



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN
COMO UNA ALTERNATIVA DE CONSERVACIÓN DE JITOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill) PRODUCIDO EN INVERNADERO**

JEANETHE MONTIEL VENTURA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2017



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

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

RECCIÓN DE EDUCACIÓN
CAMPUS PUEBLA

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, la que suscribe **Jeanethe Montiel Ventura**, alumna 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 del Profesor **Dr. Mario Alberto Tornero Campante**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Microencapsulación mediante secado por aspersión como una alternativa de conservación de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) producido en invernadero**, 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, 05 de julio del 2017.

Jeanethe Montiel Ventura
Nombre completo y Firma

Dr. Mario Alberto Tornero Campante
Vo. Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis
Nombre completo y Firma

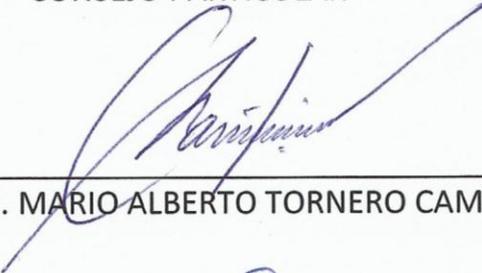
La presente tesis, titulada: **Microencapsulación mediante secado por aspersión como una alternativa de conservación de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) producido en invernadero**, realizada por la alumna: **Jeanethe Montiel Ventura**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:


DR. MARIO ALBERTO TORNERO CAMPANTE

ASESORA:


DRA. MARIA LORENA LUNA GUEVARA

ASESOR:


DR. JOSÉ LUIS JARAMILLO VILLANUEVA

ASESORA:


DRA. ADRIANA DELGADO ALVARADO

Puebla, Puebla, México, 02 de junio del 2017'

MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN COMO UNA
ALTERNATIVA DE CONSERVACIÓN DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill)
PRODUCIDO EN INVERNADERO

Jeanethe Montiel Ventura, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

La región de Aquixtla, en el estado de Puebla es una de las principales regiones productoras de jitomate bajo invernadero. Con frecuencia el precio del producto se ve afectado a la baja, debido al incremento de superficies de siembra y sobre todo cuando las exportaciones se detienen, teniendo como consecuencia una sobre oferta del producto a nivel nacional. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar una técnica que permita aprovechar en seco los excedentes de producción para extraer el licopeno, un potente antioxidante. Se siguieron tres etapas: a) Caracterizar el sistema de producción de jitomate, b) Evaluar el contenido de licopeno en deshidratados y c) Analizar el contenido de licopeno en encapsulados. Para el primer estudio se aplicó un cuestionario a 72 productores de jitomate. En el segundo estudio se evaluaron las concentraciones de licopeno de las muestras sometidas a secado convectivo y secado por aspersion con diferentes condiciones y variables de proceso, por último, en la tercera etapa se analizó la concentración de licopeno en encapsulados obtenidos con diferentes proporciones del material encapsulante. Los resultados muestran que el 88.9 % de los agricultores utiliza la fertirrigación como sistema de producción, emplean jitomate tipo saladette (90.1%) y se observa que con frecuencia el precio del producto se encuentra cercano al costo de producción (\$3-4 kg). Por otra parte se presentó un efecto positivo en la concentración de licopeno con 50 y 60 % de jitomate en polvo, una temperatura de entrada de 170 °C y 9 mL min⁻¹, finalmente el tratamiento con igual proporción de encapsulante (maltodextrina/goma arábica) presentó mejor rendimiento y características que sugieren tener un producto estable, viable para su incorporación en diversos productos. Por todo ello, se concluye que la encapsulación resulta ser una técnica alternativa de conservación y aprovechamiento para la sobreproducción de jitomate.

Palabras clave. Antioxidantes, caracterización, licopeno, secado de jitomate.

MICROENCAPSULATION BY SPRAY DRYING AS AN ALTERNATIVE CONSERVATION OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill) GROWN IN GREENHOUSE

Jeanethe Montiel Ventura, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

The region of Aquixtla, in the state of Puebla is one of the main producing regions of tomato under greenhouse. Often the price of the product is affected to low, for the increase of sowing surfaces and especially when the exports stop, having as a consequence an over supply of the product at national level. Therefore, the objective of the present work was to develop a technique that allows use in dry the overproduction to extract lycopene, a potent antioxidant. Three stages were followed: a) Characterize the tomato production system, b) Evaluate the content of lycopene in dehydrated, and c) Analyze the content of lycopene in encapsulates. For the first study, a questionnaire was applied to 72 tomato producers. In the second study the concentrations of samples subjected to convective and spray drying with different conditions and process variables were evaluated. Finally, in the third stage, the concentration of lycopene was analyzed in encapsulated obtained with different proportions of encapsulant material. The results show that 88.9% of the farmers use fertirrigation as a production system, they use tomato saladette type (90.1%) and is noted that frequently the price of the product is close to the cost of production (\$ 3-4 kg). On the other hand, a positive effect was observed in the concentration of lycopene with 50 and 60% of tomato powder, an inlet temperature of 170 °C and 9 mL min⁻¹, finally the treatment with the same ratio of encapsulant (maltodextrin/gum arabic) presented higher yield and characteristics that suggest that a stable product were obtained, viable for incorporation into different products. Therefore, it is inferred that the encapsulation can be an alternative technique of conservation and could be used with overproduction of tomato.

Keywords. Antioxidants characterization, lycopene, tomato drying.

DEDICATORIA

A **mis queridos padres** por su amor, su apoyo, su confianza, sus cuidados, su paciencia y todos los consejos que me han brindado. Sin su apoyo no habría podido culminar con mis estudios de maestría.

A **mis hermanos** por siempre estar conmigo y darme su apoyo incondicional.

A todos mis **amigos y compañeros** que han estado conmigo estos años y me han dado ánimos para poder concluir con esta etapa, a los que conocí en este camino y principalmente a esa persona especial que me dejó tantas enseñanzas. Gracias por los grandes e invaluables momentos pasados a su lado.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por haberme otorgado la oportunidad de contar con beca para poder llevar a cabo mis estudios de maestría.

Al **Colegio de Postgraduados** principalmente al **Campus Puebla** por permitirme realizar mis estudios y darme la oportunidad de conocer la importancia del campo Mexicano, así como al personal administrativo y docente por su apoyo durante mis estudios.

Al **Dr. Mario Alberto Tornero Campante** por su apoyo como consejero, sus enseñanzas, su paciencia y sus conocimientos para la elaboración del proyecto.

A la **Dra. María Lorena Luna Guevara** por su amistad, sus consejos, su apoyo, su guía, sus aportes y soporte para la realización del trabajo de investigación, así como, por aclarar todas mis dudas para la interpretación de los resultados obtenidos.

Al **Dr. José Luis Jaramillo Villanueva** y la **Dra. Adriana Delgado Alvarado**, por aceptar formar parte de mi consejo particular, por sus observaciones, sugerencias y comentarios oportunos en los aportes de esta investigación.

A **los productores de Aquixtla**, principalmente a los hermanos **Norberto y Vidal Zamora Sosa**, por su colaboración, su calidez y por admitirme trabajar en sus invernaderos.

A la **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)**, especialmente al colegio de **Alimentos** de la facultad de **Ingeniería Química** por permitirme realizar parte de mi investigación en sus laboratorios. Agradezco al **Dr. Genaro Amador Espejo** y al **Dr. Juan José Luna Guevara** por su apoyo y sugerencias.

ÍNDICE

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Justificación.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.4 Hipótesis.....	7
II. MARCO REFERENCIAL.....	8
2.1 Ubicación.....	8
2.2 Climatología.....	9
2.3 Hidrología.....	9
2.4 Edafología.....	9
2.5 Uso de suelo y vegetación.....	11
2.6 Elementos demográficos.....	11
2.7 Características sociales.....	12
2.8 Actividades económicas.....	12
III. MARCO CONCEPTUAL.....	14
3.1 Agricultura comercial o empresarial.....	14
3.2 Producción.....	14
3.3 Comercialización de productos agrícolas en Puebla.....	20
3.4 Antioxidantes.....	21
IV. LA AGRICULTURA PROTEGIDA COMO ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN MINIFUNDIO: CASO AQUIXTLA, PUEBLA.....	27
Resumen.....	27
Abstract.....	27
4.1 Introducción.....	28
4.2 Metodología.....	32
4.3 Resultados y discusión.....	33
4.4 Conclusiones.....	46
4.5 Literatura citada.....	46

V. ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE ENCAPSULACIÓN PARA MEJORAR EL CONTENIDO DE LICOPENO EN POLVOS DE JITOMATE (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill).....	54
Resumen.....	54
Abstract.....	54
5.1 Introducción.....	55
5.2 Materiales y métodos.....	56
5.3 Resultados y discusión.....	59
5.4 Conclusiones.....	66
5.5 Literatura citada.....	66
VI. EVALUACIÓN DE MICROENCAPSULADOS DE JITOMATE (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill) CULTIVADO EN INVERNADERO COMO UNA ALTERNATIVA DE CONSERVACIÓN.....	71
Resumen.....	71
Abstact.....	71
6.1 Introducción.....	72
6.2 Materiales y métodos.....	74
6.3 Resultados y discusión.....	79
6.4 Conclusiones.....	85
6.5 Literatura citada.....	85
VII. DISCUSIÓN GENERAL.....	92
VIII. CONCLUSIONES GENERALES.....	96
IX. PROPUESTA DE ESTRATEGIA.....	98
X. LITERATURA GENERAL.....	103
XI. ANEXO.....	114

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1 Taxonomía del cultivo de jitomate.....	18
3.2 Contenido nutrimental de jitomate (base 100g).....	19
4.1 Cultivares de jitomate saladette mayormente utilizados en la región de Aquixtla.....	37
4.2 Características del sistema de producción en la Región de Aquixtla, Puebla.....	40
4.3 Características de los invernaderos en Aquixtla.....	41
4.4 Mercado de destino del jitomate tipo saladette producido en el estado de Puebla, representado en porcentaje, durante los últimos años.....	43
5.1 Tratamientos de encapsulación con diferentes contenidos de polvo de jitomate, condiciones y variables de proceso.....	58
5.2 Propiedades fisicoquímicas de frutos frescos de jitomate.....	60
5.3 Parámetros de color y contenido de licopeno en frutos deshidratados a diferentes temperaturas.....	62
6.1 Composición de emulsiones sometidas a secado por aspersion....	75
6.2 Propiedades fisicoquímicas asociadas con la calidad del jitomate..	80
6.3 Rendimientos obtenidos de los encapsulados de polvo de jitomate.....	81
6.4 Propiedades de microencapsulación del tratamiento (60% Polvo de jitomate, 20 % maltodextrina, 20% goma arábica.....	83
9.1 Matriz de análisis FODA.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 Ubicación de la región de estudio, Aquixtla, Puebla.....	8
1.2 Tipos de suelo del municipio de Aquixtla.....	10
3.1 Cultivos de la agricultura protegida en México.....	16
3.2 Biosíntesis de diversos carotenoides, comenzando con la biosíntesis de fitoeno por la vía del mevalonato.....	22
3.3 Estructura química del licopeno.....	24
4.1 Tasa de crecimiento medio del jitomate en la central de abastos del estado de Puebla y tasa de crecimiento medio rural en Aquixtla.....	44
4.2 Comparativa de precios del jitomate saladette entre la central de abastos de Puebla y el precio medio rural en Aquixtla.....	45
5.1 Variación de humedad de fracción libre (ψ) con respecto al tiempo de secado del fruto de jitomate a diferentes temperaturas.....	61
5.2 Polvos de jitomate obtenidos mediante secado por convección a diferentes temperaturas.....	63
5.3 Variación del contenido de licopeno en polvos de jitomate con diferentes tratamientos de encapsulación.....	65
6.1 Cromatograma de los diferentes contenido de licopeno mediante HPLC.....	82
6.2 Microencapsulado de polvo de jitomate (T1).....	82
6.3 Microscopias de microencapsulado de jitomate correspondiente al T1.....	84
9.1 Diagrama general de la estrategia.....	98
9.2 Diagrama para el cumplimiento de la estrategia.....	101

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Actualmente se ha demostrado y difundido información asociada con el consumo de frutas y hortalizas y los beneficios que tiene en el organismo (Valdez-Morales *et al.*, 2016; de-Ancos *et al.*, 2016). La dinámica laboral y el estilo de vida actual, ha traído como consecuencia el incremento en el consumo de alimentos procesados, por tal motivo, se deben buscar alternativas de transformación de productos naturales en alimentos con propiedades funcionales y nutraceuticos de rápido consumo (Cruzado y Cedrón 2013; Valenzuela *et al.*, 2014).

Un producto nutraceutico es una sustancia aislada o purificada de origen natural que al ingresar al organismo proporciona un efecto benéfico para la salud, más allá de su valor nutricional, generalmente se vende en presentaciones similares a los fármacos como polvos, pastillas, cápsulas, etc. (Valenzuela *et al.*, 2014; Cortez-Díaz *et al.*, 2015). Y por su parte, los alimentos funcionales son productos comunes semejantes en apariencia física a los alimentos convencionales, que se consumen como parte de la dieta diaria; el Centro de Información Internacional de Alimentos (IFIC) de la Unión Europea, define a los alimentos funcionales como "aquellos productos a los cuales intencionalmente y en forma controlada se les adiciona un compuesto específico para incrementar su propiedades saludables" y define como alimentos saludables a "aquellos que en su estado natural, o con mínimo procesamiento, tienen compuestos con propiedades beneficiosas para la salud, capaces de prevenir diversas enfermedades y/o fortalecer el sistema inmunológico (Valenzuela *et al.*, 2014; de-Ancos *et al.*, 2016).

Los antioxidantes son compuestos con propiedades funcionales, los cuales interactúan con los radicales libres, previniendo el estrés oxidativo. Se conocen diversos compuestos antioxidantes, siendo los carotenoides un grupo significativo, representado por más de 600 compuestos, responsables de los colores amarillos, naranjas y rojos, de animales, flores, frutas y vegetales (Peñaloza y Rojano, 2014)

El licopeno es un carotenoide que ha sido ampliamente estudiado por su capacidad de detener el daño oxidativo, protegiendo así al organismo de la acción de los radicales

libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades degenerativas (Waliszewski y Blasco, 2010; Clinton, 2014; Pema *et al.*, 2015). El licopeno se encuentra en forma natural en algunos alimentos, siendo el jitomate el que destaca por su alto contenido, además de ser reconocido por su valor nutrimental, su aroma y su versatilidad de uso. Otra importancia de este fruto se debe a que ocupa un lugar significativo entre los productos de consumo e importancia agrícola en México, debido a que es una hortaliza con mucha demanda en todo el mundo.

Se presume que a principios del siglo XX el jitomate en México destacó como el cultivo fundador de la horticultura industrial mexicana destinada a la exportación, comenzando cuando productores estadounidenses residentes en el estado de Sinaloa, comenzaron a producir jitomate en el valle del Río Fuerte para abastecer la demanda de EUA en la época invernal (Romero, 2006). Posteriormente para el año de 1907, su comercialización incrementó en el estado de Sinaloa, a partir de la construcción del ferrocarril Sud Pacífico, el cual conectaba a dicho estado con Nogales, Arizona, Estados Unidos, surgiendo como una alternativa de producción, para contrarrestar la monopolización del comercio de la caña (Ruiz, 2008). Finalmente su crecimiento más dinámico se dio a partir de la década de 1960, debido a que la agricultura capitalista en Sinaloa había alcanzado un buen estado de madurez (Macías-Macías, 2010).

De esta forma es como comienza la historia del mercado internacional del jitomate, detrás de Sinaloa, siguió la región de San Quintín, en el estado de Baja California (Ruiz, 2008), y así, diversos estados se fueron sumando a la producción de jitomate para fines de exportación. Con ello, también se generó la necesidad de cubrir el mercado nacional, abriendo una oportunidad de crecimiento en la producción de la hortaliza a otros estados más distantes de la frontera norte del país, sin embargo, en alguno de ellos las condiciones climáticas representaban el mayor obstáculo para la producción, optando por la agricultura protegida.

Específicamente, en la década de los 80 se presentó el auge en la instalación de invernaderos principalmente en el Estado de México; para la década de los 90 se expande la producción en invernaderos, debido a que los grandes estados productores

de hortalizas (Sinaloa, Sonora, Baja California, Jalisco) aprovechan la crisis económica generada por la devaluación e invierten en la implementación de invernaderos (de-Ancos *et al.*, 2016; Medina-Saavedra *et al.*, 2017). Para el año 2012 se reportó que existían alrededor de 20 mil hectáreas bajo agricultura protegida de las cuales aproximadamente 12 mil son de invernadero y las otras 8 mil corresponden a malla sombra y macro túnel principalmente (SAGARPA, 2012).

De esta manera, se puede observar que gran parte de la producción de jitomate fresco en México tiene como principal destino el mercado de Estados Unidos, por lo que cuando la producción de jitomate es suficiente para abastecer su mercado o se presume que el fruto no cuenta con la calidad requerida para su introducción a dicho país, se crea una sobreoferta en México, aunado a ello la apertura de nuevos invernaderos, el incremento del área destinada a la producción de este cultivo, generan una sobreoferta, provocando una baja de precio en zonas de producción y centrales de abasto de nuestro país (FIRA, 2014). Debido a ello se busca una técnica alternativa para el aprovechamiento de dicho cultivo que coadyuve a solucionar la problemática mencionada.

Tomando en cuenta los beneficios a la salud que se han relacionado con el jitomate conferidos por su composición y recordando que el licopeno es susceptible a cambios químicos, tales como, la oxidación, seguido de la degradación o isomerización cuando es expuesto a la luz y al oxígeno, se ha optado en esta investigación por utilizar el secado por aspersión como método de preservación de las propiedades bioactivas, ya que dicha tecnología se ha utilizado con éxito en la industria de los alimentos para proteger las sustancias sensibles, manteniendo su estabilidad y viabilidad.

Bajo este contexto, la obtención de jitomate microencapsulado mediante secado por aspersión puede ser aprovechada para su uso como colorante natural, como complemento nutricional o para la preparación de un alimento funcional, tales como: productos horneados, cereales para desayuno y una gran variedad de bebidas y jugos de frutas y vegetales, salsas y aderezos para ensaladas, generando productos que benefician la salud.

1.1 Planteamiento del problema

Dentro de los problemas más trascendentes que se presentan actualmente en el mundo está el cambio climático, el cual influye y repercute directamente sobre la agricultura, ocasionando problemas en la producción alimentaria por lo que a lo largo de los años se ha buscado la manera de evitar que estas restricciones del medio repercutan directamente sobre la producción de algunos cultivos, siendo así que la Agricultura Protegida ha venido desempeñando un papel importante, logrando producir alimentos en condiciones climáticas hostiles e incluso incrementando rendimientos (Moreno-Reséndez *et al.*, 2011; Padilla-Bernal *et al.*, 2015).

El cultivo más importante que se produce bajo Agricultura Protegida (AP) en México es el jitomate, y se reconoce como el producto agrícola de mayor exportación del país, destinado principalmente a Estados Unidos (SAGARPA, 2017a), entre 2013 y el estimado 2016, la producción de jitomate aumentó 35%, al pasar de 2,052,000 toneladas a 2,769,000 toneladas (SAGARPA, 2017b). Además, el jitomate en sus etapas de producción genera 72 mil empleos directos y aproximadamente 10.7 millones de empleos indirectos en el país, por lo que la presencia de este fruto en la economía del país es sumamente importante (Medina-Saavedra *et al.*, 2017). También destaca la relevancia que tiene dicho fruto en la alimentación cotidiana de los mexicanos.

Sin embargo, debido al incremento del área destinada a la producción de este cultivo, así como, el aumento de la oferta de los Estados Unidos, ocasionan una baja en el precio del cultivo. Debido a ello es importante contar con una técnica alternativa para la utilización del jitomate, aprovechando su valor nutricional y sus componentes fitoquímicos, siendo la encapsulación mediante secado por aspersion una opción para disminuir la problemática mencionada, empleándolo como colorante natural, complemento nutricional o para la preparación de un alimento funcional mediante la incorporación de licopeno (Fernández-Ruiz *et al.*, 2007; Galaviz-Rodríguez *et al.*, 2013).

Con base en lo anterior, en esta investigación se pretende dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las características que distinguen a los productores

y al sistema de producción de jitomate en la región de Aquixtla, Puebla?; ¿Existen alternativas de aprovechamiento y conservación para el fruto de jitomate producido en invernaderos de Aquixtla, Puebla?; ¿Cómo se puede preservar el licopeno, principal compuesto fitoquímico del jitomate?.

1.2 Justificación

En México, el jitomate es un producto agrícola de gran importancia socioeconómica, además de que es una hortalizas muy consumida a nivel mundial debido a su versatilidad, asimismo nuestro país es uno de los principales países productores y exportadores de dicho fruto, siendo las exportaciones de jitomate fresco un caso de éxito para la agricultura mexicana de exportación. Las ingresos de las exportaciones de jitomate entre enero y octubre de 2016 sumaron 742 millones de dólares, lo que representó un crecimiento a tasa anual de 15 por ciento (SAGARPA, 2017a), teniendo como principales compradores a Estados Unidos, Canadá y Japón (Morales-Navarrete, 2010; SAGARPA, 2017b).

Específicamente en el estado de Puebla, la producción de frutas y hortalizas ha tenido una evolución importante en la última década, de sustentarse únicamente en lluvias de temporal, muchos productores han optado por la producción bajo Agricultura Protegida, siendo el jitomate el fruto mayormente producido. Este incremento en la producción de jitomate, además de cuando se tiene problemas para la exportación de la hortaliza, trae como consecuencia que en algunas temporadas los agricultores tengan una sobre oferta y con ello una disminución en el valor económico del jitomate. Es por ello que se busca una técnica alternativa para su utilización y lograr con ello una opción de aprovechamiento de valor para la sobreproducción y utilización de aquel producto que no cumple con las características óptimas para su comercialización en fresco.

Se ha encontrado que el consumo del jitomate aporta beneficios a la salud, debido a su composición, cuenta con un alto contenido de potasio, fibra, proteína y vitaminas (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2011; Roque *et al.*, 2017), pero principalmente por su contenido en licopeno, el cual ha sido reconocido y estudiado por su capacidad de detener el daño oxidativo, protegiendo así al organismo de la acción de los radicales

libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades degenerativas (Pema *et al.*, 2015, Roque *et al.*, 2017). Sin embargo, el licopeno es susceptible a cambios químicos, tales como, la oxidación, seguido de la degradación o isomerización cuando es expuesto a la luz y al oxígeno. Por ello, se propone la microencapsulación mediante secado por aspersión, como método de conservación, esta es una técnica que permite proteger del ambiente a sustancias sólidas o líquidas, divididas en pequeñas partículas o gotas (fase interna), recubriéndolas con una película de carbohidratos u otro material polimérico (pared) (López-Hernández, 2010; Keshari *et al.*, 2016), además, la encapsulación se puede utilizar para controlar la liberación de los componentes funcionales cuando se ingiere en el cuerpo, dependiendo de la naturaleza del material encapsulante. Así, el producto de dicho proceso puede ser aprovechado para su utilización en la industria alimenticia, incorporándose en distintas categorías de alimentos como son: productos horneados, cereales para desayuno y una gran variedad de bebidas y jugos de frutas y vegetales, salsas y aderezos para ensaladas, generando así alimentos funcionales y productos nutraceuticos que beneficien la salud.

El brindar este tipo de opciones de aprovechamiento es de gran importancia por que ayudan a promover la salud y nutrición de la población. Debido a que en los últimos años, el consumo de alimentos naturales nutritivos se ha visto disminuido como consecuencia de la dinámica que tiene actualmente la población como modo de vida, optando por el consumo de comida rápida y alimentos procesados (Cruzado y Cedrón, 2013; de-Ancos *et al.*, 2016). Lo que provoca el incremento en la obesidad y en diversas enfermedades degenerativas que se relacionan con el estrés oxidativo y la generación de radicales libres.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una técnica para el aprovechamiento de la producción excedente de fruto de jitomate fresco producido en Agricultura Protegida, para la conservación de Licopeno, en la región de Aquixtla, Puebla.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema de producción de jitomate producido bajo condiciones de Agricultura Protegida, así como conocer el precio y los mercados de destino en la región de Aquixtla, Puebla.
- Evaluar las condiciones de secado por convección forzada y secado por aspersion para preservar el contenido de licopeno en frutos de jitomate.
- Analizar el contenido de licopeno en distintos tratamiento de microencapsulación obtenidos mediante secado por aspersion.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

Los excedentes de producción de jitomate fresco producido bajo Agricultura Protegida en la región de Aquixtla, pueden ser sometidos a las técnicas de secado y microencapsulación para aprovechar su contenido de licopeno.

1.4.2 Hipótesis específicas

- El sistema de producción utilizado en la región de Aquixtla ha variado en los últimos años, así como el precio del fruto de jitomate y el mercado de destino.
- Las condiciones de secado por aspersion y convección forzada son determinantes en el contenido de licopeno.
- Las características de la emulsión determinan la capacidad para proteger el material encapsulado.

II. MARCO REFERENCIAL

2.1 Ubicación

El municipio de Aquixtla se localiza en la parte Noroeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son: 19° 42' 42" y 19° 51' 54" de latitud norte y 97° 49' 36" y 97° 54' 06" de longitud occidental. Su altura oscila entre los 1940 y 2900 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con una superficie de 190.09 km² ocupando el lugar 65 dentro del estado (Figura 1.1). Sus colindancias son: al norte con Zacatlán y Chignahuapan; al sur con Ixtacamaxtitlán; al oeste con Tetela de Ocampo y al poniente con Chignahuapan (Plan de Desarrollo municipal de Aquixtla, Puebla, 2008-2011). La provincia fisiográfica a la que pertenece gran parte del municipio de Aquixtla en la zona sur es al Eje Neovolcánico.

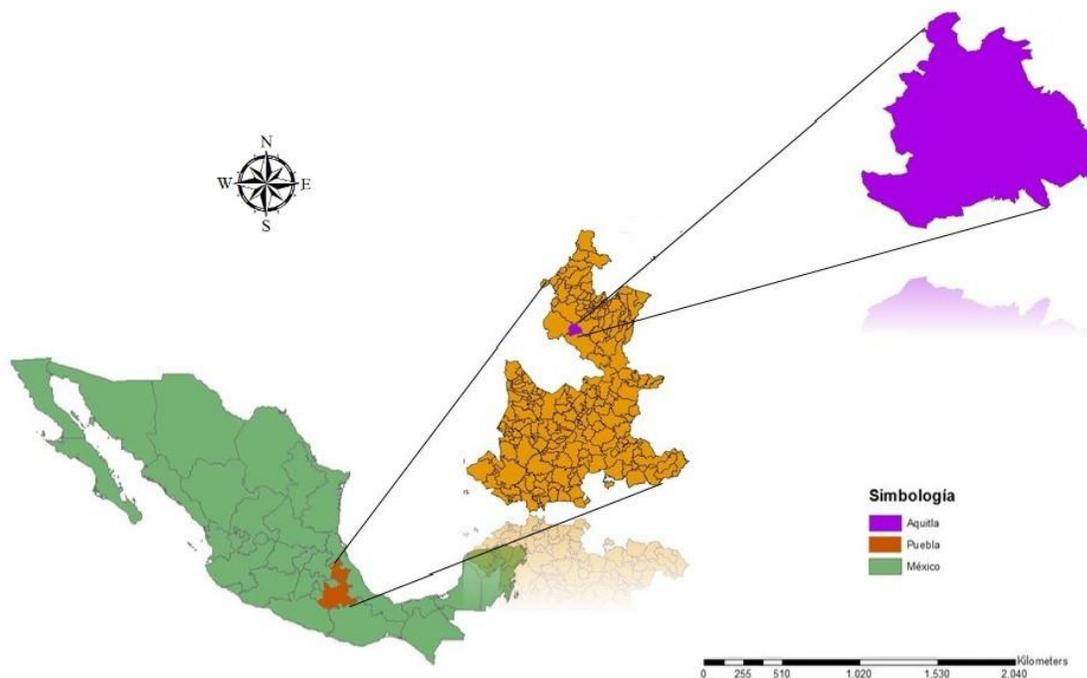


Figura 1.1: Ubicación de la región de estudio, Aquixtla, Puebla.

Fuente: Elaboración propia

2.2 Climatología

Este municipio, pertenece a la zona de climas templados de la sierra norte del estado de Puebla y está clasificado como templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw1), se localiza casi en la mayor parte de Aquixtla en un área de 161.92 km², que representa el 81% del total del municipio. Con un rango de precipitación de 600 a 1000 mm anuales. La temperatura media anual entre 12 y 18 °C y la temperatura invernal con respecto a la anual es menor al 5% (INEGI, 2009; Atlas de Riesgos Naturales Aquixtla, 2012).

2.3 Hidrología

En cuanto a su hidrología, el municipio está localizado en la vertiente hidrográfica septentrional del Estado de Puebla, perteneciente a la cuenca de Zempoala con afluente de Ajajalpan que conforma al Tecolutla siendo este recorrido por los siguientes ríos; Cuautolonico que corre por el valle intermontaña por 10 kilómetros aproximadamente, el río Texocoapan recorriendo el noroeste y el río Xaltatempa además de una gran cantidad de arroyos intermitentes originados en las sierras. El coeficiente de escurrimiento va de 5 a 10% en un área de 17.59 km² (INEGI, 1996).

2.4 Edafología

Los tipos de suelo que se encuentran en Aquixtla se observan en la Figura 1.2, donde el suelo predominante es el Luvisol con un 65.89%, le sigue el Andosol con 23.72 %, Litosol con 10.34 % y el Feozem con 0.05%.

Luvisol. Son suelos ricos en nutrientes, con un horizonte cálcico o presencia de material calcáreo por lo menos en la superficie. Con fertilidad moderadamente alta y se encuentran en regiones con climas húmedos o subhúmedos, por lo que es ideal para huertos por las condiciones fisiográficas (SAGARPA, 2009). Cubre el centro y el oriente del municipio; es el suelo predominante y presenta fase lítica profunda. El uso es primordialmente agrícola de temporal, los cultivos más sembrados son granos como maíz, frijol, haba, cebada y avena, respecto a hortalizas el primer lugar en producción es de jitomate (Lorenzo, 2012).

Andosol. Son suelos derivados de cenizas volcánicas recientes, muy ligeros con una alta capacidad de retención de agua y nutrientes. Por su alta susceptibilidad a la erosión y fuerte fijación de fósforo, deben destinarse a la explotación forestal o al establecimiento de parques recreativos. Cubre las zonas montañosas del noroeste; presenta fase lítica profunda (roca entre 50 y 100 centímetros de profundidad) (SAGARPA, 2009).

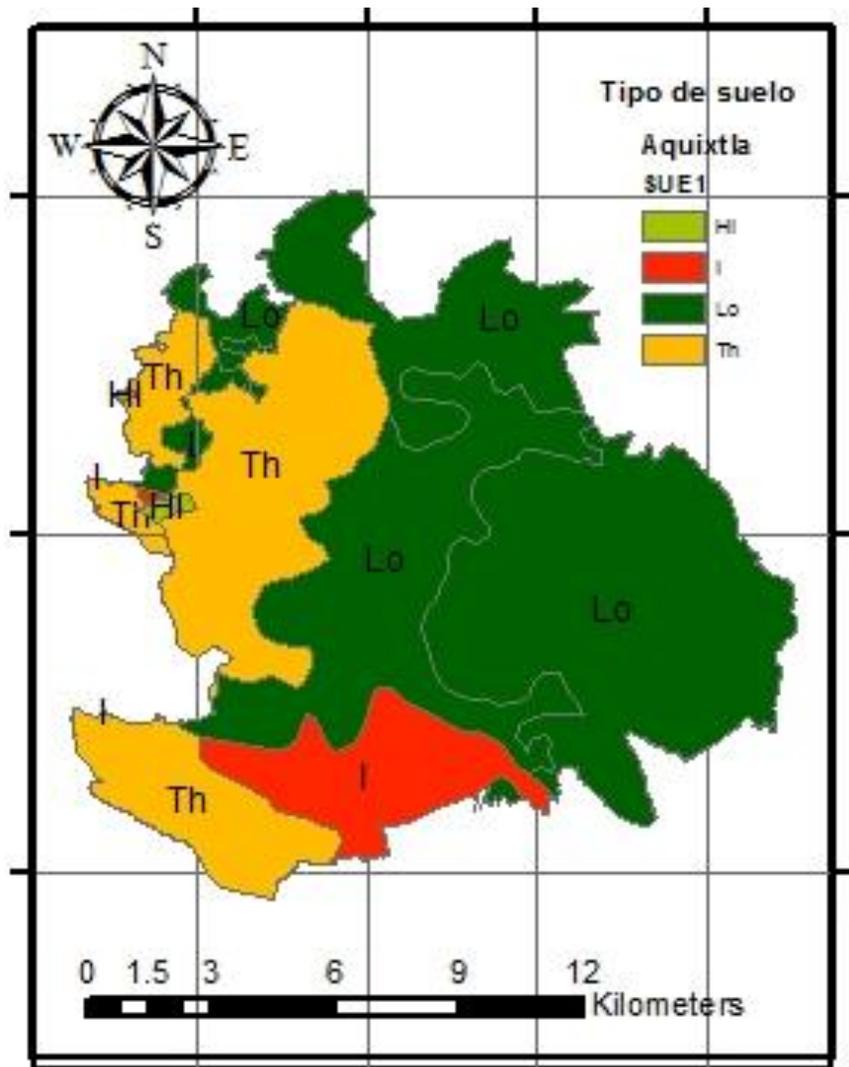


Figura 1.2. Tipos de suelo del municipio de Aquixtla. Dónde: Luvisol 65.89% (Lo); Andosol 23.72% (Th); Litosol 10.34% (I) y Feozem 0.05% (HI).

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Litosol. Se caracterizan por ser suelos someros con una profundidad menor de 10 centímetros de espesor sobre roca o tepetate, no se consideran aptos para cultivos, pero pueden destinarse a pastoreo (SAGARPA, 2009).

Feozem. Son ricos en materia orgánica, tienen una textura media, buen drenaje y ventilación, suelen ser poco profundos, casi siempre pedregosos y muy inestables (SAGARPA, 2009).

2.5 Uso del suelo y vegetación

El municipio tiene cuatro usos del suelo: Bosque con un 55%, agrícola con 36%, pastizal con 7% y fundo legal con 2%. El bosque lo conforman diversas especies como: pino, ocote, encino, roble y táscate. El pino alcanza el 77.65%, encino 8.28%, pino con vegetación secundaria 5.47% y oyamel 4.55%. Existe una reserva ecológica de bosque de oyamel y pino, llamada "El Manantial", la cual comparte con Ixtacamaxitlán y tiene una superficie de 278 ha. Actualmente tiene un aprovechamiento multifuncional del bosque, siendo que para el 2013 la cosecha de madera (trocería) representó el 77%, los árboles de navidad el 22% y los aceites esenciales el 1% del total de ingresos (Atlas de Riesgos Aquixtla, 2012; Castaños y Castro, 2014).

El componente agrícola está conformado por la agricultura de riego con cultivos como jitomate y chile. En temporal maíz, frijol, trigo, cebada y de temporal con cultivos permanentes como los frutales durazno, manzano y más recientemente frutillas. La agricultura de riego se puede localizar en Aquixtla y Tlaltempa y al norte en la localidad de Pachuquilla, con la introducción de invernaderos que se han ido extendiendo por todo el municipio. La agricultura de temporal se ubica en las comunidades: La Rosa y Chichicaxtla y Cruz de Ocote. Y la de temporal con frutales distribuida en todo el municipio (Atlas de Riegos Aquixtla, 2012)

2.6 Elementos demográficos

El municipio de Aquixtla, cuenta con una densidad poblacional de 52.6 habitantes por m². En el año 2015 se censó una población de 8768 personas (4329 hombres y 4439 mujeres) y se proyectó que para el año 2017 la población disminuirá a 8398 (CEIGEP,

2017). Se trata de una población eminentemente rural, ya que ninguna de las localidades que lo conforman es mayor a los mil habitantes.

2.7 Características sociales

Aquixtla es considerado como zona de atención prioritaria rural con un alto grado de rezago social, para el 2015 un 31.3% de la población presentaron rezago educativo, 8.7% carecía de acceso a los servicios de salud; en la vivienda, 27% carecía de servicio de drenaje, 5.2% de acceso al agua entubada y 3.3% al servicio eléctrico (SEDESOL, 2017).

Según datos del INEGI (2015), de las 22 comunidades pertenecientes al municipio de Aquixtla, 19 de ellas presentaron en el 2010, un alto grado de marginación y solo 3 (Aquixtla, Tlaltempa y Toluquilla) tuvieron un grado medio.

Del año 2010 al 2015 se ha trabajado en disminuir las carencias, con el fin de contrarrestar la pobreza y garantizar el ejercicio de los derechos sociales, se observa que la mayor disminución en puntos porcentuales se dio en la carencia por acceso a los servicios de salud, que disminuyó de 43.8% a 8.7% (SEDESOL, 2017).

Se considera que el rezago educativo es el indicador principal en el que se debe trabajar, ya que el 17.8% de la población mayor de 15 años es analfabeta; en el año 2010 se encontró que solo el 4.7% contaba con educación media superior, 13.2% educación secundaria y 7.9 % con primaria (CEIGEP, 2017).

2.8 Actividades socioeconómicas

En cuanto a la actividad económica, los habitantes de la región de Aquixtla se han dedicado predominantemente a la agricultura, al comercio, los servicios y a la industria de la alfarería.

Debido a la fertilidad de sus tierras y a su clima, los productores han cultivado principalmente maíz, papa, frijol, avena, sorgo, manzana y otros productos de forraje (Enciclopedia, 2005). La papa fue por muchos años el principal producto agrícola de la región, pero la falta de un manejo integral, una asesoría formal casi nula, por

problemas de plagas y por la alza de los precios del tubérculo, la producción de papa estuvo a punto de desaparecer, por lo que fue necesaria la búsqueda de nuevas alternativas de producción, con el fin de reactivar la economía y fue así que algunos productores tuvieron la iniciativa de producir jitomate en condiciones de Agricultura Protegida, abandonando la siembra de otros cultivos, incluido el maíz y hasta dejando a un lado la alfarería (Padilla-Quiroz, 2016; Palma, 2016). Según Padilla-Quiroz (2016) fue en octubre del 2003 que bajo la asesoría de un ingeniero agrícola y con el apoyo decidido de agricultores líderes como Alberto Nava, Leonel Martínez y Norberto Zamora se comenzó con esta actividad económica.

En años recientes, se ha desarrollado en la región el cultivo del jitomate bajo el sistema de producción de fertirrigación y Agricultura Protegida (Invernaderos). La producción de este cultivo es muy importante en el municipio, ya que anualmente se llegan a producir 10 mil toneladas de jitomate fresco al año, esto ubica a los productores como importantes proveedores de grandes empresas. Esta actividad económica, ha permitido que muchos de los habitantes cambien sus antiguas actividades como la industria de la alfarería, la siembra de otro tipo de cultivos, o la cría de animales por la agricultura en invernadero. Esto ha permitido que el municipio crezca y se genere una mayor cantidad de empleos e ingresos para sus habitantes (Plan de Desarrollo Municipal de Aquixtla, 2008-2011).

No obstante, la industria de la alfarería no ha muerto en la región, aún se encuentran secciones del municipio en donde la población se dedica a la elaboración de artículos de cocina como platos, tasas, vajillas, cazuelas, ollas, jarros, etc. Otra actividad económica que aún prevalece y que ha tenido apoyo de programas gubernamentales es la ganadería, principalmente de ganado bovino, porcino, ovino y caprino (Enciclopedia, 2005; INEGI, 2014). El municipio ha sabido acercarse y gestionar apoyos del gobierno para producir planta de árboles frutales y construcción de presas.

III. MARCO CONCEPTUAL

3.1 Agricultura comercial o empresarial

La agricultura comercial o empresarial, es aquella en la que se emplean técnicas de explotación agraria hasta lograr obtener el máximo rendimiento y cuya producción se orienta hacia la comercialización, tanto en mercados nacionales como internacionales. Tiene como objetivo la modernización con la finalidad de obtener menores costos de producción y así maximizar la tasa de ganancia, donde los elevados rendimientos que se obtiene se deben a la aplicación de capital necesario y a las técnicas más avanzadas de maquinaria, abonos, trasportes, combate de plagas, rotación de cultivos, medidas de conservación de suelo, agua, entre otros (Armijo-Zúñiga y Cubillos-Alfaro, 2002; Ayllon-Torres, 2004).

La agricultura comercial se inició con cultivos tropicales en las zonas cálidas y húmedas (cacao, plátano, café) y más tarde se extendió a otros tipos de cultivos (corales, ganado, hortalizas). La agricultura comercial se consolidó en nuestro país, a partir de las primeras tres décadas del siglo XX, como consecuencia de cambios sociales, políticos y económicos en el mundo, desarrollándose la industria azucarera, las hortalizas y el garbanzo (Aguilar-Soto y Romero-Ibarra, 2011).

3.2 Producción

3.2.1 La agricultura protegida

La agricultura protegida (AP) es aquella en la que los cultivos se desarrollan controlando los factores externos, como la luz, la temperatura, el agua y los fertilizantes. Santos *et al.* (2010) describen a la AP como toda estructura cerrada, cubierta por materiales transparentes o semitransparentes, que permite obtener condiciones artificiales de microclima para el óptimo desarrollo del cultivo. Bajo este sistema agrícola especializado se lleva a cabo el control del medio climático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad, entre otros) lo que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar adecuado crecimiento vegetal, aumentar los rendimientos,

mejorar la calidad de los productos y obtener excelentes cosechas (Cepeda *et al.*, 2013; de-Anda y Shear, 2017).

Así, mediante el empleo de diversas cubiertas se reducen las condiciones restrictivas del clima sobre los vegetales, resguardando la producción de bajas temperaturas, heladas, insolación y velocidad del viento (Juárez-López *et al.*, 2011; Padilla-Bernal *et al.*, 2015). Además, dentro de las ventajas que se han observado al utilizar dicha técnica se encontró que permite el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural, incremento de producción por unidad de superficie, obtención de productos en regiones con condiciones restrictivas, uso más eficiente de agua (50-70%) e insumos, mayor control de plagas, maleza y enfermedades, asimismo, contribuye a sustentar y fomentar el desarrollo agroindustrial, generando divisas y empleo para el país y una vida más digna entre la gente del medio rural (Moreno-Reséndez *et al.*, 2011; SAGARPA, 2012; Medina-Saavedra *et al.*, 2017).

Los inicios de la práctica de esta tecnología de producción es muy antigua, aunque no como se conoce actualmente. Enoch *et al.*, (1999) exponen que con los textos de la biblia se determina que existía producción de cultivos fuera de temporada desde aquella época; posteriormente China, Egipto, Israel, Grecia y Roma cultivaron plantas en macetas que trasladaban durante la noche o periodos fríos a zonas protegidas. Para el siglo XV se utilizaron cabañas para la protección en invierno y en el siglo XVII los orangeries estaban de moda en Europa, a partir de ahí comenzó una expansión de los invernaderos con paneles de cristal. En el siglo XIX, la industrialización favoreció el desarrollo de esta tecnología y después de la Primera Guerra Mundial aparecen los plásticos y con ellos su uso en la agricultura (materiales a base de polietileno, poliestireno o PVC). Finalmente, a partir de la Segunda Guerra Mundial aparecieron los plásticos rígidos como el poliéster en EEUU y Europa (Porcel y Artetxe, 2016).

Actualmente, la AP en México se encuentra en expansión, con un ritmo de crecimiento de 1,200 ha año⁻¹. En el periodo de 2001-2007, SAGARPA con sus diversos programas de apoyo a la agricultura protegida, ha impulsado 6,074 proyectos con 50,806 beneficiarios, con los cuales se han protegido 2,201 ha, invirtiendo en ellas 2,045.6

millones de pesos (Moreno-Reséndez *et al.*, 2011). Logrando que la AP pasara de 300 ha en 1980 a más de 23,000 ha para el año 2011, repartidas en aproximadamente 40,000 instalaciones, predominando casas-sombra e invernaderos de baja tecnología (AMHPAC, 2014; SAGARPA, 2014). Particularmente, en el estado de Puebla el número de invernaderos se ha incrementado en los últimos años, yendo de 1,962 invernaderos con una superficie de 305.4 hectáreas en 2007, a 3,021 invernaderos con 1,071 hectáreas de invernaderos en el año 2011 (SAGARPA, 2014).

En teoría cualquier tipo de planta podría cultivarse en ambientes protegidos, sin embargo, por rentabilidad económica, manejo y ciclos de producción, se utilizan principalmente hortalizas y flores de corte (Cedillo-Portugal y Calzada-Sandoval, 2012). SAGARPA (2012) expresa que los principales cultivos que producen bajo estas condiciones son el jitomate (70%), pimiento (16%) y pepino (10%), sin embargo, en los últimos años se ha intensificado la diversificación de cultivos como la papaya, fresa, chile habanero, flores, plantas aromáticas (Figura 3.1).

La razón por la que el jitomate se ha consolidado como el principal cultivo producido en AP, se debe a que con este fruto se han obtenido incrementos muy favorable en el rendimiento, pasando de 40 - 60 ton ha⁻¹ reportados a campo abierto, a rendimientos de 120 - 150 ton ha⁻¹ en invernaderos de baja tecnología y hasta 600 ton ha⁻¹ cuando se produce en invernaderos de alta tecnología (de-Anda y Shear, 2017).

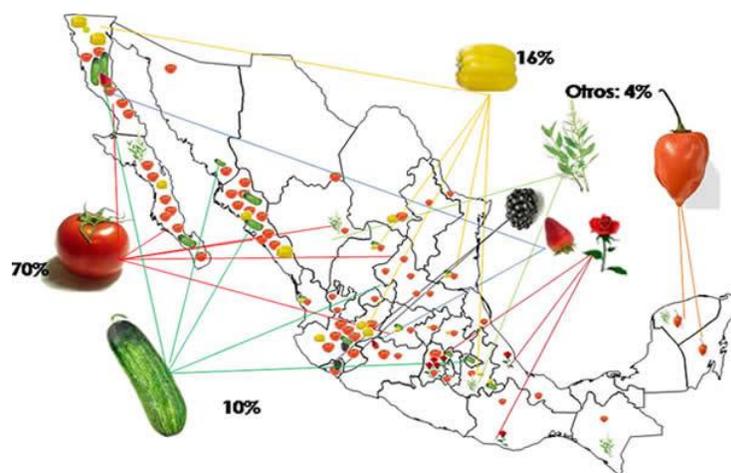


Figura 3.1. Cultivos de la agricultura protegida en México (SAGARPA, 2012)

El auge de la AP para la producción de jitomate ha originado inconvenientes, como la oferta por encima de la demanda de dicho vegetal en algunas temporadas, llevando a los agricultores a comercializar sus productos con un precio inferior a su costo de producción, por lo que es importante generar nuevas alternativas de aprovechamiento.

3.2.2 Invernadero

Existen diversos modelos, estructuras y materiales utilizados en la fabricación de invernaderos, la selección de dichos componentes dependerá principalmente del tipo de cultivo y la zona donde se requiera utilizar.

Principalmente se caracteriza por una estructura metálica cubierta por diversos materiales, como: vidrio, plásticos transparentes, placas de policarbonato, PVC ó acrílico (Moreno-Vargas, 2014). Los tipos más comunes de estructuras controladas para producir vegetales son los invernaderos, casas malla o casa sombra, microtúneles y macrotúneles (Santos *et al.*, 2010; Peralta, 2014)

Algunas de las características que se necesitan para la producción de jitomate en invernadero son:

- Ventilación cenital y lateral con malla anti-insectos.
- Altura mayor de 2 m en pilares laterales y no menor que 4 m en el centro.
- Capacidad aproximada de 70 kg m⁻².
- Plásticos que permitan el acceso de luz solar y que, en lo posible, aumenten la luz difusa.
- Capacidad de amortiguamiento de la temperatura y humedad relativa mediante el uso de sustratos con capacidad de retención de humedad y de nebulizadores para disminuir la temperatura e incrementar la humedad relativa.
- Ubicación norte-sur, sin embargo, queda en función de los vientos dominantes y la topografía.

Específicamente, las condiciones climáticas que se desean obtener para el óptimo desarrollo del jitomate son temperaturas menores a 30 °C durante el día y mayores de 15 °C durante la noche, así como una humedad relativa que no debe rebase el 80 % y

no debe sea inferior al 50 %. El desarrollo vegetativo del jitomate bajo invernadero de 80 a 90 días, edad donde se inicia la cosecha, y de acuerdo al manejo agronómico que se le dé, se puede extender hasta los 150 a 180 días (Perilla *et al.*, 2011).

3.2.3 Generalidades de la planta de jitomate

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), es una planta originaria de la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, aunque se considera a México como su centro de domesticación, posteriormente fue llevado a Europa por los conquistadores, de allí que los españoles y los portugueses propagaron el cultivo a Oriente Medio, África y otros países asiáticos (Monardes, 2009). En el Cuadro 3.1 se expone la taxonomía general del cultivo.

Cuadro 3.1. Taxonomía del cultivo de jitomate

Taxonomía del cultivo	
Clase	Dicotyledoneas
Orden	Solanales (Personatae)
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Solaneae
Género	Lycopersicon
Especie	esculentum

Fuente: Hunziker (1979).

Las plantas de jitomate pueden presentar dos tipos de hábitos de crecimiento, determinado e indeterminado. En ambos, el primer crecimiento de la planta favorece la formación de un área foliar importante, destinado en principio al proceso fotosintético, para responder a los requerimientos energéticos en los puntos de crecimiento de la planta, permitiendo obtener una producción competitiva con una buena calidad de frutos cosechados y vida productiva de la planta (Pilatti, 1997). Asimismo, dicha planta

crece en una gran diversidad de entornos ambientales: desde el nivel del mar hasta los 3300 metros de altura y tanto en zonas áridas de la costa del océano Pacífico y de las altiplanicies andinas, como en los valles de los ríos que drenan hacia el Pacífico (Peralta y Spooner, 2000).

Cuadro 3.2. Contenido nutrimental de jitomate (base 100 g).

COMPUESTO	CANTIDAD
Calorías	19 Kcal
Agua	94 %
Carbohidratos	4.3 g
Grasas	0.2 g
Proteínas	0.9 g
Fibra	0.5 g
Potasio	207 mg
Sodio	8 mg
Calcio	7 mg
Fósforo	23 mg
Hierro	0.5 mg
Vitamina A	1133 U.I.
Tiamina	0.06 mg
Riboflavina	0.05 mg
Niacina	0.6 mg
Ácido ascórbico	17.6 mg
Vitamina B ₆	17.6 mg
Licopeno	*186-649 mg

Fuente: Lorenz y Maynard (1988).

*Navarro-González y Periago (2016)

Además, la producción de jitomate en México es de gran importancia por su consumo en fresco, su empleo en la elaboración de diversas ensaladas, sopas, salsas y antojitos tradicionales, así como, la manufactura de productos procesados que derivan del mismo. Algunos de los productos fabricados a partir de este fruto han sido considerados como alimentos funcionales, ya que su composición química se relaciona con beneficios sobre la salud, por su alto contenido de licopeno y otros antioxidantes. En el Cuadro 3.2, se presenta el contenido nutrimental por cada 100 g de producto, donde se observa el contenido de diversos minerales y vitaminas necesarias para el óptimo desarrollo del organismo humano. Por otro lado, se tiene su importancia económica, ya que México se mantiene en los primeros lugares en exportación mundial, teniendo como principal destino EE.UU. (SFA-SAGARPA, 2010).

3.3 Comercialización de productos agrícolas en Puebla

La producción agrícola es un sector importante para la economía en el país, al igual que lo es para el estado de Puebla. El sector agroalimentario de Puebla aporta al producto interno bruto (PIB) nacional el 3.79 %, teniendo como los 10 principales productos agrícola, en cuanto a su valor de producción, al maíz grano, café cereza, jitomate, tuna, calabacita, sorgo grano, manzana, mandarina, cacahuete, aguacate, maguey pulquero y amaranto, ocupando el 12° lugar a nivel nacional. Se siembran en promedio 812 mil hectáreas con cultivos cíclicos y 161 mil con cultivos perennes, con una agricultura fundamentalmente de temporal, efectuada principalmente en el ciclo primavera-verano (COFUPRO, 2016).

El producto agrícola con el que se tiene mejor rendimiento es el jitomate, ya que en el estado tan solo se siembran 611.69 ha y se obtiene una producción de 75,219.09 toneladas, con un valor de 487,682.13 miles de pesos. Tecamachalco y Zacatlán son los dos distritos que aportan la mayor producción dentro del estado con un valor de 220,698.26 y 199,802.86 miles de peso, respectivamente (COFUPRO, 2016). Su destino de mercado es local y nacional, sin embargo cuando las exportaciones se detienen el precio se desploma, como consecuencia de que este producto satura el mercado nacional, afectando directamente a los agricultores (Briseño, 2017).

3.4 Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias químicas que se caracterizan por impedir o retrasar la oxidación de diversas sustancias (principalmente ácidos grasos) tanto en los alimentos como en el organismo humano; esto debido a que una molécula se reduce al reaccionar con la molécula a la cual oxida, dando paso a una molécula más estable por su estructura química (Rivera-Loja *et al.*, 2016). Los compuestos oxidados pueden provocar alteraciones fisiológicas importantes desencadenantes de diversas enfermedades, cobrando relevancia la función de los antioxidantes. Asimismo, los antioxidantes facilitan el uso fisiológico del oxígeno por parte de las mitocondrias celulares, ayudando a reducir los efectos del estrés oxidativo y la falta de oxígeno, formando complejos que mitigan las reacciones productoras de radicales libres y por consiguiente desempeñan una función fundamental en la prevención de las enfermedades crónicas degenerativas (Waliszewski & Blasco, 2010; Roque *et al.*, 2017).

De tal manera se sabe que los antioxidantes son nuestra primera línea de defensa contra los radicales libres, mismo que llegan a nuestro organismo por diversos alimentos, los cuales contienen ácidos grasos *trans*, entre otros. Asimismo, la contaminación del ambiente, el humo del cigarrillo, las drogas, las enfermedades, el estrés y el ejercicio pueden aumentar la exposición a los radicales libres (Vicenta-Paparella *et al.*, 2015)

3.4.1 Los carotenoides

Los carotenoides son terpenoides, compuestos de 40 átomos de carbono, derivados del fitoeno, los cuales se agrupan en carotenos (hidrocarburos) y xantófilas (sus derivados oxigenados). En ambos casos, son tetraterpenoides que se derivan biosintéticamente del ácido mavalónico y su estructura consiste en ocho unidades de isopreno. Para su biosíntesis, comparten las etapas iniciales con una gran variedad de isoprenoides y sus derivados: monoterpenos, sesquiterpenos, giberelinas y esteroides. El isopentenil pirofosfato (IPP) es el precursor de todos los isoprenoides, la biosíntesis de los carotenoides se muestra en la Figura 3.2 partiendo del Acetil-CoA. (Sánchez *et al.*,

1999). La estructura química de los carotenoides es un factor determinante de sus propiedades físicas, reactividad química y de sus funciones biológicas, los isómeros *trans* son muy inestables y fácilmente se isomerizan como isómero *cis*, cuando son expuestos al calor y a la luz (Khoo *et al.*, 2011).

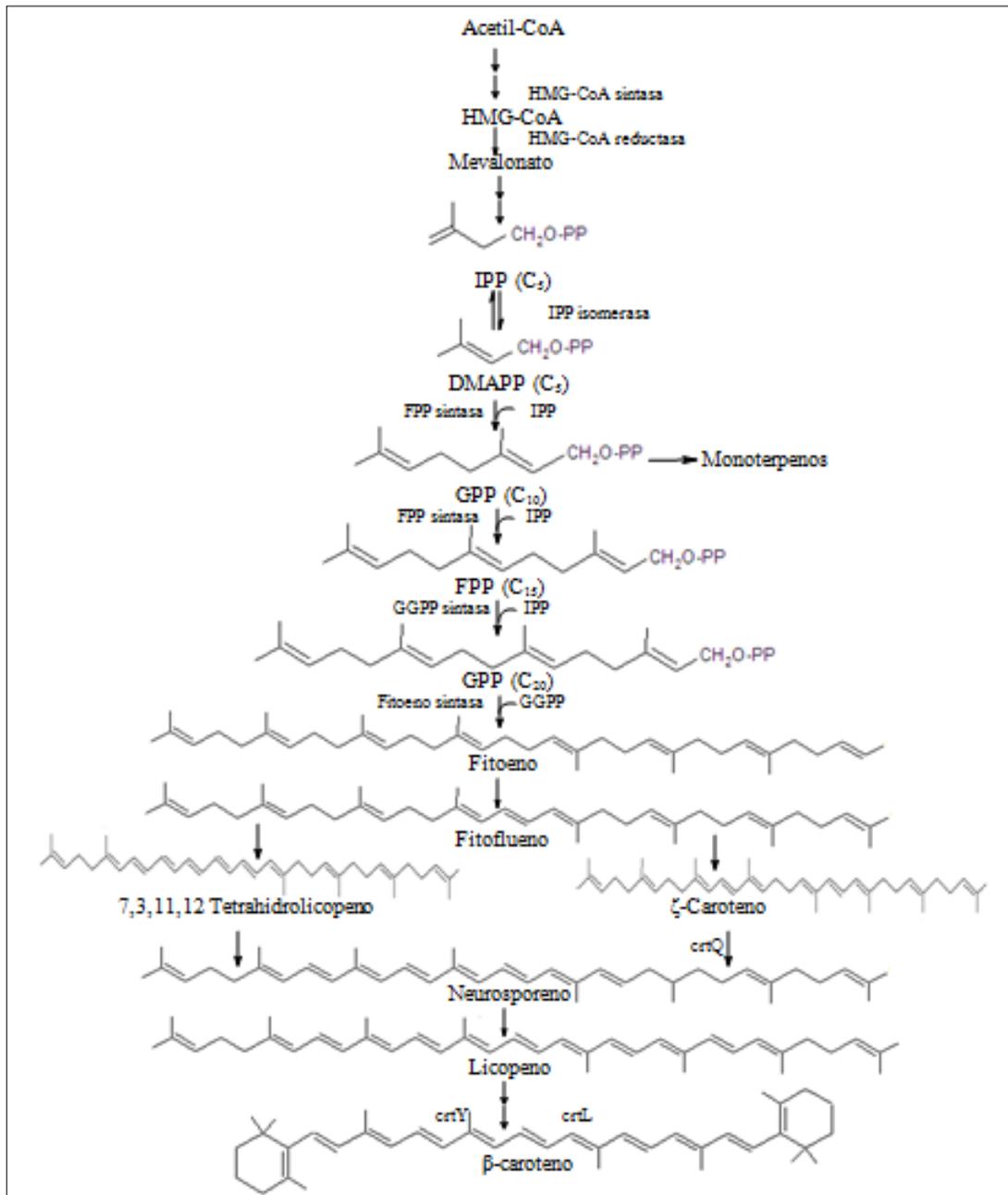


Figura 3.2 Biosíntesis de diversos carotenoides, comenzando con la biosíntesis de fitoeno por la vía del mevalonato (Sánchez *et al.*, 1999).

Los carotenoides son una familia de pigmentos orgánicos, responsables de coloraciones amarillas, naranjas y rojas, de un gran número de alimentos vegetales y animales, sin embargo, además de su contribución al color atractivo que éstas presentan, destaca su importancia a nivel fisiológico y dietético (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004; Peñaloza y Rojano, 2014). En las plantas, se encargan de captar la energía luminosa, misma que es transferida a las clorofilas y transformada durante la fotosíntesis.

Su importancia en la nutrición humana, se debe primordialmente a la actividad pro-vitamina A, que algunos carotenoides poseen y posteriormente, a los beneficios que se han documentado para la salud, por su capacidad antioxidante. Ya que una de las funciones más importantes de estos compuestos es proteger los tejidos celulares contra radicales libres oxigenados, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades degenerativas (Waliszewski y Blasco, 2010; Roque *et al.*, 2017). Los antioxidantes facilitan el uso fisiológico del oxígeno por parte de las mitocondrias celulares, ayudando a reducir los efectos del estrés oxidativo y la falta de oxígeno, formando complejos que mitigan las reacciones productoras de radicales libres (Zamora, 2007; Gavidia-Valencia, 2016).

3.4.2 Licopeno

El licopeno pertenece al grupo de los carotenoides, es un pigmento rojo que se produce naturalmente en ciertas frutas, verduras, algas, y hongos. Los jitomates son las principales fuentes de licopeno natural en la dieta humana. Otras importantes fuentes de licopeno incluyen sandía, lima rosa, rosa guayaba, papaya y los chabacanos. Este compuesto (Figura 3.3), es un carotenoide acíclico con una cadena alifática formada por cuarenta átomos de carbono, con trece dobles enlaces de los cuales once son conjugados que le confieren la particularidad de ser muy reactivo frente al oxígeno y a los radicales libres (Levy y Sharoni, 2004, Vitale *et al.*, 2010; Ranveer *et al.*, 2015).

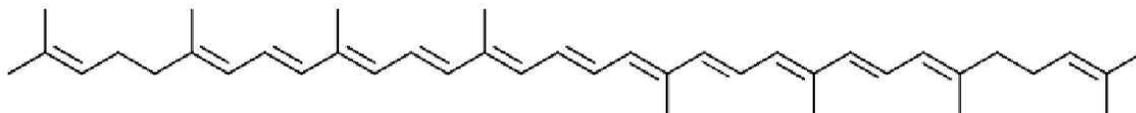


Figura 3.3. Estructura química del licopeno (Vitale *et al.*, 2010)

Asimismo, el licopeno es reconocido por sus propiedades fitoquímicas, las cuales tienen un efecto potencial sobre la salud en función a sus cualidades biológicas, protegiendo los tejidos celulares contra radicales libres oxigenados, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades degenerativas (Pema *et al.*, 2015). La relación que existe entre la dieta y la salud es conocida desde hace muchos años, Hipócrates presentó la frase “deja que la alimentación sea tu medicina y que la medicina sea tu alimentación” (Escobar y Agrimbau, 2007; Rojas-Jiménez *et al.*, 2015). Uno de los alimentos que contiene un alto contenido de licopeno en la dieta diaria es el jitomate, este compuesto puede presentarse como un isómero *cis* o *trans*, aunque su forma en el reino vegetal es la configuración *trans* (Periago *et al.*, 2008; Cruz-Bojórquez, 2013). De igual forma el contenido de licopeno y de otros carotenoides contenidos en jitomate, varían en función de muchos factores como son la variedad, condiciones agronómicas, estado de madurez, procesado etc. (Navarro-González y Periago, 2016). Luna-Guevara (2012), observó un efecto significativo del contenido de compuestos antioxidantes, dependiendo de la zona de muestreo en el invernadero (entrada, centro y parte posterior), donde los mayores contenidos se presentaron en la entrada y en la parte posterior de los invernaderos debido a la incidencia de la luz en frutos.

3.4.3 Factores que afectan el contenido de compuestos antioxidantes en jitomate.

El alto grado de insaturación que presenta la estructura de los compuestos antioxidantes, los hace fácilmente oxidables y susceptibles a diversos factores como cambios de temperaturas, exposición a la luz, al oxígeno y a pH extremos (Nguyen y Schwartz, 1999; Martínez-Hernández *et al.*, 2016). La degradación de los compuestos antioxidantes, como el licopeno, no solo afecta el atractivo color de los productos finales, sino también su valor nutrimental y su biodisponibilidad. Por ello, en jitomates

frescos la configuración predominante que encontramos es *all-trans*-licopeno, sin embargo, durante tratamientos térmicos (calentamiento, cocción, secado) utilizados en la elaboración de productos procesados del jitomate, se ha observado una isomerización de *tras* a *cis*. Esta isomerización de carotenoides puede tener lugar en relación con la exposición de tiempo-temperatura al que sean sometidos; por otra parte, las características del almacenamiento puede ser otra causa importante en la degradación de los carotenoides (Cooperstone *et al.*, 2016). Otro de los factores en los que influye el procesamiento de alimentos del jitomate, es la biodisponibilidad del licopeno, esta puede mejorar debido al rompimiento de las paredes celulares, lo que debilita la fuerza de unión entre el licopeno y la matriz del tejido, aumentando el área superficial disponible para la digestión (Xianquan *et al.*, 2005).

3.4.5 La microencapsulación como método de conservación de compuestos antioxidantes

La encapsulación es uno de los métodos más recientemente utilizados para disminuir la susceptibilidad de los compuestos antioxidantes a cambios de temperaturas, exposición a la luz, entre otros, sirviendo así como método de conservación de dichos compuestos (Chew y Nyam, 2016). Este método se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa, el mecanismo de protección es formar una membrana (sistema de pared), mediante componentes hidrofóbicos y/o hidrofílicos, que envuelva a las partículas o gotas del material que se desea preservar (Shu, *et al.*, 2006; Araneda y Valenzuela, 2009; Keshari *et al.*, 2016).

Así, es posible encontrar que los procesos de encapsulación, pueden ser químicos o mecánicos. Dentro del grupo de los procesos químicos, se encuentran las técnicas de coacervación, co-cristalización, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento por liposomas e inclusión molecular. Por otra parte, dentro de los procesos mecánicos están las técnicas de secado por aspersión, secado por congelamiento/enfriamiento y extrusión, cabe señalar que el secado por aspersión es una de las técnicas más comunes y económicas (Champagne y Fustier,

2007; Keshari *et al.*, 2016).

La microencapsulación se ha utilizado con éxito en la industria de los alimentos para proteger las sustancias que son sensibles a la temperatura, la luz, el oxígeno y la humedad, suspendiendo el deterioro, la pérdida de componentes volátiles, la interacción prematura con otros compuestos, manteniendo su estabilidad y viabilidad. Asimismo, esta técnica ha sido exitosamente utilizada para mejorar la sobrevivencia de microorganismos en los productos lácteos (Desai y Park, 2005; Kailasapathy, 2006; Sandoval-Peraza *et al.*, 2017).

Algunos de los agentes utilizados para la encapsulación son polisacáridos, destacando el almidón, la maltodextrina, el jarabe de maíz, la goma arábica, el agar, las fibras y la carbometilcelulosa; lípidos como ácido esteárico, mono y diglicéridos y lecitinas y proteínas como la gelatina, caseína, lactosuero, soya, trigo (Parra-Huerta, 2010; Sandoval-Peraza *et al.*, 2017). La principal alternativa empleada para mantener la estabilidad de los carotenoides y permitir su incorporación en ambientes hidrofílicos, es la técnica de microencapsulación mediante secado por aspersion, obteniendo mejores resultados cuando se utiliza principalmente la goma arábica y maltodextrina, goma arábica y sucralosa (Larroza y Zerlotti, 2007; Aguilar-Rocha *et al.*, 2012; Mishra *et al.*, 2014).

IV. LA AGRICULTURA PROTEGIDA COMO ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN MINIFUNDIO

RESUMEN

La investigación se realizó durante el 2015, con el cultivo de jitomate bajo Agricultura Protegida (AP) en Aquixtla, Puebla. Esta surge como una alternativa para generar una actividad productiva en la región e incrementar el aprovechamiento de las pequeñas superficies (minifundio). Se aplicaron cuestionarios, abarcando aspectos socioeconómicos, desarrollo de la agricultura en invernadero, características del sistema de producción y comercialización del fruto, con el fin de caracterizar el sistema de producción de jitomate producido en condiciones de AP, así como conocer el precio y los mercados de destino del fruto. Se encontró que la adopción de producir jitomate bajo AP comenzó en el año 2000 y que actualmente el 88.9 % de los agricultores utiliza el fertirrigación como sistema de producción, empleando en mayor proporción (90.1%) el jitomate tipo saladette, principalmente utilizando la variedad Reserva. Los mercados de destino del fruto son mercados locales y nacionales (43.8% y 56.3%, respectivamente), donde se presenta que el precio del jitomate tiene un alto grado de variación y en temporadas se encuentra cercano al costo de producción (\$3-4 kg).

Palabra clave: Cambio climático, producción de jitomate, precio de jitomate.

ABSTRACT

The research was carried during 2015, with tomato under Protected Agriculture in Aquixtla, Puebla. This is an alternative to generate a productive activity in the region and increase the use of small areas (smallholdings). Questionnaires were applied, incorporating socio-economic factors, development of agriculture in greenhouses, characteristics of the production system and marketing of the product. In order to characterize the production system of tomato grown under AP conditions, as well as to

know the price and the destination markets of the fruit. It was found that the adoption of tomato production under AP began in 2000 and 88.9% of the farmers now use the irrigation as a production system, using tomato saladette type in higher proportion (90.1%), mainly using Reserva variety. The principal markets for the fruit are local and national (43.8% and 56.3%, respectively), where the price of tomato has a high variation and in some seasons it gets close to the cost of production (\$ 3-4 kg).

Keyword: Climate change, tomato production, price of tomatoes.

4.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los problemas más importantes que se presentan sobre la tierra, es el cambio climático. Este fue considerado en la Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992 como "Un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables" (SAGARPA, 2012a). El cambio climático es causado principalmente por la quema de combustibles fósiles y la deforestación, teniendo como consecuencia la excesiva emisión de gases de efecto invernadero, lo cual trae como consecuencia el aumento de la temperatura promedio del planeta, afectando el ciclo del agua, las frecuencias de los fenómenos climatológicos y haciendo más catastróficos los desastres naturales (SEMARNAT, 2009; Ponce-Cruz y Cantú-Martínez, 2012; Ruiz-Corral *et al.*, 2016)

México tiene características geográficas que lo hacen vulnerable a los efectos del cambio climático, asimismo, se encuentra ya entre los 20 países con mayor emisiones de gases de efecto invernadero y se estima que entre 2020 y 2050 los estados que pueden resentir mayores incrementos en sus temperaturas medias serán Guanajuato, Estado de México, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz (Martínez *et al.*, 2004; SAGARPA, 2012a).

Esta crisis climática representa en general una amenaza para la vida del planeta, donde la agricultura es una de las principales actividades, esta actividad es muy delicada ante esta problemática ya que depende directamente de las condiciones climatológicas para su óptimo desarrollo y productividad (Martínez y Fernández, 2004; Nelson *et al.*, 2014).

Por lo anterior es de primordial importancia buscar alternativas de producción agrícola. El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 del Gobierno de la República incluye diversas estrategias para la lucha contra el cambio climático y asegurar la producción agrícola, dentro del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 se incluye; tecnificar superficies agrícolas mediante riego y agricultura protegida para reducir la vulnerabilidad climática y aumentar la seguridad alimentaria (Gobierno de México, 2013). De esta manera, la AP surge como una tecnología que logre evadir la problemática que el medio impone para la producción de alimentos.

La AP es un sistema de producción realizado bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar las restricciones que el medio ambiente impone para el óptimo desarrollo de las plantas cultivadas (Moreno-Reséndez *et al.*, 2011; Padilla-Bernal *et al.*, 2015). México ha ido adoptando esta tecnología, para lograr los beneficios mencionados y contribuir al sustento y fomento del desarrollo agroindustrial, con la consiguiente generación de empleos, la captación de divisas, la seguridad alimentaria y con ello una vida más digna entre la gente del medio rural (Juárez-López *et al.*, 2012; Medina-Saavedra *et al.*, 2017). Dentro de la AP se emplean distintos sistemas de producción. Según Devé (2005), un sistema de producción se integra por suelo, agua, recursos genéticos, insumos (tecnologías y herramientas agrícolas), mano de obra, capital fijo (edificios, medios de transporte y las maquinarias para la producción, transformación y comercialización), capital de trabajo y conocimientos (asistencia técnica, educación, cultura tradicional y capacitación).

Los cultivos más importantes que se producen bajo AP en México son el jitomate (70%), el pimiento (16%) y el pepino (10%), además, últimamente se ha intensificado la diversificación de cultivos con la papaya, la fresa, el chile habanero, las flores y plantas

aromáticas (SAGARPA, 2012b; de-Anda y Shear, 2017). En los últimos años, México se ha disputado el primer lugar en exportación de jitomate, para el año 2010 nuestro país se encontraba en el segundo lugar según lo reportado por SAGARPA (2010), y en 2014, la SHCP reportó que México ocupó el primer lugar en exportación, destinado principalmente a Estados Unidos, por tal motivo se considera al jitomate como un cultivo de gran importancia socioeconómica para el país.

Los principales estados en los que se cultiva el jitomate son Baja California Sur, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Sonora y Zacatecas (Molina y Córdova, 2006; de-Anda y Shear, 2017). Particularmente, en el estado de Puebla el Anuario Estadístico y Geográfico de Puebla (INEGI, 2014) reporta que Aquixtla cuenta con el mayor volumen de producción de jitomate dentro del estado.

De esta manera, se observa que la producción, comercialización y consumo del jitomate, al igual que ocurre con otros productos agrícolas, experimentan cambios con el tiempo, causados por diversas variables económicas y por innovaciones tecnológicas. Específicamente en la región de Aquixtla se han presentado diversos cambios en la tecnología empleada para la producción de jitomate, con el afán de obtener mejores rendimientos y rentabilidad, por lo que es necesario conocer cómo la tecnología relacionada con la AP resulta ser un componente imprescindible para el desarrollo minifundista de la región, de allí la necesidad de caracterizar el sistema de producción empleado actualmente en Aquixtla, donde predominan las pequeñas superficies, con suelos pobres y pendientes diversas, así como conocer el precio y los principales mercados de destino. Durante las últimas décadas, se ha observado un mayor dinamismo en la producción y comercialización de hortalizas, originado por los cambios en la oferta y la demanda, tanto a nivel nacional como internacional (Macías-Macías, 2010; de Leon-Aria, 2016), por lo que es necesario recopilar información de los cambios en el mercado regional.

La característica principal que define al minifundio es la extensión de la superficie de la propiedad agraria, la cual debe ser menos o igual a cinco hectáreas. Asimismo, según Gordillo, citado por Ortega-Hernández *et al.* (2010), el concepto de minifundio tiene

pertinencia en el sentido de que permite delimitar un estado particular en el cual se encuentra distribuido un medio de producción y puede ser considerado por un predio o un conjunto de predios. Por su parte, García-Toral (2009) menciona que el minifundio mexicano puede definirse como aquella unidad de producción propia de la economía campesina que puede ser privada o ejidal, caracterizada básicamente por la insuficiente dotación de los factores de la producción, tierra y capital.

La pequeña superficie que caracteriza al minifundio es considerada como un problema para el desarrollo del campo en nuestro país y la posibilidad de constituir una unidad productiva que se vuelve aún más difícil cuando existe el fraccionamiento de la parcela (Artís-Espriu, 1997; González-Estrada, 2016). La dimensión impide al agricultor obtener una producción suficiente para la comercialización de los cultivos, por lo que es considerada como agricultura de subsistencia, además, para algunos autores, como Ferrás-Sexto, citado por Morales (2011), el minifundio es una pequeña propiedad agraria incapaz de asegurar el sustento básico para todos los miembros de la unidad familiar.

En nuestro país, el minifundio representa cerca del 80% de los productores agrícolas, (SAGARPA, 2013), donde, los estados en los que se reporta un minifundio extremo son México, Hidalgo, Tlaxcala, Morelos y Puebla. Por tal motivo, es importante adoptar distintas alternativas que ayuden a incrementar la producción alimentaria, además, se estima que para el año 2050, será necesario satisfacer la demanda de alimentos de más de 9 mil millones de personas, por lo que la producción tendrá que duplicarse en las siguientes décadas (FAO, 2009; de-Ancos *et al.*, 2016), así pues, con la implementación de producción bajo AP se pueden obtener beneficios como el ahorro de agua, producción todo el año, incremento del rendimiento hasta en cinco veces, en el caso del jitomate se tiene una producción promedio 40 - 60 ton ha⁻¹ reportados a campo abierto y de hasta 600 ton ha⁻¹ en AP, cuando se produce en invernaderos de alta tecnología (de-Anda y Shear, 2017).

4.2 METODOLOGÍA

La investigación se realizó en la región de Aquixtla, Puebla, ubicada en las coordenadas geográficas 19°47'52" LN; 97°53'11" LO, dentro de la sierra norte del estado de Puebla, el municipio cuenta con una extensión de 190.09 km², el cual ocupa el 0.5% de la superficie total del estado, las altitudes varían entre 1940 y 2900 m, cuenta con 23 localidades y una población de 8768 habitantes, de los cuales 4329 son hombres y 4439 son mujeres, con una edad media de 24 años (INEGI, 2014; CEIGEP, 2017). Se encuentra dentro de la zona identificada con un clima templado subhúmedo, el cual conforma 35% del total del estado, con temperatura media anual entre los 12 y 18 °C, la temperatura del mes más frío varía entre -3 y 18°C, la precipitación entre 600 - 900 mm (INEGI, 2009). Limita al norte con Zacatlán, al Sur con Ixtacamaxtitlán, al Oeste con Tetela de Ocampo y al Poniente con Chignahuapan.

La producción en invernadero se ha modificado a través del tiempo, por lo que es necesario realizar la caracterización del sistema de producción que se utiliza actualmente bajo condiciones de AP en la región. Para ello fue necesario obtener información con base en entrevistas directas a informantes clave, como el Director de Desarrollo Rural (Martín Ávila Martínez) del municipio de Aquixtla y los productores Alberto Nava Ruano, Leonel Méndez Rivera y Norberto Zamora Sosa, pioneros de la producción de jitomate en invernadero. De igual forma, se obtuvo la información sobre el padrón de productores de jitomate en invernadero del municipio y se calculó el tamaño de muestra para la realización del estudio, siguiendo la Ecuación 1 (Martínez, 2002). El tamaño de muestra fue de 72, por lo que se aplicó ese número total de cuestionarios, los cuales se distribuyeron proporcionalmente en las localidades de Tlaltempa, Tonalapa, Tlacomulco, Tlalcuitlapan, La Loma, San Alfonso, San Vicente, Chichicaxtla, Cuautieco, Buena Vista de las Palmas, Aquixtla y Atexcac

$$n = \frac{N * Z^2 * p (1-p)}{(N-1) * e^2 + Z^2 * p (1-p)} \quad \text{Eq (1)}$$

Dónde: n = Tamaño de muestra, N = Tamaño de la población (150), Z = Desviación del valor medio para determinar el intervalo de confianza (98% = 2.33), e = El margen de error máximo admitido (8%), p = Probabilidad de éxito (0.5).

Se elaboró un cuestionario (Anexo) que abarcó aspectos socioeconómicos y se dividió en cuatro secciones que fueron: características de los productores, crecimiento de la AP en la región, características del sistema de producción y comercialización del fruto, dichos apartados incluyen variables socio demográficas, origen y tipos de jitomate que se cultiva, características de producción, características de invernaderos, rendimiento, destino de mercado, precio de venta y rentabilidad. Antes de su aplicación, esta herramienta se validó en campo con los productores de la región, esto sirvió para verificar que las preguntas fueran claras y precisas para recopilar la información lo más verídica posible y que sirvieran para cumplir con los objetivos de la investigación.

El análisis estadístico de la base de datos, donde a cada variable se le asignó un código, se ejecutó mediante el programa Statistical Package for the Social Sciences SPSS versión 20.0 para Windows (SPSS Inc. Chicago IL, EUA).

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Características de los productores

4.3.1.1 Edad

Los productores de jitomate en invernadero del municipio de Aquixtla se caracterizan por ser personas de mediana edad; 49% de ellos se encuentra entre los 45 y 64 años, lo que concuerda con la media nacional de 49 años para los trabajadores independientes del sector agropecuario, de acuerdo a lo reportado por la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares en el Módulo de Condiciones Socioeconómicas (MCS, 2014), seguida por 33% el rango de adultos jóvenes (25-44 años), posteriormente está el rango de adultos mayores (de 65 años o más) con un 15% y finalmente los jóvenes, aquellos productores menores de 25 años de edad, que representan el 3%, donde la media de edad resultó ser de 51 años.

4.3.1.2 Educación

La media de escolaridad en la región es de 8.8 años, la cual se encuentra por debajo de la media nacional (9.1 años) y por encima de la media estatal de 7.9 años (INEGI, 2013; INEGI, 2015). De los entrevistados, 42% cuenta con nivel de primaria, 32% con secundaria, 11% con bachillerato y 14% con licenciatura. Se encontró que existe una correlación significativa ($p \leq 0.01$) entre localidad y escolaridad. Los productores de Atexcac, Cuautieco y Aquixtla resaltan como las localidades con mayor nivel educativo y los de La Loma, junto con Tlacuitlapa son los productores con menor escolaridad.

4.3.1.3 Actividad económica

La mayoría de los productores en invernadero actuales (79%) se han dedicado a la agricultura desde antes de la adopción de esta tecnología, muchos de ellos comenzaron desde temprana edad a trabajar en el campo. La variable edad y los años que se han dedicado a la agricultura tienen una correlación significativa ($p \leq 0.01$), es decir que las personas con mayor edad, tienen más años realizando esta actividad. En cuanto a los años que llevan produciendo en invernadero no existe correlación alguna, ya que se tiene agricultores de edades avanzadas que tienen pocos años de haber comenzado con la producción en invernadero y viceversa. Actualmente, 80.6% de los productores en invernadero han decidido adoptar ésta como su principal actividad económica, dedicando entre 3.43 y 12 horas diarias, con una mediana general de 56 horas por semana. No obstante, casi la mitad de ellos continúan con trabajos alternativos, como son la producción a cielo abierto (maíz, frijol, chile), la ganadería y el comercio. En general las actividades agropecuarias destacan como la principal actividad económica en la región, donde, solo 5% corresponde a actividades agrícolas realizadas en condiciones de AP, la cual se inscribe dentro del sector primario (SCT, 2011), el resto de la población produce otros cultivos como ajo, ebo, haba, frijol, maíz, alfalfa, avena forrajera, cebada, papa y manzana, por su parte, en cuanto a ganadería la región se dedica a la producción de carne en canal de bovino, porcino, ovino y caprino (INEGI, 2014).

4.3.2 Desarrollo de la Agricultura Protegida

En el periodo de 2001-2007, SAGARPA con sus diversos programas de apoyo a la AP, favoreció 6,074 proyectos con 50,806 beneficiarios, con una inversión de 2,045.6 millones de pesos. De igual forma, en el estado de Puebla se ha promovido la instalación de invernaderos como una alternativa de desarrollo agrícola (Moreno-Reséndez *et al.*, 2011; Ortega-Martínez *et al.*, 2014). Asimismo, dentro de los agricultores encuestados, el 63% ha recibido algún tipo de apoyo o financiamiento para producir en invernadero, entre las instituciones involucradas en el apoyo a productores se encontró a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla (SDR), Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), entre otras. Es importante destacar que actualmente se siguen ofertando apoyos de diversas dependencias para el equipamiento e infraestructura de AP (FIRA, 2013; SAGARPA, 2015), lo cual continúa impulsando el crecimiento y la ampliación de la superficie cultivada en invernadero, aunque actualmente existen productores que ya son capaces de solventar la inversión de la expansión de la superficie de sus invernaderos.

En la región de Aquixtla, los comienzos de la producción en invernadero tienen más de una década, los resultados obtenidos reflejan un comienzo con la producción en invernadero desde el año 2000, siendo el jitomate la hortaliza con la cual han incursionado en esta técnica, en cuanto el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) solo contiene datos de producción de jitomate en Aquixtla a partir del año 2012. En términos teóricos, la disposición de tomar el riesgo y aceptar una tecnología distinta, se presume que se vio favorecida por el hecho de que la mayoría de los productores actualmente se encuentra en un rango de edad entre los 25 y 64 años, considerándolos como adultos jóvenes y de mediana edad. La variable edad y escolaridad han demostrado ser determinante para la adopción de tecnología en otros cultivos y productos (Damián *et al.*, 2007; Baltazar-Brenes *et al.*, 2011; Hernández Morales *et al.*, 2013). Además, se tiene un mayor incremento en el número de productores que adoptaron esta tecnología en los años 2004 y 2007, se presume que

los beneficios obtenidos de los diversos apoyos fungió un papel importante para obtener este resultado. Además, estos productores también aportaron una inversión propia, clasificándolos en baja (30-50%), mediana (51-71%) y alta inversión (72-92%). Se detectó que 41% tuvo una baja inversión propia, 38% una media y 22% una inversión alta, cabe señalar que dentro de esta clasificación no se encuentran aquellos productores que mencionan haber invertido el 100% del costo total, asimismo, los productores encuestados afirman que el costo de la inversión por cada mil metros va desde 120 mil hasta 500 mil pesos, dependiendo del nivel tecnológico.

Un factor que muestra una correlación positiva y significativa ($p \leq 0,01$) con los años que llevan los productores de la región produciendo bajo AP, es la extensión de sus invernaderos, lo que deja ver que los productores más antiguos tienen las mayores extensiones. Por lo que se estima que al paso de los años los productores van incrementado el número de naves de invernaderos y con ello su extensión total; de esta forma se obtiene que 1.4% tiene invernaderos con una extensión menor a 500 m²; 34.7% cuentan con invernaderos de 1000 m², predominan los invernaderos con una extensión entre 2000-3000 m² (36.1%) y con extensiones mayores a 3000 m² el 27.8%. Se observa que todos los agricultores utilizan extensiones de tierra pequeñas que son consideradas como minifundio, incluso los productores que cuentan con más de una nave de producción, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento de las pequeñas parcelas.

4.3.2.1 Sistema de producción del cultivo de jitomate

En cuanto al sistema de producción se encontró diferencia en comparación con lo reportado por Luna-Guevara (2011), ya que expresó una relación hidroponia/fertirrigación de 26.2 vs 73.8%, respectivamente, por lo que se observa que la producción en hidroponia ha disminuido a tan solo 8.3%, debido principalmente al alto costo de los fertilizante y a lo complicado de la tecnología (Cuadro 4.2). También, se encontró que los genotipos de semilla que más utilizan los productores actualmente en la región son distintos, durante los últimos cinco años, 47.1% de los productores encuestados han empleado tanto híbridos como variedades, pero los resultados

muestran que se han empleado con mucha más frecuencia cultivares híbridos. En el Cuadro 4.1 se representan en orden decreciente los genotipos que los productores han empleado mayormente durante este periodo de tiempo, donde el híbrido Reserva® de la casa comercial Vilmorin ha prevalecido y se ha utilizado con mayor frecuencia.

Cuadro 4.1. Cultivares de jitomate saladette mayormente utilizados en la región de Aquixtla.

NOMBRE	GENOTIPO	CASA COMERCIAL	HÁBITO DE CRECIMIENTO	PRODUCTORES
Reserva	Híbrido	Vilmorin	Indeterminado	36.5 %
SUN 7705	Híbrido	Nunhems	Indeterminado	16.1 %
V305	Híbrido	Vilmorin	Indeterminado	10.2 %
Córdoba	Híbrido	Premierseeds	Indeterminado	8.8 %
Aguila	Híbrido	Ahern/bhn	Indeterminado	8.0 %
Cid	Híbrido	Harris moran	Indeterminado	6.6 %
Ramsés	Híbrido	Harris moran	Indeterminado	5.8 %
Rafaello	Variedad	Ahern/BHN	Indeterminado	2.9 %
Raptor	Híbrido	Ahern/BHN	Indeterminado	2.9 %
Granada	Híbrido	Premierseeds	Indeterminado	2.2 %

Fuente: Elaboración propia basada en Vázquez *et al.*, (2012); Rosas-Cabrera *et al.*, (2014); Martínez-Gallardo *et al.*, (2015) e información proporcionada por casas comerciales.

En el Cuadro 4.2, se muestran las características que se encontraron sobre la producción de jitomate en la región de Aquixtla, siendo este cultivo el único producido bajo AP en la región. Con respecto a los tipos de jitomate, se sabe que son tres principales aquellos producidos en el país, con mayor distribución se tiene al jitomate

saladette, el cual representa 56% del total, en segundo lugar se halla el tipo bola que alcanza 14% y por último el de mayor exportación, el tipo cherry, enfocado su destino a Estados Unidos, Canadá y Japón (Avendaño-Ruiz, 2008; SAGARPA, 2010; INEGI; 2013). Esta distribución no se ve reflejada en la región de Aquixtla, ya que sus productores se han enfocado únicamente en el tipo bola y el saladette. El 90.1% cultiva saladette y el resto divide parte de su extensión para ambos tipos de jitomate, esto se debe principalmente a las preferencia de los mercados locales y/o nacionales, ya que es ahí donde se centra el destino de su cosecha.

Los productores utilizan híbridos con habito de crecimiento indeterminado y los trabajan en una proporción similar entre ciclo largo y ciclo corto, cubren principalmente los meses de Febrero a Noviembre, algunos continúan hasta Diciembre dependiendo de las condiciones climatológicas, ya que la mayoría no cuenta con la tecnificación suficiente para mantener la temperatura óptima de crecimiento durante los meses invernales (SEMARNAT, 2007). Existen casos aislados donde se arriesgan a cubrir estos meses ampliando el fin del ciclo o comenzando antes, los productores que realizan esta práctica son principalmente aquellos con superficies mayores o mayor número de invernaderos, que tienen la oportunidad de dividir su extensión total para sembrar en diferentes fechas. Cuando se trabajan dos ciclos al año, los productores dejan a la planta llegar a una media de 8.81 ± 1.22 racimos y cuando optan por ciclo largo se alcanza una media de 20.95 ± 3.72 racimos.

Con relación a riego, se encontró que todos utilizan solución nutritiva para lograr el óptimo desarrollo del cultivo (Cuadro 4.2), además, algunos de los productores (45.8%) realizan riegos alternados con agua. La solución nutritiva es el agua con nutrientes minerales esenciales disueltos en ella y en el caso de jitomate se compone por Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Sulfatos, Fierro, Manganeso, Cobre, Zinc, Molibdeno y Boro (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2009; Cruz *et al.* 2012). Sin embargo, la cantidad de nutrientes adicionados dependen principalmente de factores como calidad del agua, calidad del suelo y etapa de desarrollo de la planta. Los productores encuestados externaron que la decisión del número de riegos que se deben efectuar en

un día, dependen de variables como la temperatura, la humedad en el suelo y/o el clima, este se realiza a través del sistema de riego en cintilla o espagueti.

En cuanto al rendimiento, se encontró que una producción óptima en invernadero puede alcanzar volumen muy por encima de los que se tienen con la producción a cielo abierto, incluso mayor a 300 ton ha^{-1} , lo que favorece el aprovechamiento de pequeñas extensiones de tierra, denominadas minifundio. FIRA (2007) reportó que en México se tenía un rendimiento promedio de jitomate producido en invernadero de 160 ton ha^{-1} en el año 2007; al igual que en el 2014 el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera reporta que el promedio de producción del país es de $161.6 \text{ ton ha}^{-1}$. La media en el estado de Puebla es de $124.9 \text{ ton ha}^{-1}$ y en el distrito de Zacatlán, al cual pertenece el municipio de Aquixtla, se tienen rendimientos por encima de la media con $194.67 \text{ ton ha}^{-1}$ (COFUPRO, 2016). Estos aún se encuentran muy por debajo de la producción en invernadero en países como Estados Unidos y Canadá, donde se encuentran rendimientos de 480 y 487 ton ha^{-1} , respectivamente (FIRA, 2007). En Aquixtla los productores consiguen rendimientos variados los cuales se presentan en el Cuadro 4.2.

Los invernaderos de baja tecnología se distinguen por disponer únicamente de un manejo manual, no presentan ningún equipo, emplean tecnologías simples similares a las utilizadas en la producción a cielo abierto; por su parte, dentro del grupo de los invernaderos de tecnología media, se encuentran los que tiene un manejo manual pero ya cuenta con motores, equipo mecánico, calefactores, riego programado y pueden estar en suelo o hidroponia; mientras que los invernaderos de alta tecnología, se caracterizan por tener instalaciones automatizadas para el control del clima, riego, inyecciones de CO_2 , etc., requieren de sensores y dispositivos que operan los sistemas de riego y ventilación, pantallas térmicas para el control de la iluminación y utilizan hidroponia como sistema de producción (Bastida, 2008; Padila-Bernal *et al.*, 2010; de Anda y Shear, 2017).

Cuadro 4.2. Características del sistema de producción en la Región de Aquixtla, Puebla.

Características de producción		Datos recabados de los productores
	Fertirrigación	88.9%
Sistema de producción	Hidropónico	8.30%
	Ambas técnicas	2.80%
Tipo de jitomate	Saladette	90.1%
	Saladette/bola	9.90%
Densidad de plantas		4.10 ± 0.84 plantas m ⁻²
Ciclos de siembra al año	2 ciclos	41.4%
	1 ciclo	42.9%
Número de racimos	2 ciclos	20.95 ± 3.72
	1 ciclo	8.81 ± 1.22
Meses de cultivo	2 ciclos	Marzo-Noviembre/Diciembre
		Febrero-Junio
	1 ciclo	Agosto-Noviembre/Diciembre
Riego	Solución Nutritiva	52.8%
	Agua/Solución Nutritiva	45.8%
Rendimiento	70-150 ton ha ⁻¹	29.0%
	160-240 ton ha ⁻¹	27.4%
	250-330 ton ha ⁻¹	22.6%
	340-420 ton ha ⁻¹	11.3%
	430-510 ton ha ⁻¹	11.3%

Fuente: Elaboración propia con datos recabados con los productores de la región.

Cuadro 4.3. Características de los invernaderos en Aquixtla, representadas en porcentaje.

Característica	Porcentaje de invernaderos que cumplen con la especificación	
Orientación del invernadero	Dirección del viento	46.5
	Captación de sol	9.3
	Recomendación	2.3
	Terreno	23.3
	No sabe	18.6
Control del clima dentro del invernadero	Manejo de Cortinas	35.4
	Manejo de Cortinas/Fogones	21.5
	Manejo de Cortinas/Calefacción de gas	20
	Manejo de Cortinas/Riego	6.2
	Manejo de Cortinas/Calefacción de gas/Fogones	12.3
	Manejo de Cortinas/Calefacción de gas/Riego	1.5
	Manejo de Cortinas/Riego/Fogones	1.5
	Manejo de Cortinas/ Calefacción de gas/Riego/Fogones	1.5

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de campo y análisis de resultados.

Hay factores que interviene directamente con el desarrollo del cultivo, como la temperatura, la penetración de luz al invernadero, la ventilación y humedad (Daza-Castro *et al.*, 2014), por tal motivo se debe tomar en cuenta factores como su orientación (Cuadro 4.3). Dentro de los productores encuestados, la mayoría (46.5%) basó la orientación de sus invernaderos tomando en cuenta la dirección del viento, favoreciendo la ventilación, junto con la ventaja de poder combinar las ventanas

laterales con la cenital, logrando la ventilación necesaria, tal como lo reporta Montero (2000). No obstante, un alto porcentaje (23.3%) basó su orientación en la forma del terreno, lo cual no es recomendable ya que limita la ventilación y con ello se impide disminuir la temperatura en temporadas de calor. Asimismo, la temperatura y luminosidad son factores importantes que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Zapata *et al.*, 2007; Daza-Castro *et al.*, 2014), pero el aumento de la radiación ultravioleta puede tener un impacto negativo en éstas, provocando una disminución de la fotosíntesis y de la producción de biomasa (Carrasco-Ríos, 2009; Ayala-Tafoya *et al.*, 2011), por lo cual, los plásticos utilizados en los invernaderos deben tener un porcentaje de sombra moderado y un tratamiento para rayos de esta manera se obtiene la luz precisa que llega a los cultivos y permite mejorar en la calidad del producto.

4.3.3 La comercialización

La demanda de jitomate fresco está expandiéndose, principalmente en América del Norte, gracias a la reducción de aranceles y a menos costos de transporte derivados de la cercanía geográfica. Las importaciones de Estados Unidos mantienen una tendencia creciente y representan una gran oportunidad para la continuidad y crecimiento de las exportaciones agroalimentarias mexicanas (SAGARPA, 2016). Un aspecto que contribuye al crecimiento de la demanda es la gran diversificación de usos para el producto; puede comerse en ensaladas, jugos, estofados, encurtidos, como ingrediente en la cocina y procesado industrialmente como pasta, jugo, polvo y purés (Galaviz-Rodríguez *et al.*, 2013), esta demanda se ve reflejada en el consumo de vegetales en todos los niveles de ingresos (Borbón-Morales, 2010).

Lo anterior es de primordial importancia ya que actualmente en la región de Aquixtla 43.8% de los productores han destinado sus cultivos a mercados locales y 56.3% a mercados nacionales. Lo cual concuerda con los datos reportados por el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM, 2015) mostrado en el Cuadro 6, donde se presentan los mercados de destino del jitomate producido en el estado de Puebla. Es importante destacar que dentro de los resultados obtenidos se

encontró que ninguno de los productores se dedican actualmente a la exportación de jitomate, en años anteriores han existido intentos por incursionar en el mercado internacional sin obtener resultados positivos, debido principalmente a la mala organización de los productores.

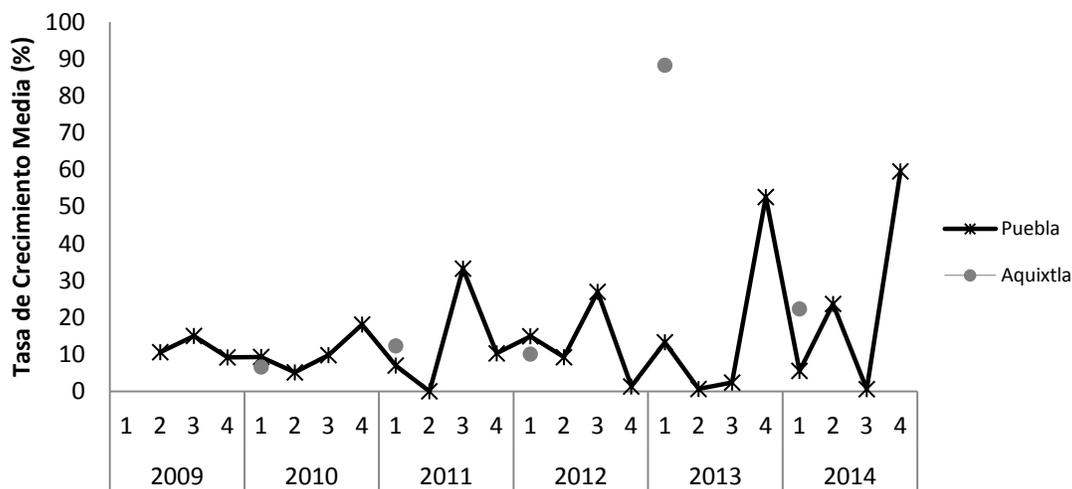
Cuadro 4.4. Mercado de destino del jitomate tipo saladette producido en el estado de Puebla, representado en porcentaje, durante los últimos años.

Mercado de destino	AÑO						
	2015*	2014	2013	2012	2011	2010	2009
	(%)						
Tamaulipas	22.4	28.1	35.2	27.5	5.7	17.7	0.3
Veracruz	22.4	28.1	32.3	27.4	63.9	78.7	66.1
Puebla	18.6	9.3	16.4	12.4			
México		1.7	15.7	27.6	15.2		
Tabasco				4.7	15.2	0.7	
Guerrero	22.4	26.8					
DF	14.1	7.4					
Oaxaca			0.4				7.4
Chiapas						1.8	24.2
Quintana Roo						1.1	2.0
Yucatán				0.4			

Fuente: Elaboración propia con datos del SNIIM. *Hasta el mes de Septiembre del 2015.

Por otra parte, un aspecto del mercado que representa un reto para los productores es la variabilidad del precio del jitomate saladette. La tasa de crecimiento medio anual del precio se presenta en Figura 4.1, donde se observa que el precio de la central de

abastos en el estado de Puebla cambia constantemente, teniendo las mayores variaciones en los años 2013 y 2014, durante el último trimestre del año en ambos casos. En la región de Aquixtla se observa una gran diferencia en el año 2013 en comparación a los años anteriores y el año posterior, estos cambios en el precio del producto provocan incertidumbre en los ingresos de los productores.

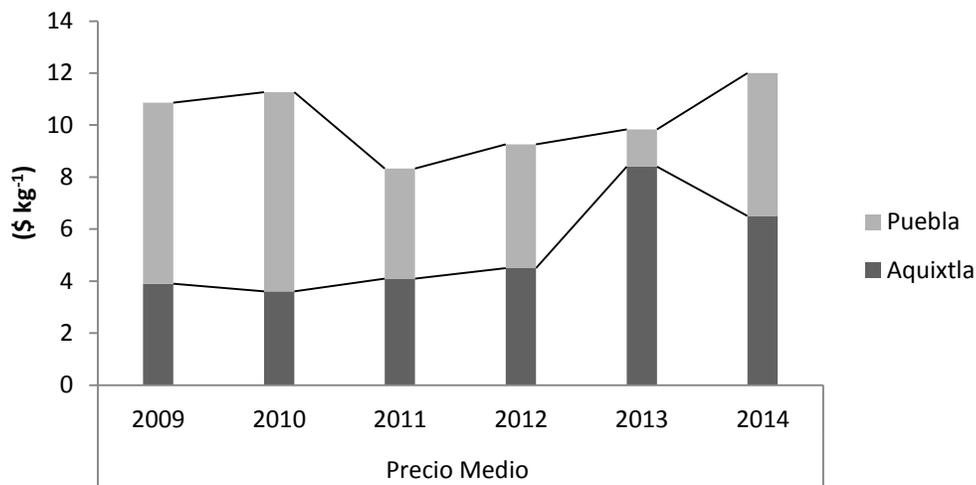


Fuente: Elaboración propia con datos del SNIIM para los datos de Puebla y con datos recopilados de campo para la región de Aquixtla.

Figura 4.1. Tasa de crecimiento medio anual del jitomate en la central de abastos del estado de Puebla y tasa de crecimiento medio rural en Aquixtla.

Asimismo, dentro de los resultados obtenidos se observa que el precio medio en el estado de Puebla, no rebasó los \$12.00 kg, mientras que el precio medio más alto que se registró en Aquixtla fue de \$8.4 kg. Del año 2009 al 2012, se tiene que el precio medio del jitomate saladette en Aquixtla estuvo cercano a los \$4, lo que no favorece a los productores, ya que el costo de producción oscila entre los \$3-4 kg, según lo expresan los productores encuestados. Para el año 2013, los agricultores obtuvieron ganancias del 100% sobre el costo de producción, y en el año 2014, reportan una disminución en las ganancias. De esta manera, se tiene que los precios encontrados en Aquixtla son distintos a los que reporta el SNIIM (2015) para el estado de Puebla (Figura 4.2) y con ello se puede determinar que los precios en la región de Aquixtla se encuentran por debajo del precio medio en la central de abastos.

Esta misma percepción la tienen los productores encuestados, ya que 77.8% considera que la producción en invernadero tiene una rentabilidad regular y solo 12% la considera muy rentable, por lo que se debe buscar una alternativa de aprovechamiento para incrementar el valor del jitomate producido en invernadero, principalmente cuando el precio se encuentra por debajo de su costo de producción. Además, si el incremento de la superficie de invernaderos en la región continúa y no se establece una diversificación de cultivos, o se encuentra una alternativa de aprovechamiento, se generará una sobreoferta con la consecuente baja en los precios, principalmente a nivel del productor.



Fuente: Elaboración propia con datos del SNIIM (Puebla) y con datos de campo para Aquixtla.

Figura 4.2. Comparativa de precios del jitomate saladette entre la central de abastos de Puebla y el precio medio rural en Aquixtla.

Por otra parte, hay decisiones que los productores toman con base en el mercado, como lo es la realización del corte del fruto, ya que dependiendo cual sea el destino del producto se corta en distinto grado de madurez, al igual, dependiendo del costo en el que se está cotizando. Así, algunos productores prefieren arriesgarse y esperar unos días más para aprovechar una mejora en el precio. El parámetro principal por el que se guían los productos es la coloración del fruto, tomando en cuenta la carta de color de la

USDA (1991), la etapa con mayor demanda en los mercados de destino es la última, cuando el fruto ya tiene una coloración roja, no obstante, el mercado varía tanto que se tiene demanda para todas las etapas en forma decreciente hasta llegar a la etapa dos, conocida como estrella o rayada (Breaker).

4.4 CONCLUSIONES

Esta investigación resalta la importancia de la producción de jitomate bajo AP en la región de Aquixtla, Puebla, surgiendo como alternativa para el aprovechamiento de los minifundios, que obtienen resultados positivos, ya que en pequeñas extensiones de tierra se logra alcanzar una buena producción para ser comercializada en los mercados locales y nacionales.

Las edades de los productores sugieren que esta práctica de cultivar en condiciones de AP seguirá incrementando con el paso del tiempo, ya que predominantemente existen productores jóvenes y de mediana edad, y de acuerdo a la bibliografía la adopción de tecnología se encuentra relacionada con la edad y el nivel educativo de los productores.

De seguirse incrementando la superficie total de invernaderos y el número de productores, se agudizará el problema de tener precios bajos en la región y se agravará en los periodos en los que se tiene una sobre oferta. Por lo que es importante contar con una alternativa de aprovechamiento para el jitomate producido en invernadero y diversificar los cultivos utilizados en Aquixtla.

4.5 LITERATURA CITADA

- Artís-Espriu, G. (1997). Minifundio y fraccionamiento de la tierra ejidal parcelada. *Revista de Estudios Agrarios*. 3(8), 11-32.
- Avendaño-Ruiz, B. D. (2008). Globalización y competitividad en el sector hortofrutícola: México, el gran perdedor. *El Cotidiano*. 23(147), 91-98.
- Ayala-Tafoya, F., Zatarain-López D. M., Valenzuela-López M., Partida-Ruvalcaba L., Velázquez-Alcaraz T.J., Díaz-Valdés T. y Osuna-Sánchez J. (2011). Crecimiento

- y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. *Terra Latinoamericana*. 29(4), 403-410.
- Bastida, A. (2008). Panorama de los invernaderos en México y en el mundo. Módulo II. Diseño agronómico y manejo de invernaderos. primer curso de especialización en horticultura protegida. UACH. Departamento de Fitotecnia, Chapingo, México.
- Borbón-Morales, C., Robles-Valencia A. y Huesca-Reynoso L. (2010). Caracterización de los patrones alimentarios para los hogares en México y Sonora, 2005-2006. *Estudios Fronterizos*. 11(21), 203-237.
- Cárdenas, M. J. (2010). México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación. Greenpeace, México. <<http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/6/vulnerabilidad-mexico.pdf>>. Consultado 10 de Enero de 2016.
- Carrasco-Ríos, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *Idesia*. 27(3), 59-76.
- COFUPRO (2016). Agenda de innovación y transferencia de tecnología agrícola para el sector agroalimentario del estado de Puebla. SAGARPA. p. 76.
- Cruz, E., Sandoval-Villa M., Volke-Haller V. C., Can-Chulim A. y Sánchez-Escudero J. (2012). Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(7), 1361-1373.
- Damián, M. Á., Ramírez-Valverde B., Parra-Inzunza F., Paredes-Sánchez J. A.; Gil-Muñoz A., López-Olguín J. F. y Cruz-León A. (2007). Tecnología agrícola y territorio: el caso de los productores de maíz de Tlaxcala, México. *Investigaciones Geográficas*. (63), 35-55.
- Daza-Castro, J., Gerzhel-Gómez J. y Maestre-Rivera J. (2014). Automatización de un invernadero de plántulas de tomate rojo. *Ciencia e Ingeniería*, Universidad de la Guajira, Colombia. pp. 1-20.
- de-Ancos, B., Fernández-Jalao I. y Sánchez-Moreno C. (2016). Compuestos funcionales en productos de iv y v gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 17(2), 130-148.

- de-Anda, J. y Shear, H. (2017). Potential of vertical hydroponic agriculture in Mexico. *Sustainability*. 9(1): 140.
- de Leon-Arias, A. (2016). TLCAN, agricultura y pobreza en México: el dinamismo del cultivo de frutas y hortalizas frescas ha contribuido a disminuir la pobreza rural. *Carta Económica Regional*. (106).
- Devé, F. (2005). Género y sistemas de producción campesina, FAO, Roma. <<http://www.fao.org/docrep/008/y4936s/y4936s00.htm>>. Consultado 15 de Julio de 2016.
- FAO (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. FAO, Roma. <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf>. Consultado 25 de Enero de 2017
- Ferrás-Sexto, C., Macía-Arce X. C., García-Vázquez M. Y. y Armas-Quintá F. X. (2004). El minifundio sostenible como un nuevo escenario para la economía gallega. *Revista Galega de Economía*. (13), 2-25.
- FIRA (2007). Agricultura protegida: Cultivo de Tomate en Invernadero Costos de Producción y Análisis de rentabilidad 2006. FIRA, México. <http://www.fira.gob.mx/Nd/TOMATE_INVERNADERO_1_Norte-Analisis_de_Costos.pdf>. Consultado 20 de Enero de 2017.
- FIRA (2013). Programa de apoyo a la inversión en equipamiento e infraestructura 2013: componente Agricultura Protegida. SAGARPA, México. <http://www.fira.gob.mx/Nd/Padron_beneficiarios2013.pdf>. Consultado 15 de Mayo de 2016.
- García-Toral, F. (2009). El papel del minifundio en el desarrollo agrícola de México. *Políticas Públicas y Economía*. <http://www.chapingo.mx/revistas/phpscript/download.php%3Ffile%3Dcompleto%26id%3DNzg5&sa=U&ved=0ahUKEwiLzIHZxoHNAhUENFIKHT_HBjgQFggEMAA&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNGzQCPQ6u2SZk6Lliy4dwjJEFROA>. Consultado 24 de Mayo de 2016.
- Gobierno de México (2013). Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Gobierno de la República, México. <<http://www.sev.gob.mx/educacion->

- tecnologica/files/2013/05/PND_2013_2018.pdf>. Consultado 2 de Marzo de 2017.
- González-Estrada, A. (2016). Industrialización y transnacionalización de la agricultura mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(3), 693-707.
- Hernández Morales, P., Estrada-Flores J. G., Avilés-Nova F., Yong-Angel G., López-González F., Solís-Méndez A. D. y Castelán-Ortega O. A. (2013). Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad y Ciencia*. 29(1), 19-31.
- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Aquixtla, Puebla. <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datosgeograficos/21/21016.pdf>>. Consultado 28 de Noviembre de 2016.
- INEGI (2013). Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2013, México.
- INEGI (2014). Instituto nacional de estadística y geografía. Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2014, México.
- INEGI (2015). Encuesta Intercensal 2015. México. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/especiales/ei2015/doc/eic_2015_presentacion.pdf>. Consultado 5 de Diciembre de 2016
- Juárez-López, P., Bugarín-Montoya R., Sánchez-Monteón A. L., Balois-Morales R., Juárez-Rosete C. R. y Cruz-Crespo E. (2012). Horticultura protegida en Nayarit, México: situación actual y perspectivas. *Revista Bio Ciencias*. 1(4), 16-24.
- Larqué-Saavedra, B. S., Sangerman-Jarquín D. M., Ramírez-Valverde B., Navarro-Bravo A. y Serrano-Flores M. E. (2009). Aspectos técnicos y caracterización del productor de durazno en el Estado de México, México. *Agricultura Técnica en México*. 35(3), 305-313.
- Luna-Guevara, M.L. (2011). Producción de autoindicadores y biopelículas microbianas y su relación con la calidad y composición química de jitomate cultivado en la región de Aquixtla, Puebla. Tesis de doctorado en Estrategias para el desarrollo Agrícola, Colegio de Postgraduados-Campus Puebla, Puebla, México. p. 212.

- Macías-Macías, A. (2010). Competitividad de México en el mercado de frutas y hortalizas de Estados Unidos de América. *Agroalimentaria*. 16(31), 31-48.
- Martínez, C. (2002). *Estadística y muestreo*. Ecoe Ediciones. Colombia. p.873.
- Martínez, J., Fernández-Bremauntz A. y Osnaya P. (2004). Cambio climático, una visión desde México, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología, México. p.525.
- Martínez-Gallardo, J. Á. Díaz-Valdés T., Allende-Molar R., García-Estrada R. S. y Carrillo-Fasio J. A. (2015). Primer reporte de *Meloidogyne enterolobii* parasitando tomate en Culiacán, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (11), 2165-2168.
- Medina-Saavedra, T., Arroyo-Figueroa G. y Dzul-Cauih J. G. (2017). Origin and evolution of tomato production *Lycopersicon esculentum* in Mexico. *Ciencia Rural*. 47(3), 1-8.
- MCS (2014). Encuestas en Hogares. INEGI, México. <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/modulos/mcs/mcs2014/default.aspx>>. Consultado 29 de Enero de 2017.
- Molina, J. y Córdova L. (2006). Informe nacional sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación. SAGARPA, México. <<http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/Mexico.pdf>>. Consultado 22 de Marzo de 2017.
- Montero, J. I. (2000). Control climático del invernadero. La industria del Invernadero, España. <http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_2000_E_52_56.pdf>. Consultado 18 de Marzo de 2017.
- Morales, M. (2011). Hablemos de tierras. Minifundio, gestión territorial, bosques e impuesto agrario en Bolivia. Plural editores, Bolivia. p. 399.
- Moreno-Reséndez, A., Aguilar-Durón J. y Luévano-González A. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 15(29), 763-774.

- Nelson, G., Rosegrand M., Koo J., Robertson R., Sulser T., Zhu T., Ringler C., Msangi S., Palazzo A., Batka M., Magalhaes M., Valmanta-Santos R., Ewing M. y Lee D. (2009). Cambio Climático. El Impacto en la Agricultura y los Costos de Adaptación. IFPRI, Washington. <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo_adaptacion.pdf>. Consultado 13 de Febrero de 2017.
- Nelson, G. C., Valin H., Sands R. D., Havlík P., Ahammadd H., Derynge D., Elliott J., Fujimori S., Hasegawah T., Heyhoed E., Kylei P., Von-Lampej M., Lotze-Campen H., Mason-d'Croza D., van-Meijll H., van-der-Mensbrugghem D., Müller C., Poppk A., Robertson R., Robinson S., Schmid E., Schmitz C., Tabeaul A. y Willenbockel D. (2014). Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 111(9), 3274-3279.
- Nuez, F. (2001). El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa, España. p.793.
- Ortega-Hernández, A., Ramírez-Valverde B., Caso-Barreda L., Ramírez-Juárez J., Espinoza-Sánchez G. y Morett-Sánchez J. (2010). Transformación de la estructura agraria en un municipio indígena productor de café en un contexto de crisis: Estudio de caso en Huehuetla, Puebla, México. *Región y Sociedad*. 22(48), 145-178.
- Ortega-Martínez, L. D., Martínez-Valenzuela C. Huerta-de-la-Peña A., Ocampo-Mendoza J., Sandoval-Castro E. y Jaramillo-Villanueva J. L. (2014). Uso y manejo de plaguicidas en invernaderos de la región norte del estado de Puebla, México. *Acta Universitaria*. 24(3), 3-12.
- Padilla-Bernal, L., Lara A. y Vélez A. (2015). Evaluación del desempeño ambiental de las unidades de producción con agricultura protegida. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*. 9(1), 2019-2035.
- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos P., Figueroa-Viramontes U., Favela-Chávez E., Moreno-Reséndez A., Márquez-Hernández C., Ochoa-Martínez E. y Preciado-Rangel P. (2009). Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 27(4), 319-327.

- Rosas-Cabrera, G., Maruri-García J. M. y Rodríguez-Cabrera R. (2014). Cultivo de seis híbridos de tomate roma (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan. 2(4), 700-713.
- Ruiz-Corral, J. A, Medina-García G., Rodríguez-Moreno V. M., Sánchez-González J. J, Villavicencio-García R., Durán-Puga N., Grageda-Grageda J. y García Romero G. E. (2016). Regionalización del cambio climático en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2451-2464.
- SAGARPA (2010). Monografía de cultivos: Jitomate. SAGARPA, México. <<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/pablo/documentos/monografias/jitomate.pdf>>. Consultado 17 de Febrero de 2017.
- SAGARPA (2012a). México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático, SAGARPA, México. <<http://www.sagarpa.gob.mx/programas2/evaluacionesExternas/Lists/Otros%20Estudios/Attachments/37/Cambio%20Climatico.pdf>>. Consultado 7 de Marzo de 2017.
- SAGARPA (2012b). Agricultura Protegida 2012, SAGARPA, México. <<http://20062012.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/Agricultura-Protegida2012.aspx>>. Consultado 9 de Diciembre de 2016.
- SAGARPA (2013). Primer informe de labores 2012-2013, SAGARPA, México. <http://snics.sagarpa.gob.mx/transparencia/Documents/Informe_Labores_2013.pdf>. Consultado 1 de Abril de 2017.
- SAGARPA (2015). Elementos Técnicos y Valores de Referencia de los Conceptos de Apoyo en materia agrícola, para el Programa de Concurrencia con las Entidades Federativas, 2015, SAGARPA, México. <<http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/DGFA2015/ELEMENTOS%20TECNICOS%202015.pdf>>. Consultado 15 de Enero de 2017.
- SAGARPA (2016). Estudio de Oportunidades de Mercado e Inteligencia Comercial y Estudio de Logística Internacional de Tomate, SAGARPA, México. <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/estudios_promercado/tomate.pdf>. Consultado 27 de Febrero de 2017.

- Schwentesius, R. y Gómez M. A. (1997). Competitividad de las hortalizas mexicanas en el mercado estadounidense, Comercio Exterior. 47(12), 962-974.
- SCT (2011). Manifestación de impacto ambiental modalidad regional. SEMARNAT, México.
<<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/pue/estudios/2011/21PU2011V0011.pdf>>. Consultado 6 de Enero de 2017.
- SEMARNAT (2007). Diagnóstico Socioeconómico y de Manejo Forestal Unidad de Manejo Forestal Zacatlán. SEMARNAT, México. p.280.
- SEMARNAT (2009). Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones, SEMARNAT, México.
<http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/05_serie/cambio_climatico.pdf>. Consultado 10 de Diciembre de 2016.
- SHCP (2014). Panorama jitomate. FND, México.
<<http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/FichaJitomate.pdf>>. Consultado 22 de Noviembre de 2016.
- SNIIM (2015). Sistema Nacional de información e integración de mercados. Secretaria de Economía, México. <<http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>>. Consultado 06 de Octubre de 2016.
- USDA (1991). United states standards for grades of fresh tomatoes, Agricultural Marketing Servic. <<http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/standards>>. Consultado 21 de Junio 2016
- Vázquez-Cruz, M. A., Jiménez-García S. N., Torres-Pacheco I., Urrutia-Anaya I., Mendoza-Landeros H. J. y Guevara-González R. G. (2012). Comportamiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) asperjadas con ácido salicílico cultivadas bajo diferentes condiciones climáticas en Invernadero. Revista Ciencia@uaq. 5(1), 1-9.
- Zapata, L., Gerard L., Davies C., Oliva L. y Schvab M. (2007). Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. Ciencia Docencia y Tecnología. (34), 207-226.

V. ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE ENCAPSULACIÓN PARA MEJORAR EL CONTENIDO DE LICOPENO EN POLVOS DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill)

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar las condiciones de secado por convección forzada y secado por aspersión para preservar el contenido de licopeno en frutos de jitomate. El peso, tamaño, color, pH y °Brix fueron evaluadas en fruto fresco y color (L, a*, b*), así como índices de color Hue y Croma se analizaron también en jitomates secos. Los polvos de jitomate se obtuvieron del proceso de secado a 40, 50, 60 y 80°C con tiempos de 540, 390, 270 y 240 min, respectivamente. En los tratamientos de encapsulación se utilizaron emulsiones con polvos de jitomate a 50, 60 y 70 % como núcleo y material encapsulante (maltodextrina / goma arábiga 1:1), caudal (4, 6, 9 y 12 mL min⁻¹, 160, 170 y 180 °C). Las propiedades fisicoquímicas de los frutos frescos correspondieron al grado de madurez de consumo. Los valores de a* y los índices a/b, Hue de los frutos deshidratados a 50°C se correlacionaron significativamente con la coloración roja y la concentración mayor de licopeno (47.98 ± 1.49 mg 100g⁻¹). Los encapsulados con 50% y 60% de jitomate en polvo, temperatura de entrada de 170°C y 9 mL min⁻¹, presentaron un efecto positivo sobre la concentración de licopeno, con valores de 10.41 mg 100g⁻¹, 10.20 mg 100g⁻¹ y 11.51 mg 100g⁻¹, respectivamente. Las condiciones de secado por convección y aspersión estudiadas, pueden ser aplicadas para incrementar la estabilidad del licopeno, que favorecen su incorporación en diversos productos.

Palabras clave. Licopeno, secado de jitomate, antioxidantes, encapsulación.

ABSTRACT

The aim of this study was to examine the convective drying and spray-drying conditions to preserve the lycopene content in tomatoes. The weight, size, color, pH and °Brix were evaluated in fresh fruit and color (L, a*, b*) Hue and also Chrome indexes were analyzed on dried tomatoes too. Tomato powders were obtained from drying process at 40, 50, 60 and 80°C with times of 540, 390, 270 and 240 min, respectively. In the encapsulation treatments, core material with tomato powders (50, 60 and 70 %) and shell solutions (maltodextrin / gum arabic 1:1), flow rate (4, 6, 9 and 12 mL min⁻¹) and inlet air T (160, 170 and 180 °C) were used. The physicochemical properties of fresh fruit corresponded to a degree of ripeness for consumption. The a* values and a/b and Hue indexes of dried tomatoes at 50°C were significantly correlated to the red coloring and the higher lycopene concentration (47.98±1.49 mg 100g⁻¹). The encapsulation with 50% and 60% of tomatoes powders, 170°C and 9 mL min⁻¹ treatments increased the lycopene contents (10.41 mg 100g⁻¹, 10.20 mg 100g⁻¹ and 11.51 mg 100g⁻¹). The conventional and spray-drying conditions allowed to increase the stability of the lycopene, favoring its incorporation with microcapsules in various products.

Key words. Lycopene, tomato drying, antioxidant, encapsulation.

5.1 INTRODUCCIÓN

El jitomate pertenece a la familia de las *Solanáceas* y su especie básica es *Solanum lycopersicum L.*, es considerado una hortaliza de gran importancia debido a que forma parte de la variedad gastronómica y se incluye en la dieta diaria (Medina-Saavedra *et al.*, 2017).

México ocupa el primer lugar en exportación de jitomate, cuya producción es destinada principalmente a Estados Unidos, por tal motivo se considera a este fruto como un cultivo de gran importancia socioeconómica para nuestro país (SAGARPA, 2015). Adicionalmente a las demandas de cultivo, el jitomate es considerado un fruto que posee un elevado potencial alimenticio (Luna-Guevara *et al.*, 2014), este atributo se lo

confiere principalmente su contenido de licopeno, además de contener potasio, fibra, proteína y vitaminas (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2011; Navarro-González y Periago, 2016)

El licopeno es un carotenoide que se produce naturalmente en ciertas frutas y verduras, además de considerarse un pigmento liposoluble responsable de la coloración rojo-naranja y destaca por sus propiedades antioxidantes. Entre las principales fuentes de licopeno destacan el jitomate y sus derivados y otras fuentes como la sandía, la cereza, la toronja rosada, la guayaba rosada, el pimiento rojo y la papaya (Cantrell *et al.*, 2003; Vitale *et al.*, 2010; Cruz-Bojórquez, 2013).

Actualmente el jitomate se comercializa principalmente en fresco, sin embargo, es un producto altamente perecedero por su alto contenido de agua, lo cual limita su distribución, por tal motivo se han realizado diversas investigaciones orientadas a su conservación incluyendo la deshidratación en forma de rodajas, trozos y polvo (Ochoa-Reyes *et al.*, 2013; Mariem y Mabrouki, 2014), utilizando diversas tecnologías, incrementando su vida útil y buscando conservar sus propiedades bioactivas. Una alternativa de conservación de las propiedades nutricionales y bioactivas es el uso de la microencapsulación, la cual es una técnica que se aplica para proteger numerosos ingredientes sólidos, líquidos y gaseosos de las condiciones del ambiente, particularmente de las reacciones de oxidación ocasionadas por la luz o el oxígeno (Pérez-Masía *et al.*, 2015; Martínez-Hernández *et al.*, 2016).

De acuerdo con los antecedentes mencionados, este estudio tuvo como objetivo evaluar las condiciones de secado por convección forzada y aspersion, como una alternativa de conservar el contenido de licopeno en frutos de jitomate.

5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1 Materia Prima

Se utilizaron frutos tipo saladette adquiridos en un mercado local de la ciudad de Puebla, México, con un tamaño uniforme, libre de insectos, apariencia fresca y buena turgencia. Asimismo, para garantizar el grado de madurez de consumo en los frutos se

evaluaron las propiedades fisicoquímicas incluyendo color a^* (verde-rojo), b^* (azul-amarillo), L (luminosidad), índices (a / b , Hue, Chroma), pH y °Brix, lo anterior debido a que en esta etapa el material vegetal alcanza el mayor contenido de licopeno (Luna-Guevara *et al.*, 2014).

5.2.2 Obtención de polvos encapsulados de jitomate

Debido a que el jitomate cuenta con un alto contenido de agua (90-95%), fue necesario realizar una concentración de sólidos mediante deshidratación de los frutos por convección forzada para posteriormente realizar los tratamientos de secado por aspersión.

5.2.2.1 Tratamientos por secado convectivo

Los frutos fueron homogenizados en forma de puré mismo que se esparció uniformemente y registró el peso inicial. Posteriormente las muestras por triplicado se sometieron a los tratamientos de secado con temperaturas de 40, 50, 60 y 80 °C, utilizando un horno (Binder, modelo: FD53, Alemania). Se determinó la pérdida de masa cada 15 minutos durante las primeras 2 horas y cada 30 minutos hasta alcanzar el peso constante. Con los resultados obtenidos se obtuvieron las curvas de secado y se calculó la humedad de fracción libre (Ψ) utilizando la Ecuación 2 .

$$\Psi = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad \text{Eq (2)}$$

Dónde: Ψ : humedad de fracción libre, X: humedad inicial, X_0 : humedad a distintos tiempos, X_e : humedad de equilibrio.

Los deshidratados fueron pulverizados en un molino de café (KRUPS, modelo: GX410011V, México), tamizados a 420 micras, almacenados a temperatura ambiente y en condiciones de oscuridad. Asimismo se analizó el contenido de licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) y se seleccionó el tratamiento de deshidratación que presentó mayor concentración del compuesto antioxidante para continuar con los tratamientos de encapsulación.

5.2.3 Análisis de licopeno

La extracción y cuantificación del contenido de licopeno se realizó a partir de 0.05 g de producto deshidratado y 0.7 g de producto encapsulado, utilizando el método espectrofotométrico propuesto por Sadler *et al.*, (1990) con algunas modificaciones. A cada muestra se adicionaron 18 mL de solvente (hexano, acetona y etanol; en una proporción 2:1:1), se agitaron vigorosamente durante aproximadamente 15 min, posteriormente se adicionaron 3 mL de agua destilada y nuevamente se agitó por 10 min. Se recolectaron las fases no polares, mismas que se transvasaron a recipientes ámbar para la evaluación de su absorbancia a una longitud de onda de 503 nm, utilizando un espectrofotómetro UV-VIS (JENWAY, modelo: S2000).

5.2.4 Tratamientos de secado por aspersión

Para la obtención de los microencapsulados se prepararon emulsiones con un ajuste de sólidos totales del 15%, para lo cual inicialmente se disolvió la goma arábica (MEYER) en agua destilada a 35°C, posteriormente se añadió maltodextrina (ALDRICH 4.0-7.0 ED) a 30 °C y finalmente se adicionó el polvo de jitomate, cada uno de los componentes permanecieron en agitación hasta su completa disolución.

Cuadro 5.1. Tratamientos de encapsulación con diferentes contenidos de polvo de jitomate, condiciones y variables de proceso.

Tratamientos (T)	Variables	Condiciones de proceso
1, 2, 3, 4	Velocidad de flujo 4, 6, 9, 12 (mL/min)	T de entrada 170°C Contenido de polvo 50%
5, 6, 7	T de entrada 160, 170, 180 (°C)	Velocidad de flujo 9mL min ⁻¹ Contenido de polvo 50%
8, 9, 10	Contenido de polvo 50, 60, 70 (%)	T de entrada 170°C Velocidad de flujo 9 mL min ⁻¹

Fuente: Elaboración propia

En Cuadro 5.1, se mencionan las condiciones de microencapsulación y material encapsulado (porcentaje de polvo de jitomate y material encapsulante (maltodextrina/goma arábica 1:1). Los encapsulados se almacenaron a temperatura ambiente, en un lugar fresco y seco, en condiciones de oscuridad, para su posteriormente evaluar la concentración de licopeno.

2.5 Análisis estadístico

Se evaluaron los efectos de los tratamientos de secado por convección (40, 50, 60 y 80 °C), así como de microencapsulación (T1-T10) sobre el contenido de licopeno por triplicado. Los datos de cada tratamiento fueron analizados de acuerdo a un diseño experimental completamente al azar y se realizaron análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de significancia de $\alpha \leq 0.05$. Las diferencias significativas entre los valores medios fueron evaluadas mediante pruebas de comparación de medias de Tukey, utilizando el software (Statistix 8.1).

5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1 Características fisicoquímicas del fruto fresco

Las variables peso, tamaño, color, pH y sólidos solubles (°Brix), son considerados parámetros de calidad del jitomate fresco; estas características físicas son los principales atributos para la aceptación del fruto en el mercado, mientras que las cualidades químicas son las que le confieren un sabor agradable y alto valor nutrimental (Luna-Guevara *et al.*, 2015). En el Cuadro 5.2, se muestran los valores medios de los parámetros físicos de los frutos utilizados en esta investigación.

Los frutos utilizados fueron de tamaño mediano, dentro del rango 51-58 cm (NMX-FF-031-1997) y de acuerdo con su diámetro ecuatorial son catalogados en calibre 7 ($> 57 \leq 67$) de acuerdo con el CODEX STAN 293-2007.

El pH de 4.25 de los frutos utilizados en este estudio es considerado como óptimo y recomendado para jitomate en grado de madurez de consumo (Anthon *et al.*, 2011). La relación entre acidez y contenido de azúcares es decisiva en el sabor del jitomate, ya

que un contenido de ácidos alto y bajo en azúcares produce un sabor ácido, y de forma inversa se tiene un sabor suave, cuando ambos son bajos se produce un fruto insípido (Hernández-Leal *et al.*, 2013). En relación con los sólidos solubles, Santiago *et al.*, (1998) mencionan que un valor mayor o igual a 4.0 °Brix es considerado óptimo, en esta investigación se obtuvo un valor ligeramente bajo, que confirió un sabor menos dulce al fruto (Turhan y Seniz 2009; Monge-Pérez, 2014).

Cuadro 5.2. Propiedades fisicoquímicas de frutos frescos de jitomate.

<i>Características Fisicoquímicas</i>					
	Peso (g)	Diámetro Ecuatorial (cm)	Diámetro Axial (cm)	Sólidos Solubles ° Brix	pH
Valores Promedio	88.74 ± 4.17	5.83 ± 0.34	4.36 ± 0.19	3.93 ± 0.12	4.33 ± 0.17
<i>Parámetros e índices de color</i>					
	L	a*	b*	Chroma	Hue
Valores Promedio	34.61 ± 2.24	30.20 ± 1.38	24.91 ± 2.46	39.19 ± 2.11	50.55 ± 2.71

Fuente: Elaboración propia

El color del fruto resulta ser un parámetro primordial, debido a que es un indicador del estado de madurez y de calidad en el mercado. El color rojo de los frutos de jitomate resulta de la degradación de la clorofila y de la síntesis de carotenoides (López y Gómez, 2004; Africano-Pérez *et al.*, 2017). En el Cuadro 5.2, se observan los resultados de los parámetros de color obtenidos en los frutos; el parámetro L* indica el grado de luminosidad, entre más maduro este el fruto se tendrá valores más bajos de luminosidad, observando que el valor obtenido corresponde al de fruto maduro. El parámetro a* representa tonalidades de verde - rojo y b* define los colores azul - amarillo, los valores positivos en a* y b* indican los colores rojos y amarillos (Cuadro 5.8), los cuales se relacionan con los contenidos de los pigmentos licopeno y xantofilas, respectivamente (Artés y Artés, 2007; Luna-Guevara y Delgado-Alvarado, 2014). De acuerdo con la clasificación reportada por Cantwell (2006) los valores de L* y a* obtenidos en esta investigación correspondieron a frutos muy maduros aunque el

parámetro Hue se encuentra dentro del ángulo de tono con coloración entre naranja y roja.

5.3.2 Concentración de sólidos del jitomate

La humedad inicial presente en el fruto de jitomate fue de $92.35 \text{ g agua } 100\text{g}^{-1}$. Las cinéticas de la pérdida de humedad de las muestras de jitomate se determinaron a temperaturas de 40, 50, 60, y 80 °C. En la Figura 5.1, se graficó la variación de la humedad de fracción libre (Ψ) con respecto al tiempo, el gráfico denota claramente que a mayor temperatura se requirió menor tiempo de secado, obteniéndose 540, 390, 270 y 240 min para 40, 50, 60 y 80° respectivamente, alcanzando un porcentaje de humedad final menor al 15%, mismo que se consideró adecuado para continuar con estos deshidratados con los tratamientos de encapsulación.

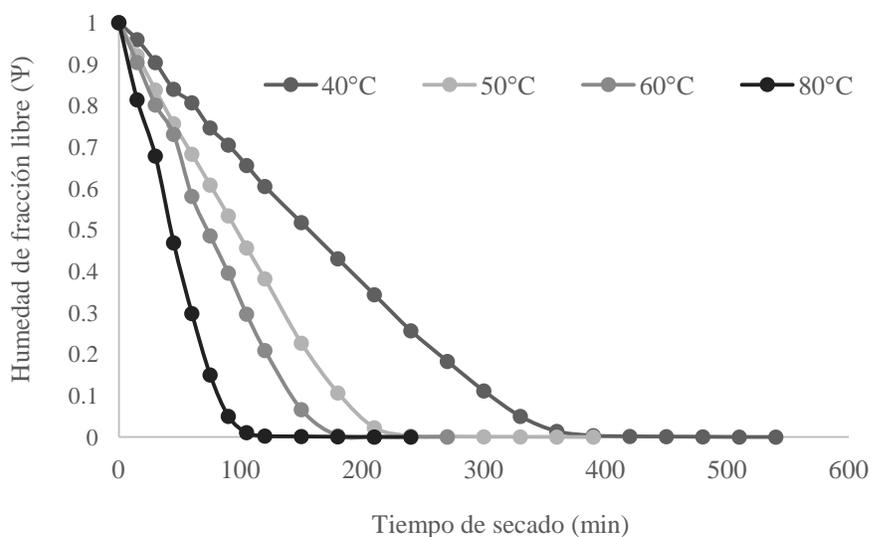


Figura 5.1. Variación de humedad de fracción libre (ψ) con respecto al tiempo de secado del fruto de jitomate a diferentes temperaturas.

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 5.3, se presentan los resultados de los parámetros de color y contenidos de licopeno de los deshidratados de jitomate. La luminosidad varió significativamente y dependió de la temperatura de secado, los tratamientos con 80°C provocaron una

disminución de la luminosidad observándose polvos más opacos (Figura 5.2). En cuanto al parámetro a^* los deshidratados sometidos a 50 °C presentaron las tonalidades más rojizas (Cuadro 5.3 y Figura 5.2), mientras que la cromátida b^* varió en forma inversamente proporcional con la temperatura de secado. Hue se correlacionó significativamente con a^*/b^* ($r= 0.998$), ambos índices se relacionan con la coloración rojiza del fruto (Arias, 2000). La intensidad o saturación (Chroma) se incrementó con el tratamiento de 50°C, por lo que podría concluirse se obtuvo un polvo con una mejor pureza. Asimismo Chroma junto con las cromátidas a^* y b^* se correlacionaron significativamente con el contenido de licopeno con valores de r de 0.728, $r= 0.627$ y 0.672, respectivamente.

Cuadro 5.3. Parámetros de color y contenido de licopeno en frutos deshidratados a diferentes temperaturas.

	Temperaturas de secado			
	40 °C	50 °C	60 °C	80 °C
L*	41.87± 0.19 c	45.84± 0.21 b	54.51± 0.11 a	39.77± 0.32 d
a*	33.40± 0.63 bc	36.69± 0.39 a	34.10± 0.33 b	32.58± 0.76 c
b*	20.18± 0.21 a	19.82± 0.09 a	18.35± 1.51 ab	16.35± 0.20 b
Hue	58.86± 0.72 b	61.62± 0.17 a	61.74± 1.88 a	63.35± 0.79 a
Chroma	39.02± 0.44 b	41.70± 0.38 a	38.74± 0.88 b	36.46± 0.61 c
a*/b*	1.66± 0.05 b	1.85± 0.01 ab	1.87± 0.15 ab	1.99± 0.07 a
Licopeno (mg 100g⁻¹)	45.5± 1.86 ab	47.98± 1.49 a	41.94± 2.6 b	46.65± 0.56 b

Fuente: Elaboración propia. Los datos expresados representan la media ± la desviación estándar de tres repeticiones. Los valores en una columna seguidos por la misma letra indican que no presentan diferencia significativa, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Según Kuljarachanan *et al.* (2009) y Yilmaz *et al.* (2017), el tiempo y la temperatura de secado afectan significativamente los compuestos bioactivos, este efecto fue observado en este estudio, ya que la concentración mayor de licopeno se obtuvo en condiciones de secado de 50°C y 40 °C. Sin embargo con esta última temperatura el tratamiento de secado tuvo una duración de 540 min (Figura 5.1). Los resultados obtenidos de licopeno se encuentran por encima de los obtenidos por González-Sánchez *et al.* (2016) quien alcanzó un contenido máximo de 18 mg 100g⁻¹ utilizando deshidratación solar y menores a los reportados por Anguelova y Warthesen (2000) de 88.3mg 100g⁻¹.



Figura 5.2. Polvos de jitomate obtenidos mediante secado por convección a diferentes temperaturas

Se seleccionaron los polvos de jitomate obtenidos con el tratamiento de deshidratación con 50°C, en los que se obtuvo la concentración mayor de licopeno para proseguir con la etapa de encapsulación y secado por aspersión.

5.3.3 Condiciones de encapsulado

Existen diversos factores que pueden influir sobre la estabilidad del material encapsulado, entre ellos se encuentran la velocidad de flujo, temperatura, material encapsulante, entre otros.

En la Figura 5.3, se muestran los contenidos de licopeno evaluados en los encapsulados, corroborando que la variación en la velocidad de flujo en los tratamientos tuvo un efecto significativo, ya que los encapsulados sometidos al T3 (9 mL min⁻¹), fueron los que presentaron mejores concentraciones de licopeno con valores de 7.44 ± 0.15 (mg 100g⁻¹). Lo anterior puede deberse a lo reportado por Camacho *et al.*, (2010), quienes establecen que la velocidad de flujo influye sobre la temperatura interna del encapsulado, pudiendo generar condiciones favorables para la encapsulación de compuestos sensibles como el licopeno (Chew y Nyam, 2016). Mientras que los tratamientos T2 y T4 no presentaron diferencias significativas en los contenidos de licopeno utilizando velocidades 6 y 12 mL min⁻¹ respectivamente, lo cual puede relacionarse con el tamaño de las microcápsulas y la disminución del espesor en la pared, ya que con ciertas velocidades de flujo se modifica el tiempo para la formación de las gotas durante el secado, propiciándose que una menor cantidad de polvo de jitomate pueda ser arrastrada en el encapsulado induciendo una reducción en el contenido de licopeno (Beristaín *et al.*, 2001; Chew y Nyam, 2016). Los flujos de 3 y 30 mL min⁻¹ fueron utilizados por Wang y Chen (2006) y Nunes y Mercadante (2007) para encapsular licopeno, con contenidos de 2.8 mg 100g⁻¹ y 10 mg 100g⁻¹, los cuales fueron menores y mayores a los reportados en este estudio.

Con relación a la temperatura de entrada durante el secado por aspersion se observó que con el T6 (170°C) se incrementó la concentración de licopeno en comparación con el T7 (180°C), con valores de 9.93 ± 0.06 y 7.86 ± 0.12 mg 100g⁻¹, respectivamente. El efecto de la temperatura de entrada fue evaluado por Mishra *et al.* (2014) y Ranveer *at al.* (2015) quienes reportan que un incremento en este parámetro impide el equilibrio entre la tasa de evaporación del agua y la formación de películas estables, exponiendo el material encapsulado a altas temperaturas, razón por la cual el T7 presentó un

menor contenido de licopeno. Asimismo Aguilar-Rocha *et al.* (2012) observaron un aumento significativo en la oxidación de licopeno cuando es expuesto a 180 °C durante el secado por aspersión.

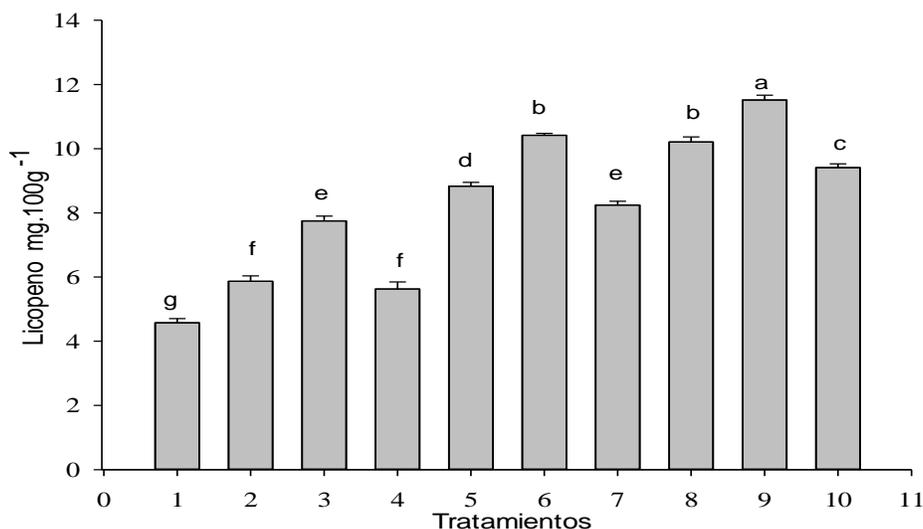


Figura 5.3. Concentración de licopeno en polvos de jitomate con diferentes tratamientos de encapsulación (T1-T10, Cuadro 5.1). Los datos expresados representan la media \pm la desviación estándar de tres repeticiones. Los valores en una columna seguidos por la misma letra indican que no presentan diferencia significativa, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Finalmente, la cantidad de polvo de jitomate incorporada en la solución encapsulada influyó en el contenido de licopeno, los T8 y T9 con contenidos de 50% (9.73 ± 0.16 mg $100g^{-1}$) y 60% (10.98 ± 0.15 mg $100g^{-1}$), alcanzaron los valores más altos de este antioxidante. Mientras que con el T10 (70% de polvos de jitomate) se redujo el contenido de licopeno, lo anterior se relaciona con lo publicado por Aguilar-Rocha *et al.*, (2012) y Mishra *et al.* (2014) quienes reportaron que a mayor cantidad de núcleo (material encapsulado) es menor la eficiencia de encapsulación, que genera una mayor degradación del mismo. Dichos resultados sugieren que el factor limitante de la conservación del licopeno en los microencapsulados es la conformación de las matrices encapsulantes y no la cantidad del compuesto antioxidante. De esta manera un aumento en la cantidad de licopeno adicionado a la emulsión disminuye la

proporción y disponibilidad de agentes encapsulantes en la emulsión, condición determinante para la formación de las microcápsulas. Algunos estudios relacionan la disminución en la proporción de sólidos con la conformación de estructuras más permeables, pudiendo contribuir a incrementar la porosidad de la partícula y favorecer la difusión del oxígeno al interior del microencapsulado (Drusch *et al.*, 2006; Mishra *et al.*, 2014).

5.4. CONCLUSIONES

Los polvos de jitomate obtenidos con 50°C en los tratamientos de secado presentaron la concentración mayor de licopeno y parámetros óptimos de color. Asimismo, las variables como contenido del polvo de jitomate y la temperatura de entrada tuvieron un efecto positivo en los tratamientos de encapsulación, que conservaron contenidos mayores de licopeno. Las condiciones de secado por convección y de aspersion evaluadas, pueden ser aplicadas para incrementar la estabilidad del licopeno como antioxidante y pigmento, favoreciendo su incorporación en diversos productos.

5.5 LITERATURA CITADA

- Africano-Pérez, K. L., Balaguera-López H. E., Almanza-Merchán P. J., Cárdenas-Hernández J. F. y Herrera-Arévalo A. (2017). Caracterización poscosecha del fruto de durazno [*Prunus persica* (L.) Bastch] cv. Dorado producido bajo condiciones de trópico alto. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 10(2), 232-240.
- Aguilar-Rocha, G., Fávaro-Trindade C. S. y Ferreira-Grosso C. R. (2012). Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food and Bioproducts Processing*. 90, 37-42.
- Anguelova, T. y Warthesen J. (2000). Lycopene stability in tomato powders. *Journal of Food Science*. 65, 67-70.
- Anthon, G.E., LeStrange M. y Barrett D. M. (2011). Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91, 1175-1181.

- Arias, R., Lee T. C., 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 Agricultural and Food Chemistry*. 48, 1697-1702.
- Artés, F.C. y Artés F.H. (2004). Tratamientos postrecolección del tomate fresco: Tendencias e innovaciones. *Tomates: producción y comercio*. Ediciones de Horticultura. 109-120.
- Beristaín, C., García H. y Vernon-Carter E. (2001). Spray-dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*prosopis juliflora*) gum. *Food Science Technology*. 34, 398-401.
- Cantrell, A., McGarvey D. J., Truscott T. G., Rancan F. y Boehm F. (2003). Singlet oxygen quenching by dietary carotenoids in a model membrane environment. *Archives Biochemistry and Biophysics*. 412, 47–54.
- Cantwell, M. (2006). Report to the California tomato commission tomato variety trials: Postharvest evaluation for 2005. UCCE Fresh market tomato statewide report. California, USA. pp.9-13.
- Chew, S. C. y Nyam K. L. (2016). Microencapsulation of kenaf seed oil by co-extrusion technology. *Journal of Food Engineering*. 175, 43-50.
- Cruz-Bojórquez, R. M., González-Gallego J. y Sánchez-Collado P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutrición Hospitalaria*. 28, 6-15.
- Drusch, S. y Mannino S. (2009). Patent based review on industrial approaches for the microencapsulation of oils rich in polyunsaturated fatty acids. *Trends Food Science and Technology*. 20, 237-244.
- González-Sánchez, T., Delgado-Alvarado A., Herrera-Cabrera B. E. y Pérez-Luna G. (2016). Efecto del proceso de deshidratación en el color y compuestos bioactivos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agroproductividad*. 9, 33-40.
- Hernández-Leal, E., Lobato-Ortiz R., García-Zavala J. J., Reyes-López D., Méndez-López A., Bonilla-Barrientos O. y Hernández-Bautista A. (2013). Comportamiento

- agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Revista Fitotecnia Mexicana. 36(3), 209-215.
- Hernández-Rodríguez, J., Fernández-Castillo A., Quinto-Diez P., Flores-Murrieta F. E. y Acosta-Olea R. (2011). Estudio de la cinética de secado de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Científica. 15, 125-130.
- Kuljarachanan, T., Devahastin S. y Chiewchan N. (2009). Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. Food Chemistry. 113, 944-949.
- López, A. F. y Gómez, P. A. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. Horticultura Brasileir. 22, 534-537.
- Luna-Guevara, M. L., Jiménez-González O., Luna-Guevara J. J., Hernández-Carranza P. y Ochoa-Velasco C. E. (2014). Quality parameters and bioactive compounds of red tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) cv roma vf at different postharvest conditions. Journal Food Research. 3, 1-11.
- Luna-Guevara, M. L. y Delgado-Alvarado A. (2014). Importancia; contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Avances en Investigación Agropecuaria. 18(1), 51-66.
- Mariem, S. B. y Mabrouki S. B. (2014). Drying characteristics of tomato slices and mathematical modeling. International Journal of Engineering Education. 4, 17-24.
- Martínez-Hernández, G. B., Boluda-Aguilar M., Taboada-Rodríguez A., Soto-Jover S., Marín-Iniesta F. y López-Gómez A. (2016). Processing, packaging, and storage of tomato products: influence on the lycopene content. Food Engineering Reviews. 8, 52–75.
- Medina-Saavedra, T., Arroyo-Figueroa G. y Dzul-Cauih J. G. (2017). Origin and evolution of tomato production *Lycopersicon esculentum* in Mexico. Ciencia Rural. 47(3), 1-8.
- Mishra, P., Mishra S. y Mahanta C. L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. Food and Bioproducts Processing. 92(3), 252-258.

- Monge-Pérez, J. E. (2014). Caracterización de 14 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 27, 58-68.
- Navarro-González, I. y Periago M. J. (2016). El tomate, ¿alimento saludable y/o funcional?. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 20(4), 323-335.
- Nunes, I. L. y Mercadante A. Z. (2007). Encapsulation of lycopene using spray-drying and molecular inclusion processes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 50, 893-900.
- Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz J. J., Ruiz-Cruz S., Ibarra-Junquera V., Pérez-Martínez, J. D., Guevara-Arauz J. C. y Aguilar C. N. (2013). Tecnologías de deshidratación para la preservación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *BIOtecnia*. 15, 39-46.
- Pérez-Masiá, R., Lagaron J. M. y Lopez-Rubio A. (2015). Morphology and stability of edible lycopene-containing micro and nanocapsules produced through electrospraying and spray drying. *Food Bioprocess Technology*. 8, 459–470.
- Ranveer, R. C., Gatade A. A., Kamble H. A. y Sahoo A.K. (2015). Microencapsulation and storage stability of lycopene extracted from tomato processing waste. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 58(6), 953-960.
- Sadler, G., Davis J. y Dezman D. (1990). Rapid extraction of lycopene and β -carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruit homogenates. *Journal Food Science*. 55, 1460-1461.
- SAGARPA (2015). Elementos Técnicos y Valores de Referencia de los Conceptos de Apoyo en materia agrícola, para el Programa de Concurrencia con las Entidades Federativas, 2015, SAGARPA, México. <<http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/DGFA2015/ELEMENTOS%20TECNICOS%202015.pdf>>. Consultado 15 de Enero de 2017.
- Santiago, J., Mendoza M. y Borrego F. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero: Criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*. 9, 59-65.

- Turhan, A. y Şeniz V. (2009). Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*. 4, 1086-1092.
- Vitale, A. A., Bernatene E. A. y Pomilio A. (2010). Carotenoides en quimioprevención: licopeno. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*. 44, 195-238.
- Wang, C. Y. y Chen B. H. (2006). Tomato pulp as source for the production of lycopene powder containing high proportion of *cis*-isomers. *European Food Research and Technology*. 222, 347-353.
- Yilmaz, T., Kumcuoglu S. y Tavman S. (2017). Ultrasound-assisted extraction of lycopene and β -carotene from tomato-processing wastes. *Italian Journal of Food Science*. 29(1), 186-194.

VI. EVALUACIÓN DE MICROENCAPSULADOS DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) CULTIVADO EN INVERNADERO COMO UNA ALTERNATIVA DE CONSERVACIÓN

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de licopeno en distintos tratamientos de microencapsulación obtenidos mediante secado por aspersión, así como la caracterización del mejor tratamiento. El peso, tamaño, color, pH and °Brix fueron evaluadas en fruto fresco. Para los tratamientos de encapsulación se realizaron emulsiones con goma arábica / maltodextrina en diferentes proporciones como material encapsulante y 60% de polvo de jitomate. Las propiedades fisicoquímicas de los frutos frescos correspondieron al grado de madurez de consumo. Los tratamientos T1 y T5, resultaron con las concentraciones más altas de licopeno (43.88 ± 0.14 y 49.04 ± 0.64 mg $100g^{-1}$, respectivamente). El T1 presentó el mejor rendimiento y su caracterización sugiere que se obtuvo un producto estable, viable para su incorporación en diversos productos.

Palabras clave. Licopeno, antioxidantes, caracterización de polvo.

ABSTRACT

The aim study was to evaluate the lycopene content in different microencapsulation treatments obtained by spray-drying and the characterization of the best treatment. The weight, size, color, pH and ° Brix were evaluated in fresh fruit. For the encapsulation treatments, emulsions with gum arabic / maltodextrin were made in different proportions as encapsulating material and 60% of tomato powder. The physicochemical properties of fresh fruits corresponded to a degree of ripeness for consumption. The T1 and T5 treatments, resulted with the highest lycopene content (43.88 ± 0.14 and 49.04 ± 0.64 mg $100g^{-1}$, respectively). The T1 presented the best performance and its

characterization suggests that a stable product was obtained, favoring its incorporation with microcapsules in various products.

Key words. Lycopene, antioxidant, powder characterization.

6.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la mayoría de la población ha optado por el consumo de comida rápida y alimentos procesados, sin embargo existe la preocupación de “*comer sano*” y con ello el interés por consumir alimentos con propiedades funcionales y nutraceuticas (Candelas-Cadillo *et al.*, 2005; Cruzado y Cedrón, 2013; Rojas-Jiménez *et al.*, 2015). Entre los compuestos con propiedades funcionales más ampliamente distribuidos en la naturaleza se encuentran los carotenoides, son pigmentos liposolubles sintetizados principalmente por plantas y se han identificado más de 600 compuestos diferentes (Carranco-Jáuregui *et al.*, 2011; Peñaloza y Rojano, 2014). Entre ellos se encuentran los tetraterpenos conformados por unidades múltiples de isopreno con un anillo de ciclohexano sustituido e insaturado en cada uno de los extremos (Carranco-Jáuregui *et al.*, 2011).

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) es reconocido no solo por su alto valor nutrimental, sino también por su contenido de carotenoides, principalmente de licopeno, el cual cuenta con propiedades benéficas a la salud del consumidor debido a su actividad antioxidante (Colle *et al.*, 2010; Navarro-González y Periago, 2016).

El contenido de licopeno en jitomates frescos se encuentra principalmente en forma del isómero *trans*, sin embargo, los tratamientos térmicos pueden provocar la isomerización a *cis* y con ello aumentar su biodisponibilidad (Kong *et al.*, 2010; Cruz-Bojórquez *et al.*, 2013; Cooperstone *et al.*, 2016). Asimismo, el licopeno en fruto fresco puede variar dependiendo de la variedad, grado de madurez, técnicas de cultivo y las condiciones ambientales en que se cultiva (Shi y Le-Maguer, 2000; Rath *et al.*, 2009; Navarro-González y Periago, 2016).

Entre los principales estados de México productores de jitomate se encuentra Puebla, específicamente el municipio de Aquixtla reporta el mayor volumen de producción con

11,440 toneladas anuales (INEGI, 2014). Sin embargo, gran parte de esa producción es comercializada en frutos frescos a precio muy bajo, de ahí, que se requieran de alternativas de procesamiento que incrementen el valor agregado del cultivo.

La deshidratación de alimentos es un tratamiento térmico utilizado para extender la vida útil de una gran diversidad de productos, sin embargo, bajo ciertas condiciones de procesamiento puede generar degradación de las propiedades funcionales (Ochoa-Reyes, 2013). Particularmente con el jitomate los compuestos fitoquímicos, como el licopeno, son susceptible a las condiciones de procesamiento y almacenamiento, incluyendo la iluminación y la temperatura a las que se expone el producto (Chiu *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2015). Para disminuir esta degradación se puede utilizar la microencapsulación, como una tecnología que permite proteger sustancias sólidas o líquidas, dispuestas en pequeñas partículas o gotas (fase interna), recubiertas por una película de carbohidratos u otro material polimérico (pared) (López-Hernández, 2010; Keshari *et al.*, 2016). Adicionalmente, la encapsulación puede utilizarse para controlar la liberación de componentes funcionales en diferentes tipos de alimentos (Sandoval-Peraza *et al.*, 2017).

Las condiciones de procesamiento influyen en el microencapsulado obtenido, por lo que es necesario seleccionar aquellas con las que se obtengan mejores resultados, los cuales se reportan en el Capítulo V. Además, existen varios materiales encapsulantes, que pueden ser utilizados como polisacáridos, lípidos y/o proteínas, o combinación de los mismos, que dependen de la naturaleza del producto que se desea recubrir, rendimiento y características del encapsulado obtenido (Kailasapathy, 2006; Sandoval-Peraza *et al.*, 2017). Fernández-Ruiz *et al.*, (2007) reportan que los encapsulados de jitomate, pueden ser aprovechados como colorante natural, complemento nutricional o para la preparación de alimentos funcionales, mediante la incorporación de licopeno (Valenzuela *et al.*, 2014).

De acuerdo con los antecedentes mencionados, esta investigación tuvo como objetivo evaluar distintos tratamientos de microencapsulación mediante secado por aspersion

para conservar el contenido de licopeno proveniente de jitomate cultivado en invernadero.

6.2 MATERIALES Y MÉTODOS

6.2.1 Área de Estudio

El estudio se realizó en la localidad de Cuautieco del Municipio de Aquixtla, localizado en la parte noroeste del estado de Puebla, México; cuyas coordenadas geográficas corresponden a los paralelos 19° 42' 42" y 19° 51' 54" de latitud norte y meridianos 97° 49' 36" y 97° 54' 06" de longitud oeste, con una altitud entre 1940 y 2900 msnm. El clima de Aquixtla se identifica como templado sub húmedo, cuya temperatura media anual oscila de 12 °C a 18 °C y un promedio de precipitación pluvial de 600-900 mm (INAFED, 2007; INEGI, 2009).

Se seleccionó un invernadero que produce bajo el sistema de fertirrigación durante el mes de Noviembre 2015, tipo multitúnel con un área destinada para el cultivo de 1000 m² y altura de 6 m, con cubierta de plástico calibre 720 y ventilación lateral. Este tipo invernadero es el “*prototipo*” de la región de producción jitomate en el Municipio de Aquixtla (Luna-Guevara *et al.*, 2012).

6.2.2 Material vegetal

De la parte central del invernadero se realizó un marcaje de 35 plantas en el décimo racimo. Los jitomates fueron tipo saladette y correspondieron a la variedad reserva, se cosecharon con un color rojo claro, número 5 de acuerdo con la carta de color de la USDA (1991).

Todas las muestras se colectaron en bolsas de plástico y se transportaron al laboratorio donde permanecieron en almacenamiento a temperatura ambiente durante dos semanas, hasta alcanzar su madurez de consumo.

6.2.3 Grado de madurez de los frutos

Para asegurar el grado de madurez de los frutos se analizaron las propiedades fisicoquímicas incluyendo tamaño (diámetros ecuatorial y axial), peso, color (cromátidas L, a*,b*; e índices Hue y Chroma), pH y sólidos solubles totales (°Brix).

6.2.4 Tratamientos de encapsulación

6.2.4.1 Preparación del material encapsulado

Las encapsulaciones fueron realizadas a partir de emulsiones obtenidas con polvo de jitomate (material encapsulado) y mezclas de maltodextrina y goma arábica (materiales encapsulantes). El polvo se obtuvo mediante secado de puré de jitomate por convección forzada a 50 °C por 390 min, el deshidratado fue pulverizado en un molino de café (KRUPS, modelo: GX410011V, México), tamizados a 420 micras.

6.2.4.2 Preparación de emulsiones

Cuadro 6.1. Composición de emulsiones sometidas a secado por aspersión.

Tratamiento (T)	<u>Material encapsulado</u>	<u>Materiales encapsulantes</u>	
	Polvo de jitomate (%)	Maltodextrina (%)	Goma Arábica (%)
1	60	20	20
2	60	10	30
3	60	30	10
4	60	-	40
5	60	40	-

Fuente: Elaboración propia. (Se utilizó 60 % con base a los resultados del Capítulo V)

Las emulsiones fueron preparadas de acuerdo con el Cuadro 6.1, inicialmente fue disuelta la goma arábica en agua destilada a 35 °C, posteriormente fue adicionada la maltodextrina a una temperatura de 30 °C, finalmente se agregó el polvo de jitomate.

Todos los componentes fueron agitados durante 30 min para garantizar su disolución y se ajustó a 15% de sólidos. Las emulsiones se sometieron a las condiciones de encapsulación con el uso de un secador por aspersión marca Prendo, utilizando una boquilla de 0.7 mm y condiciones de operación con temperatura de entrada de 170 ± 3 °C y 9 mL min^{-1} .

Los encapsulados de cada tratamiento, fueron resguardados de la luz en recipientes herméticos y almacenados en un lugar fresco y seco, debidamente etiquetados.

6.2.4.3 Análisis de licopeno

Para el análisis de licopeno de los microencapsulados se realizaron extracciones de acuerdo con lo reportado por Shi y Le-Meguer (2000), con algunas modificaciones, se pesaron 0.7 g de encapsulado y se agitaron en una mezcla de hexano:acetona:etanol (2:1:1), fue colectada la fase polar misma que se filtró ($0.45\mu\text{m}$) y sometió análisis mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), empleando una columna C30 (4,6 mm x 250 mm, S-3) (YMC, Reino Unido). La fase móvil consistió en metil t-butil éter /metanol /acetato de etilo (40:50:10, v /v /v), grado HPLC (Ishida *et al.*, 2001), el equipo fue operado a una velocidad de flujo de 0.9 mL min^{-1} , una temperatura de 25°C y 472 nm. Previamente a la inyección de la muestra, se realizó la curva de calibración conforme a lo propuesto por Chen *et al.* (2009), utilizando estándar de licopeno (Sigma, México) con concentraciones de 25 a $250 \mu\text{g mL}^{-1}$ a intervalos de $25 \mu\text{mL}^{-1}$.

6.2.5 Evaluación de los encapsulados

Los rendimientos de encapsulación de los diferentes tratamientos se calcularon según la Ecuación 3 (Fang y Bhandari, 2012):

$$\text{Rendimiento del producto} = \frac{\text{Polvo obtenido por secado por aspersión (g)}}{\text{Polvo de jitomate (g)} + \text{Agente encapsulante (g)}} * 100 \quad (3)$$

Para la caracterización de los encapsulados se seleccionó el tratamiento que arrojó mejores resultados en cuanto a rendimiento y contenido de licopeno, los procedimientos se describen a continuación.

6.2.5.1 Humedad

El contenido de humedad fue determinado por pérdida de peso a 105 °C de acuerdo con el método de desecación en estufa aprobado por la AOAC (1990).

6.2.5.2 Actividad de Agua (aw)

La actividad de agua del polvo se midió usando un sistema electrónico de punto de rocío utilizando un Aqualab (Marca: Pullman, Decagon).

6.2.5.3 Densidad aparente y compactada

Para la determinación de la densidad aparente se pesó 1 g de polvo y se introdujo en una probeta de 10 mL, donde se registró el volumen ocupado para calcularla como peso/volumen. Consecutivamente se analizó la densidad compactada, cuyo procedimiento consistió en verter el polvo en la probeta graduada y registrar el volumen antes y después de dar ligeros golpes sobre la mesa, para favorecer la salida del aire entre las partículas (Santhalakshmy *et al.*, 2015).

6.2.5.4 Humectabilidad

Fue evaluada de acuerdo con el método descrito por Vissotto *et al.* (2010), para lo cual se colocó 1 g de encapsulado sobre 400 mL de agua destilada, registrándose el tiempo necesario que tarda la muestra en sumergirse completamente.

6.2.5.5 Solubilidad

Se evaluó con la metodología propuesta por Eastman-Moore (1984), modificado por Cano *et al.* (2005), en la cual se considera un total de 1 g de polvo de muestra se mezcló en 100 mL de agua destilada y se agitó con un homogeneizador a 1550 rpm durante 5 min, hasta conseguir la solubilidad de toda la muestra, mismas que fueron transferidas a tubos cónicos y centrifugadas a 4500 rpm durante 10 min y se dejaron

sedimentar completamente por 30 min. Posteriormente se tomó una alícuota con 25 mL del sobrenadante y se transfirió a una charola (a peso constante) y se introdujo en una estufa a 105° C durante 5 hr .La solubilidad (%) se calculó por diferencia de peso (Ecuación 4).

$$\text{Solubilidad \%} = 100 \left(\frac{\text{peso sólidos en el sobrenadante}}{\text{peso de la muestra}} \right) \quad (4)$$

6.2.5.6 Dispersabilidad

Este parámetro fue evaluado conforme el método descrito por Jinapong *et al.* (2008), donde se disolvió 1 g de encapsulado en 10 mL de agua destilada a 25 °C, vertidos en un vaso de precipitados de 50 mL. Se agitaron vigorosamente durante 15 segundos, haciendo movimientos hacia atrás y adelante por todo el diámetro del vaso de precipitado y fue vertido a través de un tamiz de 170 µm. El polvo tamizado fue transferido a una charola a peso constante y se secó durante 4 hr en un horno a 105 ° C. La dispersabilidad del polvo se calculó conforme la Ecuación 5.

$$\% \text{ Dispersado} = \frac{(100+1) * \% ST}{a * \frac{100-b}{100}} \quad (5)$$

Dónde: a: Cantidad de polvo (g), b: Contenido de humedad en el polvo, % ST Porcentaje de materia seca reconstituida después de haber pasado a través del tamiz, el cual se obtuvo con la Ecuación 6.

$$\% ST = \frac{\text{g de masa seca despues del secado a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{g de polvo en 10 ml de filtrado}} \quad (6)$$

6.2.5.7 Morfología del encapsulado

Los microencapsulados fueron analizados por microscopia electrónica de barrido (SEM), donde las partículas fueron colocadas en porta muestras metálicas y recubiertas con una fina capa de oro, las observaciones se realizaron utilizando un microscopio electrónico de barrido (Jeol JMS-T300-Tokio, Japón) y un voltaje de 10 kV.

6.2.6 Análisis estadístico

Se evaluaron los efectos de los tratamientos de microencapsulación (T1-T5) sobre el contenido de licopeno. Los datos de cada tratamiento fueron analizados de acuerdo a un diseño experimental completamente al azar y se realizaron análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de significancia de $\alpha \leq 0.05$. Las diferencias significativas entre los valores medios fueron evaluadas mediante pruebas de comparación de medias de Tukey, utilizando el software (Statistix 8.1).

6.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La calidad y madurez de los frutos, se determinaron mediante la medición de sus características fisicoquímicas como son pH, °Brix, peso, tamaño y color (Cuadro 6.2). De acuerdo con los resultados obtenidos en los diámetros de los frutos y la norma NMX-FF-031-1997, los jitomates utilizados corresponden a frutos grandes. En cuando a los sólidos solubles, Hernández-Leal *et al.* (2013), reportaron que específicamente la variedad reserva presenta valores de 3.9 y 4.1 °Brix, estos valores están por debajo de los encontrados en esta investigación, sin embargo, son similares a los hallados por Gaspar-Peralta *et al.* (2012) con 3.9 y 5.2 °Brix en frutos saladette. Mientras que Monge-Pérez (2014), evaluó 14 genotipos de jitomate y encontró valores desde 4.5 hasta 9.3 °Brix en jitomates producidos en invernaderos. Existen reportes de que el sabor de los frutos se relaciona principalmente con el contenido de sólidos solubles y ácidos orgánicos (Martín-Hernández *et al.*, 2012; Monge-Pérez, 2014). El pH resulta ser otra variable de importancia en la calidad del jitomate, los resultados coincidieron con los obtenidos en otras investigaciones de diversos genotipos de jitomate (Pérez-Rivas *et al.*, 2012; Hernández-Leal *et al.*, 2013; Monge-Pérez, 2014).

La manifestación más representativa de la calidad del jitomate es su color, siendo la coloración rojiza la más deseable, misma que se genera debido a la síntesis de carotenos. De acuerdo con López-Camelo *et al.* (2004) durante la maduración del jitomate, inicialmente se sintetiza el fitoeno (incoloro), para posteriormente dar lugar al ζ -caroteno (amarillo pálido), licopeno (rojo), β -caroteno (anaranjado), xantófilas y carotenoides hidroxilados (amarillos), no obstante el licopeno alcanza su máximo contenido en la etapa de madurez de consumo (Padrón-Pereira *et al.*, 2012). De acuerdo con el estudio realizado por Grajeda-Gonzalez *et al.* (2015), evaluaron el color de jitomates saladette en diferentes etapas de maduración y expresaron que la luminosidad disminuye, mientras que a^* (verde - rojo) y b^* (azul - amarillo) aumentan conforme se da la maduración del fruto, asimismo concluyen que el índice Hue va disminuyendo conforme madura el fruto, obteniendo valores que van de 104.92 a 49.45, este último valor es muy cercano a lo obtenido en esta investigación.

Cuadro 6.2. Propiedades fisicoquímicas asociadas con la calidad del jitomate

	Peso (g)	Diámetro Ecuatorial (cm)	Diámetro Axial (cm)	Sólidos Solubles (°Brix)	pH
Valores Promedio	97.78 ± 2.47	6.32 ± 0.23	4.70 ± 0.25	4.63 ± 0.12	4.59 ± 0.02
	<i>Parámetros e índices de color</i>				
	L	a^*	b^*	Chroma	Hue
Valores Promedio	34.42 ± 1.48	31.47 ± 2.45	27.67 ± 2.29	41.94 ± 2.86	48.67 ± 2.44

Fuente: Elaboración propia. *Valores promedio de tres replicas ± desviación estándar.*

6.3.2 Análisis de los microencapsulados

Los rendimientos obtenidos en esta investigación se presentan en el Cuadro 6.3, los valores más altos se alcanzaron con T1, en el cual se optó por utilizar la mezcla de goma arábiga y maltodextrina como material encapsulante, debido a que ha mostrado buenos resultados en combinación con sólidos (Parra-Huertas, 2010)

Los contenidos de licopeno de las muestras encapsuladas se presentan en los cromatogramas (Figura 6.2), en los cuales se observa que los tratamientos T2 y T3 no presentaron diferencia significativa entre ellos, con valores de 18.44 ± 0.96 y $T3 = 18.22 \pm 1.02$ mg $100g^{-1}$ sólidos secos (s.s), respectivamente, en ambos tratamientos se utilizó en mayor proporción uno de los agentes encapsulantes (maltodextrina o goma arábica). Los valores mencionados fueron más elevados que los reportados por Chiu *et al.* (2007) quienes hallaron $8.87mg$ $100 g^{-1}$ para *trans*-licopeno, utilizando gelatina y ácido Poli (γ -glutámico) como agente encapsulante.

Cuadro 6.3. Rendimientos obtenidos de los encapsulados de polvo de jitomate

Tratamiento	Rendimiento (%)
T1	13.11 ± 0.62
T2	9.21 ± 0.41
T3	6.93 ± 0.16
T4	7.50 ± 0.22
T5	2.77 ± 0.74

Fuente: Elaboración propia

Los mejores contenidos de licopeno se obtuvieron con los tratamientos T5 y T1 cuyos valores corresponden a $49.04 \pm 0.64mg$ $100g^{-1}$ y $43.88 \pm 0.14mg$ $100g^{-1}$ s.s, respectivamente, encontrándose diferencia significativa entre ellos. Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Candelas-Cadillo *et al.* (2005) en microencapsulados de jugo de tomate (47.20 ± 22.88 mg $100g^{-1}$ s.s). Las diferencias en la eficiencia de los encapsulados son el resultado de las proporciones utilizadas del material encapsulante, ya que la combinación de maltodextrina y goma arábica contribuye a la estabilidad de la película formada, resultado de combinar dos compuestos con diferentes pesos moleculares (López-Hernández, 2010; Ranveer *et al.*, 2015).

En cuanto a los tiempos de retención encontrados para los isómeros de licopeno fueron similares a los reportados por Yi *et al.* (2009) con valores de 15.87 min para el *trans*-licopeno y tiempos de 6.8, 8.9 y 16.1 min para los isómeros *cis* (Figura 6.1).

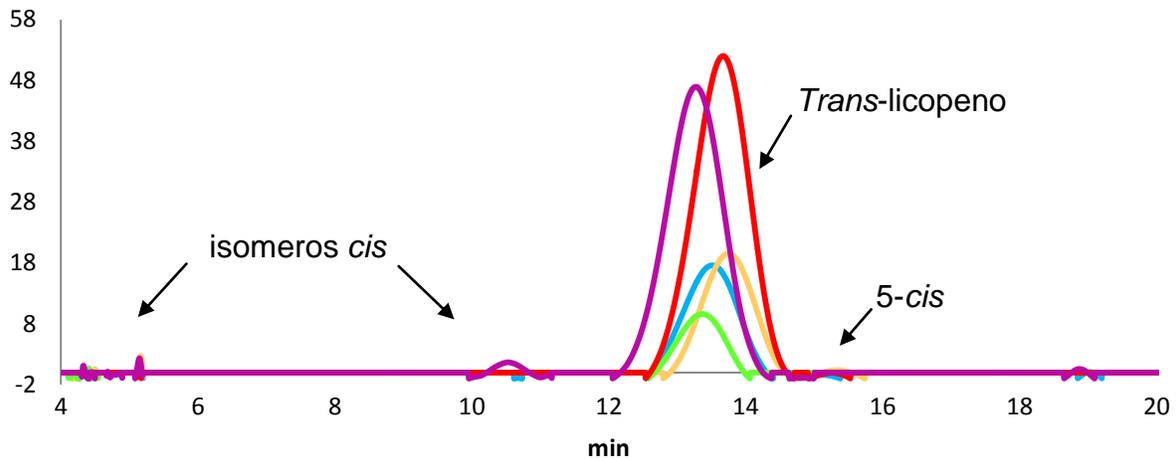


Figura 6.1. Cromatograma de los diferentes Contenido de licopeno mediante HPLC.

Dónde: T1 (█), T2 (█), T3 (█), T4 (█) y T5 (█)

6.3.3 Caracterización de encapsulado

Fue seleccionado el tratamiento T1 (60% de polvo de jitomate y una relación 1:1 de los material microencapsulante) (Figura 6.3), debido a que se obtuvo un mayor rendimiento durante la encapsulación y altos contenidos de licopeno (Cuadro 6.2 y Figura 6.2).



Figura 6.2. Microencapsulado de polvo de jitomate (T1)

En el Cuadro 6.4 se presentan las propiedades evaluadas en los encapsulados, las cuales juegan un papel importante para determinar su estabilidad en el almacenamiento y posible uso para su incorporación en una matriz alimentaria. La humedad fue de 4.68% siendo un valor bajo y se relaciona con un encapsulado microbiológicamente seguro, mientras que la actividad de agua obtenida (0.33) fue similar a lo obtenido por Quek *et al.* (2007) y Santhalakshmy *et al.* (2015) en polvos de sandía secados por aspersión y en encapsulados de jugo de jamun (*Syzygium cumini*), respectivamente.

Cuadro 6.4. Propiedades de microencapsulación del tratamiento (60% Polvo de jitomate, 20 % maltodextrina, 20% goma arábica)

Propiedades del encapsulado	
Humedad	4.68 ± 0.10
Actividad de Agua (a_w)	0.33 ± 0.02
Densidad aparente (g mL^{-1})	0.26 ± 0.03
Densidad compactada (g mL^{-1})	0.40 ± 0.02
Humectabilidad (s)	156.5 ± 2.12
Solubilidad (%)	88.48 ± 1.15
Dispersabilidad (%)	80.50 ± 1.53

Fuente: Elaboración propia

La densidad aparente encontrada en esta investigación (Cuadro 6.3) se encuentra dentro del rango obtenido por Goula y Adamopoulos (2008), cuyos valores oscilaron desde 0.091 - 0.271 g mL^{-1} , dependiendo del tipo de maltodextrina utilizada. En cuanto a la densidad compactada y la solubilidad, se obtuvieron resultados similares a los reportados en jugo de jamun encapsulado por Santhalakshmy *et al.*, (2015). La densidad resultante en el encapsulado de acuerdo con Bhandari & Balachandran (1998), depende de la velocidad de flujo y la temperatura de entrada del tratamiento secado por aspersión, es decir a menor velocidad de atomización las partículas se

hacen más grandes y densas. Según Al-Kahtani y Hassan (1990), Kha *et al.* (2010), Mishra *et al.* (2014) y Botrel *et al.* (2017), expresan que el contenido de humedad, la solubilidad y la densidad aparente disminuyen con el aumento de la temperatura de secado.

La humectabilidad es la capacidad y el tiempo requerido para la penetración de un líquido en un encapsulado, esta propiedad depende en gran parte del tamaño de la partícula (Serna-Cock *et al.*, 2015). El tiempo obtenido en esta investigación (Cuadro 6.4) se encuentra dentro del rango reportado por Serna-Cock *et al.* (2015) en polvos liofilizados obtenidos de cáscara de mango de diferentes variedades (0.004 ± 0.001 a 3.20 ± 0.151 min). En cuanto a la dispersabilidad, el resultado obtenido con los encapsulados de jitomate fue menor al reportado por Escobar-Esquivel (2016) en encapsulados de jugo natural de maracuyá (95.41 ± 4.29 % y 88.07 ± 3.52)

6.3.4 Microscopia

Las imágenes SEM de las microcápsulas de jitomate obtenidas por aspersión se ilustran en la Figura 6.3 (A y B), donde se muestra que las microcápsulas tienen una forma esférica y uniforme con una superficie lisa, sin grietas o porosidad aparente, aspectos indicativos de una buena protección del núcleo, estos resultados se le atribuyen a la relación de goma y la maltodextrina en la formulación.

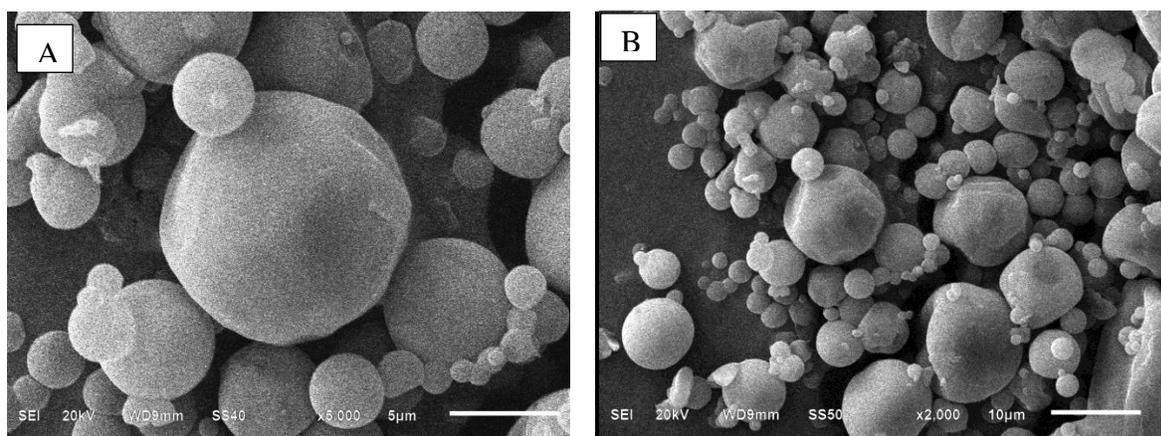


Figura 6.3. Microscopias de microencapsulado de jitomate correspondiente al T1.

Dónde: A) 10,000x y B) 2,000x.

6.4 CONCLUSIONES

El jitomate utilizado en esta investigación presentó propiedades fisicoquímicas correspondientes a un fruto en madurez de consumo, con lo cual se aseguró el máximo contenido de licopeno.

El tratamiento con el que se obtuvo el contenido más alto de licopeno fue la muestra encapsulada únicamente con maltodextrina (T5), sin embargo, su rendimiento no fue muy alto, resultando T1 la mejor opción de microencapsulación. Los resultados de las propiedades del encapsulado seleccionado corresponden a un polvo de buena calidad, con porcentajes de solubilidad y dispersabilidad altos, lo que siguieren una buena reincorporación para su uso posterior en la elaboración de alimentos funcionales. Mientras la humedad y la actividad de agua dan como resultado polvos estables, que favorecen su almacenamiento.

Las microcápsulas de polvo de jitomate mediante microscopia electrónica de barrido mostraron microestructuras esféricas, lisas y sin agrietamientos, representativas de una óptima protección para el material encapsulado.

Finalmente, conforme a los resultados obtenidos se infiere que la encapsulación resulta ser una alternativa de conservación y aprovechamiento para la sobreproducción de jitomate producido en invernadero. Además, que la obtención de encapsulados de jitomate contribuyen en la conservación y estabilidad del licopeno, el cual es el principal compuesto bioactivo del fruto, siendo determinante en la calidad del polvo.

6.5 LITERATURA CITADA

Al-Kahtani, H. A. y Hassan B. H. (1990). Spray drying of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Journal of Food Science*. 55, 1073–1076.

AOAC (1990). *Official methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washington. 15° edition.

Bhandari, U. y Balachandran R. (1998). Influence of drying conditions on the particle size and bulk density of spray dried ice cream mix. *Indian Journal of Dairy Science*. 41, 132-133.

- Botrel, D. A., Borges S. V., de Barros-Fernandes R. V., Antoniassi R., de Faria-Machado A. F., de Andrade-Feitosa J. P. y de Andrade R. M. (2017). Application of cashew tree gum on the production and stability of spray-dried fish oil. *Food Chemistry*. 221, 1522-1529.
- Candelas-Cadillo, M. G., Alanís-Guzmán M. G. J., Bautista-Justo M., Del Río-Olague F. y García-Díaz C. (2005). Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 4, 299-307.
- Cano, M.C., Stringheta P. C., Ramos A. M. y Cal-Vidal J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 6(4), 420-428.
- Carranco-Jáuregui, M. E., Calvo-Carrillo M. C. y PerezGil-Romo F. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 61(3), 233.
- Carrillo-Navas, H., González-Rodea D. A., Cruz-Olivares J., Barrera-Pichardo J. F., Román-Guerrero A. y Pérez-Alonso C. (2011). Storage stability and physicochemical properties of passion fruit juice microcapsules by spray-drying. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10(3), 421-430.
- Chen, J., Shi J., Xue S. J. y Ma Y. (2009). Comparison of lycopene stability in water-and oil-based food model systems under thermal-and light-irradiation treatments. *LWT-Food Science and Technology*. 42(3), 740-747.
- Chiu, Y. T., Chiu C. P., Chien J. T., Ho G. H., Yang J. y Chen B. H. (2007). Encapsulation of lycopene extract from tomato pulp waste with gelatin and poly (γ -glutamic acid) as carrier. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(13), 5123-5130.
- Colle, I. J., Lemmens L., Tolesa G. N., Van-Buggenhout S., De-Vleeschouwer K., Van-Loey A. M. y Hendrickx M. E. (2010). Lycopene degradation and isomerization kinetics during thermal processing of an olive oil/tomato emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58, 12784-12789.

- Cooperstone, J. L. Francis D. M. y Schwartz S. J. (2016). Thermal processing differentially affects lycopene and other carotenoids in *cis*-lycopene containing, tangerine tomatoes. *Food Chemistry*. 210, 466-472.
- Cruzado, M., Cedrón J. C. (2013). Nutracéuticos, alimentos funcionales y su producción. *Revista de Química*. 26, 33-36.
- Cruz-Bojórquez, R. M., González-Gallego, J. y Sánchez-Collado, P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutrición Hospitalaria*. 28, 6-15.
- Eastman, J. E. y Moore C. O. (1984). Cold water soluble granular starch for gelled food composition. Patent 4465702. Washington, U.S. Patent and Trademark Office.
- Fang, Z. y Bhandari B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*. 48(2), 478-483.
- Fernández-Ruiz, V., Cámara M. y Quintela J. C. (2007). Ingredientes bioactivos de tomate: el licopeno. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*. 167, 36-40.
- Gaspar-Peralta, P., Carrillo-Rodríguez J. C., Chavez-Servia J. L., Vera-Guzmán A. M. y Pérez-León I. (2012). Variación de caracteres agronómicos y licopeno en líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Phyton*. 81(1), 15-22.
- Goula, A. M. y Adamopoulos K. G. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Drying Technology*. 26, 726-737.
- Hernández-Leal, E., Lobato-Ortiz R., García-Zavala J. J., Reyes-López D., Méndez-López A., Bonilla-Barrientos O. y Hernández-Bautista A. (2013). Comportamiento agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(3), 209-215
- Hernández-Leal, E., Lobato-Ortiz R., García-Zavala J. J., Reyes-López D., Méndez-López A., Bonilla-Barrientos O. y Hernández-Bautista A. (2013). Comportamiento agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(3), 209-215.

- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Aquixtla, Puebla. <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datosgeograficos/21/21016.pdf>>. Consultado 28 de Noviembre de 2016.
- INEGI (2014). Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2014, Aguascalientes, México.
- Jinapong, N., Suphantharika M. y Jamnong P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*. 84(2), 194-205.
- Kailasapathy K. (2006). Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology*. 39, 1221–1227.
- Kha, C. T., Nguyen H. M. y Roach D. P. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*. 98, 385-392.
- Keshari, R., Rathore K. S., Bharkatiya M. y Mishra A. (2016). Microencapsulation drug delivery system-an overview. *PharmaTutor*. 4(12), 20-28.
- Kong, K. W., Khoo H. E., Prasad K. N., Ismail A., Tan C. P. y Rajab N. F. (2010). Revealing the power of the natural red pigment lycopene. *Molecules*. 15(2), 959-987.
- Li, C., Wang J., Shi J., Huang X., Peng Q. y Xue F. (2015). Encapsulation of tomato oleoresin using soy protein isolate-gum aracia conjugates as emulsifier and coating materials. *Food Hydrocolloids*. 45, 301-308.
- López-Camelo, A. F. y Gómez P. A. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*. 22(3), 534-537.
- López-Hernández, O. D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersion. *Revista Cubana de Farmacia*. 44, 381-389.
- Luna-Guevara, L., Alvarado A.D., Herrera-Cabrera B. E., Torres A., Flores-Avelino F. Navarro-Ocaña A. y Parada-Guerra F. (2012). Diversity of enterobacteria

- associated with tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) fruits and greenhouse soils. *Scientia Agropecuaria*. 3(2), 161-169.
- Martín-Hernández, S., Ordaz-Chaparro V. M., Sánchez-García P., Colinas-Leon M. T. y Borges-Gómez L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*. 46(3), 243-254.
- Mishra, P., Mishra S. y Mahanta C. L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Embllica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*. 92(3), 252-258.
- Monge-Pérez, J. E. (2014). Caracterización de 14 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 27, 58-68.
- NMX-FF-031-1997. Productos alimenticios no industrializados para consume humano. Hortalizas frescas. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Nomas mexicanas*. <<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-031-1998.PDF>>. Consultado 01 Mayo 2017.
- Navarro-González, I. y Periago M. J. (2016). El tomate, ¿alimento saludable y/o funcional?. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 20(4), 323-335.
- Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz J., Ruiz-Cruz S., Ibarra-Junquera V., Pérez-Martínez J. D., Guevara-Arauz J. C. y Aguilar C. N. (2013). Tecnologías de deshidratación para la preservación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Biotecnia*. 15(2), 39-46.
- Padrón-Pereira, C. A., Padrón-León G. M., Montes-Hernández A. I. y Oropeza-González R. A. (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense*. 36(1), 97-111.
- Parra-Huertas, R. A. (2010). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 63(2), 5669-5684.

- Peñaloza, J. K. y Rojano B. A. (2014). Potenciación de la capacidad antioxidante mediante interacción sinergista entre bioactivos de frutas nativas colombianas. *Alimentos Hoy*. 22(33), 3-25.
- Pérez-Rivas, M. P., Albarracín M., Moratinos H. y Zapata-Navas F. (2012). Rendimiento y calidad de fruto en cuatro cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones protegidas. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 29(3), 395-412.
- Quek, S. Y., Chok N. K. y Swedlund P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*. 46, 386–392.
- Ranveer, R. C., Gatade A. A., Kamble H. A. y Sahoo A. K. (2015). Microencapsulation and storage stability of lycopene extracted from tomato processing waste. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 58(6), 953-960.
- Rath, S., Olempska-Beer Z. y Kuznesof P. M. (2009). Lycopene extract from tomato. *LycoRed Natural Products Industries*. 320, 1-9.
- Rojas-Jiménez, S., Lopera-Valle J. S., Uribe-Ocampo A., Correa-Pérez S., Perilla-Hernández N. y Marín Cárdenas J. S. (2015). Nutraceutical consumption, an alternative in the prevention of non transmissible chronic diseases. *Biosalud*. 14(2), 91-103.
- Sandoval-Peraza, V. M., Cu-Cañetas T., Peraza-Mercado G. y Acereto-Escoffíé P. O. M. (2017). Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutraceuticas, *OmniaScience Monographs*. <<http://omniascience.com/monographs/index.php/monograficos/article/view/358/256>>. Consultado 8 de Marzo de 2017
- Santhalakshmy, S., Bosco S. J. D., Francis S. y Sabeena M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*. 274, 37-43.
- Serna-Cock, L., Torres-León C. y Ayala-Aponte A. (2015). Evaluación de polvos alimentarios obtenidos de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) como fuente de ingredientes funcionales. *Información Tecnológica*. 26(2), 41-50.

- Shi, J. y Le-Maguer M. (2000). Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 40(1), 1-42.
- USDA (1991). United states standards for grades of fresh tomatoes, Agricultural Marketing Servic. <<http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/standards>>. Consultado 21 de Junio 2016.
- Valenzuela, A., Valenzuela R., Sanhueza J. y Morales G. (2014). Alimentos funcionales, nutraceúticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación?. *Revista Chilena de Nutrición*. 41(2), 198-204.
- Vissotto, F. Z., Jorge L. C., Makita G. T., Rodrigues M. I. y Menegalli F. C. (2010). Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. *Journal of Food Engineering*. 97(3), 283-291.
- Yi, C., Shi J., Xue S.J., Jiang Y. y Li D. (2009). Effects of supercritical fluid extraction parameters on lycopene yield and antioxidant activity. *Food Chemistry*. 113(4), 1088-1094.

VII. DISCUSIÓN GENERAL

El cambio climático es uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta la agricultura mexicana, por lo que el Gobierno de la República en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, ha incluido políticas para "Tecnificar Superficies Agrícolas mediante Riego y Agricultura Protegida (AP)" con el fin de reducir la vulnerabilidad climática y aumentar la seguridad alimentaria (Gobierno de México, 2013). De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, en la región de Aquixtla en Puebla, los agricultores se han beneficiado de este tipo de políticas gubernamentales desde el año 2000, incursionando en la producción de jitomate fresco bajo condiciones de AP en pequeñas superficies consideradas como minifundio. El producir en invernadero ha estado acompañado del uso de tecnologías modernas con altos consumos de agroquímicos, obteniendo altos rendimientos, lo que con frecuencia se refleja en precios bajos, provocados por aumentos en la oferta regional.

Aun así, se puede prever que la producción de jitomate fresco, bajo condiciones de AP seguirá creciendo en la región de Aquixtla, ya que diversas dependencias gubernamentales siguen brindando programas para la obtención de invernaderos (FIRA, 2013; SAGARPA, 2015) y los productores de cultivos básicos caracterizados por su edad avanzada, ahora están siendo remplazados por productores jóvenes con ideas empresariales que ven a la AP como su principal actividad económica y que están buscando alternativas a la comercialización de su producto.

En cuanto a los sistemas de producción identificados, los resultados muestran que el producir en suelo (Fertirrigación) se incrementó a 88.9 % comparado con el 73.8 % reportado por Luna-Guevara (2011). Lo anterior obedece a lo complicado de producir con la técnica de hidroponía y al costo elevado de los fertilizantes. La media de producción de jitomate fresco en Aquixtla es de 194.7 ton ha⁻¹ (COFUPRO, 2016), la cual está por encima de la media reportada para el estado de Puebla, siendo de 124.9 ton ha⁻¹ (SIAP, 2014), no obstante el rendimiento en invernadero puede alcanzar de 300 a 500 ton ha⁻¹, dependiendo de la variedad y la tecnificación del mismo (NaanDanJain, 2012; Crop-Science, 2014).

Con relación al destino de mercado para el fruto de jitomate, éste se centra en los mercados local y nacional, tal como lo reporta el SNIIM (2015). Sin embargo, el precio del jitomate genera incertidumbre en los ingresos y ganancias de los productores, debido a que cambia constantemente. En no pocas ocasiones el precio de venta ha estado muy cercano al costo unitario de producción, oscilando entre 3 a 4 pesos por kg. También se detectó que los precios en la región de Aquixtla se encuentran por debajo del precio medio alcanzado en la central de abastos de la ciudad de Puebla, por tal motivo es indispensable que se tenga una alternativa de aprovechamiento para el jitomate producido bajo condiciones de AP. Esta alternativa también puede ser utilizada para contar con un producto diferente que comercializar en la época invernal, ya que la poca tecnificación con la que se cuenta en los invernaderos trae como consecuencia que la producción en la región durante esa época sea mínima (Padilla-Bernal *et al.*, 2010; de Anda y Shear, 2017).

En este contexto, el jitomate es un producto altamente perecedero en estado fresco, ya que su contenido de agua se encuentra por arriba del 90% (Mosqueda-Sánchez y Sosa-Morales, 2015), por lo que la deshidratación es una opción de conservación con la que se puede extender su vida útil. La deshidratación por convección forzada de puré de jitomate, permitió alcanzar un porcentaje de humedad final menor al 15%, disminuyendo su actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse sobre el alimento (Ochoa-Reyes *et al.*, 2013).

Deshidratar el jitomate implica que algunas características propias del fruto puedan perderse, pero que son importantes de conservar junto con el producto seco, como lo es el contenido de licopeno. Se ha observado que los contenidos de licopeno en productos deshidratados son consecuencia del tiempo y la temperatura a la que se someten, ya que los compuestos bioactivos, presentan susceptibilidad a la temperatura y al tiempo de exposición (Li *et al.*, 2015; Cooperstone *et al.*, 2016; Yilmaz *et al.*, 2017). El tratamiento a 50 °C fue el que presentó mejores contenidos de licopeno, por lo que se continuó con su microencapsulación, con el fin de disminuir la degradación del compuesto bioactivo durante el almacenamiento.

La microencapsulación mediante secado por aspersión ha resultado ser eficiente en la industria alimentaria y su efectividad depende de las condiciones que se seleccionen para llevarla a cabo. La velocidad de flujo, la temperatura de entrada, el material encapsulante y el porcentaje del material a encapsular, son las principales variables que influyen en los resultados.

La velocidad de flujo interviene en el tamaño de las microcápsulas y en el espesor de la pared, lo que interviene en el contenido de licopeno (Chew y Nyam, 2016). El incremento en la temperatura de entrada impide el equilibrio entre la tasa de evaporación del agua y la formación de películas estables, exponiendo el material encapsulado a altas temperaturas y obteniendo menores contenidos de licopeno (por Mishra *et al.*, 2014; Ranveer *at al.*, 2015). Es necesario emplear una proporción adecuada entre el material encapsulante y el material a encapsular, ya que a mayor cantidad de núcleo (material encapsulado) es menor la eficiencia de encapsulación, generando una mayor degradación del licopeno (Aguilar *et al.*, 2012; Mishra *et al.*, 2014). Lo que sugiere que la conservación del licopeno en los microencapsulados se debe a la buena conformación de la matriz y no a la cantidad del compuesto antioxidante.

La eficacia del material encapsulante depende de sus características, pero además, se ha encontrado que con la mezcla de diferentes materiales se obtienen mejores resultados. Por ello se evaluaron las diferencias de contenido de licopeno al utilizar mezclas en diferentes proporciones de goma arábiga y maltodextrina (Cuadro 6.1) (Parra-Huertas, 2010). El mejor tratamiento evaluado resultó ser aquel con una proporción 1:1 entre goma arábiga y maltodextrina, esto como consecuencia de que al combinarlas se constituye una continuidad en la estructura durante la formación de la película, resultando de combinar dos compuestos con muy diferente peso molecular (López-Hernández, 2010; Ranveer *at al.*, 2015).

Los resultados obtenidos sugieren que se obtuvo un microencapsulado con buenas características, lo que beneficia la estabilidad del licopeno por un periodo de tiempo prolongado, estas características se obtienen dependiendo de las condiciones del

tratamiento a las que fueron sometidas. El contenido de humedad, la solubilidad y la densidad aparente disminuyen con el aumento de la temperatura de secado (Mishra *et al.*, 2014; Botrel *et al.*, 2017). La densidad resultante depende de la velocidad de flujo y la temperatura de entrada del secado por aspersión, a menor velocidad de atomización las partículas se hacen más grandes y más densas (Ranveer *et al.*, 2015). La humectabilidad es la capacidad de penetración del líquido, esta propiedad depende en gran parte del tamaño de la partícula. Los porcentajes altos de solubilidad y dispersabilidad, junto con una rápida humectabilidad, siguieron una buena reincorporación para su uso posterior en la elaboración de alimentos funcionales.

Asimismo, con el análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) se corrobora que se encontró un tratamiento óptimo para mantener la estabilidad del encapsulado, presentando microcápsulas de forma esférica y uniformes, con una superficie lisa, sin grietas o porosidad aparente, aspectos indicativos de una buena protección del núcleo.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se establecen las siguientes conclusiones:

Primera hipótesis específica: menciona que el sistema de producción de jitomate en invernadero utilizado en la región de Aquixtla ha variado en los últimos años, esta investigación no encontró evidencias para rechazarla, ya que actualmente un mayor porcentaje de productores han optado por el sistema de fertirrigación, con el fin de disminuir costos de producción. Asimismo, se obtuvieron resultados de características de los productores, desarrollo de la AP en la región, variedad y tipo de fruto utilizado, meses de cultivo, ciclos de siembra, rendimientos de producción, precios del fruto, mercados de destino; con lo que se logró cumplir el objetivo de caracterizar el sistema de producción de jitomate producido bajo condiciones de Agricultura Protegida en la región de Aquixtla, Puebla.

Segunda hipótesis específica: menciona que las condiciones de secado por aspersión y convección forzada son determinantes en el contenido de licopeno, esta hipótesis no se rechaza ya que se encontró variación en los contenidos de licopeno para los diferentes tratamientos, siendo el tratamiento a 50 °C con el cual se obtuvieron buenos contenidos de licopeno y óptimos parámetros de color. Asimismo, se observaron diferencias en los contenidos de licopeno para las diferentes condiciones de secado por aspersión, las cuales determinan la eficacia para proteger el contenido de licopeno en las microencapsuladas. Cumpliendo con el objetivo de evaluar las condiciones de secado por convección forzada y secado por aspersión para preservar el contenido de licopeno en frutos de jitomate.

Tercera hipótesis específica: menciona que las características de la emulsión determinan la capacidad para proteger el material encapsulado, esta hipótesis no se rechaza ya que se encontraron diferencias en los contenidos de licopeno presentes en los microencapsulados, estableciendo que las características de la emulsión

determinan la capacidad para proteger el material encapsulado; pues una relación 1:1 de goma arábica y malotextrina propiciaron los mejores resultados en cuanto a rendimiento y contenido de licopeno, estable, óptimo para preservar el contenido de licopeno durante su almacenamiento. Cumpliendo con el objetivo de analizar el contenido de licopeno en distintos tratamiento de microencapsulación obtenidos mediante secado por aspersión

Y con relación a la caracterización del microencapsulado se concluye que se obtuvo un producto estable. Por lo anterior, se cumple la hipótesis general de que los excedentes de producción de jitomate fresco bajo Agricultura Protegida en la región de Aquixtla, pueden ser sometidos a las técnicas de secado y microencapsulado para aprovechar su contenido de licopeno. Y con ello generar nuevos mercados, enfocados en la elaboración de diversos productos y haciéndolos más llamativos para la industria alimentaria y cosmética.

Así se logra desarrollar una técnica como alternativa para el aprovechamiento de la producción excedente de fruto de jitomate fresco producido en Agricultura Protegida, para la conservación de Licopeno, en la región de Aquixtla, Puebla, cumpliendo con el objetivo general.

IX. ESTRATEGIA PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL JITOMATE PRODUCIDO BAJO CONDICIONES DE AP EN LA REGIÓN DE AQUIXTLA, PUEBLA

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación y tomando en cuenta las inquietudes de los productores de la región de estudio, se propone una estrategia orientada al aprovechamiento del jitomate excedente y la conservación de sus componentes bioactivos, enfocada en preservar sus propiedades que resultan benéficas para la salud. Esto, con el objetivo de que los productores cuenten con una alternativa de aprovechamiento a la que puedan recurrir cuando el precio del fruto se encuentre bajo, cuando tengan producto que no cumple con las características de calidad requeridas por el mercado o cuando se tenga un producto con un grado de madurez mayor al requerido para su comercialización en fresco.

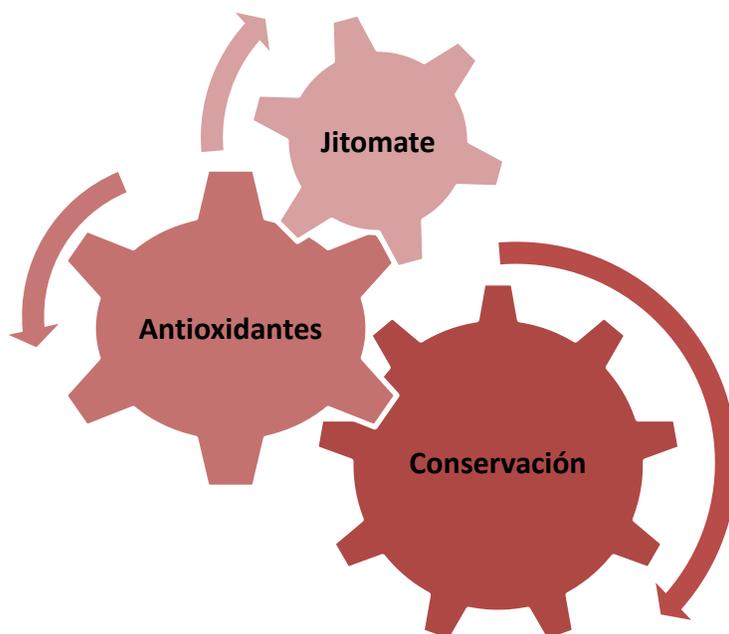


Figura 9.1. Diagrama general de la estrategia.

La estrategia que se propone en esta investigación parte de tres vertientes principales (Figura 9.1), las cuales sustentan esta investigación, la primera es relevante debido a que el jitomate es uno de los cultivos con mayor importancia socioeconómica en nuestro país. Su producción en condiciones de AP se ha incrementado a nivel estado y es el único cultivado en estas condiciones dentro de la región de Aquixtla, Puebla.

La segunda vertiente toma importancia como un alimento bioactivo, por el contenido de licopeno que tiene el fruto, el cual ha sido reconocido por su capacidad de detener el daño oxidativo, protegiendo así al organismo de la acción de los radicales libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades degenerativas (Waliszewski y Blasco, 2010; Pema *et al.*, 2015, Roque *et al.*, 2017). Sin embargo, el licopeno es susceptible a cambios químicos, tales como, la oxidación, la degradación o la isomerización cuando se expone a la luz y al oxígeno, por este motivo surge la tercera vertiente, ya que se requiere de un procedimiento efectivo para la conservación de las propiedades que este cultivo confiere.

Además el precio del jitomate es prácticamente impredecible y dentro de los resultados encontrados se reportó que el precio fue cercano a los \$ 4, lo que no favorece a los productores, ya que según estos mismos el costo de producción oscila entre los \$ 3-4 por kg. Así, esta estrategia cobra importancia debido a que en estos casos se puede optar por aprovechar el cultivo incrementando su vida útil recurriendo a la deshidratación, abriendo la posibilidad de que los productores incursionen en un nuevo nicho de mercado y ampliar la posibilidad de lograr la explotación, así como lograr que siempre se cuente con producto sin importar que este sea un cultivo estacional.

También se encontró que al paso de los años los productores seguirán incrementando el número de invernaderos y con ello su extensión total, sin embargo, si continúan sin diversificar los cultivos producidos bajo AP en la región, se corre el riesgo de que la oferta del producto se incremente muy por encima de la demanda y con ello el precio disminuya cada vez más, pero si existe una opción para aprovechar este incremento en la producción, como lo es la deshidratación y la microencapsulación mediante secado por aspersión del fruto, este incremento puede resultar como una ventaja y con ello una

opción de mercado para toda la región. Además de que esta técnica puede ser ampliada para otros cultivos de interés en el mercado, ya que existen muchos cultivos que poseen importantes propiedades bioactivas y al consumirlas favorecen la salud.

A continuación se presenta un análisis de las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que resultan de esta investigación (Cuadro 9.1), las cuáles reflejan la importancia de esta estrategia.

Cuadro 9.1. Matriz de análisis FODA.

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> - Aceptación de nuevas tecnologías por parte de los productores. - Fruto con propiedades antioxidantes. - La deshidratación como alternativa de conservación. - Mayor vida útil del producto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad para que los productores logren crear organizaciones. - No existe diversificación del cultivo. - No se cuenta con información referente al mercado del licopeno. - Falta de información sobre el costo de las microcapsulas de licopeno. - No existe un estudio de la relación costo-beneficio.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> - La producción de jitomate es una importante actividad económica en la región. - Crear nuevos nichos de mercado. - Preservar las propiedades antioxidantes del fruto mediante la microencapsulación. - Generación de nuevos productos funcionales. - Aprovechamiento de fruto que no tenga la calidad necesaria para su comercialización en fresco. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de la producción al existir pocas alternativas de comercialización. - Algunas pérdidas o poca ganancia para los productores en algunas temporadas. - Mucha variabilidad en el precio del fruto. - Posible desinterés hacia el secado por aspersión del fruto por parte de los productores.

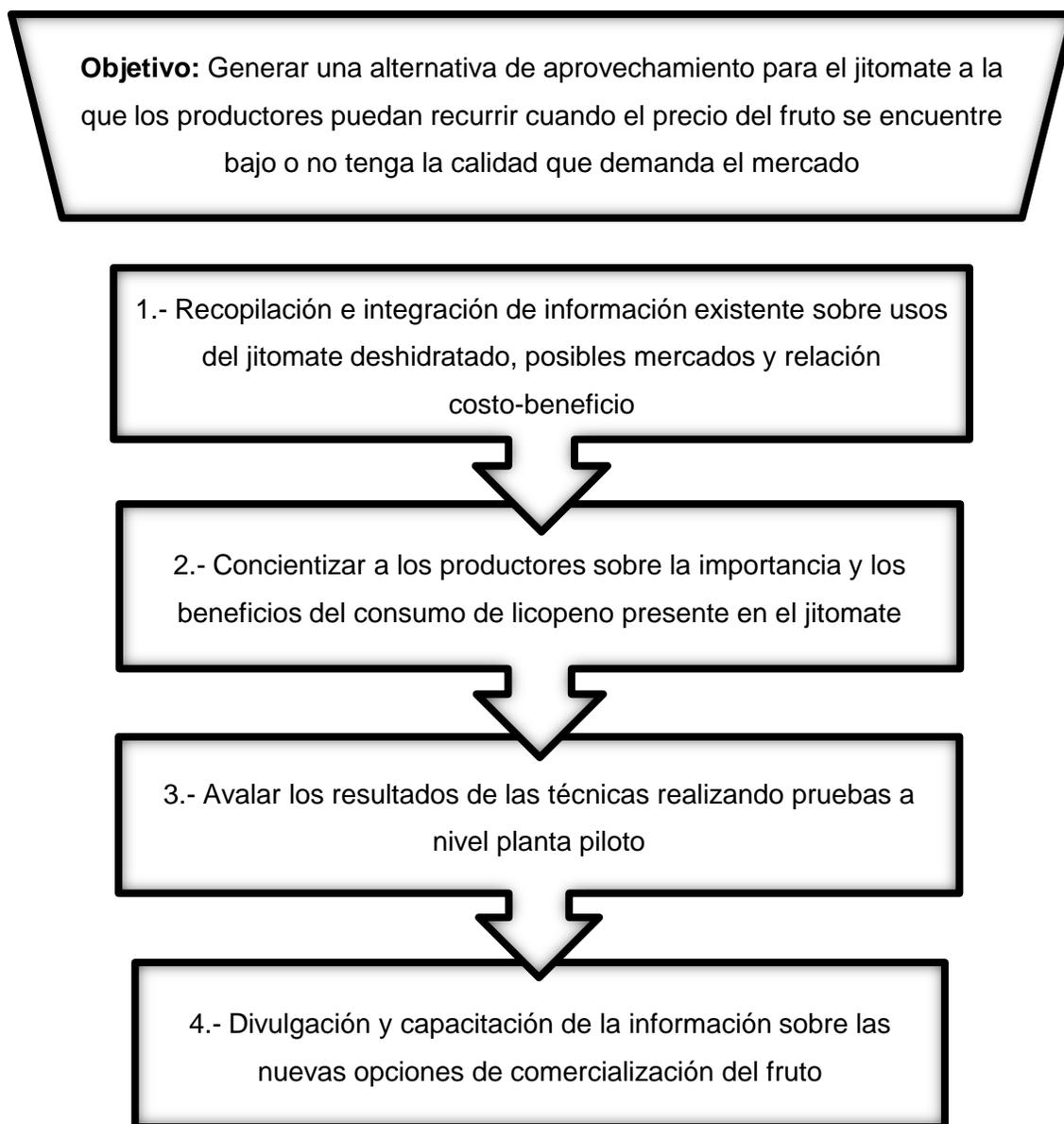


Figura 9.2. Diagrama para el cumplimiento de la estrategia.

Para lograr el cumplimiento del objetivo y viabilidad de la estrategia se propone seguir el diagrama expuesto en la Figura 9.2. En el cual se observa que es necesaria la interacción de diversos actores; en primera instancia se necesita personal capacitado que realice investigación para el cumplimiento del punto número uno, tres y cuatro; asimismo, contar con personal técnico que llevé a cabo el punto número dos para asegurar los beneficios que se proponen. También, los productores representan un

eslabón primordial para la ejecución de la estrategia, ya que son ellos quienes cuentan con la materia prima y quienes incursionarían en la elaboración de nuevos productos y nuevos nichos de mercado.

Finalmente, para que esta estrategia sea exitosa es necesario realizar un análisis más detallado sobre los costos iniciales requeridos para la implementación de esta técnica, asimismo se tiene un gran desafío en lograr la integración de algunos productores que se encuentren interesados en innovar el destino de su producción y centros de investigación que facilitan la adopción de esta tecnología, siendo importante garantizar un seguimiento enfocada en la capacitación de los productores para obtener recursos económicos y recursos humanos especializados, para que de esta manera, el método de conservación planteado abra nuevas oportunidades de comercialización y fomente el desarrollo de la región.

X. LITERATURA GENERAL

- Aguilar-Rocha, G., Fávares-Trindade C. S. y Ferreira-Grosso C. R. (2012). Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food and Bioproducts Processing*. 90, 37-42.
- Aguilar-Soto, C. y Romero Ibarra M. E. (2011). Organización empresarial y agricultura comercial: La Confederación de Asociaciones de Agricultores del Estado de Sinaloa, 1930-1960. *América Latina en la historia económica*. (36), 123-153.
- Araneda, C. y Valenzuela F. (2009). Microencapsulación de extractantes: una metodología alternativa de extracción de metales, *Revista Ciencia Ahora*. 22, 9-19.
- Armijo-Zúñiga, G. y Cubillos-Alfaro F. (2002). Conflictos territoriales entre la agricultura empresarial y la agricultura campesina en Chile. En: *Agricultura y espacio rural en Latinoamérica y España. Posibilidades y riesgos ante la mundialización de la economía*, Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 121-152.
- Atlas de Riesgos Aquixtla (2012). Plan de Desarrollo Municipal de Aquixtla Puebla 2008-2011. <<https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=Plan+de+desarrollo+municipal+de+aquixtla+Puebla>>. Consultado 10 de Enero de 2017.
- Ayllon-Torres, M. T. (2004). *Geografía económica*, 10 Edición, México. Editorial Limusa p.301.
- Botrel, D. A., Borges S. V., de Barros-Fernandes R. V., Antoniassi R., de Faria-Machado A. F., de Andrade-Feitosa J. P. y de Andrade R. M. (2017). Application of cashew tree gum on the production and stability of spray-dried fish oil. *Food Chemistry*. 221, 1522-1529.
- Briseño, P. (2017). ¡A 5 el jitomate!: Se desploma su precio por excedente de producción. *Excelsior*. <<http://www.excelsior.com.mx/nacional/2017/02/02/1143833>>. Consultado 15 de Marzo de 2017.

- Castaños, L. J. y Castro S. Z. (2014). Manejo forestal-Reserva Forestal Multifuncional-“El Manantial” S.C.: Conceptos, conductas y acciones, Comisión Nacional Forestal, México. p. 224.
- Cedillo-Portugal, E. y Calzada-Sandoval M. L. (2012). La horticultura protegida en México situación actual y perspectivas. Encuentros UNAM. 1-10.
- CEIGEP (2017). Información básica del municipio de Aquixtla, Fichas municipales. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del Estado de Puebla. <<http://www.coteigep.puebla.gob.mx/est231.php?muni=21016#TABLA!A3>>. Consultado 10 de Abril de 2017.
- Cepeda, P., Ponce P., Molina A. y Lugo E. (2013). Towards Sustainability of Protected Agriculture. IFAC Proceedings Volumes. 46(7), 366-371.
- Champagne, C. P. y Fustier P. (2007). Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. Current Opinition in Biotechnology. 18, 184-190.
- Chew, S. C. y Nyam K. L. (2016). Microencapsulation of kenaf seed oil by co-extrusion technology. Journal of Food Engineering. 175, 43-50.
- COFUPRO (2016). Agenda de innovación y transferencia de tecnología agrícola para el sector agroalimentario del estado de Puebla. SAGARPA. p. 76.
- Cooperstone, J. L., Francis D. M. y Schwartz S. J. (2016). Thermal processing differentially affects lycopene and other carotenoids in *cis*-lycopene containing, tangerine tomatoes. Food Chemistry. 210, 466-472.
- Cortés-Díaz, G. M., Prieto-Suárez G. A. y Roza-Nuñez W. E. (2015). Caracterización bromatológica y fisicoquímica de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) y su posible aplicación como alimento nutracéutico. Ciencia en Desarrollo. 6(1), 87-97.
- Crop-Science (2014). Tomatoes come in all shapes and sizes: They can grow in greenhouses or outdoors and each method of cultivation has its own characteristics. Bayer: Science For a Better Life. Crop Science. <<https://www.cropscience.bayer.com/en/stories/2014/tomatoes-for-the-global-market-a-fruity-success-story>>. Consultado 14 de Febrero de 2017.

- Cruzado, M. y Cedrón J. C. (2013). Nutraceuticos, alimentos funcionales y su producción. *Revista de Química*. 26, 33-36.
- de-Ancos, B., Fernández-Jalao I. y Sánchez-Moreno C. (2016). Compuestos funcionales en productos de iv yv gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 17(2), 130-148.
- de-Anda, J. y Shear H. (2017). Potential of vertical hydroponic agriculture in Mexico. *Sustainability*. 9(1), 140.
- Desai, K. G. H. y Park H. J. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients, *Drying Technology*. 23, 1361-1394.
- Enciclopedia (2005). Municipio Aquixtla, Puebla. <[http://enciclopedia.us.es/index.php/Municipio_Aquixtla_\(Puebla\)](http://enciclopedia.us.es/index.php/Municipio_Aquixtla_(Puebla))>. Consultado 30 de Diciembre de 2016.
- Enoch, H. Z. (1999). The history and geography of the greenhouse. *Greenhouse Ecosystems*, 1-16.
- Escobar, H. y Agrimbau J. (2007). Alimentos Funcionales: ¿Solución de todos los problemas?. *Revista Gastrohn up*. 9(1), 15-18.
- Fernández-Ruiz, V., Cámara M. y Quintela J. C. (2007). Ingredientes bioactivos de tomate: el licopeno. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*. 167, 36-40.
- FIRA (2013). Programa de apoyo a la inversión en equipamiento e infraestructura 2013: componente Agricultura Protegida. SAGARPA, México. <http://www.fira.gob.mx/Nd/Padron_beneficiarios2013.pdf>. Consultado 15 de Enero de 2016.
- FIRA (2014). Panorama agroalimentario: Tomate rojo 2014, México. <https://www.google.com.mx/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99101/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2014.pdf&ved=0ahUKEwjNkIih87fUAhVJyyYKHRwEAugQFgg-MAM&usg=AFQjCNFUHJfJIJTiuLHhiv1BurkgCEMDw&sig2=qqhpo7kR9tOvf0C1ZF7DVw>. Consultado Abril 2017
- Galaviz-Rodríguez, J. V., Cervantes-Hernández B. A., Martínez-Carmona R., Lima-Esteban M. y Hernández-Corona J. L. (2013). Fortificación de pan a base de

- tomate deshidratado (*Lycopersicum esculentum* Mil) en Tlaxcala. Revista Mexicana de Agronegocios. 17(32), 221-229.
- Gavidia-Valencia, J. G. (2016). Efecto antioxidante del néctar de *Prunus persica* "durazno" suplementado con Aloe vera "sábila" en suero sanguíneo de *Rattus rattus* var. albinus. UCV-SCIENTIA. 7(1), 52-57.
- Gobierno de México (2013). Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Gobierno de la República, México. <http://www.sev.gob.mx/educaciontecnologica/files/2013/05/PND_2013_2018.pdf>. Consultado 2 de Marzo de 2016.
- Hernández-Rodríguez, J., Fernández-Castillo A., Quinto-Diez P., Flores-Murrieta F. E. y Acosta-Olea R. (2011). Estudio de la cinética de secado de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Científica. 15, 125-130.
- Hunziker, A. T. (1979). South American Solanaceae: a synoptic survey, En: The Biology and Taxonomy of the Solanaceae, London, Academic Press. p. 49-85.
- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Aquixtla, Puebla. <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datosgeograficos/21/21016.pdf>>. Consultado 28 de Noviembre de 2016.
- INEGI (2014). Instituto nacional de estadística y geografía, Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2014, México.
- INEGI (2015). Encuesta Intercensal 2015. México. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/especiales/ei2015/doc/eic_2015_presentacion.pdf>. Consultado 5 de Diciembre de 2016
- Juárez-López, P., Bugarín-Montoya R., Sánchez-Monteón A. L., Balois-Morales R., Juárez-Rosete C. R. y Cruz-Crespo E. (2012). Horticultura protegida en Nayarit, México: situación actual y perspectivas. Revista Bio Ciencias. 1(4), 16-24.
- Kailasapathy, K. (2006). Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie. Food Science and Technology. 39, 1221–1227.

- Keshari, R., Rathore K. S., Bharkatiya M. y Mishra A. (2016). Microencapsulation drug delivery system-an overview. *PharmaTutor*. 4(12), 20-28.
- Khoo, H. E., Prasad K. N., Kong K. W., Jiang Y. y Ismail A. (2011). Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables. *Molecules*. 16(2), 1710-1738.
- Larroza, I. y Zerlotti A. (2007). Encapsulation of lycopene using spray-drying and molecular inclusion processes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 50, 893-900.
- Levy, J. y Sharoni Y. (2004). The functions of tomato lycopene and its role in human health. *Herbal Gram*. 62, 49-56.
- Li, C., Wang J., Shi J., Huang X., Peng Q. y Xue F. (2015). Encapsulation of tomato oleoresin using soy protein isolate-gum aracia conjugates as emulsifier and coating materials. *Food Hydrocolloids*. 45, 301-308.
- López-Hernández, O. D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersion. *Revista Cubana de Farmacia*. 44, 381-389.
- Lorenz, O. A. y Maynard D. N. (1988). *Knott's handbook for vegetable growers*. 3° edition. John Wiley & Sons. p.456.
- Lorenzo P. (2012). El cultivo en invernadero y su relación con el clima. *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios*. CEA03: 23-44.
- Luna-Guevara, M. L. (2011). Producción de autoindicadores y biopelículas microbianas y su relación con la calidad y composición química de jitomate cultivado en la región de Aquixtla, Puebla. Tesis de doctorado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola, Colegio de Postgraduados-Campus Puebla, Puebla, México.
- Luna-Guevara, M.L. (2012). Calidad y composición de compuestos bioactivos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivados en invernadero de fertirriego. Producción de Autoinductores y Biopelículas Microbianas y su Relación con la Calidad y Composición Química de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) Cultivado en la Región de Aquixtla, Puebla. p: 75-88.

- Macías-Macías, A. (2010). Competitividad de México en el mercado de frutas y hortalizas de Estados Unidos de América. *Agroalimentaria*. 16(31), 31-48.
- Martínez-Hernández, G. B., Boluda-Aguilar M., Taboada-Rodríguez A., Soto-Jover S., Marín-Iniesta F. y López-Gómez A. (2016). Processing, packaging, and storage of tomato products: influence on the lycopene content. *Food Engineering Reviews*. 8(1), 52-75.
- Medina-Saavedra, T., Arroyo-Figueroa G. y Dzul-Cauih J. G. (2017). Origin and evolution of tomato production *Lycopersicon esculentum* in México. *Ciencia Rural*. 47(3), 1-8.
- Meléndez-Martínez, A. J.; Vicário I. M. y Heredia F. J. (2004) Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 54, 209-215.
- Mishra, P., Mishra S. y Mahanta C. L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Embllica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*. 92(3), 252-258.
- Monardes, H. (2009). Características botánicas. *Manual de Cultivo de Tomate (Lycopersicon esculentum Mill)*. Encuentros UNAM. 1, 1-10.
- Morales-Navarrete, R. (2010). Jitomates, un éxito agrícola de México, *El economista*. <<http://eleconomista.com.mx/industrias/2010/06/17/jitomates-exito-agricola-mexico>>. Consultado 10 de Marzo 2017.
- Moreno-Reséndez, A., Aguilar-Durón J. y Luévano-González A. L. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México, *Revista Mexicana de Agronegocios*. 15, 763-774.
- Moreno-Vargas, A. (2014). Mantenimiento y manejo de invernaderos. *Paraninfo*, España. p. 86.
- Mosqueda-Sánchez, G. S. y Sosa-Morales M. E. (2015). Secado con microondas de rebanas de jitomate. *Jóvenes en la Ciencia*. 1(2), 1552-1557.

- NaanDanJain (2012). Tomato:Tomato cultivation in open fields and greenhouses. NaanDanJain Irrigation. <http://www.naandanjain.com/uploads/catalogerfiles/tomato-2/Tomato_eng_booklet_190812final%20.pdf>. Consultado 02 de Diciembre de 2016.
- Navarro-González, I. y Periago M. J. (2016). El tomate, ¿alimento saludable y/o funcional?. Revista Española de Nutrición Humana y Dietética. 20(4), 323-335.
- Nguyen, M. L. y Schwartz S. J. (1999). Lycopene: Chemical and biological properties. Food Technology. 53, 38-44.
- Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz J. J., Ruiz-Cruz S., Ibarra-Junquera V., Pérez-Martínez J. D., Guevara-Arauz J. C. y Aguilar C. N. (2013). Tecnologías de deshidratación para la preservación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). BIOtecnica. 15, 39-46.
- Padilla-Bernal, L., Reyes-Rivas E. y Lara A. (2010). Eficiencia económica y competitividad en los sistemas de producción bajo la agricultura protegida en Zacatecas. Red Internacional de Investigadores en Competitividad. 4(1), 1314-1331.
- Padilla-Bernal, L., Lara A. y Vélez A. (2015). Evaluación del desempeño ambiental de las unidades de producción con agricultura protegida. Red Internacional de Investigadores en Competitividad. 9(1), 2019-2035.
- Padilla-Quiroz, R. (2016). Tierras de Historia: Aquixtla. E.Bloom. p.104.
- Palma, C. (2016). Aquixtla y la memoria. Kaja Negra. <<http://kajanegra.com/aquixtla-y-la-memoria/>>. Consultado 22 de Enero de 2017.
- Parra-Huertas, R. A. (2010). Revisión: Microencapsulación de alimentos. Revista Facultad Nacional de Agronomía. 63(2), 5669-5684.
- Pema, A., Janakiraman U., Manivasagam T. y Thenmozhi A. (2015). Neuroprotective effect of lycopene against MPTP induced experimental Parkinson's disease in mice. Neuroscience Letters. 599, 12-19.

- Peñaloza, J. K. y Rojano B. A. (2014). Potenciación de la capacidad antioxidante mediante interacción sinérgica entre bioactivos de frutas nativas colombianas. *Alimentos Hoy*. 22(33), 3-25.
- Peralta, I. E., y Spooner D. M. (2000). Classification of wild tomatoes: a review. *Kurtziana*. 28, 45-54.
- Periago, M. J., García-Alonso J., Jacob K., Jorge-Vidal V., García-Valverde V. y Ros-Berrueto G. (2008). Licopeno y otros antioxidantes del tomate. Papel en la prevención de enfermedades cardiovasculares, *Ciencia en la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la UACJ*. 6, 65-74.
- Pilatti, R. A. (1997). Cultivo bajo invernaderos. Ed. Hemisferio Sur, S.A. Universidad Nacional del Litoral. Buenos Aires, Argentina. p. 176.
- Plan de Desarrollo Municipal de Aquixtla Puebla 2008-2011 (2008). <<https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=Plan+de+desarrollo+municipal+de+aquixtla+Puebla>>. Consultado 25 de Noviembre de 2016.
- Porcel, A. Z. y Artetxe E. S. (2016). Una introducción a los textiles artificiales en las colecciones de indumentaria del siglo XX y su conservación. *Ge-conservación*. (9), 31-44.
- Ranveer, R. C., Gatade A. A., Kamble H. A. y Sahoo A. K. (2015). Microencapsulation and storage stability of lycopene extracted from tomato processing waste. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 58(6), 953-960.
- Rivera-Loja, C., Carrillo-Rodríguez M., Novillo-Luzuriaga N., Peñafiel-León R. y Landines-Vera F. (2016). Procesamiento del té verde, enriquecido con vitamina C y superóxido dismutasa para la obtención de una bebida funcional antioxidante. *Revista Ciencia UNEMI*. 9(20),100-107.
- Rojas-Jiménez, S., Lopera-Valle J. S., Uribe-Ocampo A., Correa-Pérez S., Perilla-Hernández N. y Marín-Cárdenas J. S. (2015). Nutraceutical consumption, an alternative in the prevention of non transmissible chronic diseases. *Biosalud*. 14(2), 91-103.

- Roque, A. C., Leyva S. y Pérez G. (2017). Elaboración de alimentos con vegetales que contienen licopeno. *Lacandonia*. 2(2), 131-138.
- Ruiz, B. D. (2008). Globalización y competitividad en el sector hortofrutícola: México, el gran perdedor. *El Cotidiano*. 23, 91-98.
- SAGARPA (2009). Estudio de factibilidad de alternativas de riego por medio de una presa en el municipio de Tetela de Ocampo en el estado de Puebla: Estudios técnicos. <<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/puebla/Documents/presa%20en%20tetela%20de%20ocampo.pdf>>. Consultado 24 de Julio de 2016.
- SAGARPA (2012). Agricultura Protegida 2012. <<http://2006-2012.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/Agricultura-Protegida2012.aspx>>. Consultado 9 de Diciembre de 2016.
- SAGARPA (2015). Elementos Técnicos y Valores de Referencia de los Conceptos de Apoyo en materia agrícola, para el Programa de Concurrencia con las Entidades Federativas, 2015, SAGARPA, México. <<http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/DGFA2015/ELEMENTOS%20TECNICOS%202015.pdf>>. Consultado 15 de Enero de 2017.
- SAGARPA (2017a). Exportaciones de tomate aumentan 22.7 por ciento en cinco meses. <<http://www.gob.mx/sagarpa/prensa/97467>>. Consultado 22 de Marzo de 2017.
- SAGARPA (2017b). Aumenta 35 por ciento producción de jitomate "Hecho en México". <<https://www.gob.mx/sagarpa/prensa/aumenta-35-por-ciento-produccion-de-jitomate-hecho-en-mexico?idiom=es>>. Consultado 24 de Marzo de 2017.
- Sánchez, A., Flores-Cotera L. B., Langley E., Martín R., Maldonado G. y Sánchez S. (1999) Carotenoides: Estructura, función, biosíntesis, regulación y aplicaciones, *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 41, 175-191.
- Sandoval-Peraza, V. M., Cu-Cañetas T., Peraza-Mercado G. y Acereto-Escoffí P. O. M. (2017). Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutraceuticas, *OmniaScience Monographs*. <<http://omniascience.com/monographs/index.php/monograficos/article/view/358/256>>. Consultado 8 de Marzo de 2017

- SFA-SAGARPA (2010). Monografía de cultivos: Jitomate. p: 1-10
- Santos, B., Obregón H. y Salamé T. (2010). Producción de hortalizas en ambientes protegidos: estructuras para la agricultura protegida. <http://horticulture.ucdavis.edu/main/Deliverables/Santos_academic_paper_estructuras_para_la_agricultura_protegida.pdf>. Consultado 06 de Enero de 2017.
- Shu, B., Yu W., Zhao Y. y Liu X. (2006). Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying, *Journal of Food Engineering*. 76, 664-669.
- SNIIM (2015). Sistema Nacional de información e integración de mercados. Secretaría de Economía, México. <<http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>>. Consultado 28 de Enero de 2016.
- Valdez-Morales, M., Medina-Godoy S., Chacón-López M. A. y Espinosa-Alonso L. G. (2016). Enfoque integral de la importancia de la dieta en las condiciones actuales de salud de la población mexicana/comprehensive approach of diet importance on health status of the mexican population. *Biotecnia*. 18(1), 22-31.
- Valenzuela, A., Valenzuela R., Sanhueza J. y Morales G. (2014). Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación?. *Revista Chilena de Nutrición*. 41(2), 198-204.
- Vicenta-Paparella, C., Pavesi A. B., Feldman R. N. y Bouvet B. R. (2015). Importancia de la evaluación del estrés oxidativo en el semen humano. *Archivos de Medicina Interna*. 37(1), 7-14.
- Vitale, A. A., Bernatene E. A. y Pomilio A. B (2010). Carotenoides en quimioprevención: Licopeno. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*. 44, 195-238.
- Waliszewski, K. N. y Blasco G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud Pública de México*. 52(3), 254-265.
- Xianquan, S., Shi J., Kakuda Y. y Yueming J. (2005). Stability of lycopene during food processing and storage. *Journal of Medicinal Food*. 8, 413-422.

Yilmaz, T., Kumcuoglu S. y Tavman S. (2017). Ultrasound-assisted extraction of lycopene and β -carotene from tomato-processing wastes. *Italian Journal of Food Science*. 29(1), 186-194.

Zamora, S. J. D. (2007). Antioxidantes: Micronutrientes en lucha por la salud, *Revista Chilena de Nutrición*. 34(1), 17-26.

XI. ANEXO

Guía de entrevista a productores de Jitomate en Aquixtla, Puebla

Cuestionario No. _____ Fecha: _____

Hora: _____ Tel del productor: _____

A) Datos Generales

Nombre del productor: _____

Localidad: _____ Edad _____ Sexo _____

Escolaridad: _____ (años) Coordenadas: _____

B) Producción en invernadero

1.- ¿Cuánto tiempo tiene trabajando en actividades agrícolas? _____

2.- ¿En qué año comenzó con la siembra en invernadero? _____

3.- ¿De qué tamaño es su invernadero? _____

a) 500 m² b) 1000 m² c) 2000-3000 m² d) Más de 3000 m²

4.- ¿Su invernadero fue financiado o apoyado por alguna institución de gobierno o privada?

a) Apoyo b) Financiamiento c) No d) ¿Cuál? _____

5.- ¿Cuál fue el costo total del invernadero? _____

6.- ¿Qué porcentaje del costo invirtió usted? _____

7.- Almacena su cosecha: a) Si b) No Por cuánto tiempo _____

Si respondió Si continúe, si es que No pase a la pregunta 13:

8.- ¿Cómo almacena la cosecha? _____

9.- ¿Controla las condiciones de almacenamiento? a) Si b) No
Condiciones _____

10. ¿Tiene pérdida durante el almacenamiento de la cosecha? a) Si b) No

11.- ¿Cuáles son los principales problemas de pérdida durante el almacenamiento? _____

12.- ¿Cuál es la variedad en la que se ha tenido mayores pérdidas?

C) Tecnología de producción

13.- ¿Qué tipo de semilla usa?

a) Variedad: _____ b) Híbrido: _____ c) No lo se

14. ¿Cuáles son los híbridos tipo bola que ha sembrado con mayor frecuencia en los últimos cinco años? _____

15. ¿Cuáles son los híbridos tipo saladette que ha sembrado con mayor frecuencia en los últimos cinco años? _____

16.- ¿Qué hace para obtener la plántula?

a) La produce b) La compra c) La maquila

17.- ¿Cuál es el tipo de fruto que cultiva actualmente y en qué porcentaje?

a) Bola () _____% b) Saladette () _____%

18.- ¿Cuántos ciclos de siembra realiza al año?: _____

19.- ¿Cuando inicia y cuando finaliza cada ciclo?: _____

20.- ¿Cuál es el número de racimos que alcanza?: _____

21.- ¿Cuál es el número de plantas por m²?: _____

22.- ¿Con base en qué criterio realiza la cosecha?

a) Coloración de fruto:

- Verde
- Verde oscuro
- Ligeramente rosa
- Rosa
- Ligeramente rojo
- Rojo

b) Con qué grado de madurez cosecha: verde madurez fisiológica

madurez de consumo.

c) Número de días a partir de la fecha de trasplante _____

Otro (especifique) _____

23. - ¿Cuál es el sistema de producción que utiliza para producir jitomates?

- a) Siembra en suelo b) Siembra en hidroponia c) Ambos

24.- Como realiza los riegos:

- a) Con solución nutritiva b) Agua c) ambas

D) Nivel de tecnificación del invernadero

25.- ¿Porque tiene esa orientación?

26.- ¿Cómo controla algunos factores del clima en el invernadero?

F) Aspectos socioeconómicos

27.- Pertenece a alguna organización de productores: a) Si, ¿a cuál?
 _____ b) No

28.- ¿La producción en invernadero es su principal actividad económica? Si () No ()

29.- ¿Cuántas horas a la semana dedica a esta actividad?: _____

30.- Indique si realiza otras actividades económicas y aproximadamente cuanto tiempo les dedica.

Actividades	Tiempo (hr/semana)
1=Ganadería	
2=Comercio	
3=Albañilería	
4=Obrero	
5=Servicios	
6=Otros (especificar): _____	

31.- ¿Qué cultivos produce en su invernadero?

Cultivos y variedad o híbrido	Producción en ton/ha	Precio por Kg

32.- ¿Cuál es el destino de la cosecha de los cultivos que produce?

Destino de la cosecha	1= Nunca 2= Algunas veces 3= Siempre
Autoconsumo	
Venta en mercados locales	
Venta en mercados nacionales	
Exportación	

33.- ¿El cultivo que siembra actualmente es rentable?

- a) Muy poco b) Regular c) Mucho

34- En los últimos cinco años ¿Cuál ha sido el comportamiento de los precios anuales de venta de jitomate por ciclo y variedad o híbrido?

a) () 2013 Precio de venta_____/_____\$ Variedad _____

b) () 2012 Precio de venta_____/_____\$ Variedad _____

c) () 2011 Precio de venta_____/_____\$ Variedad _____

d) () 2010 Precio de venta_____/_____\$ Variedad _____

e) () 2009 Precio de venta_____/_____\$ Variedad _____

35.- ¿De manera general, cuáles son los principales criterios demandados por el comprador?

- a) Tamaño b) Tipo c) Grado de madurez d) Otro _____
-

36.- Aproximadamente ¿Cuánto le cuesta producir 1 kg de jitomate? \$_____

¡Gracias por su apoyo!