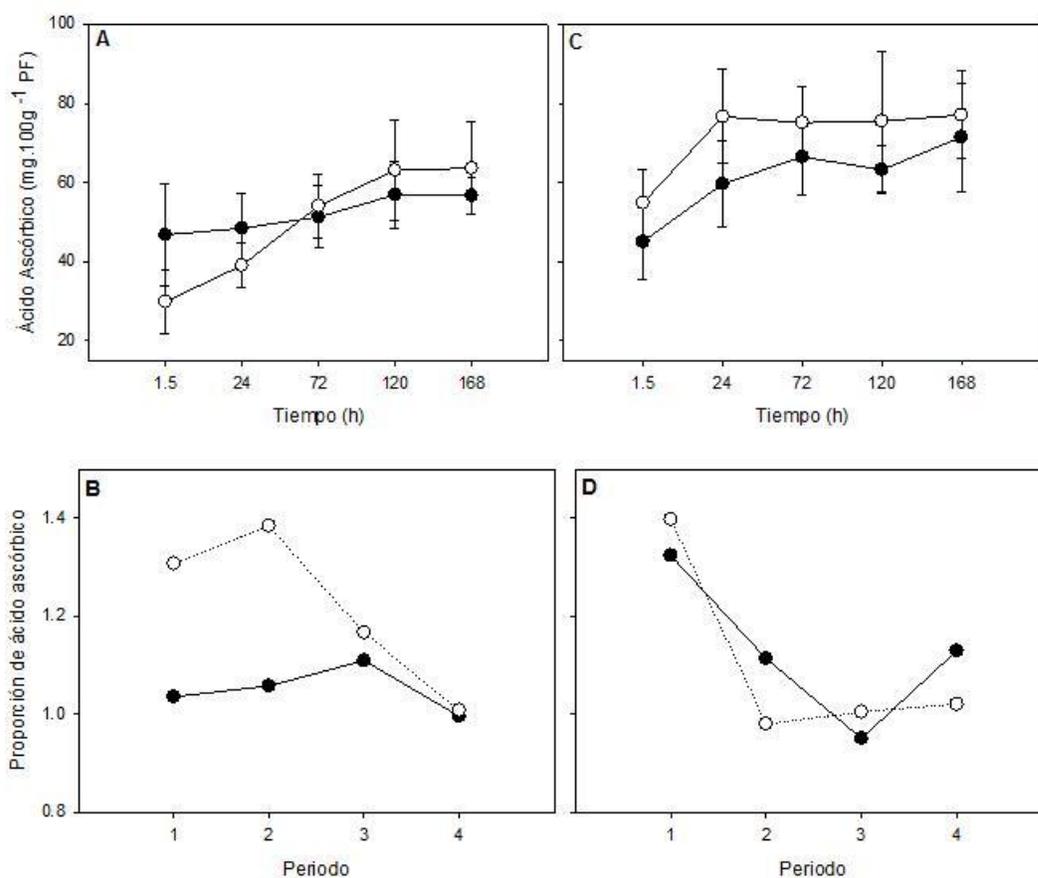


Figura 8.11 Proporción de ácido ascórbico de frutos de jitomate sin inóculo (—●—) e inoculado (—○—) almacenado a dos diferentes temperaturas (A y B) a 7°C y (C y D) 22°C. Las barras indican el error estándar (n=6).

En la figura 8.11B y 8.11D se muestra la proporción de ácido ascórbico que tienen los jitomates tanto con inoculo como sin inoculo en ambas condiciones de almacenamiento. De forma similar que con los azúcares solubles totales, se hizo el cálculo entre cada tiempo, de la proporción de ácido ascórbico conforme avanzaba el tiempo de almacenamiento. Así se dividió la cantidad de ácido ascórbico que se detectó a las 24 h entre la que se registró a las 1.5 h (periodo 1), en el periodo 2 se dividió la cantidad de ácido ascórbico a las 72 h entre el contenido de ácido ascórbico a las 24 h y así sucesivamente. Cada condición de almacenamiento presentó resultados diferentes, por ejemplo, a 7°C la proporción de ácido ascórbico en los frutos con inoculo, presentó valores mayores durante casi todo el tiempo de almacenamiento a excepción del último periodo que fue similar al de los frutos sin inoculo (Figura 8.11 B), mientras que a 22°C la proporción de ácido ascórbico tuvo valores similares en ambos tratamientos con y sin inoculo (Figura 8.11 D), lo que sugiere que la presencia del inoculo no modifica específicamente la cantidad de ácido ascórbico en frutos de jitomate.

### **8.5 Relación de nutrientes/componentes químicos con la adherencia de *Escherichia coli*(ECET)**

Las frutas y hortalizas contienen pequeñas cantidades de sacarosa, glucosa y fructosa expresados en diferentes porciones; la importancia del contenido de los azúcares se debe a que constituyen una excelente fuente de nutrientes para los microorganismos, en particular de los fermentativos como en el caso de *Escherichia coli* (Sánchez y Olivares, 2008). Lo anterior se fortalece con los resultados de este trabajo, en relación con los azúcares presentes en el fruto de jitomate, ya que independientemente de la condición de almacenamiento en general se registró un menor contenido de los azúcares en frutos con inóculo (Figura 8.12). Por ejemplo a 7°C, el tratamiento con inoculo tuvo un contenido menor de azúcares solubles totales desde las 72 h, que se relacionó con la fase estacionaria de crecimiento de las bacterias (Figura 8.12A). A 22°C, el mayor crecimiento de bacterias se detectó a las 120 h que coincidió también con valores

menores de azúcares en el tratamiento con inóculo (Figura 8.12B), lo que sugiere que esta disminución se pueda deber a que *Escherichia coli* utiliza los azúcares como sustrato.

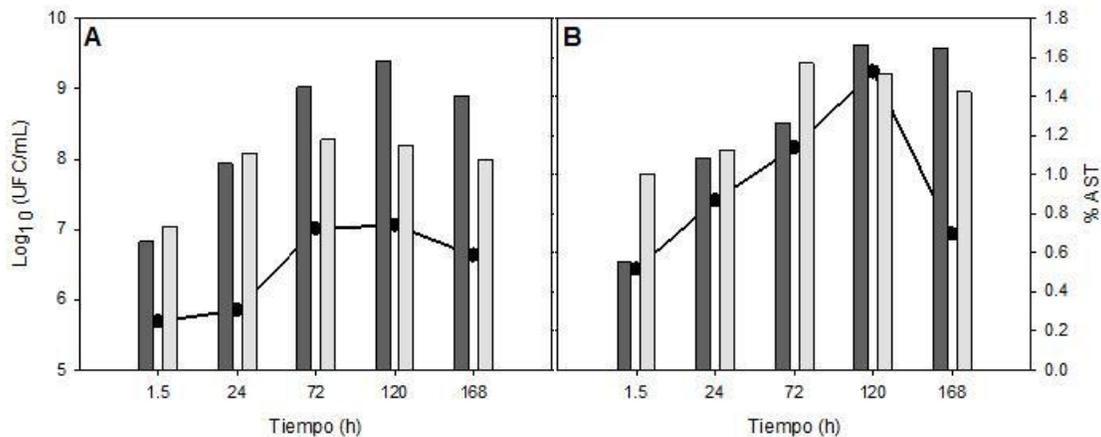


Figura 8.12 Curva de crecimiento de *Escherichia coli* ECET (—●—) y contenido de azúcares solubles totales (%AST) de frutos de jitomate sin inóculo (■) e inoculado (□) almacenado a dos diferentes temperaturas (A) a 7°C y (B) 22°C.

Por otra parte, se sabe también que dentro de la superficie de los vegetales podemos encontrar lectinas, cuya función es facilitar el contacto intercelular. Cada lectina contiene dos o más sitios de unión para los carbohidratos principalmente para los azúcares reductores. Las bacterias también contienen lectinas; por ejemplo, *Escherichia coli* es capaz de adherirse a las células epiteliales del tubo digestivo ya que las lectinas de su superficie reconocen las unidades de oligosacáridos de la superficie de las células. Estas lectinas están localizadas en unos apéndices delgados, llamados fimbrias (Berg y Tymoczko, 2008). Las fimbrias (pili) son estructuras piliformes que se localizan en la parte externa de las bacterias y están formadas por unas subunidades proteicas (pilina). Las fimbrias se diferencian morfológicamente de los flagelos por su diámetro (3-8 nm frente a 15-20 nm) y carecer de una estructura helicoidal. Las fimbrias favorecen la

adhesión a otras bacterias o a organismos. Como factor de adherencia, las fimbrias son determinantes durante la colonización e infección de un organismo. Los extremos de las fimbrias pueden contener también proteínas (lectinas) que se fijan a azúcares específicos como manosa (Murray *et al.*, 2009)

Por lo que las lectinas juegan un papel importante en la adherencia de *E. coli* y otros microorganismos sobre la superficie de los vegetales, principalmente porque quien establece una relación entre la superficie del vegetal y la bacteria son los azúcares reductores como lo menciona Zafiri (1989) que demostró la adherencia de *E. coli* O157:H7 en el jugo de arándano, el cual es rico en azúcares reductores (53%). En otra investigación realizada por Burnett *et al.* (2000), se observó por microscopia la unión entre *E. coli* O157:H7 y las estructuras superficiales e internas de manzanas la cual tiene un porcentaje de azúcares reductores de 53.39%.

## IX. DISCUSIÓN GENERAL

La contaminación de los productos frescos que se consumen crudos, por ejemplo, hojas de lechuga y jitomates, se reconocen como una fuente importante de infección humana (Berger *et al.*, 2010). Sin embargo, a pesar de que los productos frescos representan un vehículo para los patógenos humanos, en la actualidad existe un conocimiento limitado respecto a en que parte de la cadena de producción se produce la contaminación o sobre el mecanismo por el cual los agentes patógenos humanos colonizan y sobreviven sobre frutas y verduras. Es un hecho que durante la producción de jitomate (cultivo, cosecha y post-cosecha), el fruto puede estar expuesto a diversas formas de contaminación y agentes contaminantes. Entre los agentes patógenos más frecuentemente aislados de vegetales crudos se encuentran: *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Montevideoy los patogrupos de *Escherichia coli*. Estas especies se han asociado con múltiples brotes de enfermedades gastrointestinales (Fernández-Escartín, 2000; Beuchat, 2002; Harris *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 2004; Berger *et al.*, 2010). Particularmente el patogrupo enteroxigénico de *Escherichia coli* (ECET) es la principal causa de diarrea infantil y la llamada “diarrea del viajero” causada por la contaminación de alimentos y agua (Nataro y Kaper, 1998; Nagy y Fekete, 2005). La sobrevivencia de ECET se encuentra directamente relacionada con su mecanismo de adhesión a superficies bióticas, recientemente se documentó que este tipo de bacterias utilizan estructuras semejantes a flagelos, conocidas como fimbrias como el principal organelo que participa en la colonización en los vegetales, evidenciada esencialmente en hojas de lechuga, espinaca y albahaca (Shaw *et al.*, 2011). En frutos de jitomate existe un reporte que evidencia por microscopia de contraste de fase, la colonización bacteriana y la formación de biopelículas a través de producción extensiva de sustancias exopoliméricas (Rayner *et al.*, 2004). Sin embargo, no especifica el tipo de bacterias ni las condiciones en las que puede prevalecer la colonización.

Para iniciar la presente investigación se planteó la hipótesis de que la adherencia de *Escherichia coli* (ECET) es inducida por la acumulación de azúcares (glucosa,

fructuosa y sacarosa), y ácidos orgánicos (ácido cítrico y ácido ascórbico) en el pericarpio del jitomate bajo condiciones específicas de temperatura de almacenamiento.

Por lo que en este estudio se examinó el potencial de *Escherichia coli* (ECET) para crecer y eventualmente adherirse a los frutos de jitomate en dos temperaturas en las que regularmente se transporta y/o almacena este fruto (22°C y 7°C), consideradas como temperatura ambiente y de refrigeración.

Existen reportes que la adhesión de las células bacterianas pueden darse en superficies tanto abióticas y como bióticas viéndose afectada por diferentes factores, incluyendo la presencia de material orgánico, el medio de cultivo y la disponibilidad de nutrientes, temperatura, pH, producción de polisacáridos extracelulares, presencia de estructuras celulares, propiedades fisicoquímicas (hidrofobicidad y carga superficial), propiedades tanto de la superficie de contacto de los alimentos como de las células, además de la comunicación de célula a célula (Hood y Zottola, 1995; Chmielewsky y Frank, 2003).

En esta investigación el análisis de las poblaciones de *E. coli* detectadas después de 1.5 h, se consideró como el recuento inicial para evaluar el transcurso de la colonización (Figura 8.1). A partir de este tiempo se detectaron diferencias en las poblaciones bacterianas dependiendo de la temperatura de almacenamiento. Particularmente a 7°C se presentó un crecimiento de 5.7log UFC.g<sup>-1</sup> y a 22°C se incrementó el desarrollo hasta 6.8 log UFC.g<sup>-1</sup>. Durante el almacenamiento, aunque en ambas temperaturas se mostró crecimiento de ECET, las poblaciones más altas siempre se registraron a temperatura ambiente, inclusive después de 72 h de almacenamiento en esta temperatura se registró un crecimiento exponencial de 8.4 a 9.3log UFC.g<sup>-1</sup>, mientras que a 7°C a partir de este tiempo la población tendió a disminuir.

La adherencia o unión de las bacterias a las superficies epiteliales establece la etapa crítica e inicial para la colonización, esta capacidad se relaciona con el reconocimiento de estructuras relevantes sobre las superficies de las células, tanto

bacterianas como del hospedero (Jaramillo *et al.*, 1999). La adherencia bacteriana a una superficie está determinada por la combinación de interacciones entre la superficie bacteriana, la superficie del sustrato y el medio ambiente que los rodea (Vila *et al.*, 2008). Este hecho se pudo apreciar también a través de las imágenes de microscopias de barrido, donde a partir de 1.5 h de almacenamiento se evidencia la presencia de *E. coli* (ECET), y a las 72 h revela la adherencia, por medio de fimbrias sobre el pericarpio de los frutos inoculados, lo cual fue más notable en aquellos jitomates que fueron almacenados a temperatura ambiente (22°C) (Figura 8.2). A los siete días de almacenamiento se detectó una disminución en las poblaciones en ambas temperaturas, pero la adherencia fue evidente, aunque a temperatura de refrigeración se observó una menor cantidad de microorganismos adheridos al pericarpio de los frutos, en comparación a la detectada a temperatura ambiente que mostró una colonización más densa, lo que sugiere que la temperatura de 22°C es idónea para garantizar la adherencia sobre la superficie del fruto.

La sobrevivencia y el crecimiento de un microorganismo sobre un producto fresco está sujeta a sus capacidades metabólicas, pero la expresión de estas capacidades dependen de muchos factores ecológicos naturales tanto intrínsecos como extrínsecos que están presentes en los productos o bien que se imponen en algún momento durante todo el sistema de producción, procesamiento y distribución del producto (Beuchat, 2002). En este trabajo se detectó que la temperatura de refrigeración (7°C) como factor extrínseco afectó algunas de las propiedades físico-químicas de los frutos, como fue el caso de los parámetros que determinan color, por ejemplo, en la luminosidad ( $L^*$ ) que se relaciona con el brillo conforme avanzó el almacenamiento los frutos presentaron valores más altos independientemente del tratamiento sin y con inoculo (Cuadros 8.4 y 8.5) respecto a los jitomates almacenados a 22°C, que en general tuvieron valores más bajos.

En los Cuadro 9.1A y 9.2A del anexo, se concentran todas las correlaciones de las propiedades fisicoquímicas y químicas de frutos de jitomate con inoculo y sin

inoculo, respectivamente. En este apartado se discutirán solo las interacciones que tuvieron significancia en el tratamiento con inoculo.

La luminosidad, presentó algunas interacciones con otras variables de color y con algunas variables químicas, que fueron altamente significativas, específicamente en el tratamiento con inoculo en las interacciones:  $L^*$  x  $a^*$ ;  $L^*$  x firmeza;  $L^*$  x %SST;  $L^*$  x glucosa;  $L^*$  x fructosa;  $L^*$  x sacarosa y  $L^*$  x Ac. Ascórbico independientemente de la temperatura de almacenamiento. Por ejemplo, la correlación de la interacción ( $L^*$  x  $a^*$ ) tuvo una correlación negativa (-0.72) altamente significativa ( $<.0001$ ) (Cuadro 9.1), que indica que estas variables están inversamente relacionadas, es decir que cuando los frutos tienden de verde a rojo la luminosidad disminuye. También se observó una relación directa aunque positiva entre la luminosidad y la firmeza ( $r=0.69$ ;  $p<.0001$ ), lo que sugiere que la colonización con ECET propicia una mayor firmeza y luminosidad respecto a los frutos que no tienen la colonización de las bacterias. Otra variable con la que tuvo relación la luminosidad fue con los sólidos solubles totales, en donde la colonización de ECET mostró una relación inversa altamente significativa entre estas variables ( $r=-0.59$ ;  $p<.0005$ ); lo cual no fue el caso para glucosa, fructosa y sacarosa que tuvieron una relación positiva altamente significativa con la luminosidad en los tratamientos en los que hubo colonización por ECET (Cuadro 9.1). Mientras que con el ácido ascórbico la luminosidad tuvo una correlación negativa por efecto de la colonización por ECET ( $r=-0.59$ ;  $p=0.0002$ ). Estos resultados evidencian de forma indirecta la influencia que puede tener ECET en el jitomate con algunas propiedades físicas y químicas que tienen que ver con la calidad del fruto.

En relación al parámetro  $a^*$  que en general tiende a incrementarse conforme transcurre la maduración de los frutos, se observó correlación altamente significativa con los índices  $a^*/b^*$  y  $(a^*/b^*)^2$ , además con la firmeza, independientemente del tratamiento con y sin inóculo. Sin embargo, la interacción con glucosa ( $a^*$  x glucosa), solo se presentó en el tratamiento con inoculo pero fue inversa ( $r=-0.50$ ;  $p=0.0002$ ), es decir que cuando los frutos tendieron a cambiar de

verde a rojo (avance de la maduración), la glucosa disminuyó en los jitomates en los que tuvieron colonización de ECET (Cuadro 9.1). Las demás correlaciones de color que fueron significativas se manifestaron en ambos tratamientos con y sin inoculo [ $a^*/b^* \times (a^*/b^*)^2$ ;  $a^*/b^* \times$  firmeza], o incluso algunas de ellas solo se presentaron en el tratamiento sin inoculo [ $a^*/b^* \times \%SST$ ;  $(a^*/b^*)^2 \times \%SST$ ] (Cuadro 9.1).

Respecto a la firmeza que en general presentó valores significativamente mayores a 7 °C en ambos tratamientos con y sin inoculo, debido a que temperaturas bajas conservan por más tiempo los frutos retardando su maduración. Un resultado notable que se detectó en este trabajo respecto a la firmeza fue que la presencia del inoculo (*Escherichia coli*, patogrupa ECET) en los fruto de jitomate propicio una relación inversa significativa con los sólidos solubles totales ( $r=-0.56$ ;  $p=0.0024$ ), lo cual no ocurrió en el tratamiento sin inoculo donde el efecto no fue significativo (Cuadro 9.2), lo que sugiere que la presencia de las bacterias en el jitomate influye en la perdida de firmeza cuando hay una mayor cantidad de sólidos solubles totales. En contraste, la colonización con ECET en los jitomates propicio una correlación positiva altamente significativa entre glucosa, fructosa y sacarosa y la firmeza (Cuadro 9.2). Además los propuesto por Davies y Kempton (1975), donde menciona que durante el proceso de maduración del fruto de jitomate, en los primeros grados de madurez el azúcar predominante es la glucosa en relación con la fructosa en una proporción 2:1 y conforme va madurando el fruto esta proporción se vuelve 1:1, se podrá concluir que la glucosa en el proceso natural de maduración tiene que ser directamente proporcional con la firmeza y después se vuelve inversamente proporcional.

Cuadro 9.1 Correlaciones de parámetros de color con variables físicas y químicas de fruto de jitomate en tratamientos con y sin inoculo.

Interacción	Tratamiento	r	P
$L^* \times a^*$	Sin Inoculo	-0.24	0.0926
	<b>Con inoculo</b>	<b>-0.72</b>	<b>&lt;.0001</b>
$L^* \times b^*$	<b>Sin Inoculo</b>	<b>0.75</b>	<b>&lt;.0001</b>
	<b>Con inoculo</b>	<b>0.35</b>	<b>0.0108</b>
$L^* \times a^*/b^*$	<b>Sin Inoculo</b>	<b>-0.53</b>	<b>&lt;.0001</b>
	<b>Con inoculo</b>	<b>-0.73</b>	<b>&lt;.0001</b>
$L^* \times (a^*/b^*)^2$	<b>Sin Inoculo</b>	<b>-0.50</b>	<b>0.0002</b>
	<b>Con inoculo</b>	<b>-0.70</b>	<b>&lt;.0001</b>
$L^* \times$ Firmeza	Sin Inoculo	-0.06	0.7313
	<b>Con inoculo</b>	<b>0.69</b>	<b>&lt;.0001</b>
$L^* \times$ %SST	Sin Inoculo	-0.11	0.5444
	<b>Con inoculo</b>	<b>-0.59</b>	<b>0.0005</b>
$L^* \times$ Glucosa	Sin Inoculo	0.10	0.4538
	<b>Con inoculo</b>	<b>0.62</b>	<b>&lt;.0001</b>
$L^* \times$ Fructosa	Sin Inoculo	-0.01	0.9381
	<b>Con inoculo</b>	<b>0.58</b>	<b>&lt;.0001</b>
$L^* \times$ Sacarosa	Sin Inoculo	0.07	0.6096
	<b>Con inoculo</b>	<b>0.58</b>	<b>&lt;.0001</b>
$L^* \times$ Ác. Ascórbico	Sin Inoculo	0.01	0.9275
	<b>Con inoculo</b>	<b>-0.59</b>	<b>0.0002</b>
$a^* \times a^*/b^*$	<b>Sin Inoculo</b>	<b>0.91</b>	<b>&lt;.0001</b>
	<b>Con inoculo</b>	<b>0.97</b>	<b>&lt;.0001</b>
$a^* \times (a/b)^2$	<b>Sin Inoculo</b>	<b>0.93</b>	<b>&lt;.0001</b>
	<b>Con inoculo</b>	<b>0.95</b>	<b>&lt;.0001</b>
$a^* \times$ Firmeza	<b>Sin Inoculo</b>	<b>-0.70</b>	<b>&lt;.0001</b>
	<b>Con inoculo</b>	<b>-0.51</b>	<b>0.006</b>
$a^* \times$ Glucosa	Sin Inoculo	-0.12	0.3699
	<b>Con inoculo</b>	<b>-0.50</b>	<b>0.0002</b>
$b^* \times a^*/b^*$	Sin Inoculo	-0.25	0.072
	<b>Con inoculo</b>	<b>-0.59</b>	<b>&lt;.0001</b>
$a^*/b^* \times (a^*/b^*)^2$	<b>Sin Inoculo</b>	<b>0.98</b>	<b>&lt;.0001</b>
	<b>Con inoculo</b>	<b>0.98</b>	<b>&lt;.0001</b>
$a^*/b^* \times$ Firmeza	<b>Sin Inoculo</b>	<b>-0.66</b>	<b>0.0002</b>
	<b>Con inoculo</b>	<b>-0.49</b>	<b>0.0084</b>
$a^*/b^* \times$ %SST	<b>Sin Inoculo</b>	<b>0.50</b>	<b>0.0044</b>
	Con inoculo	0.23	0.2206
$(a^*/b^*)^2 \times$ %SST	<b>Sin Inoculo</b>	<b>0.57</b>	<b>0.001</b>
	Con inoculo	0.22	0.2291

En negritas se indican los valores significativos que se discuten en el texto.

Cuadro 9.2 Correlaciones de firmeza con variables físicas y químicas de fruto de jitomate en tratamientos con y sin inocular.

Interacción	Tratamiento	r	P
Firmeza x %SST	Sin Inocular	-0.34	0.0757
	<b>Con inocular</b>	<b>-0.56</b>	<b>0.0024</b>
Firmeza x Glucosa	Sin Inocular	0.42	0.0253
	<b>Con inocular</b>	<b>0.60</b>	<b>0.0007</b>
Firmeza x Fructosa	Sin Inocular	-0.43	0.0231
	<b>Con inocular</b>	<b>0.61</b>	<b>0.0006</b>
Firmeza x Sacarosa	Sin Inocular	0.34	0.0811
	<b>Con inocular</b>	<b>0.68</b>	<b>&lt;.0001</b>

En negritas se indican los valores significativos que se discuten en el texto.

Respecto a las interacciones de las variables químicas entre azúcares el efecto del inocular no fue específico, ya que las interacciones en donde se detectó significancia estadística, como en Glucosa x Fructosa, Glucosa x Sacarosa y Fructosa x Sacarosa, se presentaron en ambos tratamientos (con y sin inocular) (Cuadro 9.2). En relación con los ácidos orgánicos, el ácido ascórbico presentó efecto del inocular particularmente en la interacción del Ac. Ascórbico x Az. Totales que tuvo una correlación significativa y positiva ( $r=0.48$ ;  $p=0.0076$ ) (Cuadro 9.3).

Cuadro 9.3 Correlaciones de variables químicas en fruto de jitomate en tratamientos con y sin inoculo.

Correlación	Tratamiento	r	P
Glucosa x Fructosa	<b>S/I</b>	<b>0.56</b>	<b>&lt;.0001</b>
	<b>C/I</b>	<b>0.72</b>	<b>&lt;.0001</b>
Glucosa x Sacarosa	<b>S/I</b>	<b>0.64</b>	<b>&lt;.0001</b>
	<b>C/I</b>	<b>0.64</b>	<b>&lt;.0001</b>
Fructosa x Sacarosa	<b>S/I</b>	<b>0.62</b>	<b>&lt;.0001</b>
	<b>C/I</b>	<b>0.69</b>	<b>&lt;.0001</b>
Ac. Ascórbico x Az. Totales	S/I	0.31	0.0952
	<b>C/I</b>	<b>0.48</b>	<b>0.0076</b>
Ac. Ascórbico x Glucosa	S/I	-0.09	0.5768
	<b>C/I</b>	<b>-0.37</b>	<b>0.0381</b>

En negritas se indican los valores significativos que se discuten en el texto

Mientras que en la interacción de Ac. Ascórbico x Glucosa aunque la correlación no fue alta fue significativa y negativa ( $r=-0.37$ ;  $p=0.0381$ ) (Cuadro 9.3), lo que indica que la colonización de ECET propicia una relación inversa entre el contenido de glucosa y el de ácido ascórbico creando posiblemente condiciones adecuadas para el desarrollo y adherencia de las bacterias. En relación a lo anterior Davey y O'toole (2000) proponen un esquema sobre la ecología de biopelículas microbianas adheridas a superficies bióticas (Figura 9.1), donde se evidencia la presencia de ciertos microorganismos que generan y consumen hidrógeno, dado principalmente por dos organismos que participan en sintrofismo, que es la asociación en la que el crecimiento de un organismo depende de la mejora con los factores de crecimiento, nutrientes o substratos aportados por otro organismo que vive cerca. De esta forma llegan a estar presentes organismos de fermentación que producen ácidos orgánicos utilizados por los productores de hidrógeno, y estos organismos fermentadores obtienen su carbono y energía mediante la utilización de diferentes azúcares, como podría ser el caso en jitomate que tiene disponible glucosa, fructosa y sacarosa, además que E. coli es una bacteria fermentadora de glucosa y sacarosa.

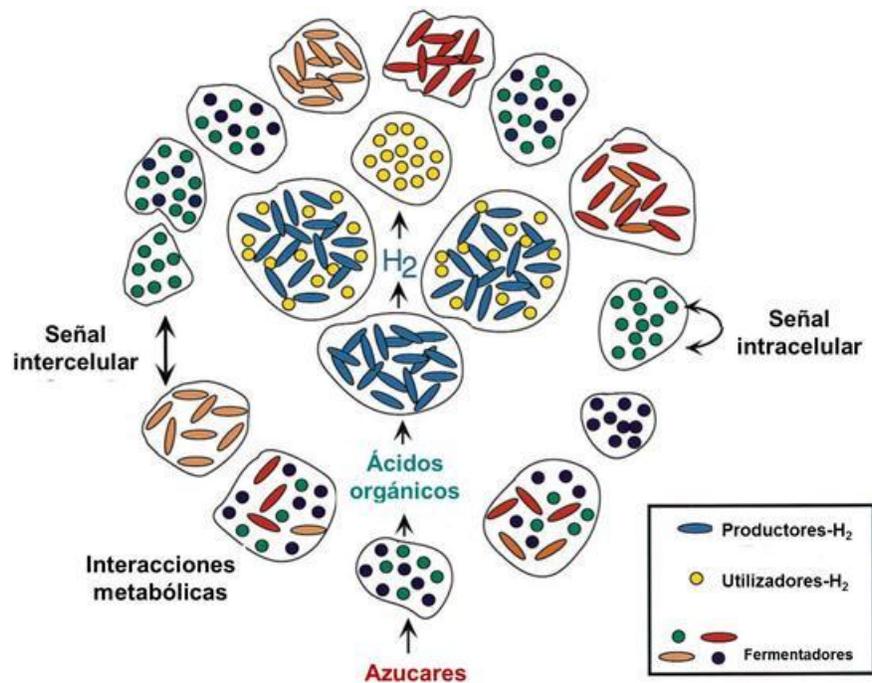


Figura 9.1 Ecología de comunidades microbianas. Vista de arriba abajo de una comunidad microbiana ideal adherida a una superficie, que ilustra algunos de los conceptos más importantes relacionados con la ecología de las biopelículas. Los cuatro micro-colonias en el centro de la figura representan los organismos que generan y consumen hidrógeno. Tomado de Davey y O'toole (2000).

En relación con la hipótesis que se estableció para la realización de este trabajo, los resultados en conjunto muestran que la colonización y adherencia de *Escherichia coli* (ECET) en la superficie del jitomate se ve beneficiada por la cantidad de azúcares presentes, siendo mas alto el recuento de bacterias a temperatura ambiente (Figura 8.12B), donde la cantidad de azúcares tambien es mayor. Algo notable fue que en ambas condiciones de almacenamiento (7 y 22°C) el tratamiento con inóculo muestra en general contenidos mas bajos de azúcares respecto al control (tratamiento sin inóculo) (Figura 8.12), lo que apunta a que las bacterias los utilizan como fuente de carbono y energía. Además, con los resultados de este trabajo se pudo apreciar que la proporción de azúcares solubles totales en el fruto de jitomate cambia con la temperatura de

almacenamiento, por ejemplo a 7°C la tendencia en ambos tratamientos (con y sin inóculo) tendió a disminuir (Figura 8.10A), mientras que a 22°C el tratamiento con inóculo presento una tendencia diferente al control (Figura 8.10B), lo que indica que a esta temperatura las bacterias tienen una mayor actividad y adherencia, lo cual se vio reflejado en un mayor crecimiento (Figura 8.1) y densidad de bacterias en la superficie de jitomate inoculado con ECET (Figura 8.2). Aunque las toxinas y enfermedades que causa ECET no se relacionan con *Escherichia coli* O157:H7, un resultado similar se reportó con este serogrupo en el cual menciona que la adherencia de este tipo de bacterias a superficies de contacto como alimentos es influenciada por el tipo de sustrato y por la temperatura (Dourou *et al.*, 2011).

Respecto a la relación del crecimiento de ECET con los ácidos orgánicos evaluados (ácido cítrico y ácido ascórbico), se observó que en particular con el ácido cítrico, que es el ácido orgánico más abundante en el jitomate, aunque se detectaron valores estadísticamente más altos a 7°C (Cuadro 8.3; Figura 8.7A), no hubo efecto por tratamiento ya que tanto con inóculo como sin inóculo no hubo diferencias significativas en ninguna de las temperaturas de almacenamiento (Cuadro 8.4A, anexo; Figura 8.7B). Mientras que con el ácido ascórbico hubo diferencias más notables en el tratamiento con inóculo, por ejemplo a temperatura ambiente (22°C) hubo valores significativamente más altos que a temperatura de refrigeración (7°C) (Cuadro 8.6). Además, tanto a 7°C como a 22°C, la colonización de las bacterias aunque sin diferencia significativa propicio una cantidad mayor de ácido ascórbico respecto al control a través del tiempo de almacenamiento (Figura 8.11), inclusive a 7°C se detectaron proporciones más altas de ácido ascórbico respecto al tratamiento sin inóculo (Figura 8.11B).

Es reconocido que ECET es capaz de infectar a su huésped mediante diferentes factores de virulencia, incluyendo proteínas de adhesión (adhesinas fimbriales) (Zhang *et al.*, 2011), en este estudio también se comprobó este hallazgo en la superficie de jitomate, por la presencia de fimbrias que se sabe median la fijación de las bacterias a la superficie de las células epiteliales del hospedero y de esta forma permiten la colonización bacteriana y la producción de toxinas. Sobre la

hipótesis que se planteó se pudo conocer que la colonización y adherencia de *Escherichia coli* (ECET) en la superficie del jitomate se relaciona con un contenido más bajo de azúcares solubles, y una mayor acumulación de ácido ascórbico respecto al control (sin inoculo), lo cual también cambia dependiendo de la temperatura de almacenamiento. Además, se da un aporte al conocimiento acerca de los cambios fisicoquímicos que ocurren en el jitomate por la colonización de ECET en relación con la temperatura de almacenamiento.

Las condiciones de almacenamiento que se evaluaron en este estudio, temperatura ambiente (22°C) y temperatura de refrigeración (7°C), fueron propicias para el crecimiento y adherencia de *Escherichia coli* (ECET) sobre la superficie del fruto de jitomate, lo cual debe ser una alerta para los productores, ya que durante el crecimiento o el manejo postcosecha se puede llegar a dar la colonización en el fruto de jitomate por este tipo de bacterias. Estos resultados resaltan la importancia de considerar no solamente las condiciones de almacenamiento con una determinada temperatura, sino que es necesario tomar en cuenta los tratamientos de lavado y desinfección como tratamientos postcosecha que estén orientados a garantizar la inocuidad del fruto.

## X. CONCLUSIONES

Se evidenció que el crecimiento y sobrevivencia de *Escherichia coli* (ECET) en el pericarpio de jitomate afecta sus propiedades fisicoquímicas y la composición química del fruto en función de la temperatura de almacenamiento (7°C y 22°C).

Se comprobó la adherencia de *Escherichia coli* (ECET), por la presencia de fimbrias a la superficie de jitomate, en ambas condiciones de almacenamiento durante los siete días del experimento, siendo la temperatura de 22°C la condición más favorable para el crecimiento y sobrevivencia de las bacterias.

Las propiedades físico-químicas del jitomate fueron afectadas por la colonización de *Escherichia coli* (ECET), particularmente en la luminosidad y la firmeza durante los 7 días de almacenamiento, independientemente de la temperatura de conservación.

Se mostró que la inoculación con *Escherichia coli* (ECET) en el pericarpio de jitomate influye en la pérdida de firmeza cuando hay una cantidad alta de sólidos solubles totales en el fruto, pero se encontró una relación positiva entre la firmeza y la presencia de glucosa, fructosa y sacarosa.

Los resultados en conjunto revelan que la colonización y adherencia de *Escherichia coli* (ECET) en la superficie del jitomate se ve favorecida por la cantidad de azúcares solubles totales presentes, siendo más alto el recuento de bacterias a temperatura ambiente (22°C), donde la cantidad de azúcares también es mayor.

Los valores más bajos de azúcares solubles totales detectados en los frutos inoculados en las dos temperaturas de almacenamiento (7 y 22 °C), señalan que la enterobacteria utiliza estos sustratos como fuente de carbono y energía.

La colonización y adherencia de *Escherichia coli* (ECET) en la superficie del jitomate se relacionó con los factores intrínsecos como el contenido de azúcares solubles, y acumulación de ácido ascórbico, y del factor extrínseco: temperatura

de almacenamiento, debido quizás a que estos compuestos propician condiciones adecuadas para el desarrollo y adherencia de las bacterias.

Las condiciones de almacenamiento que se presentan de forma natural durante la cosecha y postcosecha de jitomate, temperatura ambiente (22°C) y temperatura de refrigeración (7°C), fueron propicias para el crecimiento y adherencia de *Escherichia coli* (ECET) sobre la superficie del fruto, lo cual representa un riesgo alto para los productores, ya que durante el manejo postcosecha puede ocurrir la colonización en el fruto de jitomate por este tipo de bacterias.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- Abad M. 2000. Sustratos para el cultivo sin suelo. En: Nuez F. El cultivo del tomate. Edit. Mundi-Prensa.España.
- Abushita A, Hebshi EA, Daood H y Biacs P. 1997.Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. Journal of Food Chemistry 2: 207-212.
- Aguayo E y Artés F. 2004. Elaboración del tomate mínimamente procesado en fresco: Compendios de Horticultura. Ediciones Horticultura. España.
- Alphi A y Tognoni F. 1991. Cultivo en invernadero. Edit. Mundi-Prensa. España.
- Anthon GE y Barret DM. 2011. Pectin methylesterase activity and other factors affecting pH and titratable acidity in processing tomatoes. Food Chemistry 132: 915-920.
- Anza M, Riga P y Garbisu. 2006. Effects of variety and growth season on the organoleptic and nutritional quality of hydroponically grown tomato. Journal of Food Quality 29: 16-37.
- Archer DL. 1996. Preservation microbiology and safety: evidence that stress enhances virulence and triggers adaptive mutation. Journal Trends Food Science Technology 7: 91-95.
- Arias R, Lee TC, Logendra L y Janes H. 2000.Correlation of Lycopene Measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48: 1697-1702.
- Arias-Echandi ML y Antillón F. 2000.Contaminación microbológica de los alimentos en Costa Rica. Una revision de 10 años. Revista Biomedica 11: 113-122.

- Atabek A. 2006. Investigating bacterial outer membrane polymers and bacterial interactions with organic molecules using atomic force microscopy. Tesis de Maestría en Ciencias. Worcester Polytechnic Institute. USA.
- Baca CG. 1988. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de riegos, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México.
- Badui S. 2006. Química de los alimentos. Edit. Pearson. México.
- Balaban N y Koyfman N. 2001. Peptides: bacteria's point of view. *Journal of Peptides* 22: 1517-1518.
- Baldwin EA, Goodner K y Plotto A. 2008. Interaction of volatiles, sugars and acids on perception of tomato aroma and flavors descriptors. *Journal of Food Science* 73: 294-307.
- Barrett DM, García E y Wayne JE. 1998. Textural modification of processing tomatoes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 15: 205-280.
- Barrón A, Sifuentes E y Hernández JM. 2002. Apertura económica en las frutas y hortalizas de exportación en México: Un acercamiento al estudio de la segmentación de los mercados de fuerza de trabajo. Edit. UAN. México.
- Batu A. 2004. Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61: 471-475.
- Bautista N, Chavarín C y Valenzuela F. 2008. Jitomate, tecnología para su producción en invernadero. Edit. COLPOS. México
- Jones JB. 1999. Tomato plant culture. Edit CRC-Press. USA.
- Berger CN, Sodha SV, Shaw RK, Griffin PM, Pink D, Hand P y Frankel G. 2010. Fresh fruit and vegetables as vehicles for the transmission of human pathogens, *Journal Environmental Microbiology* 12: 2385–2397.

- Bernstein H y Bernstein C. 1998. Bacterial metabolism. Principles of Medical Biology 9: 23-40.
- Beuchat LR. 1996. Pathogenic microorganisms associated with fresh produce. Journal of Food Protection 59:204-216.
- Beuchat LR. 2002. Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables. Journal of Microbes and Infection 4: 413-423.
- Beullens K, Meszaros P, Vermeir S, Kirsanov D, Legin A, Buysens S, Cap S, Nicolai BM y Lammertyn J. 2008. Analysis of tomato taste using two types of electronic tongues. Sensors & Actuators B Chemical 131: 10-17.
- Binoy G, Kaur C, Khudiya D y Kapoor HC. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicum esculentum*) as a function of genotype. Food Chemistry 84: 45-51.
- Boatella J. 2004. Química y bioquímica de los alimentos II. Ediciones Universitat Barcelona. España.
- Boukobza F y Taylor AJ. 2002. Efecto of postharvest treatment on flavour volatiles of tomatoes. Postharvest Biology and Technology 25: 321-331.
- Brackett RE, Hao YY y Doyle MP. 1994. Ineffectiveness of hot acid sprays to contaminante *Escherichia coli* O157:H7 on beef. Journal of Food Protection 57: 198-203.
- Burnett S, Chen J y Beuchat L. 2000. Attachment of *Escherichia coli* O157:H7 to the surfaces and internal structures of apples as detected by confocal scanning laser microscopy. Applied and Environmental Microbiology 66: 4679-4687.
- Casierra-Posada A y Aguilar-Avenidaño OE. 2008. Calidad en frutos de *Solanum Lycopersicum*L: cosechados en diferentes estados de madurez. Agronomía Colombiana 26: 300-307.

- Cenariu D, Apahidean AS, Apahidean M y Sima R. 2008. Mineral content of two Greenhouse tomato hybrids. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Cluj-Napoca. Horticulture* 65: 471.
- Chamarro J. 2000. Anatomía y fisiología de la planta. En: Nuez F. *El cultivo del tomate*. Edit. Mundi-Prensa. España.
- Chmielewsky RA y Frank JF. 2003. Biofilm formation and control in food processing facilities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2: 22-32.
- Combs GF. 1992. *The Vitamins. Fundamental aspects in Nutritional Health*. Edit. Academic Press. USA.
- Davies JN y Hobson GE. 1981. The constituents of tomato fruit: The influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 15: 2005-280.
- Davies JN y Kempton R. 1975. Changes in the individual sugars of tomato fruit during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 26: 1103-1110.
- Dávila-Aviña J, González-Aguilar G, Ayala-Zavala J, Sepúlveda D y Olivas G. 2011. Compuestos volátiles responsables del sabor del tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 133-143.
- Davey ME y O'toole G. 2000. Microbial Biofilms: from Ecology to molecular genetics. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 64: 847-867.
- Demnitz-King A, Ho LC y Baker DA. 1997. Activity of sucrose hydrolysing enzymes and sugar accumulation during tomato fruit development. *Plant Growth Regulation* 22: 193-201.
- Dourou D, Ammor MS, Skandamis PN, y Nychas G. 2011. Growth of *Salmonella enteritidis* and *Salmonella typhimurium* in the presence of quorum sensing

- signalling compounds produced by spoilage and pathogenic bacteria. *Food Microbiology* 28: 1011-1018.
- Fanasca S, Colla G, Maiani G, Venneria E, Roupael Y, Azzini y Saccardo F. 2006. Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 4319-4325.
- Fennema O. 2000. *Química de los alimentos*. Edit. Acribia. España.
- Fernández-Escartín F. 2000. *Microbiología de los alimentos*. Edit. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Fernández-Ruiz V, Cámara M y Quintela JC. 2007. Ingredientes bioactivos de tomate: licopeno. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria* 16: 36-40.
- Fischer RL y Bennett AB. 1991. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42: 675-703.
- Gamage TV y Shafiur-Rahman M. 2003. Manipulación postcosecha de los alimentos de origen vegetal. En: Shafiur-Rahman M. *Manual de Conservación de los Alimentos*. Edit. Acribia. España.
- García E y Barrett DM. 2005. Assessing lycopene content in California processing tomatoes. *Journal of Food Processing and Preservation* 30: 56-70.
- García-Sánchez F, Carvajal M, Porras I, Botía P y Martínez V. 2003. Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of "Fino 49" lemon. *European Journal of Agronomy* 19: 427-437.
- Gautier H, Diakou-Verdin V, Bénard C, Reich M, Buret M, Bourgaud F, Poëssel JL, Caris-Veyrat C y Génard M. 2008. How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 1241-1250.

- González IA. 2010. Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Gordon A, LeStrange M y Barret D. 2011. Changes in pH, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. Society of Chemical Industry. Journal of the Science of Food and Agriculture 91: 234-240.
- Berg J y Tymoczko J. 2008. Bioquímica. Edit. Reverté. España.
- Hang G, Seibane C, Larrañaga G, Kebat C, Bravo ML, Ferraris G, Otaño M y Blanco V. 2007. Comercialización y consumo de tomate en la Plata, Argentina. Un enfoque mediante el análisis de la cadena agroalimentaria. Bioagro 19: 99-107.
- Harris LJ, Farber JM, Beuchat LR, Parish ME, Suslow TV, Garrett EH, y Busta F. 2003, Outbreaks associated with fresh produce: incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce. Journal Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 2:78-141.
- Hernández M y Sastre A. 1999. Tratado de nutrición. Ediciones Díaz de Santos. España.
- Hernández SM, Rodríguez RE y Díaz RC. 2007. Analysis of organic acid content in cultivars of tomato harvested in Tenerife. Journal European Food Research and Technology 226: 423-435.
- Hood S, and Zottola E A. 1995. Biofilms in food processing. Food Control, 6, 8-18
- INEGI. 2011. Anuario estadístico Puebla. Tomo II.
- Iturriaga M, Tamplin M y Escartín F. 2007. Colonization of tomatoes by Salmonella Montevideo is affected by relative and storage temperature. Journal of Food Protection 70: 30-34.

- Iturriaga M, Escartín E, Beuchat L y Martínez-Peniche R. 2003. Effect of inoculum size, relative humidity, storage temperature, and ripening stage on the attachment of *Salmonella* Montevideo to tomatoes and tomatillos. *Journal of Food Protection* 66:1756-1761.
- Juárez-López P, Castro-Brindis R, Colinas-León T, Ramírez-Vallejo P, Sandoval-Villa M, Reed DW, Cisneros-Zevallos L y King S. 2009. Evaluación de calidad de frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 15: 5-9.
- Ketsa S y Wongueerakhan A. 1987. Ascorbic acid content at maturity stages in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivars. *Journal of Thai Agricultural Science* 20: 257-261.
- Lara HA. 1998. Soluciones nutritivas para cuatro etapas fenológicas del jitomate. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio Postgraduados. México.
- Lee SK y Kader AA. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20: 207-220.
- Lehninger A, Lee D, Cox M. 2008. Principles of biochemistry. Edit. W.H. Freeman.
- Lenucci M, Cadinu D, Taurino M, Piro G y Dalessandro G. 2006. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 2606-2613.
- López L, 2007. Niveles de azúcares y ácidos orgánicos en jitomate saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill) almacenado a 10 y 20 °C analizados por HPLC. Tesis de licenciatura. Biología Experimental. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- López-Camelo AF y Gómez PA. 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira, Brasília* 22: 534-537.

- Luna ML. 2011. Producción de autoinductores y biopelículas microbianas y su relación con la calidad y composición química de jitomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) cultivado en la región de Aquixtla, Puebla. Tesis de Doctora en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México.
- Maneerat C, Hayata Y, Hiroshi KH, Sakamoto K y Osajima Y. 2002. Application of the porapak q column estration method for tomato flavor volatile analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 3401-3404.
- Martínez-Barajas F. 2003. Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicum esculentum*). *Agrociencia* 37:363-370.
- Matos-Chamorro A y Chambilla-Mamani E. 2010. Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista en Investigación y Tecnología de Alimentos* 1: 4-7.
- Mikkelsen RL. 2005. Tomato flavor and plant nutrition a brief review. *Better Crops Wint Plant Food* 89: 14-15.
- Monge R y Chinchilla M. 1996. Presence of *Cryptosporidium* oocysts in fresh vegetables. *Journal of Food Protection* 59: 202-203.
- Montreuil J, Spik G, Fournet B y Toillier T. 1997. Nonenzymatic determinations of carbohydrates. En: Multon L. *Analysis of Food Constituents*. Edit. Wiley-VCH. USA.
- Murray P, Rosenthal K y Pfaller M. 2009. *Microbiología medica*. Edit Elsevier. España.
- Nagy B y Fekete PZ. 2005. Enterotoxigenic *Escherichia coli* in veterinary medicine. *International Journal of Medical Microbiology* 295: 443-454.
- Narain N, Galvao MS, Santana KL y Silveira JJ. 2010. Volatile compounds in tomato-based dried products. *Drying Technology* 28: 232-239.

- Nataro JP y Kaper JB. 1998. Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews* 11:142-201.
- Navia D, Villada H y Mosquera S. 2010. Las biopelículas en la industria de alimentos. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 8: 118-128.
- Noctor G y Foyer CH. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Physiology Plant Molecular Biology* 49: 249-279.
- Nuez F. (2001). *El cultivo de tomate*. Edit. Mundi-Prensa. España.
- O'Neill MA y York WS. 2003. The composition and structure of plant primary cell walls. En: Rose JKC. *The Plant Cell Wall*. Edit. Oxford Blackwell Publishing CRC. USA.
- Ordoñez A, Balanza M, Martín F y Flores C. 2009. Estabilidad del carotenoide licopeno en tomates en conserva. *Información Tecnológica* 20: 31-37.
- Ozorco L, Rico-Romero L y Escartín E. 2008. Microbiological profile of greenhouses in a farm producing hydroponic tomatoes. *Journal of Food Protection* 71: 60-65.
- Paul RE, Gross K y Qui Y. 1999. Changes in papaya cell walls during fruit ripening. *Journal of Postharvest Biology and Technology* 16: 79-89.
- Paulson KN y Stevens MA. 1974. Relationships among titratable acidity, pH and buffer composition of tomato fruits. *Journal of Food Science* 39: 254-357
- Park JY, Canam T, Kang KY, Unda F y Mansfield S. 2009. Sucrose phosphate synthase expression influences poplar phenology. *Tree Physiology* 29:937-946.
- Peirirs K, Dull G, Leffler R y Kays S. 1998. Near infrared spectrometric technique for nondestructive determination of soluble solids content in processing

tomatoes. Journal the American Society for Horticultural Science 123: 1089-1093.

Pérez M. 2008. Deslindar al jitomate mexicano de la ola de salmonelosis, exige SAGARPA. La Jornada. <http://www.jornada.unam.mx/2008/06/13/index.php?section=economia&article=026n1eco>. Consultada: 10 de enero de 2009.

Popper ZA. 2008. Evolution and diversity of Green plant cell walls. Current Opinion in Plant Biology 11: 286-292.

Portilla JL. 2010. Jitomates que cambian vidas. El Universal-Blogs. [http://blogs.eluniversal.com.mx/wweblogs\\_detalle.php?p\\_fecha=2009-01-05&p\\_id\\_blog=54&p\\_id\\_tema=6563](http://blogs.eluniversal.com.mx/wweblogs_detalle.php?p_fecha=2009-01-05&p_id_blog=54&p_id_tema=6563). Consultada 13 agosto 2010.

Pratta G, Rodríguez G, Zorzoli R, Valle E y Picardi L. 2011. Phenotypic and molecular characterization of selected tomato recombinant inbred derived from the cross *Solanum Lycopersicum* x *S. pimpinellifolium*. Journal of Genetics 90: 229-237.

Ramos-García M, Bautista-Baños S, Barrera-Necha L, Bosquez-Molina E y Estrada-Carrillo M. 2010. Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. Revista Mexicana Fitopatología 28: 44-57.

Rayner J, Vech R y Flood J. 2004. Prevalence of microbial biofilms on selected fresh produce and household surfaces. International Journal of Food Microbiology 95: 29-39.

Resh HM. 2001. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Edit. Mundi-Prensa. España.

Resh HM. 2004. Cultivos hidropónicos. Edit. Mundi-Prensa. España.

Riquelme F. 2000. Postcosecha. En: Nuez F. El cultivo del tomate. Edit. Mundi-Prensa. España.

- Rivera-Jacinto M, Rodríguez-Ulloa C y López-Orbegoso J. 2009. Fecal contamination in Green vegetables that are sold in markets of Cajamarca City, Peru. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica* 26: 45-48.
- Rodríguez H, Muñoz S y Alcorta E. 2006. El tomate rojo, sistema hidropónico. Edit. Trillas. México.
- Roselló S, Galiana-Balaguer L, Adalid A y Nuez F. 2006. Influencia del ambiente en la evaluación del contenido de vitamina C en germoplasma de *Lycopersicum*. *Actas de Horticultura* 45: 1-2.
- Cáceres I, Mulkay T, Rodríguez J y Paumier A. S/A. Conservación de productos hortofrutícolas. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. FAO.
- SAGARPA. 2009. Inventarios de Invernaderos. Estado de Puebla. <http://www.oeidrus-puebla.gob.mx/RID.pdf>. Consultada 8 de enero del 2010.
- Sahagún ML, Juárez VM, Avendaño A, Padilla CM e Izquierdo H. 2009. Acción de oligosacáridos en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista Fitotecnia* 32: 295-301.
- Sánchez A, Flores-Cotera L, Langley E, Martin R, Maldonado G y Sánchez S. 1999. Carotenoides: Estructura, Función, Biosíntesis, Regulación y Aplicaciones. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 41:175-191.
- Sánchez M y Olivares A. 2008. Determinación de azúcares reductores solubles en jugo de alfalfa y su relación con el crecimiento de *E. coli O157:H7*". Tesis de Licenciatura. BUAP. México.
- Sánchez-del Castillo F, Moreno-Pérez E y Cruz-Arellanes E. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 67-73.

- Santiago J, Mendoza M y Borrego F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9: 59-65.
- Sapers G. 2001. Efficacy of Washing and Sanitizing Methods for Disinfection of Fresh Fruit and Vegetable Products. *Food Technology Biotechnology*. 39:305-311.
- SAS Institute. 1995. Statistical Analysis System (SAS), versión 6.
- Scholes JD, Lee PJ, Horton P y Lewis DH. 1994. Invertase: understanding changes in the photosynthetic and carbohydrate metabolism of barley leaves infected with powdery mildew. *New Phytologist*. 126: 213-222.
- Shaw RW, Berger CN, Pallen MJ, Sjöling A, y Frankel G. 2011. Flagella mediate attachment of enterotoxigenic *Escherichia coli* to fresh salad leaves. *Journal Environmental Microbiology* 3: 112-117.
- Smith JL, Fratamico PM y Novak JS. 2004. Quorum Sensing: A primer for food microbiologists. *Journal of Food Protection* 67: 1053-1070.
- Sorrequieta A, Ferraro G, Boggio SB y Valle EM. 2010. Free amino acid production during tomato fruit ripening: a focus on L-glutamate. *Amino Acids* 38: 1523-1532.
- Stevens MA, Kader AA, Albright-Holton M, Algazi M. 1977. Genotypic variation for flavor and composition in fresh tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102:880-689.
- Suescún AV, Cubillos JR y Zambrano MM. 2006. Genes involucrados en la biogénesis de fimbrias afectan la formación de biopelículas por parte de *Klebsiella pneumoniae*. *Biomédica* 26: 528-537.
- Tauxe R, Kruse H, Hedberg C, Potter M, Madden J y Wachsmuth K. 1997. Microbial hazards and emerging issues associated with produce. A

preliminary report to the national advisory committee on microbiological criteria for foods. *Journal of Food Protection* 60: 1400-1408.

- Teijón JM. 2004. *Bioquímica estructural: conceptos y tests*. Edit. Tebar. España.
- Tornero M, Sandoval E, Bustamante A y Bonilla N. 2004. La hidroponía: alternativa de producción de cultivos hortícolas ante una inminente escasez de agua. En: Tornero M, López-Olguín J y Aragón A. *Ciencias Ambientales y Agricultura*. Edit. BUAP. México.
- Vallejo FA y Estrada EI. 2004. *Producción de hortalizas de clima cálido*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Vila J, Soriano A y Mensa J. 2008. Bases moleculares de la adherencia microbiana sobre los materiales protéticos. Papel de las biocapas en las infecciones asociadas a los materiales protéticos. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica* 26:48-55.
- Walker AJ y Ho LC. 1977. Carbon translocation in the tomato: carbon import and fruit grown. *Annals of Botany* 41: 813-823.
- Willats WGT y Knox JP. 2003. Molecules in context: probes for cell Wall analysis. En: Rose JKC. *The Plant Cell Wall*. Edit. Oxford Blackwell Publishing CRC. USA.
- Willats WGT. 2001. Modulation of the degree and pattern of methyl-esterification pectichomogalacturonan in plant cell walls: implications for pectin methyl esterase action, matrix properties and cell adhesion. *Journal of Biological Chemistry* 276: 19404-19413.
- Zafiri D, Ofek I, Adar R, Pocino M y Sharon N. 1989. Inhibitory activity of cranberry juice on adherence of type 1 and type P fimbrinated *Escherichia coli* to eukaryotic cells. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 33: 92-98.
- Zambrano J, Moya J y Pacheco L. 1996. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. *Agronomía Tropical* 4: 61-72.

Zapata L, Gerard L, Davies C y Schvab MC. 2007. Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 18: 175-193.

Zhang XM, Dou MA, Yao YL, Du LQ, Li JG y Sun GM. 2011. Dynamic analysis of sugar metabolism in different harvest seasons of pineapple (*Ananascomosus* L Merr). *African Journal of Biotechnology* 10:2716-2723.

## XII. ANEXOS

**Cuadro 8.1A Firmeza de jitomate sin inocular e inculado almacenado a dos diferentes temperaturas.**

TEMP	TIEMPO (h)	Sin Inoculo	Con Inoculo
7°C	1.5	3.020 <sup>ab</sup>	2.409 <sup>a</sup>
	24	2.561 <sup>ab</sup>	2.604 <sup>a</sup>
	72	2.417 <sup>ab</sup>	2.410 <sup>a</sup>
	120	3.255 <sup>a</sup>	2.177 <sup>a</sup>
	168	3.256 <sup>a</sup>	2.176 <sup>a</sup>
	DMS	1.486	1.353
22°C	1.5	1.756 <sup>a</sup>	2.252 <sup>a</sup>
	24	2.082 <sup>a</sup>	1.472 <sup>ab</sup>
	72	1.972 <sup>a</sup>	1.568 <sup>ab</sup>
	120	1.788 <sup>a</sup>	1.225 <sup>b</sup>
	168	1.729 <sup>a</sup>	1.399 <sup>ab</sup>
	DMS	0.72	0.987

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 8.2A pH de jitomate sin inocular e inculado almacenado a dos diferentes temperaturas.**

TEMP	TIEMPO (h)	Sin Inoculo	Con Inoculo
7°C	1.5	3.866 <sup>a</sup>	4.060 <sup>c</sup>
	24	4.483 <sup>a</sup>	4.353 <sup>b</sup>
	72	4.770 <sup>a</sup>	4.026 <sup>c</sup>
	120	3.923 <sup>a</sup>	4.700 <sup>a</sup>
	168	4.093 <sup>a</sup>	4.360 <sup>b</sup>
	DMS	4.172	0.281
22°C	1.5	3.956 <sup>a</sup>	4.143 <sup>a</sup>
	24	3.510 <sup>a</sup>	3.676 <sup>ab</sup>
	72	3.363 <sup>a</sup>	3.410 <sup>b</sup>
	120	3.830 <sup>a</sup>	4.090 <sup>a</sup>
	168	3.583 <sup>a</sup>	4.050 <sup>a</sup>
	DMS	0.862	0.478

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 8.3A Porcentaje de sólidos solubles totales (° Brix) de jitomate sin inocular e inculado almacenado a dos diferentes temperaturas.**

TEMP	TIEMPO (h)	Sin Inoculo	Con Inoculo
7°C	1.5	3.400 <sup>ab</sup>	2.700 <sup>ab</sup>
	24	3.833 <sup>a</sup>	2.766 <sup>ab</sup>
	72	3.833 <sup>a</sup>	2.966 <sup>b</sup>
	120	3.900 <sup>a</sup>	3.233 <sup>a</sup>
	168	3.933 <sup>a</sup>	3.366 <sup>a</sup>
	DMS	0.588	0.616
22°C	1.5	4.533 <sup>a</sup>	3.733 <sup>bc</sup>
	24	4.466 <sup>a</sup>	4.033 <sup>ab</sup>
	72	4.200 <sup>a</sup>	4.466 <sup>a</sup>
	120	4.233 <sup>a</sup>	4.266 <sup>ab</sup>
	168	4.566 <sup>a</sup>	4.233 <sup>ab</sup>
	DMS	0.277	1.144

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 8.4A Ácido cítrico de jitomate sin inocular e inculado almacenado a dos diferentes temperaturas.**

TEMP	TIEMPO (h)	Sin Inoculo	Con Inoculo
7°C	1.5	0.336 <sup>a</sup>	0.446 <sup>a</sup>
	24	0.220 <sup>b</sup>	0.196 <sup>b</sup>
	72	0.160 <sup>bc</sup>	0.160 <sup>bc</sup>
	120	0.136 <sup>c</sup>	0.140 <sup>c</sup>
	168	0.196 <sup>bc</sup>	0.190 <sup>bc</sup>
	DMS	0.076	0.051
22°C	1.5	0.256 <sup>a</sup>	0.286 <sup>a</sup>
	24	0.170 <sup>b</sup>	0.203 <sup>b</sup>
	72	0.106 <sup>c</sup>	0.123 <sup>c</sup>
	120	0.180 <sup>b</sup>	0.140 <sup>c</sup>
	168	0.126 <sup>bc</sup>	0.160 <sup>c</sup>
	DMS	0.053	0.043

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 8.5A Azúcares solubles totales de jitomate sin inocular e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.**

TEMP	TIEMPO (h)	Sin Inoculo	Con Inoculo
7°C	1.5	0.659 <sup>b</sup>	0.737 <sup>b</sup>
	24	1.058 <sup>ab</sup>	1.112 <sup>a</sup>
	72	1.448 <sup>a</sup>	1.179 <sup>a</sup>
	120	1.582 <sup>a</sup>	1.150 <sup>a</sup>
	168	1.403 <sup>a</sup>	1.079 <sup>ab</sup>
	DMS	0.638	0.358
22°C	1.5	0.556 <sup>c</sup>	1.006 <sup>a</sup>
	24	1.084 <sup>b</sup>	1.126 <sup>a</sup>
	72	1.267 <sup>ab</sup>	1.570 <sup>a</sup>
	120	1.663 <sup>a</sup>	1.515 <sup>a</sup>
	168	1.647 <sup>a</sup>	1.424 <sup>a</sup>
	DMS	0.455	1.064

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 8.6A Efecto del inoculo en los azúcares de jitomate almacenado a 7°C.**

Tiempo (h)	Azúcares Totales (%)		Glucosa (%)		Fructosa (%)		Sacarosa (%)	
	Sin Inoculo	Con Inoculo	Sin Inoculo	Con Inoculo	Sin Inoculo	Con Inoculo	Sin Inoculo	Con Inoculo
1.5	0.659 <sup>a</sup>	0.737 <sup>a</sup>	0.067 <sup>b</sup>	0.083 <sup>a</sup>	0.058 <sup>b</sup>	0.074 <sup>a</sup>	0.051 <sup>b</sup>	0.076 <sup>a</sup>
DMS	0.4126		0.014		0.0148		0.0116	
24	1.058 <sup>a</sup>	1.112 <sup>a</sup>	0.081 <sup>a</sup>	0.067 <sup>a</sup>	0.076 <sup>a</sup>	0.055 <sup>b</sup>	0.048 <sup>a</sup>	0.040 <sup>a</sup>
DMS	0.1608		0.0213		0.0137		0.0116	
72	1.448 <sup>a</sup>	1.179 <sup>b</sup>	0.092 <sup>a</sup>	0.064 <sup>b</sup>	0.084 <sup>a</sup>	0.057 <sup>b</sup>	0.082 <sup>a</sup>	0.054 <sup>b</sup>
DMS	0.2151		0.0209		0.0176		0.0172	
120	1.582 <sup>a</sup>	1.150 <sup>a</sup>	0.070 <sup>a</sup>	0.090 <sup>a</sup>	0.046 <sup>b</sup>	0.087 <sup>a</sup>	0.048 <sup>b</sup>	0.068 <sup>a</sup>
DMS	0.4857		0.0251		0.0072		0.016	
168	1.403 <sup>a</sup>	1.079 <sup>a</sup>	0.077 <sup>a</sup>	0.069 <sup>a</sup>	0.072 <sup>a</sup>	0.066 <sup>a</sup>	0.070 <sup>a</sup>	0.061 <sup>a</sup>
DMS	0.6893		0.0213		0.0209		0.0237	

Media armónica para Glucosa 5.833 y Fructosa 5.454 a 1.5 h, Fructosa 6.461 a 24 h, Sacarosa 6.461 a 72 h, Glucosa 5.454 Fructosa 5.454 y Sacarosa 6.461 a 120 h, y Sacarosa 6.857 a 168 h a temperatura de 22°C.

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**Cuadro 8.7A Efecto del inoculo en los azúcares de jitomate almacenado a 22°C.**

Tiempo (h)	Azúcares Total		Glucosa		Fructosa		Sacarosa	
	Sin Inoculo	Con Inoculo						
<b>1.5</b>	0.556 <sup>a</sup>	1.006 <sup>a</sup>	0.045 <sup>a</sup>	0.055 <sup>a</sup>	0.051 <sup>b</sup>	0.072 <sup>a</sup>	0.043 <sup>b</sup>	0.065 <sup>a</sup>
<b>DMS</b>	1.403		0.0173		0.0121		0.0164	
<b>24</b>	1.084 <sup>a</sup>	1.126 <sup>a</sup>	0.055 <sup>a</sup>	0.046 <sup>a</sup>	0.045 <sup>a</sup>	0.049 <sup>a</sup>	0.036 <sup>a</sup>	0.042 <sup>a</sup>
<b>DMS</b>	0.1969		0.0195		0.0125		0.0123	
<b>72</b>	1.267 <sup>b</sup>	1.570 <sup>a</sup>	0.048 <sup>a</sup>	0.054 <sup>a</sup>	0.045 <sup>b</sup>	0.058 <sup>a</sup>	0.048 <sup>b</sup>	0.057 <sup>a</sup>
<b>DMS</b>	0.2045		0.0076		0.006		0.062	
<b>120</b>	1.663 <sup>a</sup>	1.515 <sup>a</sup>	0.047 <sup>a</sup>	0.031 <sup>b</sup>	0.051 <sup>a</sup>	0.036 <sup>a</sup>	0.030 <sup>a</sup>	0.024 <sup>a</sup>
<b>DMS</b>	0.5323		0.013		0.0155		0.0137	
<b>168</b>	1.647 <sup>a</sup>	1.424 <sup>a</sup>	0.059 <sup>a</sup>	0.053 <sup>a</sup>	0.055 <sup>a</sup>	0.057 <sup>a</sup>	0.059 <sup>a</sup>	0.056 <sup>a</sup>
<b>DMS</b>	0.2297		0.0128		0.0141		0.0141	

Media armónica para Sacarosa 6.461 a 1.5 h, Glucosa 5.833 y Sacarosa 6.461 a 24 h, Fructosa 6.857 a 72 h, Fructosa 6.153 y Sacarosa 7.466 a 120 h, y Sacarosa 6.857 a 168 h a temperatura de 22°C.

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ )

**Cuadro 8.8A Ácido ascórbico de jitomate sin inocular e inoculado almacenado a dos diferentes temperaturas.**

TEMP	TIEMPO (h)	Sin Inoculo	Con Inoculo
<b>7°C</b>	<b>1.5</b>	46.772 <sup>a</sup>	29.885 <sup>c</sup>
	<b>24</b>	48.463 <sup>a</sup>	39.071 <sup>c</sup>
	<b>72</b>	51.280 <sup>a</sup>	54.098 <sup>ab</sup>
	<b>120</b>	56.916 <sup>a</sup>	63.110 <sup>a</sup>
	<b>168</b>	56.717 <sup>a</sup>	63.645 <sup>a</sup>
	<b>DMS</b>		19.533
<b>22°C</b>	<b>1.5</b>	45.082 <sup>bc</sup>	54.849 <sup>a</sup>
	<b>24</b>	59.683 <sup>ab</sup>	76.639 <sup>a</sup>
	<b>72</b>	66.495 <sup>ab</sup>	75.136 <sup>a</sup>
	<b>120</b>	63.248 <sup>ab</sup>	75.510 <sup>a</sup>
	<b>168</b>	71.475 <sup>a</sup>	77.103 <sup>a</sup>
	<b>DMS</b>		23.401

Media armónica para Ac. Ascórbico 3.529 a temperatura de 22°C sin inoculo.

Media armónica para Ac. Ascórbico 3.529 a temperatura de 7°C con inoculo y media armónica para Ac. Ascórbico 3.157 a temperatura de 22°C con inoculo.

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro9.1A** Coeficiente de correlación Pearson de las características fisicoquímicas y químicas de frutos de jitomate con inoculo.

	Color					Firmeza	pH	%SST	Azúcares			Ácidos Orgánicos			
	L	a	b	a/b	(a/b) <sup>2</sup>				Totales	Glucosa	Fructosa	Sacarosa	Ascórbico	Cítrico	
Color	L	1													
	a	-0.7231 <.0001	1												
	b	0.35734 0.0108	-0.41174 0.003	1											
	a/b	-0.73666 <.0001	0.97337 <.0001	-0.59743 <.0001	1										
	(a/b) <sup>2</sup>	-0.70234 <.0001	0.95231 <.0001	-0.5729 <.0001	0.98321 <.0001	1									
Firmeza	Firmeza	0.6993 <.0001	-0.51508 0.006	0.12276 0.5419	-0.49678 0.0084	-0.49195 0.0091	1								
	pH	0.39086 0.0327	0.05495 0.773	-0.25158 0.1799	0.06529 0.7317	-0.00538 0.9775	0.22462 0.26	1							
	%SST	-0.5937 0.0005	0.30903 0.0966	0.25862 0.1676	0.23041 0.2206	0.22634 0.2291	-0.56042 0.0024	-0.41746 0.0217	1						
Azúcares	Totales	-0.39917 0.0289	0.34504 0.0619	0.4174 0.0217	0.20429 0.2789	0.2195 0.2438	-0.19659 0.3257	-0.32047 0.0842	0.46345 0.0099	1					
	Glucosa	0.62061 <.0001	-0.50088 0.0002	-0.01187 0.9348	-0.44409 0.0012	-0.41928 0.0024	0.60945 0.0007	0.32271 0.082	-0.45021 0.0125	-0.25711 0.1702	1				
	Fructosa	0.58718 <.0001	-0.35995 0.0102	0.11445 0.4287	-0.3428 0.0148	-0.30658 0.0304	0.6162 0.0006	0.25588 0.1723	-0.33458 0.0707	-0.22961 0.2223	0.72377 <.0001	1			
	Sacarosa	0.59899 <.0001	-0.4196 0.0024	0.15748 0.2747	-0.39344 0.0047	-0.31413 0.0263	0.68263 <.0001	0.11905 0.5309	-0.47328 0.0083	-0.3101 0.0954	0.6499 <.0001	0.6928 <.0001	1		
Ácidos Orgánicos	Ascórbico	-0.59695 0.0002	0.37311 0.0298	0.11464 0.5185	0.31033 0.0741	0.27197 0.1197	-0.35891 0.066	-0.3748 0.0413	0.6365 0.0002	0.47761 0.0076	-0.35712 0.0381	-0.28012 0.1086	-0.36125 0.0358	1	
	Cítrico	0.2091 0.2675	-0.33563 0.0698	0.19336 0.3059	-0.32856 0.0763	-0.31573 0.0892	0.16409 0.4134	-0.33915 0.0667	-0.11567 0.5427	0.10709 0.5733	0.03678 0.847	-0.21316 0.2581	0.0527 0.7821	0.16248 0.391	1

**Cuadro 9.2A** Coeficiente de correlación Pearson de las características fisicoquímicas y químicas de frutos de jitomate sin inoculo.

	Color					Firmeza	pH	%SST	Azúcares			Ácidos Orgánicos		
	L	a	b	a/b	(a/b) <sup>2</sup>				Totales	Glucosa	Fructosa	Sacarosa	Ascórbico	Cítrico
Color	L	1												
	a	-0.24043 0.0926	1											
	b	0.75848 <.0001	0.14673 0.3092	1										
	a/b	-0.53788 <.0001	0.91715 <.0001	-0.25666 0.072	1									
	(a/b) <sup>2</sup>	-0.50283 0.0002	0.93763 <.0001	-0.1638 0.2557	0.98737 <.0001	1								
Firmeza	Firmeza	-0.0693 0.7313	-0.70947 <.0001	-0.11629 0.5635	-0.66268 0.0002	-0.65171 0.0002	1							
	pH	0.08013 0.6738	0.02923 0.8781	0.02052 0.9143	0.02285 0.9046	0.01308 0.9453	-0.00406 0.984	1						
	%SST	-0.1152 0.5444	0.58425 0.0007	0.20281 0.2824	0.5048 0.0044	0.57116 0.001	-0.34755 0.0757	-0.18372 0.3311	1					
Azúcares	Totales	0.46103 0.0103	-0.16164 0.3935	0.48916 0.0061	-0.37942 0.0386	-0.37405 0.0417	0.03716 0.854	0.06405 0.7367	-0.07985 0.6749	1				
	Glucosa	0.10836 0.4538	-0.12956 0.3699	0.19049 0.1851	-0.20313 0.1571	-0.19389 0.1773	0.42962 0.0253	0.38065 0.038	-0.30459 0.1017	0.16355 0.3878	1			
	Fructosa	-0.01127 0.9381	0.14387 0.3189	-0.01729 0.9051	0.14543 0.3136	0.12443 0.3893	-0.43557 0.0231	0.25703 0.1703	-0.18307 0.3329	0.0708 0.71	0.56232 <.0001	1		
	Sacarosa	0.074 0.6096	-0.00983 0.946	0.07667 0.5967	-0.04058 0.7796	-0.03519 0.8083	0.34164 0.0811	0.4266 0.0187	-0.15033 0.4278	0.37879 0.039	0.6477 <.0001	0.62903 <.0001	1	
Ácidos Orgánicos	Ascórbico	0.01527 0.9275	0.24602 0.1365	0.35374 0.0294	0.09204 0.5826	0.13494 0.4192	-0.03424 0.8654	-0.1591 0.401	0.34787 0.0596	0.31022 0.0952	-0.09345 0.5768	-0.14838 0.374	0.17392 0.2964	1
	Cítrico	0.01705 0.9288	-0.01805 0.9246	-0.16832 0.374	0.04079 0.8305	-0.03983 0.8345	-0.2112 0.2903	0.38879 0.0337	-0.2709 0.1476	0.19142 0.3109	-0.00038 0.9984	0.4204 0.0207	0.26286 0.1605	-0.03306 0.8623