



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE HUATUSCO**

---

---

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas en puré de jitomate (*Solanum lycopersicum* var. 'saladette') producido por expansión ultrarrápida.

# **TESIS**

Que como requisito para obtener el título de:  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTA:**

Saúl Hernández González

**DIRECTOR DE TESIS:**

Dr. Oscar Andrés Del Ángel Coronel.

**HUATUSCO, VER.**

**SEPTIEMBRE 2019**



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación

VERA  
CRUZ  
MELENA DE ORULLO



**DET**  
Departamento de Educación  
Tecnológica



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Huatusco, Ver., a 18 de septiembre de 2019.

**C. SAUL HERNANDEZ GONZALEZ**  
PASANTES DE LA CARRERA DE  
ING. EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
PRESENTE.

En relación a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación que después de haber sido analizado exhaustivamente la **TESIS** titulada:

**"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS EN PURÉ DE JITOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM VAR. 'SALADETTE') PRODUCIDO POR EXPANSIÓN ULTRARRÁPIDA."**

Se le notifica que a mi juicio este cumple con los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes de la **TESIS**, por lo que se autoriza su impresión.

ATENTAMENTE.

**SEP**

**SEV**



INSTITUTO TECNOLÓGICO  
SUPERIOR DE HUATUSCO  
CLAVE 30EIT0013Z

DIRECCIÓN GENERAL

**M.M. VÍCTOR MANUEL ARCOS FERIA**  
DIRECTOR DEL ITSH.



Avenida 25 poniente num. 100 Col. Reserva Territorial  
Huatusco, Veracruz, México. C.P. 94100  
Tel. (01 273-734-40-00), e-mail: tec\_huatusco@hotmail.com  
[www.itshuatusco.edu.mx](http://www.itshuatusco.edu.mx)





**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación

VERA  
CRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



**DET**  
Dirección de Estudios  
Tecnológicos



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Huatusco, Ver., a 17 DE SEPTIEMBRE DE 2019  
Asunto: Liberación del Informe final

**ING. CARINA ACOSTA SÁNCHEZ**  
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
P R E S E N T E.

Por este medio les informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral.

|                         |                                                                                                                                                        |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre de los egresados | C. SAUL HERNANDEZ GONZALEZ                                                                                                                             |
| Carrera:                | Ing. en Industrias Alimentarias                                                                                                                        |
| No. de Control:         | 133Z0263                                                                                                                                               |
| Nombre del Proyecto:    | Evaluación de las propiedades fisicoquímicas en puré de jitomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> var. 'saladette') producido por expansión ultrarrápida. |
| Producto:               | I. TESIS                                                                                                                                               |

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta actividad para la formación profesional de nuestros(as) egresados(as).

ATENTAMENTE

ING. SALOMON LOPEZ SERRANO  
JEFE DE CARRERA DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

|                                                                     |                                                                      |                                                              |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                                     |                                                                      |                                                              |
| DR. OSCAR ANDRÉS DEL ÁNGEL CORONEL<br>Nombre y Firma del Asesor (a) | M.C. MAGDALENA JIMENEZ<br>HERNANDEZ<br>Nombre y Firma del Revisor(a) | ING. ESTEBAN GUTIÉRREZ PEÑA<br>Nombre y Firma del Revisor(a) |

C.C.P.- División de ISIC- para su conocimiento.  
Archivo..



Avenida 25 poniente num. 100 Col. Reserva Territorial  
Huatusco, Veracruz, México, C.P. 94100  
Tel. (01 273-734-40-00), e-mail: tec\_huatusco@hotmail.com  
[www.itshuatusco.edu.mx](http://www.itshuatusco.edu.mx)

9000  
0001  
FACTUAL NÚMERO  
00000000

## **Dedicatorias**

A mis padres, Adriana y Benito, quienes me han aconsejado, guiado y me han enseñado todo lo necesario para poder salir adelante.

A mi hermana, Fernanda, por todo el apoyo y animo que demostró durante esta gran etapa.

A mis abuelos y tíos, por sus consejos y todo el apoyo incondicional demostrado.

Todos aquellos que hicieron parte de ésta etapa y mi gran sueño, muchas gracias.

## **Agradecimientos**

A mi familia por su apoyo en cada momento, a mis padres y hermana por sus consejos, valores, motivación, amor incondicional que me permitieron no rendirme.

A todos los profesores por su apoyo y conocimientos que me permitieron culminar ésta etapa, y de quienes he aprendido a lo largo de mi formación profesional, infinitas gracias por todo el tiempo y paciencia.

A mis compañeros y amigos que siempre me estuvieron ahí para dar una palabra de ánimo, apoyo, reír y llorar a mi lado, y que de una u otra forma pusieron un granito de arena para que éste sueño se cumpliera.

A todo el personal del centro de investigación UNIDA, en especial al laboratorio de postcosecha, por toda la ayuda brindada durante mis residencias profesionales.

# **Evaluación de las propiedades fisicoquímicas en puré de jitomate (*Solanum lycopersicum* var. 'saladette') producido por expansión ultrarrápida.**

**Saúl Hernández González<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. División de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Av. 25 Poniente No. 100 Col. Reserva Territorial, Huatusco, Ver. C.P. 94100. Correo-e: saul\_29\_95@hotmail.com

## **Resumen**

El jitomate es utilizado como materia prima base para la elaboración de pastas, salsas, purés, jugo, y otros productos. Una de las principales preocupaciones en la industria de procesamiento de alimentos es la supervivencia y el crecimiento de patógenos, causando el deterioro bacteriano y las infecciones humanas, y que afectan a la salud y seguridad de los consumidores. A pesar del tratamiento térmico “esterilización comercial” que se utiliza para conservar los purés envasados, existe la posibilidad de fallas en el proceso que pueden alterar las condiciones sanitarias del producto. El objetivo del presente estudio fue analizar el puré de jitomate obtenido por expansión ultrarrápida mediante técnicas de postcosecha. Se analizaron las variables: acidez titulable, pH, sólidos solubles totales, colorimetría y contenido de licopeno. De acuerdo los resultados obtenidos se observaron efectos altamente significativos ( $P \leq 0.001$ ) influenciados por los diversos tratamientos para las variables sólidos solubles totales (%SST), tono o matiz ( $^{\circ}$ Hue) y contenido de licopeno (mg/Kg).

**Palabras Clave:** Vida de anaquel, características fisicoquímicas, calidad, expansión ultrarrápida, puré.

# Physicochemical properties in tomato (*Solanum lycopersicum* var. 'saladette') puree produced by Flash Vacuum Expansum.

Saúl Hernández González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. División de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Av. 25 Poniente No. 100 Col. Reserva Territorial, Huatusco, Ver. C.P. 94100. Correo-e: saul\_29\_95@hotmail.com

## Abstract

The tomato is used as a raw material base for the preparation of pasta, sauces, purées, juice, and other products. One of the main concerns in the food processing industry is the survival and growth of pathogens, causing bacterial deterioration and human infections, and affecting the health and safety of consumers. In spite of the thermal treatment "commercial sterilization" that is used to preserve the packaged purées, there is the possibility of faults in the process that can alter the sanitary conditions of the product. The objective of the present study was to analyze the tomato puree obtained by flash vacuum expansum by postharvest techniques. The variables titratable acidity, pH, total soluble solids, colorimetry and lycopene content were analyzed. According to the results obtained, highly significant effects were observed ( $P \leq 0.001$ ) influenced by the different treatments for the total soluble solids variables (% SST), tone or hue ( $^{\circ}$ Hue) and lycopene content (mg /Kg).

**Key words:** Shelf life, physicochemical characteristics, quality, flash vacuum expansum, puree.

## Contenido

|        |                                                      |    |
|--------|------------------------------------------------------|----|
| I.     | INTRODUCCIÓN .....                                   | 12 |
| II.    | ANTECEDENTES .....                                   | 15 |
| III.   | MARCO TEORICO .....                                  | 19 |
| 3.1    | Variables fisicoquímicas del puré de tomate .....    | 21 |
| 3.1.1. | <i>pH</i> .....                                      | 21 |
| 3.1.2  | Solidos solubles totales .....                       | 22 |
| 3.1.3  | Acidez titulable.....                                | 23 |
| 3.1.4  | Colorimetría .....                                   | 24 |
| 3.1.5  | Licopeno .....                                       | 27 |
| IV.    | JUSTIFICACION .....                                  | 30 |
| V.     | HIPOTESIS .....                                      | 32 |
| VI.    | OBJETIVOS .....                                      | 33 |
| 6.1    | Objetivo general.....                                | 33 |
| 6.2    | Objetivos específicos .....                          | 33 |
| VII.   | MATERIALES Y MÉTODOS .....                           | 34 |
| 7.1    | Material vegetal .....                               | 34 |
| 7.2    | Equipo de expansión ultrarrápida .....               | 34 |
| 7.3    | Determinación de variables fisicoquímicas .....      | 36 |
| 7.3.1  | <i>Medición de pH</i> .....                          | 36 |
| 7.3.2  | <i>Acidez titulable</i> .....                        | 36 |
| 7.3.3  | <i>Solidos Solubles Totales (%)</i> .....            | 37 |
| 7.3.4  | <i>Medición objetiva de color</i> .....              | 38 |
| 7.3.5  | <i>Determinación del contenido de licopeno</i> ..... | 39 |
| 7.4    | Diseños experimentales y análisis de datos .....     | 39 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                       | 40 |
| 8.1. Evaluación del efecto de los tratamientos sobre el puré de jitomate .....           | 40 |
| 8.2. Evaluación del efecto de los días de almacenamiento sobre el puré de jitomate ..... | 43 |
| 8.2.1 Evaluación de pH.....                                                              | 44 |
| 8.2.2 Determinación de Acidez Titulable.....                                             | 44 |
| 8.2.3 Solidos Solubles Totales.....                                                      | 46 |
| 8.2.4 Cambios de color .....                                                             | 48 |
| 8.2.4.1 Hue.....                                                                         | 48 |
| 8.2.4.2 Croma .....                                                                      | 49 |
| 8.2.4.3 Luminosidad .....                                                                | 50 |
| 8.2.5 Cambios en la concentración de licopeno .....                                      | 51 |
| IX. CONCLUSIONES.....                                                                    | 53 |
| X. Bibliografía .....                                                                    | 54 |
| XI. ANEXOS .....                                                                         | 60 |

## Índice de cuadros

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Características y efectos microbiológico de la expansión ultrarrápida <i>versus</i> otros métodos. ....                            | 20 |
| Cuadro 2. Comparación entre espectrofotómetros y colorímetros (HunterLab.) ...                                                               | 25 |
| Cuadro 3. Clasificación de los modelos de color de acuerdo a tres categorías principales (Wu, 2013) .....                                    | 26 |
| Cuadro 4. Principales alimentos que contribuyen en la ingesta de licopeno en la dieta humana (Periago, 2001). ....                           | 28 |
| Cuadro 5. Efecto de los tratamientos sobre cada una de las variables analizadas en puré de jitomate. ....                                    | 40 |
| Cuadro 6. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable pH. ....                                      | 44 |
| Cuadro 7. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable Acidez Titulable. ....                        | 45 |
| Cuadro 8. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable Solidos Solubles Totales. ....                | 46 |
| Cuadro 9. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable °Hue. ....                                    | 48 |
| Cuadro 10. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable Croma. ....                                  | 49 |
| Cuadro 11. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable Luminosidad. ....                            | 50 |
| Cuadro 12. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable Cambio en la concentración de licopeno. .... | 52 |

## Índice de figuras

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Estructura química del licopeno (Periago, 2001).....                                                                               | 29 |
| Figura 2 Pruebas para obtener el puré (A) y termopares para medir la temperatura interna de la cámara (B). Fuente: Elaboración propia. .... | 35 |
| Figura 3 Puré final por el método de expansión ultrarrápida. Fuente: Elaboración propia. ....                                               | 35 |
| Figura 4 Material utilizado para realizar las pruebas. Fuente: Elaboración propia.                                                          | 37 |
| Figura 5 Equipo utilizado para realizar las pruebas. Fuente: Elaboración propia..                                                           | 37 |
| Figura 6 Colorímetro usado para realizar el análisis. Fuente: Elaboración propia.                                                           | 38 |

## **I. INTRODUCCIÓN**

El jitomate es originario de México, Perú y Ecuador, donde se encuentran diversas variedades silvestres. A la llegada de los españoles el tomate formaba parte de los huertos de hortalizas de Mesoamérica. Actualmente, el jitomate es la hortaliza más popular y aceptada en la cultura gastronómica de la mayoría de los países. A nivel mundial se rebasan los 3 millones de hectáreas cosechadas de tomate anualmente, con una producción promedio que fluctúa alrededor de los 86 millones de toneladas por año (FIRA, 2016).

México ocupa la novena posición en producción de jitomate y es el tercer país exportador de esta hortaliza. De acuerdo con información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP), en 2016 el volumen de producción ascendió a 3.3 millones de toneladas, cifra que significa un crecimiento de 8.1% respecto del año previo. Además, destaca que el valor de la producción de jitomate ascendió a 23.9 miles de millones de pesos, que representa 4.6% del valor total de la producción agrícola. También es importante mencionar que poco más de 45% de la producción se exporta hacia diferentes destinos, entre ellos, el principal es Estados Unidos (SIAP, 2016).

En nuestro país se prefiere el consumo del jitomate en fresco por sus vitaminas y minerales. Además, el jitomate es utilizado como materia prima base para la elaboración de pastas, salsas, purés, jugo, y otros productos (Castro, 2011).

Estos productos y el fruto en fresco tienen una enorme importancia económica en todo el mundo. Su importancia reside en sus apreciadas propiedades sensoriales, siendo capaz de integrarse en preparaciones alimenticias diversas, ya sea cocido o crudo, y también, en sus propiedades nutricionales, siendo una fuente importante de compuestos bioactivos y antioxidante, como el licopeno, entre otros (Cámara, 2012).

Una de las principales preocupaciones en la industria de procesamiento de alimentos es la supervivencia y el crecimiento de patógenos, causando el deterioro bacteriano y las infecciones humanas, que afectan a la salud y seguridad de los consumidores. Hoy en día, se necesitan nuevas tecnologías de procesamiento para ofrecer productos de acuerdo con los requerimientos, manteniendo al mismo tiempo otros atributos de calidad principal, como las propiedades nutritivas y sensoriales (Dahlia Daher, 2017).

El procesamiento térmico (TP) es el método convencional de pasteurización y esterilización de alimentos. Si bien los productos procesados térmicamente son seguros, la aplicación de calor perjudica la calidad de los alimentos. Los avances recientes en el procesamiento alternativo de alimentos han creado nuevos enfoques para preservar los alimentos sin comprometer la calidad del producto. Entre estos métodos, el procesamiento a alta presión (HPP) es un método de conservación de alimentos prometedor, en el que los alimentos se exponen a altas presiones durante un corto período, para lograr la inactivación microbiana. Dado que el tratamiento a presión no rompe los enlaces covalentes, puede retener la calidad de los alimentos y las características frescas, al tiempo que prolonga la vida útil de anaquel (Loc. T. Nguyen, 2015).

Además esporas patógenas tales como *Clostridium botulinum* y variedades de *Bacillus* y *Clostridium* pueden ser inactivadas a través de sinergias de calor y presión (Zhu, 2008).

En este proyecto se tiene como objetivo principal analizar las características fisicoquímicas del puré de jitomate obtenido mediante expansión ultrarrápida para, ya que utilizando este proceso el fruto se somete a temperaturas relativamente bajas (60°C en el interior del fruto), en comparación a otros procesos de obtención de puré, y a un tratamiento de baja presión (-90 PSI), y así demostrar que mediante este procesamiento se pueden aprovechar de mejor manera las propiedades químicas y físicas del fruto de jitomate.

## II. ANTECEDENTES

Hsu (2008) realizó la evaluación de las cualidades de procesamiento del jugo de jitomate inducido por el procesamiento térmico y de presión, para obtener el jugo de jitomate, los jitomates lavados, equilibrados a temperatura ambiente durante 1 h, se homogeneizaron dos veces mediante un mezclador en ducha con la alta velocidad durante 10 segundos y posteriormente fueron tamizados para eliminar trozos de piel y cualquier semilla.

Para llevar a cabo el tratamiento, los jitomates se almacenaron a 7°C antes de los tratamientos en 7 días. Se vertió zumo de tomate en bolsas dobles de polietileno y se selló al vacío seguido de rotura en caliente (92°C, 2 min) o rotura en frío (60°C; 2 min) en un baño de agua. El jugo tratado se enfrió inmediatamente a aproximadamente 15°C en agua helada durante 2 minutos, se envolvió con láminas de aluminio y se equilibró a temperatura ambiente durante 10 minutos. El jugo de tomate se procedió a las mediciones de calidad después de 10 min.

Como resultado de este estudio se obtuvo que tanto el procesamiento de ruptura en caliente como en frío indujeron cambios significativos en el color, la viscosidad y la capacidad de eliminación de radicales del jugo de tomate en comparación con el control (jugo de tomate fresco); además, los tratamientos con una presión de 200 MPa a 4°C y 25°C mantuvieron el color, los carotenoides totales y el licopeno extraíbles, y la capacidad de eliminación de radicales; Además, aquellos a 500 MPa a 4°C y 25°C mejoraron todos los atributos de calidad.

En otro estudio Patras *et al.* (2009), analizaron el efecto del procesamiento térmico y de alta presión sobre la actividad antioxidante y el color instrumental de purés de

jitomate y zanahoria, en donde obtuvieron el puré los tomates y las zanahorias fueron lavadas y cortadas en cubitos, las muestras se mezclaron en un mezclador mecánico. La oxidación de Tomiminise del puré durante el procesamiento, se mezcló al vacío a 500 rpm a 1°C. Las muestras se envasaron al vacío utilizando y se almacenaron a -21°C hasta que se requirieran para el procesamiento térmico y no térmico. Los procedimientos de congelación, descongelación (durante la noche) y liofilización se aplicaron a los purés no procesados y procesados.

Para llevar a cabo los tratamientos de alta presión y procesamiento térmico, Después de descongelar durante la noche a 4°C, las muestras empaquetadas al vacío se colocaron en un recipiente de alta presión con una mezcla de agua e inhibidor de herrumbre y sometido a presiones de 400, 500 o 600 MPa durante 15 minutos a una temperatura ambiente inicial de 20°C.

Como resultado de este estudio se obtuvo que la actividad antioxidante en el puré de tomate y zanahoria fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) que en muestras no tratadas o procesadas térmicamente. Los tratamientos de alta presión a 600 MPa retuvieron más del 90% de ácido ascórbico en comparación con el procesamiento térmico en purés de tomate. Los tratamientos térmicos causaron una disminución rápida en el ácido ascórbico. Los contenidos fenólicos en general no se vieron afectados por los tratamientos térmicos o de alta presión. Los parámetros de color se vieron significativamente afectados por el procesamiento térmico y de alta presión. La actividad antioxidante, el ácido ascórbico y los carotenoides después de la exposición a tratamientos a alta presión (400-600 MPa) se conservaron bien, también muestran que el enrojecimiento y la intensidad del color de los purés se conservaron mejor mediante el procesamiento a alta presión que el tratamiento térmico convencional.

Liesbeth *et al.* (2012) realizaron un estudio del procesamiento térmico *versus* de alta presión de zanahorias: un estudio comparativo a escala piloto sobre una base equivalente, en donde, las zanahorias se cortaron manualmente en pedazos lo

más homogéneamente posible, se empacaron y almacenaron a 4°C. El envasado se realizó en bolsas de plástico para tratamiento HP y frascos de vidrio para tratamiento térmico. En cada bolsa y tarro, se incluyeron de dos a seis piezas de zanahoria con dimensiones calibradas. Los tratamientos térmicos se realizaron en un autoclave a escala piloto-agua en cascada. Durante la fase de calentamiento y la celebración, el intercambiador de calor externo era suministrado con vapor de agua, mientras que se usó agua fría durante la fase de enfriamiento. En una primera etapa, las muestras se equilibraron dentro de la retorta a 40°C (30 min).

Los tratamientos de alta presión se realizaron en 2 unidades diferentes de HP. La pasteurización por alta presión leve se realizó en una unidad de Wave 6000/55 industrial. El equipo permite la presión controlada a una velocidad de 150 MPa / min., las muestras de zanahoria se cargaron en dos cestas perforadas alimentos cilíndrica La unidad HP se encuentra en una zona de trabajo enfriado a 10°C, que se supone que es la temperatura inicial antes de la acumulación de presión, y agua del grifo fue utilizado como medio de presión.

Como resultado se obtuvo que este estudio demostró que, para el caso del procesamiento de zanahorias, el beneficio potencial de HP sobre el procesamiento térmico depende en gran medida de la intensidad de procesamiento aplicada. Por otro lado, el tratamiento HP resultó en una mejor conservación de la textura y retención del color rojo. Además de la pérdida de enrojecimiento, la esterilización térmica resultó en un marcado aumento de amarillez. Esto también se reflejó en una importante degradación e isomerización de carotenoides, que no se detectó después del tratamiento con HP. Además, la esterilización térmica fue el único tratamiento durante el cual se produjeron reacciones de pardeamiento.

Vargas *et al.* (2017) estudiaron la estabilidad de la fracción de lípidos del puré de aguacate obtenido mediante un proceso de expansión de vacío instantáneo, en donde, los aguacates de la variedad Hass fueron comprados en un mercado local.

Los frutos eran de color y tamaño homogéneos. Para el Tratamiento de expansión de vacío Flash, para cada tratamiento, se colocaron cuatro aguacates intactos en la cámara de calentamiento con vapor. Experimentaron diferentes tiempos de calentamiento con vapor para cada tratamiento: 15 minutos (T1), 20 minutos (T2) y 25 minutos (T3); a un cuarto lote de fruta se le quitó su cáscara sin hacer cortes en la pulpa, y se calentó durante 20 minutos (T4). La temperatura interna del aguacate se midió con un termopar junto con una base de datos, insertada hasta la semilla. La temperatura del puré en la cámara de expansión se determinó con el mismo equipo. El puré se recuperó y los fragmentos de cáscara y semilla se eliminaron manualmente. El puré se colocó en recipientes herméticamente sellables, que se almacenaron a 5°C. Cada tratamiento se aplicó por triplicado, y los análisis de cada parámetro evaluado se realizaron por duplicado a intervalos de 5 días. Los purés se almacenaron sin agregar ningún aditivo químico o natural. Cuatro aguacates en la madurez de consumo fueron retirados de cáscara, semilla y procesados durante 3 minutos usando un procesador de alimentos equipado con un sensor de temperatura, el puré obtenido se usó como control y recibió el mismo almacenamiento que los tratamientos.

Como resultado se obtuvo que el proceso de expansión de vacío Flash (FVE por sus siglas en inglés) no afecta los parámetros evaluados en este estudio en el día 0. El proceso de FVE no afecta la proporción de ácidos grasos en la fracción lipídica del puré de aguacate. El contenido de tocoferoles es menor que el informado por otros autores. El proceso oxidativo fue significativamente menos fuerte en la fracción lipídica de los purés obtenidos por FVE. Teniendo en cuenta nuestros resultados, T3 FVE (25 min de tratamiento térmico) fue el mejor parámetro para evitar el deterioro del puré durante el almacenamiento. En todos los casos, la enzima lipoxigenasa no se inactivó por completo. Esos resultados sugieren que el mejor tratamiento fue T3, debido a sus valores más bajos en la actividad de la lipoxigenasa.

### **III. MARCO TEORICO**

El tomate procesado cobra cada día más auge en la aceptación del consumidor, principalmente en los países con un alto poder adquisitivo. En México, los productos derivados del tomate son: pasta de jitomate, jitomate en conserva, jugo de jitomate, salsa de jitomate (cátsup) y diversas salsas picantes con jitomate, entre otros productos. El empleo de jitomate para fines de industrialización supera ampliamente las 100,000 toneladas anuales. También se puede señalar que en 2014, la industria registró un valor de la producción por 35,396 millones de pesos y que genera un valor agregado de 15,664 millones de pesos, que en los últimos cinco años se incrementó en casi 10 por ciento (Fermoso, 2016). En México, como en casi todos los países consumidores, la calidad del jitomate (sabor, color, tamaño, etc.) se sobrepone al precio y valor nutritivo al momento de la elección de compra por parte del consumidor final (SACEM, 2002).

A nivel mundial también es significativo el comercio de los productos procesados de tomate rojo en forma de preparados o en conserva, en jugo de jitomate, y en salsas tipo cátsup.

De ahí la necesidad de evaluar las alternativas de procesamiento de alimentos emergentes que incluyen, en la medida de lo posible, solo procesos físicos con fines de industrialización y conservación. La expansión ultrarrápida es un proceso de transformación física, que promueve la destrucción de los tejidos de las plantas por medio de las diferencias de temperatura y presión.

**Cuadro 1. Características y efectos microbiológico de la expansión ultrarrápida versus otros métodos.**

| METODO                                        | CARACTERISTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Esterilización<br>NOM-130-SSA1-1995           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas entre 118°C a 120°C (1 min) o de 135 y 150°C (4-15s).</li> <li>• Elimina todos los microorganismos (patógenos o no) que puedan estar vivos en el alimento.</li> <li>• Puede provocar la pérdida de nutrientes y afectar su nutrimento y sabor.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                     |
| Altas presiones<br>(Calderón Miranda, 1998.)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La presión puede llegar hasta 3,000 atm, durante un lapso de 10 minutos.</li> <li>• Utiliza alta tecnología para inactivar las enzimas en los alimentos, conserva una mayor proporción de nutrimentos, sabores y aromas.</li> <li>• El tratamiento térmico es muy útil si se combina con altas presiones de manera controlada y equilibrada.</li> </ul>                                                                                                                    |
| Campos eléctricos<br>(Barbosa-Cánovas, 1999.) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicado al alimento en forma de pulsos de miles de voltios pero breves milisegundos.</li> <li>• Provocan la eliminación de los microorganismos.</li> <li>• Se requieren varios factores esenciales como el nivel o grado y la intensidad de los campos eléctricos, el lapso de tiempo del procedimiento, el tipo de temperatura del producto y los tipos de microorganismos que se deben eliminar.</li> <li>• Cada alimento debe tratarse de manera diferente.</li> </ul> |
| Pulsos luminosos<br>(Calderón Miranda, 1998.) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utilizan longitudes de onda que van del ultravioleta hasta el infrarrojo.</li> <li>• Asegura un nivel muy alto de sanidad, higiene y esterilización.</li> <li>• Los pulsos lumínicos están limitados para el tratamiento.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                    |
| Irradiación<br>(Bello Gutiérrez José, 2005.)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos isotopos radiactivos disponibles como subproductos de la industria energética nuclear.</li> <li>• Consigue eliminar por completo las amenazas que descomponen los alimentos como el moho, bacterias, levaduras, entre otras.</li> <li>• Tiene dos grandes limitantes, una de ellas es su costo bastante elevado, y la otra se refiere a la seguridad para realizar los procedimientos.</li> </ul>                                                                      |
|                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondas sonoras con una frecuencia de 20-100 KHz.</li> <li>• Provoca choques micro-mecánicos estos choques interrumpen componentes estructurales y funciones celulares hasta el punto de lisis o muerte celular.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                  |

Ultrasonidos  
(Pineda David, 2018)

- Prevención del oscurecimiento de algunos vegetales, inhibición de enzimas evitando desarrollo de malos olores y sabores.
- El daño microbiológico va a depender de factores críticos como el tiempo de contacto con el microorganismo, el tipo de microorganismo, la cantidad y composición de alimentos y la temperatura durante el tratamiento.
- La susceptibilidad al ultrasonido puede variar entre diferentes microorganismos.

Expansión ultrarrápida  
(Vargas *et al.* 2017)

- Este proceso comprende dos etapas, la etapa térmica y la segunda etapa consiste en una cámara de expansión con presión de vacío.
- Provoca la ruptura celular.
- Obteniendo mayor rendimiento, contenido de sólidos solubles, capacidad antioxidante y mejor coloración.

---

Fuente: Elaboración propia

### **3.1 Variables fisicoquímicas del puré de tomate**

#### **3.1.1. pH**

La composición del producto es un factor fundamental en su transformación química. Una de las variables más importantes en el control de la velocidad de deterioro de los alimentos es la actividad del agua, otra variable, que influye sobre la velocidad de muchas reacciones químicas y enzimáticas de proteínas y carbohidratos es el pH (Fennema, 2014).

El pH es una característica importante dentro del proceso industrial, dado que es capaz de definir los aspectos de calidad del producto final y la conducta de los microorganismos, relacionándose directamente con el grado de acidez que posee un producto (Diez, 1995). La finalidad esencial es mantener la calidad sanitaria, al inhibir el desarrollo de los microorganismos, de esta manera productos que tienen pH inferior a 4,5 presentan resistencia a la germinación de esporas bacterianas como *Clostridium botulinum* (Civera, 1990).

La vida de anaquel también se entiende como la durabilidad; concebida ésta como el período de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario, y mantiene sus características sensoriales y funcionales por encima del grado límite de calidad previamente establecido como aceptable (Cantillo, 1994).

### **3.1.2 Sólidos solubles totales**

Frecuentemente se consideran los °Brix como equivalentes de los SST porque el mayor contenido de sólidos solubles en el jugo de las frutas son azúcares, sin embargo, es más preciso realizar las correcciones pertinentes a las lecturas registradas con los brixómetros para obtener datos reales en términos de SST. La escala °Brix se utiliza en el sector de alimentos, para medir la cantidad aproximada de azúcares en jugos de fruta, vino o líquidos procesados dentro de la industria agroalimentaria (Domene, 2014).

Los sólidos solubles totales son una medida de la densidad y se miden en °Brix. Un °Brix se define como la densidad que tiene una solución de sacarosa al 1% lo que corresponderá a un determinado índice de refracción (Primo, 1997).

Por otra parte, el contenido de los SST es el de todos los sólidos disueltos en el agua: azúcar, sales, ácidos de cadena corta, etc., y la medida leída es el total de la suma de éstos. Básicamente, el porcentaje se refiere a la cantidad de gramos de azúcar contenidos en 100g de solución de sacarosa (°Brix) (Aguayo et al., 2004).

Los hidratos de carbono más importantes en el fruto de tomate lo constituyen los azúcares con 50 y hasta 70% de sólidos totales representando casi el total de los sólidos solubles. Al inicio del almacenamiento de las frutas ocurre un aumento de la proporción de sacarosa y de azúcares reductores, coincidiendo con la hidrólisis del almidón. Después de alcanzar el máximo contenido en azúcares reductores apenas varían los azúcares reductores, mientras que el de sacarosa disminuirá.

Las velocidades de estas variaciones del grado de madurez dependen del tiempo en que haya sido cosechado el fruto (Primo, 1997).

Los azúcares, componentes principales de los sólidos solubles totales, son utilizados como sustrato para la producción de energía durante el proceso de respiración. Por lo anterior, una vez que los frutos son cosechados, el valor de los °Brix disminuye durante el almacenamiento (Bartz, 2003).

### **3.1.3 Acidez titulable**

Determina la concentración total de ácidos contenidos en un alimento, hortaliza o fruto. Se determina mediante una volumetría ácido-base (determina los ácidos solubles como cítrico, málico, láctico, oxalacético, succínico, glicérico, fosfórico, clorhídrico, fumárico, galactourónico, glicérico, tartárico, etc.). Los ácidos influyen en el sabor de los alimentos (aspereza), el color, la estabilidad microbiana y en la calidad de conservación (Domene, 2014). La acidez titulable se puede determinar con una muestra de extracto de jugo titulando con solución alcalina (NaOH 0.1 N) (Wills, 2007).

El principal ácido en el fruto de tomate es el cítrico, seguido por el málico, que en conjunto son responsables en un 70% a 80% de la acidez total de los frutos (Chamorro, 1995). Se requiere alto contenido de acidez con un mínimo de 0,35 g/100 cc y deseable sobre 0,55 g/100 cc (Civera, 1990).

El índice de acidez está estrechamente relacionado con el sabor y con la aceptación organoléptica. El contenido de ácidos en el fruto de tomate es superior al del resto de las hortalizas (Primo, 1997).

Los ácidos orgánicos disminuyen durante la maduración, ya que algunos de ellos son utilizados en este proceso, por lo que pueden considerarse fuente de reserva alterna para llevar a cabo el proceso de respiración (Wills, 1989).

La relación entre °Brix y la acidez es un índice para la madurez del fruto, dado que los °Brix aumentan y la acidez en el fruto disminuye durante el proceso de maduración (Primo, 1997).

#### **3.1.4 Colorimetría**

La apariencia de los productos alimentarios o no alimentarios, permite detectar tanto calidad, como anomalías y defectos, industrias como la textil, de papel, automóviles, medicamentos y alimentos tienen al color como indicador de calidad (Delmoro, 2010).

El color es una respuesta mental o de percepción del espectro visible de la luz que es reflejada o emitida por un objeto, dicha señal de respuesta interactúa con la retina ubicada en el ojo y se transmite al cerebro por el nervio óptico, esta acción hace que los humanos asignen los colores a esta señal (Wu, 2013).

El color es una de las características superficiales más importantes de los alimentos y es un parámetro crítico de evaluación de la calidad de un producto. En el tomate y sus derivados, el color es el atributo más relevante que determina el nivel de aceptación de éste tipo de alimentos, ésta característica tiene una gran importancia tanto para la industria como para los consumidores (Jarquín, 2013), además los resultados de estas mediciones lograrán indicar el manejo adecuado de los alimentos o materias primas para obtener la máxima calidad del producto final (Abdullah, 2004.).

Entre los productos de tomate comunes que necesitan un control de color estricto figuran pasta de tomate, puré, salsa, catsup y jugo, además se debe cumplir con los requisitos y recomendaciones en cuanto a medición instrumental del color de productos derivados del tomate (HunterLab, 2013). El color es un factor muy importante en la calidad de los productos de jitomate procesados, en particular los concentrados de tomate, ya que influye en la aceptabilidad del consumidor (Barreiro, 1997).

Existen dos métodos básicos de medición del color, el sensorial y el instrumental (Delmoro, 2010).

La medición del color con el método sensorial utiliza un panel de evaluadores entrenados siguiendo las normas para medición de color en alimentos de cada país, además este método utiliza estándares de color como el Atlas RHS, las Guías Pantone y el Sistema Munsell, como material de referencia (León, 2006).

Las técnicas instrumentales para medición del color son aquellas en las cuales se mide la reflectancia o transmitancia de la muestra. Se utilizan instrumentos conocidos, los de mayor uso en alimentos son espectrofotómetros, colorímetros triestímulos (Ottles, 2008). Comparando estos dos principales instrumentos de medición de color algunas características importantes se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 2. Comparación entre espectrofotómetros y colorímetros (HunterLab.)**

| <b>Colorímetro</b>                                                                                                                                                                                                                  | <b>Espectrofotómetro</b>                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Instrumento para el análisis psicofísico que proporciona mediciones que se correlacionan con la percepción del ojo-cerebro humano. Los datos colorimétricos se leen directamente y proporciona valores triestímulo (XYZ, Lab, etc). | Instrumento para análisis físicos que proporciona el análisis espectral de las longitudes de onda de la reflexión y/o transmisión de las propiedades de objetos sin interpretación por humanos. |
| Consta de sensor y procesador de datos simple.                                                                                                                                                                                      | Consta de sensor, además de un procesador de datos u ordenador con el software para análisis de resultados.                                                                                     |
| Consta de una combinación entre un iluminante y un observador.                                                                                                                                                                      | Consta de muchas combinaciones de iluminante/observador disponibles que se puede utilizar para el análisis de la muestra.                                                                       |
| Aísla una amplia banda de longitudes de onda usando un filtro de absorción triestímulo.                                                                                                                                             | Aísla una estrecha banda de longitudes de onda utilizando un prisma o filtro.                                                                                                                   |

|                                                          |                                                                          |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Generalmente resistente y un instrumento menos complejo. | Instrumento más complejo en cuanto al manejo y conocimientos requeridos. |
| Pueden ser menos precisos de acuerdo a su diseño.        | Se usan cuando se requiere obtener coordenadas cromáticas con exactitud. |
| Bajo costo.                                              | Un mayor costo que un colorímetro.                                       |

Fuente: Colorimeters versus Spectrophotometers. HunterLab.

La CIE como entidad principal de la determinación del color, definió varios sistemas de descripción de colores y ha desarrollado varios conceptos que determinan los procedimientos utilizados actualmente (Otles, 2008). Para lograr la representación de los colores, la CIE definió diferentes modelos de color, los cuales son fórmulas matemáticas abstractas que logran describir esa representación (International Commission on Illumination, 2004).

**Cuadro 3. Clasificación de los modelos de color de acuerdo a tres categorías principales (Wu, 2013)**

| Categoría de los modelos       | Características                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Modelos                                      |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Orientados a dispositivos      | Son modelos de color dependientes del dispositivo que se relaciona y se ven afectados por la señal del dispositivo, como resultado el color se ve afectado por las herramientas utilizadas para la visualización. Ejemplos: dispositivos de hardware que se usan para la percepción de la visión humana como la televisión o sistemas de video. | RGB, CMY(K), YIQ, YUV, YCbCr, HSI, HSV, HSL. |
| Orientados al usuario          | Son modelos que permiten al usuario describir y aproximarse a las percepciones de la presentación del color, se considera un camino entre el observador y el dispositivo de medición.                                                                                                                                                           | HSI, HSV, HSL                                |
| Independientes del dispositivo | Son modelos en los que el color no se ve afectado por las propiedades del dispositivo de medición, no interfiere el desempeño del dispositivo.                                                                                                                                                                                                  | Munsell, CIE XYZ, CIE LUV, CIE Lab.          |

Fuente: Color measurements by computer vision for food quality control.

En las frutas y vegetales, el color se debe principalmente a tres familias de pigmentos que son: clorofilas, antocianinas y carotenoides, responsables de la

coloración verde, de azul a violeta y de rojo a amarillo, respectivamente (Mosquera, 2005).

En el caso de los carotenoides, éstos son sintetizados por plantas y microorganismos, siendo las frutas y vegetales la principal fuente en la dieta humana, cerca del 90% de los carotenoides está representado en la dieta y el cuerpo humano por el licopeno,  $\beta$ - caroteno,  $\alpha$ - caroteno, luteína y criptoxantina (Jamison, 2003).

### **3.1.5 Licopeno**

Los carotenoides, son considerados uno de los grupos más importantes de pigmentos naturales, estudios anteriores indican que la estimación anual de éstos compuestos por año es de aproximadamente 100 millones de toneladas, son compuestos que le confieren colores amarillo, anaranjado y rojo a diferentes frutas, hortalizas, flores, la yema de los huevos, crustáceos, plumas y pieles de ciertas aves (Isler, 1967).

Estos compuestos principalmente pueden ser encontrados en frutas y verduras las cuales son las fuentes en la dieta humana, aquellas con colores amarillo o anaranjado proporcionan la mayor parte de  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno y criptoxantina; las de color verde oscuro proporcionan luteína, y los tomates o derivados son la principal fuente de licopeno (Rao, 2007).

La siguiente tabla presenta los principales alimentos que contribuyen en la ingesta de licopeno en la dieta humana expresados en peso fresco, se destaca ampliamente el tomate (*Lycopersicum pimpinellifolium*) consumido en fresco con un aporte de 40 miligramos de licopeno por cada 100 gramos de fruta, seguido de la sandía (*Citrullus lannatus*) y el pomelo rosa (*Citrus paradisi*).

**Cuadro 4. Principales alimentos que contribuyen en la ingesta de licopeno en la dieta humana (Periago, 2001).**

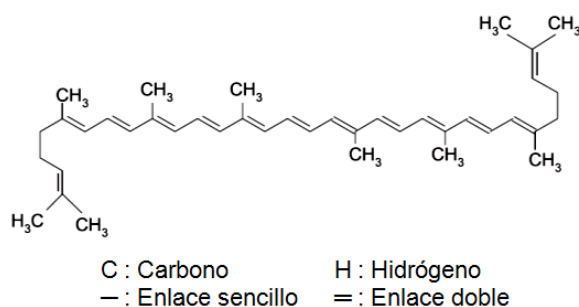
| Nombre científico                    | Nombre común | Tipo         | Concentración<br>(mg/100g) |
|--------------------------------------|--------------|--------------|----------------------------|
| <i>Lycopersicum esculentum</i>       | Tomate       | Fresco       | 0.88-7.74                  |
| <i>Lycopersicum pimpinellifolium</i> | Tomate       | Fresco       | 40                         |
| <i>Citrillus lanatus</i>             | Sandía       | Fresco       | 2.30-7.20                  |
| <i>Prunus armeniaca</i>              | Albaricoque  | Fresco       | 0.005                      |
| <i>Prunus armeniaca</i>              | Albaricoque  | Enlatado     | 0.065                      |
| <i>Prunus armeniaca</i>              | Albaricoque  | Deshidratado | 0.86                       |
| <i>Citrus paradisi</i>               | Pomelo rosa  | Fresco       | 3.36                       |

**Fuente:** Propiedades químicas, biológicas y valor nutritivo del.

De los más de cincuenta carotenoides presentes en los alimentos y consumidos en la dieta a partir de una gran variedad de frutas y verduras, el licopeno se encuentra en un grupo reducido de los mismos, destacándose el tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) y sus derivados como salsas, purés, zumos, sopas concentradas, etc., como la principal fuente de licopeno de la dieta (Periago, 2001).

La absorción del licopeno a partir de estas fuentes, permite lograr un beneficio en la salud que se ve influenciado por varios factores, como la temperatura de cocción que permite la ruptura de la matriz que contiene el compuesto, la presencia de lípidos y otros compuestos solubles en lípidos incluyendo otros carotenoides. Esta absorción es similar a otros compuestos solubles en lípidos y se realiza a través del tracto gastrointestinal mediante un mecanismo con participación de quilomicrones (lipoproteínas) (Rao, 2007). En referencia al licopeno, diferentes estudios indican que el consumo de este compuesto se asocia con una reducción en el riesgo de enfermedades crónicas como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y las cataratas, probablemente a través de los mecanismos antioxidantes (Ordóñez, 2010).

La propiedad de los carotenoides de absorber la luz es dada por la presencia de los dobles enlaces conjugados que conforman un cromóforo largo, en la figura 5-2 se presenta la estructura del licopeno. Esta estructura con más de siete dobles enlaces conjugados posee la capacidad de absorber la luz en la región visible, por tal razón se pueden observar colores del amarillo al rojo (Alvarez, 2006)



**Figura 1 Estructura química del licopeno (Periago, 2001).**

La estructura química de estos compuestos es un factor determinante de sus propiedades físicas, reactividad química y de sus funciones biológicas, contribuye a la actividad química de los agentes oxidantes o radicales libres, efecto relevante en la actividad que pueden desarrollar los carotenoides en aquellos individuos que consumen grandes cantidades en la dieta (Yúfera, 1995).

## **IV. JUSTIFICACION**

Para algunos países como Estados Unidos o Italia el producto procesado forma parte significativa de su alimentación, además de ser comercializado en el exterior con resultados positivos que les genera divisas por 400 millones de dólares en el caso de Estados Unidos y España; Italia por 1,702 millones de dólares o China con 931 millones de dólares, países que presentan balanza comercial positiva en productos procesados de tomate (Gomez, 2014).

Nutricionalmente, los jitomates son considerados como alimentos saludables por ser una buena fuente de carotenoides (en particular, el licopeno), vitamina E y flavonoides. Sin embargo, el jitomate es una fruta con una vida útil limitada y un corto periodo natural de producción, por esta razón el procesamiento podría responder a la necesidad de un consumo de todo el año de esta fruta saludable (Chanforan, 2012).

En la obtención del concentrado de jitomate, puré y salsa, las operaciones en común incluyen desde el prensado, pasando por filtración, centrifugación, des-aireado y pasteurización terminando en envasado. Los tratamientos térmicos a lo largo de la línea de proceso permiten la concentración del tomate molido hasta llegar al producto final.

En el proceso de elaboración al romperse la piel del jitomate y entrar el interior del fruto en contacto con el aire se producen naturalmente una serie de reacciones

enzimáticas que afectan las pectinas, lo que reduce la consistencia o viscosidad requeridas, además por su pH se puede generar condiciones para el desarrollo de microorganismos alterantes y patógenos (Franco, 2017). Además, la mayoría de los purés de tomate no contienen el 10% mínimo de sólidos solubles de tomate que determina la norma mexicana NMX-F-033-1982.

A pesar del tratamiento térmico “esterilización comercial” que se utiliza para conservar los purés envasados, existe la posibilidad de fallas en el proceso que pueden alterar las condiciones sanitarias del producto.

Para dar una posible solución a este problema, en este proyecto se tiene como objetivo principal obtener un puré de jitomate mediante el proceso de expansión ultrarrápida, ya que utilizando este proceso el fruto se somete a temperaturas relativamente bajas (60°C en el interior del fruto), en comparación a otros procesos de obtención de puré, y a un tratamiento de baja presión (6.2Kpa), y demostrar mediante análisis fisicoquímicos que mediante este procesamiento se pueden aprovechar de mejor manera las propiedades del fruto de jitomate

## **V. HIPOTESIS**

Con el equipo de expansión ultrarrápida es posible obtener un puré de jitomate que mantenga una buena calidad en cuanto a las variables fisicoquímicas como color, pH y sólidos solubles totales.

## VI. OBJETIVOS

### **6.1 Objetivo general**

Analizar las características fisicoquímicas de puré de jitomate obtenido por expansión ultrarrápida mediante técnicas de postcosecha.

### **6.2 Objetivos específicos**

- Determinar las condiciones óptimas de temperatura, presión y tiempo para la obtención del puré.
- Realizar pruebas al puré obtenido en función del pH, colorimetría, acidez titulable, °birx.

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

### **7.1 Material vegetal**

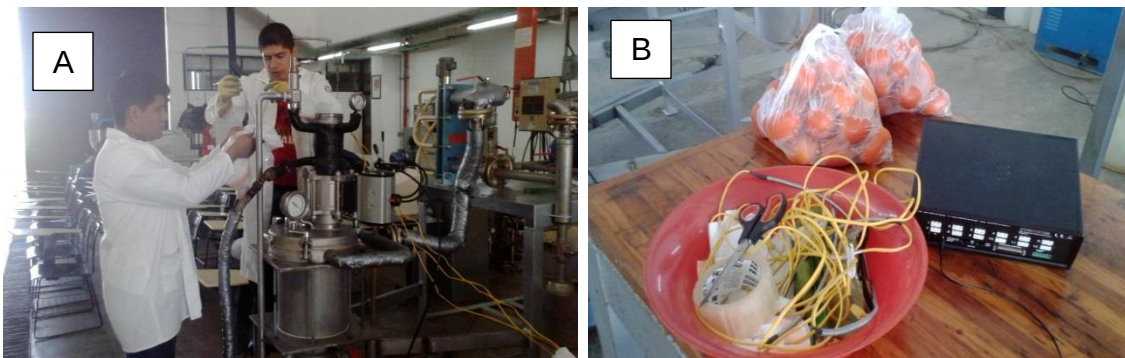
Las muestras de jitomate (*Solanum lycopersicum* var. 'saladette') fueron recolectadas en el invernadero del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, producidas mediante un sistema hidropónico. Con las muestras de tomate, previamente recolectado, se realizaron las pruebas para determinar el tiempo, temperatura y presión más adecuada para la obtención del puré mediante el uso de termopares para monitorear la temperatura interior de los frutos.

El puré se realizó en un equipo de expansión ultrarrápida (ver 4.2), en el cual el fruto, en este caso el tomate, se puede introducir entero en la cámara de calentamiento, teniendo como capacidad máxima 8 tomates aproximadamente, esta cámara funciona a partir de un generador de vapor el cual eleva la temperatura interna de la cámara, después de este proceso se pasa el fruto rápidamente de la cámara de calentamiento hacia la cámara de vacío donde se lleva a cabo la realización del puré, mediante la expansión del fruto debido a efectos del calentamiento y el vapor.

### **7.2 Equipo de expansión ultrarrápida**

Es un equipo piloto que consiste en una cámara de vapor cilíndrica de acero inoxidable (radio = 12 cm, altura = 24 cm,  $v = 2.7$  L), alimentado a presión normal con un generador de vapor de agua y acoplado a través de una válvula neumática (103 kPa, tiempo de apertura 0,5 s) a un recipiente de vacío cilíndrico (radio = 30

cm, altura = 48 cm, volumen = 34 L) donde es generado un vacío por un aspirado-refrigerado por un circuito de agua cerrado conectado a un condensador.



**Figura 2 Pruebas para obtener el puré (A) y termopares para medir la temperatura interna de la cámara (B). Fuente: Elaboración propia.**

Se establecieron las siguientes condiciones para la obtención del puré;

- Tratamiento 1 (10 min, 100°C en el interior de la cámara, 60°C en el interior del fruto y una presión de 6.2Kpa).
- Tratamiento 2 (20 min, 100°C en el interior de la cámara, 60°C en el interior del fruto y una presión de 6.2Kpa).
- Tratamiento testigo (se realizado utilizando un licuadora casera, a 25°C, durante 5 minutos aproximadamente).



**Figura 3 Puré final por el método de expansión ultrarrápida. Fuente: Elaboración propia.**

Una vez obtenidos los purés se colocaron en bolsas resellables de plástico (17.7cm, 19.5cm), previamente marcadas (con el tiempo, temperatura, numero de prueba y el día que se llevara a cabo su análisis: 0, 5, 7 y 10 días) para su identificación. Posteriormente todas las bolsas de puré (excepto para el día 0) se almacenaron en una cámara de ultracongelacion (-72°C) para su conservación hasta su uso. Para ello, las bolsas de puré se retiraron de congelación y se almacenaron en refrigeración por 5, 7 o 10 días de acuerdo a la fecha asignada para evaluación, y transcurrido el tiempo el puré se atemperó hasta alcanzar la temperatura de laboratorio (25°±2) para ser usada de inmediato.

### **7.3 Determinación de variables fisicoquímicas**

#### **7.3.1 Medición de pH**

Se realiza por medición directa en el jugo de la fruta empleando un potenciómetro THERMO-ORION® modelo 5 STAR equipado con un electrodo de combinación de vidrio.

#### **7.3.2 Acidez titulable**

La acidez titulable se midió con titulaciones potenciométricas con NaOH al 0.1 N usando fenolftaleína como indicador en 1g de jugo, que se colocó en matraces de vidrio de 250mL, más 50mL de agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína, la cantidad gastada se promedió con el duplicado y se usó la fórmula siguiente para calcular el % de acidez expresado como miliequivalentes de ácido cítrico anhidro (AOAC, 1990):

$$\% \text{ Acidez Titulable} = \frac{(\text{mLg de NaOH})(N \text{ del NaOH})(0.006404)}{1 \text{ g de jugo}} (100)$$



Figura 4 Material utilizado para realizar las pruebas. Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.3 Sólidos Solubles Totales (%)

La cantidad de sólidos solubles del jugo extraído de la pulpa de los frutos se determina mediante un refractómetro ABBE® digital (LEICA MARK II). Los resultados obtenidos se reportan como (%) de sólidos solubles totales o °Brix con corrección por temperatura (AOAC, 1990).



Figura 5 Equipo utilizado para realizar las pruebas. Fuente: Elaboración propia.

#### **7.3.4 Medición objetiva de color**

Se realiza con ayuda de un colorímetro MiniScan™ XE Plus, con tipo de fuente iluminante estandarizada D65 -el cual se asemeja a la luz del medio día- y el ángulo de observador a 10°. La calibración fue realizada usando un estándar blanco y una trampa de luz (negro).

El color de cáscara y de la pulpa fue expresado directamente por el aparato como coordenadas de color en el espacio tridimensional  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (CIELAB). Estas coordenadas representan una escala arbitraria y no dan la mejor interpretación de la apariencia visual de color, por lo que los resultados se exhiben como el cálculo de la intensidad de luz ( $L$  = % de luz reflejada; donde 100% es completamente blanco y 0% es completamente negro); el ángulo de tono o matiz [representado en términos de  $^{\circ}\text{Hue} = \arctan(b/a)$ ]; y la saturación o intensidad de color [representada como el valor de Croma =  $(a^2 + b^2)^{1/2}$ ] (McGuire, 1992; MiniScan™ XE Plus, 1998). Los valores de  $L$ ,  $\text{Hue}^{\circ}$  y Croma, representan el promedio de tres lecturas por fruto marcadas en la zona basal, media y proximal.



**Figura 6** Colorímetro usado para realizar el análisis. Fuente: Elaboración propia.

### **7.3.5 Determinación del contenido de licopeno**

Trituración del fruto sin la membrana. Se realiza con la ayuda de un espectrofotómetro Agilent 8453 (con un sistema de espectroscopia UV-visible), con ausencia de luz por la sensibilidad del carotenoide. Para la determinación del contenido de licopeno se utilizó la metodología usada en el laboratorio de análisis poscosecha presentada en el Anexo 11.1. Posteriormente con las lecturas de absorbancia del espectrofotómetro se realizó el cálculo de la cantidad de licopeno (mg/Kg) usando la curva patrón presentada en el Anexo 11.2.

### **7.4 Diseños experimentales y análisis de datos**

Los datos obtenidos fueron capturados en el programa Excel<sup>®</sup> de la paquetería de Microsoft Office<sup>™</sup>, y posteriormente, todos los datos capturados se analizaron mediante análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) usando el programa Minitab v.16. La unidad experimental fue de una bolsa de puré de 200 g (aprox. 6 a 8 jitomates) con tres repeticiones, y el arreglo de tratamientos se ajustó a un diseño experimental completamente al azar.

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1. Evaluación del efecto de los tratamientos sobre el puré de jitomate

De acuerdo los resultados del análisis de varianza mostrados en el Cuadro 5 no se observaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) para las variables pH, acidez titulable, croma y luminosidad, por lo que el efecto de los tratamientos no tuvo ninguna influencia sobre dichas variables. No obstante, si se observaron efectos altamente significativos ( $P \leq 0.001$ ) influenciados por los diversos tratamientos para las variables sólidos solubles totales (%SST), tono o matiz ( $^{\circ}$ Hue) y contenido de licopeno (mg/Kg). Al respecto, los tratamientos de expansión ultrarrápida tienden a mejorar los atributos de % SST y el contenido de licopeno, sin embargo, pudo observarse a través de la variable  $^{\circ}$ Hue que estos tratamientos causan una ligera pérdida de color con respecto al tratamiento testigo.

**Cuadro 5. Efecto de los tratamientos sobre cada una de las variables analizadas en puré de jitomate.**

| Tratamientos | pH <sup>1</sup>   | Acidez<br>Titulable <sup>1</sup><br>(%) | SST <sup>2</sup><br>(%) | $^{\circ}$ Hue <sup>2</sup> | Croma <sup>1</sup> | Luminosidad <sup>1</sup><br>(%) | Licopeno <sup>2</sup><br>(mg/Kg) |
|--------------|-------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Testigo      | 4.40 <sup>a</sup> | 0.14 <sup>a</sup>                       | 4.40 <sup>a</sup>       | 33.58 <sup>b</sup>          | 37.98 <sup>a</sup> | 26.53 <sup>a</sup>              | 0.713 <sup>b</sup>               |
| 1            | 4.46 <sup>a</sup> | 0.15 <sup>a</sup>                       | 3.80 <sup>b</sup>       | 44.74 <sup>a</sup>          | 34.99 <sup>a</sup> | 28.62 <sup>a</sup>              | 1.170 <sup>a</sup>               |
| 2            | 4.47 <sup>a</sup> | 0.15 <sup>a</sup>                       | 4.67 <sup>a</sup>       | 42.78 <sup>a</sup>          | 40.64 <sup>a</sup> | 27.35 <sup>a</sup>              | 1.161 <sup>a</sup>               |

<sup>1</sup>Medias con letra diferente en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey.

<sup>2</sup>Medias con letra diferente en cada columna indican diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.001$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Para la variable pH, los valores promedio entre tratamientos oscilaron de 4.40 a 4.47, registrándose el valor más bajo para el puré testigo con respecto a los purés obtenidos por expansión ultrarrápida. Sin embargo, estos valores permanecen muy por debajo de los valores de pH establecidos según la norma oficial mexicana NOM-F-033-1982 y el CODEX STAN 13-1981, para tomates en conserva, donde se especifica que el nivel máximo de pH no deberá ser mayor de 4.5, por lo cual todos los purés obtenidos en este trabajo se encuentran dentro de los valores especificado por la Norma, antes mencionada.

Con respecto a la variable acidez titulable tampoco se observan diferencias significativas, sin embargo, el menor valor registrado fue el del puré testigo con respecto a los purés obtenidos por expansión ultrarrápida, los valores promedios registrados oscilaron de 0.14 a 0.15. De acuerdo con Primo (1997) el índice de acidez está estrechamente relacionado con el sabor y con la aceptación organoléptica, por lo que de acuerdo con esta variable los purés obtenidos por expansión ultrarrápida no muestran una diferencia perceptiva en cuanto al sabor en comparación al puré testigo.

Para la variable sólidos solubles totales, el análisis estadístico arrojó diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.001$ ), mostrando valores promedios de 3.80% a 4.67%, siendo el tratamiento 2 aquel que conserva mejor los atributos de esta variable en comparación con el testigo, mientras que el tratamiento 1 tiende a disminuir la cantidad de sólidos solubles en las muestras de puré. De acuerdo con (Aguayo *et al*, 2004) los sólidos solubles totales concentran todo el contenido de sólidos disueltos en el agua tales como: azúcares, sales, ácidos de cadena corta, etc., y la medida leída es el total de la suma de éstos, expresada en porcentaje. Básicamente, el porcentaje se refiere a la cantidad de gramos de dichos sólidos contenidos en 100g de solución. De acuerdo con lo anterior se demuestra que el tratamiento 2 (20 min, 100°C en el interior de la cámara, 60°C en el interior del fruto y una presión de 6.2Kpa) es el mejor tratamiento en cuanto a la conservación

de los sólidos solubles totales en comparación con el puré del tratamiento 1 y el puré testigo.

Respecto a la variable Hue el análisis estadístico arrojó diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.001$ ), registrando valores promedios de 33.58 a 44.74, siendo el tratamiento 1 el que conserva mejor la tonalidad del color en comparación con el tratamiento testigo, mientras que el tratamientos 2 muestra una degradación de la tonalidad del color, aunque sigue mostrando una mejor conservación de la tonalidad en comparación con el tratamiento testigo. De acuerdo con Barreiro *et al.* (1997) el color es un factor muy importante en la calidad de los productos de tomate procesados ya que influye en la aceptabilidad del consumidor, los tratamientos obtenidos mediante expansión ultrarrápida, en especial el tratamiento 1 (10 min, 100°C en el interior de la cámara, 60°C en el interior del fruto y una presión de 6.2Kpa) pueden tener una mejor aceptabilidad por parte del consumidor en comparación con el tratamiento testigo.

Con respecto a la variable croma no se observa una diferencia significativa, registrando valores que oscilan de 34.99 a 40.64. El valor más alto registrado para esta variable fue el valor del puré del tratamiento 2 obtenido por expansión ultrarrápida, seguido por el puré testigo. De acuerdo con los resultados obtenidos para la variable croma el puré del tratamiento 2 (20 min, 100°C en el interior de la cámara, 60°C en el interior del fruto y una presión de 6.2Kpa) mostro ser mejor para conservar la intensidad del color en comparación con el puré del tratamiento 1 y el puré testigo.

Con respecto a la variable luminosidad, los valores promedios registrados oscilaron entre 26.53% a 28.62%, siendo el puré del tratamiento 1 el que registro el mayor valor seguido por el puré del tratamiento 2, de acuerdo con lo anterior y en cuanto a la variable luminosidad, el puré obtenido por expansión ultrarrápida demostró conservar mejor la luminosidad del puré en comparación con el puré testigo. Por otra parte, de acuerdo con Mosquera *et al.* (2005.) en las frutas y

vegetales, el color se debe principalmente a tres familias de pigmentos que son: clorofilas, antocianinas y carotenoides y de acuerdo a las variables Hue, croma y luminosidad el puré del tratamiento 1 puede ser el que tenga un mayor contenido de licopeno.

Para la variable licopeno el análisis estadístico arrojó diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.001$ ), registrando valores promedios de 0.713 a 1.170, siendo el tratamiento 1 el que mayor cantidad de licopeno registro en comparación con el tratamiento testigo, mientras que el tratamiento 2 muestra una disminución en la cantidad de licopeno en comparación con el tratamiento 1, sin embargo el valor registrado por el tratamiento 2 es mucho mayor que el registrado por el tratamiento testigo. Además, de acuerdo con Ordóñez *et al.* (2010) el consumo de este compuesto se asocia con una reducción en el riesgo de enfermedades crónicas como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y las cataratas, probablemente a través de los mecanismos antioxidantes, por lo tanto los tratamientos obtenidos por expansión ultrarrápida, en especial el tratamiento 1 (10 min, 100°C en el interior de la cámara, 60°C en el interior del fruto y una presión de 6.2Kpa) presentan una mejor opción para la ingesta ya que aportan una mayor cantidad de licopeno en comparación con el tratamiento testigo.

## **8.2. Evaluación del efecto de los días de almacenamiento sobre el puré de jitomate**

### 8.2.1 Evaluación de pH

De acuerdo al análisis de varianza la variable pH presentó diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los días de evaluación para todos los tratamientos. De manera general se observó un aumento significativo en el valor del pH en los primeros tres días 0, 5 y 7 de evaluación, disminuyendo posteriormente en el día 10. Adicionalmente, puede observarse en el Cuadro 6 que los valores de los tratamientos 1 y 2 fueron más altos que los valores registrados del tratamiento testigo para los días 0, 5 y 7. Sin embargo, para el día 10 los resultados del tratamiento testigo fueron mayores que los resultados de los tratamientos 1 y 2. El mayor valor obtenido durante el periodo de análisis de los purés fue en el día 7, en el cual todos los purés registraron los valores más altos, siendo el tratamiento 1 el cual mostró el mayor valor registrado.

**Cuadro 6. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable pH.**

| Día | Testigo <sup>1</sup> | Tratamiento 1 <sup>1</sup> | Tratamiento 2 <sup>1</sup> |
|-----|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0   | 4.33 <sup>b</sup>    | 4.43 <sup>c</sup>          | 4.42 <sup>c</sup>          |
| 5   | 4.36 <sup>b</sup>    | 4.51 <sup>b</sup>          | 4.48 <sup>b</sup>          |
| 7   | 4.51 <sup>a</sup>    | 4.68 <sup>a</sup>          | 4.62 <sup>a</sup>          |
| 10  | 4.39 <sup>b</sup>    | 4.24 <sup>d</sup>          | 4.35 <sup>d</sup>          |

<sup>1</sup>Medias con letra diferente en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Según la norma oficial mexicana NOM-F-033-1982 y el CODEX STAN 13-1981, para jitomates en conserva, el nivel máximo de pH no deberá ser mayor de 4.5, por lo cual mediante los datos que podemos observar en el cuadro anterior los purés obtenidos se encuentran dentro del rango especificado por la norma, con excepción de los purés del día 7, ya que sobre pasan el valor máximo de pH permitido en aproximadamente un 0.1 unidades.

### 8.2.2 Determinación de Acidez Titulable

Para reportar la acidez, se considera el ácido orgánico más abundante del

producto vegetal, el cual varía dependiendo de la especie de que se trate, por lo que el resultado se expresa en términos de la cantidad del ácido dominante, en este caso ácido cítrico.

Respecto a los resultados del análisis de varianza la variable acidez titulable, se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los días de evaluación para todos los tratamientos. De manera general se observó un aumento en la acidez titulable de todos los tratamientos durante los días 0, 5, 7 y 10. Además se puede observar en el Cuadro 7 que los valores del tratamiento testigo fueron más altos que los valores registrados por los tratamientos 1 y 2 para los días 0 y 5 pero para el día 7 los tratamientos 1 y 2 muestran valores muy cercanos al valor que registro el tratamiento testigo para ese día. Sin embargo, para el día 10 los tratamientos 1 y 2 mostraron valores más altos que el valor registrado por el puré del tratamiento testigo. El mayor valor obtenido durante el periodo de análisis de los purés fue en el día 10, en el cual todos los purés registraron los valores más altos, siendo el tratamiento 2 el cual mostró el mayor valor registrado.

**Cuadro 7. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable Acidez Titulable.**

| Día | Testigo <sup>1</sup> | Tratamiento 1 <sup>1</sup> | Tratamiento 2 <sup>1</sup> |
|-----|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0   | 0.117 <sup>c</sup>   | 0.080 <sup>d</sup>         | 0.106 <sup>c</sup>         |
| 5   | 0.128 <sup>bc</sup>  | 0.122 <sup>c</sup>         | 0.112 <sup>c</sup>         |
| 7   | 0.160 <sup>ab</sup>  | 0.154 <sup>b</sup>         | 0.160 <sup>b</sup>         |
| 10  | 0.186 <sup>a</sup>   | 0.245 <sup>a</sup>         | 0.250 <sup>a</sup>         |

<sup>1</sup>Medias con letra diferente en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey.

De acuerdo a la NMX-F-033-1982 la acidez como ácido cítrico no debe exceder el 1.0 % que de acuerdo a los datos obtenidos, desde el día 0 hasta el día 10 en el cual llega a su máximo nivel observado, todos los purés de los tres tratamientos se encuentran muy por debajo del límite máximo permitido según la norma.

Los valores bajos obtenidos son catalogados como deseables ya que dicho valor representa, una disminución en los costos de elaboración debido a que se requiere agregar una menor cantidad de ácido cítrico a la materia prima en proceso para llevarla al grado de acidez adecuado (Civera, 1990).

### 8.2.3 Sólidos Solubles Totales

De acuerdo a la variable sólidos solubles totales, el análisis de varianza presentó diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los días de evaluación para todos los tratamientos. De manera general el tratamiento testigo mostro un aumento en los dos primeros días de evaluación (0 y 5) pero para el día 7 registro una notable disminución en el valor registrado y para el día 10 nuevamente presento una notable aumento en el valor registrado, para el tratamiento 1 se mostró un aumento en el porcentaje de SST durante los días 0 y 5 pero a partir del día 7 mostro una disminución, por otra parte el tratamiento 2 registro una disminución constante del día 0 al día 10. Como puede observarse en el Cuadro 8 los valores registrados por el tratamiento 2 fueron más altos que los valores registrados por el tratamiento testigo para los días 0, 5 y 7. . El mayor valor obtenido durante el periodo de análisis de los purés fue en el día 0, en el cual todos los purés registraron los valores más altos, siendo el tratamiento 2 el cual mostró el mayor valor registrado.

**Cuadro 8. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable Sólidos Solubles Totales.**

| Día | Testigo <sup>1</sup> | Tratamiento 1 <sup>1</sup> | Tratamiento 2 <sup>1</sup> |
|-----|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0   | 4.20 <sup>a</sup>    | 4.11 <sup>a</sup>          | 4.93 <sup>a</sup>          |
| 5   | 4.66 <sup>a</sup>    | 4.21 <sup>a</sup>          | 4.85 <sup>a</sup>          |
| 7   | 4.13 <sup>a</sup>    | 4.15 <sup>a</sup>          | 4.63 <sup>ab</sup>         |
| 10  | 4.61 <sup>a</sup>    | 2.73 <sup>b</sup>          | 4.26 <sup>b</sup>          |

<sup>1</sup>Medias con letra diferente en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Según la NMX-F-033-1982 para poder llamarse “puré”, las marcas deben contener, como mínimo, 10% de sólidos solubles de jitomate. Sin embargo ninguno de los tratamientos cumple con el requisito mínimo de sólidos solubles en

ninguno de los días en que realizaron el análisis, aunque posiblemente es debido a que el puré utilizado aun no contenía ningún tipo de conservador o aditivo.

Según Civera (1990) y Gould (1992), un cultivar adecuado para el procesamiento debe poseer un mínimo de sólidos solubles de 5 °Brix, esto se refiere en cuanto al fruto sin procesar, sin embargo, se puede observar que la mayoría de los purés presentan un valor próximo a los 5 °Brix en los días 0, 5, 7y 10 por lo que se puede concluir que el tratamiento de presión-temperatura tuvo poca influencia en este parámetro, con excepción del tratamiento 1 para el día 10.

Los sólidos solubles totales son el mejor valor económico para la industria procesadora de tomate, ya que un pequeño aumento en cualquiera de los parámetros mencionados puede ser un aumento significativo en el rendimiento y disminución de los costos en la industria (Gould, 1992) .

## 8.2.4 Cambios de color

### 8.2.4.1 Hue

En el análisis de varianza la variable Hue se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los días de evaluación para todos los tratamientos. De manera general se observó que el tratamiento testigo muestra un aumento constante de °Hue durante los días de evaluación, por otro lado puede observarse que los tratamientos 1 y 2 muestran variaciones de °Hue durante los días de evaluación. También puede observarse en el Cuadro 9 que los tratamientos 1 y 2 fueron más altos que los valores registrados del tratamiento testigo para los días 0, 5, 7 y 10. El mayor valor obtenido durante el periodo de análisis de los purés fue en el día 0, en el cual todos los purés registraron los valores más altos, siendo el tratamiento 1 el cual mostró el mayor valor registrado.

**Cuadro 9. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable °Hue.**

| Día | Testigo <sup>1</sup> | Tratamiento 1 <sup>1</sup> | Tratamiento 2 <sup>1</sup> |
|-----|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0   | 27.63 <sup>c</sup>   | 49.76 <sup>a</sup>         | 41.22 <sup>bc</sup>        |
| 5   | 33.73 <sup>b</sup>   | 42.43 <sup>b</sup>         | 39.61 <sup>c</sup>         |
| 7   | 36.33 <sup>a</sup>   | 44.39 <sup>b</sup>         | 42.85 <sup>b</sup>         |
| 10  | 36.62 <sup>a</sup>   | 42.41 <sup>b</sup>         | 47.41 <sup>a</sup>         |

<sup>1</sup>Medias con letra diferente en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Patras *et al.* (2009) reportaron el valor correspondiente al parámetro °H=39,91, valor que indica una gama de color rojo, mientras que Riascos *et al.* (2015) un valor para el parámetro °H=23.43 ± 1.20, valor que indica una gama de color púrpura según los valores mostrados anteriormente, el proceso de expansión ultrarrápida afecta de manera negativa en cuanto a los °Hue, ya que los resultados de los tratamientos 1 y 2 mostrados en el cuadro 8, están más cercanos a el color amarillo.

#### 8.2.4.2 Croma

De acuerdo al análisis de varianza la variable croma presentó diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los días de evaluación para todos los tratamientos. De manera general se observó en el valor de croma durante los días de evaluación para los tres tratamientos. Adicionalmente, puede observarse en el Cuadro 10 que los valores del tratamiento 1 fueron más altos que los valores registrados del tratamiento testigo para los días 5 y 7, también los valores del tratamiento 2 fueron más altos que los valores registrados del tratamiento testigo para los días 0, 7 y 10. El mayor valor obtenido durante el periodo de análisis de los purés fue en el día 10, en el cual todos los purés registraron los valores más altos, siendo el tratamiento 2 el cual mostró el mayor valor registrado.

**Cuadro 10. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable Croma.**

| Día | Testigo <sup>1</sup> | Tratamiento 1 <sup>1</sup> | Tratamiento 2 <sup>1</sup> |
|-----|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0   | 29.41 <sup>d</sup>   | 23.63 <sup>b</sup>         | 33.81 <sup>c</sup>         |
| 5   | 35.65 <sup>c</sup>   | 37.53 <sup>a</sup>         | 33.39 <sup>c</sup>         |
| 7   | 36.34 <sup>b</sup>   | 39.80 <sup>a</sup>         | 43.64 <sup>b</sup>         |
| 10  | 50.54 <sup>a</sup>   | 38.98 <sup>a</sup>         | 51.72 <sup>a</sup>         |

<sup>1</sup>Medias con letra diferente en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Patras *et al.* (2009) reportaron un valor para la variable croma de  $C=23,66$ , mientras que Riascos *et al.* (2015) reportaron un valor de  $C= 29,677 \pm 0,437$ , en comparación con los datos obtenidos en este estudio existe un margen muy amplio en cuanto a los valores obtenidos, demostrando que el tratamiento de expansión ultrarrápida tuvo un impacto positivo en la variable croma, ya que los tratamientos 1 y 2 presentan una mayor intensidad de color.

### 8.2.4.3 Luminosidad

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza de la variable luminosidad presentó diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los días de evaluación para todos los tratamientos. De manera general se observó los tratamientos 1 y 2 mostraron un aumento durante los días de evaluación y el tratamiento testigo mostró una disminución durante los días 0, 5 y 7. Adicionalmente, puede observarse en el Cuadro 11 que los valores de los tratamientos 1 y 2 fueron más altos que los valores registrados del tratamiento testigo para los días 5, 7 y 10. Sin embargo, para el día 0 los resultados del tratamiento testigo fueron mayores que los resultados de los tratamientos 1 y 2. El mayor valor obtenido durante el periodo de análisis de los purés fue en el día 10, en el cual todos los purés registraron los valores más altos, siendo el tratamiento 1 el cual mostró el mayor valor registrado.

**Cuadro 11. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable Luminosidad.**

| Día | Testigo <sup>1</sup> | Tratamiento 1 <sup>1</sup> | Tratamiento 2 <sup>1</sup> |
|-----|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0   | 26.87 <sup>ab</sup>  | 25.26 <sup>c</sup>         | 25.41 <sup>d</sup>         |
| 5   | 25.35 <sup>b</sup>   | 27.88 <sup>b</sup>         | 27.03 <sup>c</sup>         |
| 7   | 25.33 <sup>b</sup>   | 27.64 <sup>b</sup>         | 27.88 <sup>b</sup>         |
| 10  | 28.54 <sup>a</sup>   | 33.70 <sup>a</sup>         | 29.08 <sup>a</sup>         |

<sup>1</sup>Medias con letra diferente en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Patras *et al.* (2009) reportaron un valor para la variable luminosidad de  $L=23,73$ , mientras que Riascos *et al.* (2015) reportaron un valor de  $L= 31,845 \pm 0,482$ , y como se puede observar los tratamiento obtenidos por expansión ultrarrápida no presentaron afectaciones en cuanto a la variable luminosidad, ya que los valores de los tratamientos 1 y 2 muestran valores próximos a los reportados y al tratamiento testigo.

La diferencia de valores obtenidos en las variables de colorimetría ( $^{\circ}$ Hue, Croma y Luminosidad) puede ser debido a un oscurecimiento de las muestras que al estar expuestas al ambiente inician un proceso de oxidación en la superficie (Meléndez Martínez, 2004.), otro fenómeno que puede explicar este comportamiento de la coordenada de color puede depender de la cantidad de luz sobre la muestra que fue reflejada, transmitida o absorbida, considerando esto, la reflectancia del color puede ser afectada por procesos de oxidación incrementando ésta característica (Blum, 2014). Además el licopeno es el principal responsable del color rojo en el jitomate y según Meléndez Martínez *et al.* (2004.) puede haber una degradación del licopeno debido a la exposición a condiciones como la luz y el calor que inicialmente se evidencia en pérdida de color.

En cuanto a la colorimetría el tratamiento testigo es el que presenta un mejor color para la aceptación del consumidor, ya que presenta un mejor valor en cuanto a la intensidad del color, pero estadísticamente todos los valores de los tratamientos se encuentran dentro o próximos al mismo rango, por lo cual se concluye que en cuanto al color cualquier tratamiento presenta un color aceptable para el consumidor.

#### **8.2.5 Cambios en la concentración de licopeno**

De acuerdo al análisis de varianza la variable licopeno presentó diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los días de evaluación para todos los tratamientos. De manera general se observó una variación de los valores obtenidos de los tres tratamientos durante los días de evaluación. Además, puede observarse en el Cuadro 12 que los valores de los tratamientos 1 y 2 fueron más altos que los valores registrados del tratamiento testigo para los días 0, 5, 7 y 10. El mayor valor obtenido durante el periodo de análisis de los purés fue en el día 0, en el cual todos los purés registraron los valores más altos, siendo el tratamiento 2 el cual mostró el mayor valor registrado.

**Cuadro 12. Análisis de varianza por tratamiento en función del día de evaluación de la variable Cambio en la concentración de licopeno.**

| Día | Testigo <sup>1</sup> | Tratamiento 1 <sup>1</sup> | Tratamiento 2 <sup>1</sup> |
|-----|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0   | 0.807 <sup>b</sup>   | 1.350 <sup>a</sup>         | 1.491 <sup>a</sup>         |
| 5   | 1.190 <sup>a</sup>   | 1.420 <sup>a</sup>         | 1.292 <sup>a</sup>         |
| 7   | 0.465 <sup>bc</sup>  | 0.932 <sup>b</sup>         | 0.545 <sup>b</sup>         |
| 10  | 0.390 <sup>c</sup>   | 0.977 <sup>b</sup>         | 1.318 <sup>a</sup>         |

<sup>1</sup>Medias con letra diferente en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey.

De acuerdo a lo reportado por Tonnuci *et al.* (1995) el contenido de licopeno en toda la fruta es mayor a 9.27 mg/100 g, por otro lado, Heinonen *et al.* (1989) reportaron que algunas variedades rojas contienen más de 15 mg/100 g, mientras que las variedades amarillas contienen sólo cerca de 0.5 mg/100 g.

Sin embargo Heinonen *et al.* (1989) reportaron que la concentración de licopeno en jitomates es mayor en verano (junio-agosto) y menor en invierno (octubre-marzo), además, también Lampe *et al.* (1971) indicaron que el contenido de licopeno puede variar de acuerdo con las técnicas de fertilización, tiempo de cosecha y variedad seleccionada.

Adema de las condiciones presentadas anteriormente, las muestras permanecieron conservadas en una cámara de ultracongelacion (-72°C) antes de ser descongeladas para llevar a cabo las evaluaciones de los purés y según Sánchez-Moreno *et al.* (2006) el color del jugo de tomate se degrada más rápidamente al aumentar la temperatura, los cual podría haber afectado y causado la disminución de la cantidad de licopeno en el día 7 de los 3 tratamientos y para el día 10 en el puré testigo y el puré del tratamiento 1, además según Goodman *et al.*, (2002) el procesamiento térmico puede afectar de manera adversa las cualidades sensoriales y nutritivas de los zumos de jitomate.

## **IX. CONCLUSIONES**

- De acuerdo con los resultados obtenidos, para las variables de pH, °Hue, luminosidad y contenido de licopeno, se demuestra que el proceso de expansión ultrarrápida permitió que los tratamientos 1 y 2 mostraran mejores resultados durante todos los días de evaluación (0, 5, 7 y 10), en comparación con el tratamiento testigo.
- De acuerdo con los resultados obtenidos para las variables acidez titulable, sólidos solubles totales y croma del tratamiento 1 (10 min, 100°C en el interior de la cámara, 60°C en el interior del fruto y una presión de 6.2Kpa ) se vieron afectados negativamente por el proceso de expansión ultrarrápida.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en este proyecto, se demuestra que el uso del equipo de expansión ultrarrápida es una forma más adecuada de obtener un puré de jitomate de mejor calidad, que los purés producidos de la manera convencional, ya que en la mayoría de las variables evaluadas no se observaron efectos negativos a causa del proceso de expansión ultrarrápida.

## X. Bibliografía

- Abdullah, M. Z. (2004.). The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *Journal of Food Engineering.*, 125-135.
- Aguayo G. Encarnada, C. G. (s.f.). *Campus de la ingeniería*. Recuperado el 15 de Enero de 2018, de UCC+i: <http://campusdelaingenieria.upct.es/index.php/talleres-2015/escuelas-y-facultades-2/122-ets-ingenieria-agronomica/332-determinacion-azucares-frutas-zumos>
- Alvarez, M. J. (2006). Evaluación del contenido de carotenoides totales en cáscara de algunas variedades de naranjas venezolanas. Resumen introductorio. *Revista Facultad de Agronomía.*, 298-305.
- Barbosa-Cánovas, G. (1999.). *Conservación no térmica de alimentos.*, España,: Acribia,.
- Bartz, J. &. (2003). Postharvest physiology and pathology of vegetables. Taylor & Francis. Second edition.
- Bello Gutiérrez José. (2005.). *Calidad de vida, alimentos y salud humana.*, Madrid,: Ediciones Díaz de Santos S.A.,.
- Blum, P. (13 de Noviembre de 2014). *Physical properties handbook*. Obtenido de A guide to the shipboard measurement of physical properties of deep-sea cores.: <http://www.wodp.tamu.edu/publications/tnotes/tn26/CHAP7.PDF>
- Brat, P. O. (2002). Preparation of tropical fruit purees by flash vacuum-expansion. *Acta Horticulturae*, 535-541, 575.

- Calderón Miranda, M. L. (1998.). Métodos no térmicos, Cuadernos de nutrición., *Fomento de nutrición A.C.,.*
- Cámara, M. F.-R.-M. (2012). Radial basis network analysis to estimate lycopene degradation kinetics in tomato based products. *Food Research International.*, 453-458.
- Cantillo, J. A. (1994). *Durabilidad de los Alimentos. Metodos de estimación.* Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.
- Castro, J. C. (2011). *Parámetros Fisicoquímicos para la obtención de modelos de predicción en la calidad poscosecha del tomate.* Escobedo, Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Chamorro, J. (1995). Anatomía y fisiología de la planta. in: Nuez, F. *Mundi-Prensa*, 45-92.
- Chanforan, C. L.-V. (2012). The impact of industrial processing on health-beneficial tomato microconstituents. *Food Chemistry.*
- Cheftel, J. C. (1995). High pressure, microbial inactivation and food preservation. *Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture*, 13-38.
- Civera, A. (1990). El tomate de industria, Tecnicas y variedades en la mecanización para su recolección. *Agrícola Vergel*, 955- 963.
- Dahlia Daher, S. L.-L. (2017). Efecto del procesamiento de alta presión en la inactivación microbiana en preparaciones de frutas y otras bebidas a base de verduras. *Química analítica y ciencia de los alimentos, Universidad de Vigo.*
- Delmoro, J. M. (2010). El color en los alimentos. 145-152.
- Diez, J. (1995). El cultivo del tomate. *Mundi-Prensa*, 93-129.
- Domene R. M. Á.I, R. S. (2014). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria alimentaria. *CAJAMAR ADNAgro*, 1-18.
- Fennema, O. R. (2014). *Introducción a la química de los alimentos.* México: Reverté.
- Fermoso, A. G. (2016). La industria del tomate procesado (II). *El economista.*
- FIRA. (2016). *Panorama Agroalimentario; Tomate rojo.* México: Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial.

- Franco, D. (2017). *La cadena agroindustrial del tomate*. Argentina: Alimentos Argentinos.
- Gomez, A. F. (2014). *La industria del tomate procesado*. México: El economista.
- Goodman, C. L. (2002). Flavor, viscosity and color analyses of hot and cold break tomato juices. *Journal of Food Science*, 404-408.
- Gould, W. (1992). Tomato production, processing and quality evaluation. *AVI Publishing Company*, 445.
- Heinonen ML, O. V. (1989). Carotenoids in finnish foods, vegetables, fruits and berries. *Agric Food Chem*, 37, 655-659.
- Hsu, K.-C. (2008). Evaluation of processing qualities of tomato juice induced by thermal and pressure processing. *ScienceDirect*, 450-459.
- HunterLab. (2013). *The world's true measure of color HunterLab*. Recuperado el 12 de Enero de 2018, de The world's true measure of color HunterLab: <https://www.hunterlab.com/es/espectrofot%C3%B3metro-para-tomate-medici%C3%B3n-del-color-de-tomates.html>
- HunterLab. (2008). Colorimeters versus Spectrophotometers. 5-6.
- Illumination., I. C. (2004). *Libro blanco de la gestión del color. Espacios de color y conversión de colores*. Francia: Retrieved.
- Isler, O. R. (1967). Carotenoids as food colourants. *Chimie Pure et Appliquée*, 245-263.
- J.A. Barreiro, M. M. (1997). Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*.
- Jamison, J. R. (2003). Dietary diversity: case study of fruit and vegetable consumption by chiropractic patients. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*.
- Jarquín, E. M. (29 de Mayo de 2013). *Lycopene content and color index of tomatoes are affected by the greenhouse cover*. Recuperado el 08 de Diciembre de 2017, de ScienceDirect: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.03.004>
- Lampe C, W. A. (1971). Postharvest quality of high pigment and crimson tomato fruit. *Amer Soc Hort Sci*, 534-535.

- León, K. M. (2006). Color measurement in Lab units from RGB digital images. *In Food Research International.*, 1084-1091.
- Liesbeth Vervoort, I. V. (2012). Thermal versus high pressure processing of carrots: A comparative pilot-scale study on equivalent basis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1-13.
- Loc. T. Nguyen, A. T. (2015). Evaluating the impact of thermal and pressure treatment in preserving textural quality of selected foods. *Food Science and Technology*, 525–534.
- Manuel Vargas-Ortiz, A. S.-C. (2017). Stability of the lipid fraction of avocado puree obtained by flash vacuum-expansion process. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.
- Meléndez Martínez, A. V. (2004.). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.*, 1-11.
- Minguez Mosquera, M. I. (2005). Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales mucho más que simples "colorantes" naturales. *CTC Alimentación.*, 108-113.
- Minguez Mosquera, M. I. (2005.). Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales mucho más que simples "colorantes" naturales. *CTC Alimentación.*, 108-113.
- Noor A. Ibraheem, M. M. (2012). Understanding Color Models: A Review. *ARPJN Journal of Science and Technology*.
- Ordóñez Santos, L. E. (2010). Effect of processing and storage time on the vitamin C and lycopene contents of nectar of pink guava (*Psidium guajava* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.*, 280-284.
- Otles, S. (2008). Handbook of food analysis instruments. *CRC Press, Ed.*, 544.
- Patras, A. N. (2009). Effect of thermal and high pressure processing on antioxidant activity and instrumental colour of tomato and carrot purées. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16-22.
- Periago, M. J.-v. (2001). PROPIEDADES QUIMICAS, BIOLOGICAS Y VALOR NUTRITIVO DEL. *Anales Veterinarios.*, 51-66.

- Pineda David. (2018). *Preservación de los alimentos por ultrasonido*,. El Salvador,,: Dirección de Innovación y Desarrollo Tecnológico,.
- Primo, Y. E. (1997). *Química de los Alimentos*. Sintesis, S.A.
- PROFECO, L. (2004). *Puré de tomate*. México: PROFECO.
- Rao, A. V. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research : The Official Journal of the Italian Pharmacological Society.*, 207-216.
- Riascos Vásquez. M.A., S. O. (2015). *Estimación de las coordenadas CIEL\*a\*b en concentrados de tomate utilizando imagenes digitales*. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración.
- SACEM. (2002). *Sistema Anual del Comercio Exterior en México*. Aguascalientes, México: INEGI.
- Sánchez-Moreno, C. P. (2006). Nutritional characterisation of commercial traditional pasteurized tomato juices: carotenoids, vitamin C and radical-scavenging capacity. *Food Chemistry*, 749–756.
- Sectorial, D. d. (2016). *Panorama Agroalimentario; Tomate rojo*. México: FIRA.
- SIAP. (2016). Anuario estadístico de la producción agrícola.
- Tonnuci LH, H. J. (1995). Carotenoid content of thermally processed tomato-based food products. *Agric Food Chem*, 43, 579-586.
- Vargas Ortiz, M. A., De la Cruz Medina, J., Oliart Ros, R. M., Rebolledo Martínez, A., Ramírez, J. A., & García, H. S. (2013). Efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre los cambios poscosecha de mango (*Mangifera indica*) 'manila' en madurez fisiológica. *CienciaUAT*, vol. 8, núm. 1, 52-63.
- Wills, R. M. (1989). *Postharvest An introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables*. CABI Professional Books.
- Wills, R. M. (2007). *Postharvest an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. CABI Professional Books.
- Wu, D. &. (2013). Color measurements by computer vision for food quality control- A review. *Trends in Food Science & Technology*, 5-20.
- Yúfera, E. P. (1995). *Química orgánica básica y aplicada*. Barcelona.: Retrieved.

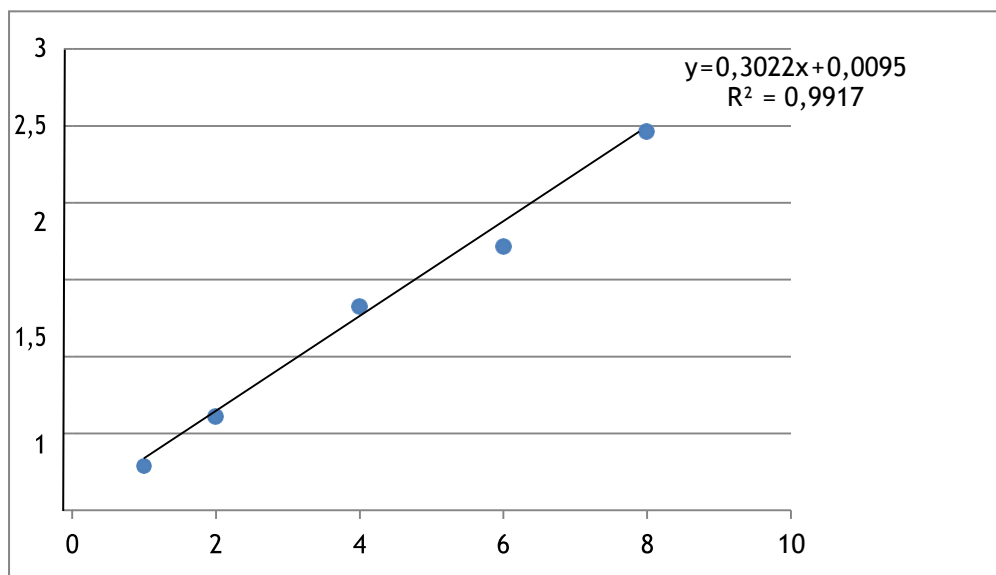
Zhu, S. N. (2008). High-pressure destruction kinetics of *Clostridium sporogenes* spores in ground beef at elevated temperatures . *International Journal of Food Microbiology*, 86–92.

## **XI. ANEXOS**

### **Anexo 11.1 Metodología para la determinación del contenido de licopeno.**

Pesar 200 mg de muestra en una balanza analítica, posteriormente en un matraz aforado junto con la muestra, verter una mezcla de solventes (50 mL de hexano, 25 mL de acetona y 25 mL de etanol). Poner en agitación magnética el matraz durante 3 horas a una temperatura de 25 °C. El matraz debe estar cubierto con papel aluminio. Después de las 3 horas de agitación, agregar 3 mL de agua destilada y dejar en agitación 5 min. Verter la muestra solución en un embudo de separación previamente forrado y dejar que se formen las dos fases. Desechar la parte inferior que por densidad corresponde al agua. La parte de los solventes, verter en tubos de vidrio tapados con papel aluminio. Realizar lecturas en el espectrofotómetro a 503 nm. Previa lectura de blanco con hexano (AOAC, 1990).

Anexo 11.2 Absorbancia en función de la concentración de licopeno estándar.



El resultado se expresa como mg/Kg