



Universidad Autónoma de Querétaro
Campus Amealco

Tesis

Efecto de la incorporación de *Haematococcus pluvialis* en las propiedades fisicoquímicas, nutraceuticas y vida útil de puré de tomate.

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Ingeniero Agroindustrial.

Presenta

Lizardi Caballero Miriam Lizette

2023

**Amealco de Bonfil Querétaro,
Qro, MÉXICO
Junio 2023**



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Efecto de la incorporación de *Haematococcus*
pluvialis en las propiedades fisicoquímicas,
nutraceuticas y vida útil del puré de tomate.

por

Miriam Lizette Lizardi Caballero

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: IGLIN-257461



Universidad Autónoma de Querétaro
Campus Amealco



Tesis

Efecto de la incorporación de *Haematococcus pluvialis* en las propiedades físicoquímicas, nutracéuticas y vida útil de puré de tomate.

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Ingeniero Agroindustrial.

Presenta:

Lizardi Caballero Miriam Lizette

Dirigida por:

Dr. Juan Manuel Vera Morales

SINODALES

Dr. Juan Manuel Vera Morales

Presidente

Dr. Diana Maria Amaya Cruz

Secretario

Dra. Marcela Vargas Hernández

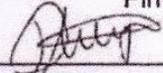
Vocal

M. en C. Alejandro Escobar Ortiz

Suplente

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad

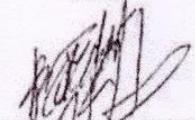

Firma


Firma


Firma

Alexandro E.O.

Firma


Dr. Marcela Vargas Hernández
Coordinador
Ingeniería Agroindustrial

Amealco de Bonfil Querétaro,
Qro., MÉXICO
Junio 2023

Resumen

El tomate se consume principalmente como fruta fresca, y productos procesados como jugo, pasta, salsa y puré de tomate. Dicho procesamiento incluye tratamientos mecánicos, térmicos, y la adición de diversos ingredientes que pueden inducir algunos cambios o mejoras al producto. En años recientes ha crecido el interés de utilizar ingredientes funcionales para modular atributos sensoriales, capacidad de almacenamiento, o propiedades nutraceuticas. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un puré de tomate adicionado con microalga *Haematococcus pluvialis* (4 g de microalga/kg de puré de tomate) y evaluar su efecto sobre las propiedades funcionales, nutraceuticas y vida de anaquel del puré de tomate, durante un almacenamiento de 0 hasta 190 días a temperaturas de 25, 35 y 45°C. Para esto, se caracterizó en términos de pH, grados brix, acidez titulable, contenido de humedad, compuestos fenolicos y capacidad antioxidante. La incorporación de microalgas al puré de tomate no presentó un aumento de compuestos fenolicos y capacidad antioxidante: en cuanto a sólidos solubles hubo un aumento, el pH disminuyó, la acidez presentó un pequeño aumento y el contenido de humedad presentó una disminución de hasta un 41% al pasar los 190 días de almacenamiento. La adición de microalgas al puré de tomate tuvo un efecto en las propiedades funcionales y nutraceuticas obteniendo un producto final de puré de tomate por debajo del rendimiento promedio con una disminución en el contenido de humedad y de pH, hubo un aumento en los grados Brix y Ácido cítrico del puré de tomate con y sin microalga. La capacidad antioxidante y compuestos fenolicos no representaron un aumento en el producto final de puré de tomate como se planteaba en un principio. Hubo un mayor incremento y disminución de las variables antes mencionadas en temperatura de 45°C y a los 190 días de almacenamiento.

Palabras claves: Puré de tomate, Funcional, Nutraceuticos, Microalgas, *Haematococcus pluvialis*, Astaxantina.

Abstract

Tomato is consumed mainly as fresh fruit, and products such as juice, paste, sauce and tomato puree. Said processing includes mechanical and thermal treatments and the addition of various ingredients that can induce some changes or improvements to the product. Interest has arisen in using novel additional ingredients, with specific functionality, in order to modulate the properties of processed tomato foods, such as sensory characteristics, storage capacity, improved properties or nutraceuticals. The objective of this work was to develop a tomato puree added with *Haematococcus pluvialis* microalgae (4 g of microalgae/kg of tomato puree) and to evaluate its effect on the functional, nutraceutical and shelf-life properties of tomato puree, during a storage from 0 to 190 days at temperatures of 25, 35 and 45°C. Tomato puree was characterized in terms of pH, Brix degrees, titratable acidity, moisture content, phenolic compounds and antioxidant capacity. The incorporation of microalgae into tomato puree did not present an increase in phenolic compounds and antioxidant capacity: in terms of soluble solids there was an increase, the pH was found, the acidity presented a small increase and the moisture content presented a decrease of up to 41 % after 190 days of storage. The addition of microalgae to tomato puree had an effect on the functional and nutraceutical properties, obtaining a final product of tomato puree below the average yield with a decrease in moisture content and pH, there was an increase in Brix degrees and Citric acid from tomato puree with and without microalgae. The antioxidant capacity and phenolic compounds did not represent an increase in the final product of tomato puree as originally proposed. There was a greater increase and decrease of the aforementioned variables at temperatures higher than 45°C and greater than 190 days of storage.

Key words: Tomato puree, Functional, Nutraceuticals, Microalgae, *Haematococcus pluvialis*, Astaxanthin.

Dedicatorias

Gracias a mis padres mi ejemplo, inspiración y
compañeros de vida.

Mis padres Margarita e Irineo

A mi director de tesis Dr. Juan Manuel y a la Dra. Diana
Amaya Cruz por apoyarme en todo el proceso

A mis maestros por el conocimiento compartido durante
mi trayectoria.

A todos mis hermanos por su apoyo

Mi hija Grecia por ser el motor de mi vida.

A mi pareja

Agradecimientos

Esta tesis es el resultado de muchos esfuerzos y sacrificios a lo largo de mi trayectoria como universitaria, de todos y cada una de las personas que me apoyaron e inspiraron para lograr esta meta, a Dios, mis padres, hermanos, pareja, hija, amigos y maestros (a).

A quien principalmente les debo lo que he llegado a lograr es a mis padres, Margarita e Irineo, papá donde quiera que estés sé que estarás orgulloso de tu hija porque gracias a ti aprendí muchas cosas de la vida, mamá por creer en mí y apoyarme cada día para poder culminar la carrera, gracias infinitamente a los dos por darme la oportunidad de seguir estudiando y motivarme para ser mejor persona cada día. Gracias a ambos hasta donde estén. A todos mis hermanos por el apoyo para seguir estudiando tanto económico como emocional, por el ejemplo que han sido para mí, por enseñarme que siempre hay que luchar por lo que se quiere sin importar los límites u obstáculos a vencer para cumplir nuestros propósitos, que día a día se trabaja para obtener lo que se quiere con nuestros propios esfuerzos. A mi novio que desde el comienzo de esta trayectoria en esta licenciatura me ha brindado apoyo, me ha aguantado en mis momentos de estrés, enojos, cansancios, sobre todo por soportar mi carácter en los momentos más difíciles y por motivarme a nunca rendirme.

A todos mis compañeros y amigos que compartimos el aula durante cinco años, gracias por todo el tiempo que compartimos juntos, por todo lo que me enseñaron, las experiencias vividas, las aventuras, los trabajos en quipos, los desvelos, las risas que ocasionaban esas travesuras inocentes, el apoyo cuando se necesitaba, ese entusiasmo para hacer las cosas, el sarcasmo en las conversaciones que nos tenían muertos de risa, lo cual nos distraía un poco del estrés y trabajos, no por nada nos conocen como los enfadosos. Gracias enfadosos por aguantarme todo este tiempo y por permitirme ser parte de su historia. Gracias Lupita Leal por todo el apoyo que me brindaste durante la travesía en la elaboración de mi tesis y por la paciencia que me tuviste. Eternamente agradecida porque me llevo un gran recuerdo de lo que fue mi familia Agroindustrial.

A mi asesor de tesis Dr. Juan Manuel Vera Morales y la Dra. Diana Amaya Cruz por todo el apoyo brindado durante este proyecto, el cual sin ustedes no hubiera sido posible, por la paciencia y dedicación que me brindaron. En general gracias a todos mis maestros(a) de la facultad por compartir sus conocimientos

Gracias a todos porque fueron parte fundamental para cumplir este proyecto de vida y gracias también a todos los que no creyeron en mí. Por último y no menos importante, gracias a mí por atreverme a cumplir este proyecto el cual dude por un momento realizar, porque para mí fue un gran reto el creer que yo podía realizarlo.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Dedicatorias.....	4
Agradecimientos.....	5
Índice de Tablas.....	10
Índice de figuras.....	11
I. Introducción.....	12
1.1. Problemática.....	12
1.2. Justificación.....	13
1.3. Hipótesis y objetivos.....	14
1.3.1. Hipótesis.....	14
1.3.2. Objetivo general.....	14
1.3.3. Objetivos específicos.....	14
II. Marco teórico y antecedentes.....	15
2.1. Tendencia en la alimentación.....	15
2.2. Los nutraceuticos en alimentos.....	16
2.3. Tomate como fuente de nutraceuticos.....	17
2.3.1 Productos de tomate.....	17
2.4. Las microalgas como ingredientes funcionales.....	18
2.4.1. Haematococcus pluvialis.....	19
2.5. Vida de anaquel de los alimentos.....	20
III. Metodología.....	22
3.1. Localización del experimento.....	22
3.2. Material biológico.....	22
3.3. Diseño de experimento.....	22
3.3.1. Diseño experimental.....	22

3.3.2. Cálculo de la dosis de microalga	23
3.4. Preparación de puré de tomate	23
3.4.1. Escaldado del tomate	23
3.5. Molienda del tomate	23
3.6. Evaporación del puré de tomate	24
3.7. Empaque	24
3.8. Esterilización	25
3.9. Almacenamiento del puré	25
IV. Variables.....	26
4.1. Grados brix	26
4.2. pH	26
4.3. Acidez titulable.....	26
4.4. Contenido de humedad	26
4.5 Extracción de compuestos fenólicos.....	27
4.6. Cuantificación de compuestos fenólicos totales	27
4.7. Determinación de la capacidad antioxidante por el método DPPH'.....	28
V. Resultados y Discusión	29
5.1. Rendimiento del puré de tomate.....	29
5.2. Caracterización fisicoquímica	29
5.3 Caracterización fisicoquímica durante el almacenamiento	30
5.3.1 pH.....	30
5.3.2 Acidez titulable.....	30
5.3.3 Grados Brix.....	31
5.3.4 . Contenido de Humedad.....	32
5.3.5. Caracterización nutraceútica	33
5.4 Caracterización nutraceútica durante el almacenamiento	34

VI.	Conclusión.....	36
VII.	Bibliografía.....	37

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de antioxidantes	17
Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de los purés elaborados.....	29
tabla 3. Contenido de acidez en las muestras de puré al inicio y al final del almacenamiento.	31
Tabla 4. Caracterización nutraceútica de los purés elaborados.....	33

Índice de figuras

Figura 1: Microalga <i>Haematococcus pluvialis</i>	23
Figura 2: Medición de Grados Brix	24
Figura 3: Evaporación de puré de tomate	24
Figura 4: 1) Empaque de puré de tomate; 2) Bolsas de puré de tomate	24
Figura 5: Esterilización de las bolsas de puré de tomate	25
Figura 6: A) Cámaras incubadoras; B) Bolsas de puré de tomate almacenadas ..	25
Figura 7: Evolución de pH, en puré adicionado con microalgas y sin microalgas. Letras distintas en la misma columna de almacenamiento indica diferencia significativa ($p < 0.005$). A) Muestras de puré de tomate adicionadas con microalgas. B) Muestras de puré de tomate sin microalgas	30
Figura 8: Grados Brix de las muestras de puré de tomate almacenadas 25, 35 y 45°C respecto a los días. Letras distintas en la misma columna de almacenamiento indica diferencia significativa ($p < 0.005$). A) Muestras de puré de tomate adicionadas con microalgas. B) Muestras de puré de tomate sin microalgas.	32
Figura 9: Porcentaje de humedad de las muestras de puré de tomate almacenadas 25, 35 y 45°C respecto a los días. Letras distintas en la misma columna de almacenamiento indica diferencia significativa ($p < 0.005$). A) Muestras de puré de tomate adicionadas con microalgas. B) Muestras de puré de tomate sin microalgas.	32
Figura 10: Compuestos fenólicos de las muestras de puré de tomate almacenadas 25, 35 y 45°C respecto a los días. Letras distintas en la misma columna de almacenamiento indica diferencia significativa ($p < 0.005$). A) Muestras de puré de tomate adicionadas con microalgas. B) Muestras de puré de tomate sin microalgas.	34
Figura 11: Capacidad antioxidante de las muestras de puré de tomate almacenadas 25, 35 y 45°C respecto a los días. Letras distintas en la misma columna de almacenamiento indica diferencia significativa ($p < 0.005$). A) Muestras de puré de tomate adicionadas con microalgas. B) Muestras de puré de tomate sin microalgas.	35

I. Introducción

1.1. Problemática

El puré de tomate es uno de los productos más frecuentemente consumido, pero el proceso industrial incluye tratamientos mecánicos, térmicos y adición de ingredientes que provocan cambios en las propiedades funcionales del puré de tomate reduciendo así la capacidad antioxidante del producto final. Por otro lado, las tendencias actuales de alimentación apuntan hacia el consumo de productos con menor cantidad de aditivos artificiales y con ingredientes que representen un beneficio a la salud. Por tanto, la incorporación de *Haematococcus pluvialis* al puré de tomate busca mejorar su capacidad antioxidante, vida útil y color, otorgando mejores beneficios al producto final.

1.2. Justificación

En investigaciones anteriores se ha demostrado que la adición de *Haematococcus pluvialis* a los alimentos mejora sus propiedades funcionales y nutraceuticas. Asimismo, como parte de la planeación agrícola nacional (2017-2030) la SAGARPA tiene como estrategia fomentar la industrialización del tomate para maximizar el desarrollo productivo nacional. Por lo tanto, en este trabajo se propone la adición de la microalgas *Haematococcus pluvialis* a puré de tomate con la finalidad ser una alternativa al procesamiento del tomate y de mejorar las propiedades del puré, pues la astaxantina contenida en la microalga es fuente natural de color rojo y potencial antioxidante que podría ayudar a alargar la vida útil del producto final. Además de ser una alternativa que podrían suplir a los aditivos químicos.

1.3. Hipótesis y objetivos

1.3.1. Hipótesis

La incorporación de microalgas *Haematococcus pluvialis* mejora las propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas, y alarga la vida útil del puré de tomate.

1.3.2. Objetivo general

Determinar el efecto de la incorporación *Haematococcus pluvialis* en las propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas del puré de tomate.

1.3.3. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de puré de tomate con y sin incorporación de *Haematococcus pluvialis*
- Caracterizar las propiedades nutraceuticas del puré de tomate con y sin la incorporación
- Determinar el efecto del almacenamiento del puré de tomate adicionado con microalgas sobre las propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas.

II. Marco teórico y antecedentes

2.1. Tendencia en la alimentación

En los últimos años han aumentado las preocupaciones de los consumidores con respecto a cuestiones de salud y seguridad sobre el consumo de alimentos procesados. La alimentación y la nutrición son acciones distinguibles, pero estrechamente relacionadas a través de las cuales los humanos pueden mantener su estado saludable ya que existen alimentos sin procesar o procesados que pueden contener compuestos nutraceuticos con efectos positivos sobre la salud humana (Piccolella et al., 2019); y los consumidores tienden a preferir aquellos que los contienen (Siro et al., 2008).

Por lo tanto, la industria alimentaria se dirige a las demandas actuales de los consumidores con el aumento continuo de productos alimenticios con nuevas funcionalidades para la promoción de la salud (Bigliardi & Galati, 2013). Es así que tanto el desarrollo de nuevos productos como la modificación de los ya existentes están enfocados a mejorar sus propiedades nutraceuticas, otorgándoles valor agregado. Últimamente existe una creciente demanda de los consumidores de antioxidantes naturales sobre los sintéticos que se han asociado con efectos toxicológicos o antinutricionales (Carballo et al., 2018). Se debe tener presente que los alimentos desarrollados deben ser aceptados por los consumidores, sin embargo, esto está determinado, entre otros, por los problemas de salud, alergias y la familiaridad de los consumidores con los ingredientes de los alimentos (Bigliardi & Galati, 2013).

2.2. Los nutraceuticos en alimentos

Los nutraceuticos son ingredientes bioactivos, de origen natural, y extraibles de diferentes fuentes de alimentos. Mientras que un alimento funcional es cualquier alimento fresco o procesado que se afirma que tiene una propiedad que promueve la salud y/o previene enfermedades más allá de la función nutricional básica de suministrar nutrientes (Piccolella et al., 2019).

En el escenario de los nutraceuticos las sustancias antioxidantes naturales, principalmente los compuestos fenolicos, se están convirtiendo en actores principales (Pacífico et al., 2019). Dentro de los compuestos fenolicos encontramos los flavonoides, que son metabolitos secundarios presentes en muchas plantas, y se ha probado clínicamente para prevenir enfermedades como problemas cardiacos, diabetes, y problemas renales, por su potencial antioxidante (Guzmán, Biruete et al., 2009).

Los nutraceuticos se pueden clasificar por los nutrimentos o por los compuestos quimicos que contienen, como es el caso de los antioxidantes (Guzmán, Biruete et al., 2009). Un antioxidante es cualquier sustancia que a baja concentración retrasa la oxidación de proteínas, carbohidratos, lípidos y ADN (Sindhi et al., 2013), además de prevenir las enfermedades crónicas relacionadas con el estrés oxidativo (Cömert & Gökmen, 2018).

En los sistemas alimentarios, el uso de antioxidantes nutricionales puede evitar el retraso de la peroxidación, lo que ayuda a mantener el sabor, la textura y color del productos alimenticios durante el almacenamiento (Sindhi et al., 2013). Se utilizan en la industria alimentaria adicionados a las grasas u otros productos para retrasar los procesos de oxidación, ya que previenen el comienzo de la rancidez oxidativa (grasas) (Coronado H. et al., 2015).

Las sustancias antioxidantes se han clasificado en dos principales sistemas, el sistema enzimático y no enzimático, el primero está basado en un complejo enzimático de defensa que puede incluir la superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peróxidasa, a la tioredoxina reductasa y al glutatión reductasa. En el sistema enzimático los antioxidantes más importantes son la vitamina C y E, los

flavonoides, el mineral Selenio, pero también la vitamina D, K y la molécula β -caroteno (Tabla 1) (Pisoschi & Negulescu, 2012).

Tabla 1. Clasificación de antioxidantes

Antioxidantes enzimáticos	Antioxidantes no enzimático
Superóxido dismutasa	Vitamina C
Catalasa	Vitamina E
Glutación peróxidasa	Flavonoides
Ácido úrico	Mineral Se
Bilirrubina	Vitamina K
Albúmina	El β -caroteno
Metalotioneínas	Vitamina D

2.3. Tomate como fuente de nutraceuticos

El tomate (*Solanum lycopersicum*) representa una rica fuente de carotenoides como β -caroteno, licopeno, ácido fólico, potasio, vitamina C, vitamina E, y compuestos fenólicos (Diantom et al., 2017). En México, el cultivo del tomate es uno de los de mayor incremento de productividad, destacando como el principal proveedor de jitomate a nivel mundial (1786,5 miles de toneladas/año). Sin embargo, como parte de la planeación agrícola nacional (2017-2030) la SAGARPA tiene como estrategia fomentar la industrialización del tomate para maximizar el desarrollo productivo nacional (SAGARPA, 2017).

2.3.1 Productos de tomate.

En todo el mundo, el tomate se consume principalmente como fruta fresca, y también como diversos productos transformados como jugo, pasta, salsa y puré de tomate (Diantom et al., 2017). El proceso de transformación incluye tratamientos mecánicos, térmicos y la adición de diversos ingredientes que pueden inducir algunos cambios o mejoras al producto (Yu et al., 2019).

La adición de ingredientes va en pro de las tendencias actuales en lo referente al desarrollo de nuevos productos alimenticios, que según el IFT (Institute of Food Technology, 2019) apuntan al surgimiento y uso de ingredientes alternativos, pues los consumidores están preocupados por aspectos de salud y seguridad en relación al consumo de alimentos procesados. Por esto, la industria alimentaria busca suplir

las demandas actuales, diseñando productos alimenticios con nuevas funcionalidades como presentar algún beneficio a la salud, pues es los que los consumidores prefieren (Bigliardi & Galati, 2013).

A raíz de esto ha crecido el interés de utilizar ingredientes adicionales novedosos, con funcionalidad específica, con la finalidad de modular las propiedades de los alimentos procesados de tomate, como atributos sensoriales, capacidad de almacenamiento mejorada, o propiedades nutraceuticos (Diantom et al., 2017).

Es de esta manera como el valor nutraceutico de los productos derivados del tomate puede incrementarse mediante la adición de compuestos antioxidantes, obteniendo un 'producto de tomate funcional', (Gerardi et al., 2018), con la finalidad de mejorar atributos sensoriales, capacidad de almacenamiento y/o propiedades nutraceuticas (Diantom et al., 2017). En este sentido, autores han fortificado puré de tomate con la adición de subproductos de vinificación, obteniendo un producto final con niveles más altos de fenoles y mayor capacidad antioxidante en comparación con el control (Lavelli et al., 2014).

De igual manera, Gerardi et al., (2018) desarrollaron un puré de tomate funcional adicionado con antocianinas de diversas fuentes, este producto presentó un alto nivel de aceptación entre los consumidores, además de mayores niveles de compuestos fenólicos, potencial antioxidante y capacidad antiinflamatoria en relación al control.

2.4. Las microalgas como ingredientes funcionales

Las microalgas son organismos multicelulares o unicelulares que se encuentran en todos los ecosistemas acuáticos del planeta: mares, ríos y lagos (Espinoza Escalante, 2017). Son consideradas como ingredientes alternativos, reconocidas en la industria de alimentos por su valor nutricional, siendo fuente de polisacáridos, ácidos grasos poliinsaturados, minerales, fibra dietaría, proteína y fitoquímicos (carotenoides y otros antioxidantes) (Ju et al., 2012; Molino et al., 2018). Además se ha reportado sus propiedades anticarcinogénicas, antioxidantes y antihipertensivas (Koyande et al., 2019). Todo esto ha ocasionado que su producción industrial se haya incrementado de manera notable en los últimos años

después de ser un cultivo subexplotado (Espinoza Escalante, 2017). Algunos autores como Caporgno & Mathys (2018) han evaluado el potencial de las microalgas y los compuestos derivados de estas para ser utilizados como nuevos ingredientes con propiedades funcionales en productos lácteos, pastas, gomas, dulces, bocadillos, fideos, cereales, vino o productos horneados como galletas, pan, y otros. Aunque hasta el momento aún no se han reportado la adición de microalgas *Haematococcus pluvialis* a puré de tomate o parecidos.

2.4.1. Haematococcus pluvialis

Dentro de las especies de microalgas, *Haematococcus pluvialis* ha sido reconocida como segura y autorizada como aditivo tanto para animales como para humanos (Molino et al., 2018). Se caracteriza por ser un alga verde unicelular que acumula grandes cantidades de astaxantina (carotenoide rojo) como estrategia para enfrentar el estrés ambiental, además contiene β -caroteno, luteína y clorofila (Ota et al., 2018). Debido a estas características ha sido comercializada como fuente de carotenoides, principalmente astaxantina que podría representar de 3.8-5.0% de su peso seco dependiendo de las condiciones de cultivo (Wayama et al., 2013).

Haematococcus pluvialis es considerada la fuente principal de astaxantina para el consumo humano (Kidd, 2011). La astaxantina (3,3'-dihidroxi- β , β -caroteno-4,4'-diona) es un carotenoide de xantofila roja que se encuentra naturalmente en crustáceos, salmónidos y algunos tipos de plumas de pájaros, levaduras (*Phaffia spp*), y algas (*Haematococcus pluvialis*) (Ambati et al., 2014). En el mercado, este carotenoide se ha vendido como nutracéutico en forma de cápsula (Sathasivam et al., 2019) y es usado en la acuicultura como fuente de pigmentación, así como en la industria alimenticia por su actividad antioxidante (Sathasivam et al., 2019). Un ejemplo de su uso potencial como ingrediente funcional en alimentos procesados es el de (Abdelmalek et al., 2016) demostraron un efecto antioxidante de la astaxantina en filetes de pollo marinados durante el almacenamiento refrigerado.

En el caso específico de *Haematococcus pluvialis*, se ha agregado a galletas integrales de avena, trigo y cebada; incrementando el contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y disminuyendo la respuesta glicémica durante la digestión

in vitro (Hossain et al., 2017). Asimismo, se ha adicionado a emulsiones, aceite en agua, mejorando la resistencia a la oxidación, la estabilidad del color, las características reológicas y otorgando una amplia variedad de tonos atractivos, siendo apropiados para agregar en este tipo de productos al mejorar las propiedades sensoriales y funcionales (Gouveia, Luisa Raymundo et al., 2006). Siendo añadida la astaxantina como un polvo comercial de extracción de *Haematococcus pluvialis* (Carballo et al., 2018) Estas evidencias respaldan las ventajas de la adición de *Haematococcus pluvialis*, como ingrediente funcional.

2.5. Vida de anaquel de los alimentos

La vida de anaquel o vida útil de un producto alimentación se entiende como el período de tiempo después de su producción, en condiciones controladas de almacenamiento, durante el cual el alimento se conserva óptimo para el consumidor, manteniendo sus características sensoriales y funcionales. Un factor importante que influye en la vida útil de los alimentos es el proceso al que es sometido, ya sea pasteurización o esterilización, pues la vida de anaquel no menciona la seguridad del producto como una posible causa de falla, el cual no debe estar relacionado con una pérdida de la seguridad del alimento (Carrillo Inungaray & Reyes Munguía, 2014).

Por lo tanto, parte del procesamiento del alimento desarrollado incluye un proceso de pasterización, con la finalidad de garantizar su inocuidad. La pasteurización consiste en calentar los alimentos teniendo como propósito destruir células vegetales y esporas de microorganismos. Dependiendo de la temperatura y el tiempo de calentamiento es posible causar un choque térmico y provocar la muerte de estas. La pasteurización es un tratamiento con bajo nivel de calor el cual se realiza a menos de 100°C (Encina-Zelada et al., 2013).

Entre los factores que más afectan el desarrollo de los microorganismos en los alimentos se encuentra la temperatura en que se almacenen, ya que los microorganismos puedan crecer en ellos y descomponerlos; el pH, ya que los microorganismos capaces de crecer en ambientes con diferente pH, razón por la que pueden encontrar en un alimento condiciones favorables para su desarrollo y

descomponerlo o usarlo como vehículo para causar enfermedad en el consumidor. Y por último la actividad de agua, que se refiere a la cantidad de agua que está presente para reacciones que se llevan a cabo en un alimento (Carrillo Inungaray & Reyes Munguía, 2014).

III. Metodología

3.1. Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería en el Campus Amealco de la Universidad Autónoma de Querétaro, ubicado en Carretera Amealco-Temascalcingo Km 1, Centro, 76850 Amealco de Bonfil Querétaro, Qro.

El almacenamiento y análisis de las muestras del puré de tomate se realizaron en los laboratorios de vida de anaquel y de bioquímica molecular de la Facultad de Química en la Universidad Autónoma de Querétaro, ubicado en Cerro de las Campanas S/N, Centro Universitario, 76010 Santiago de Querétaro, Qro.

3.2. Material biológico

El cultivo de *Haematococcus pluvialis* se obtuvo de la empresa Prescribed For Life, comercializada bajo la marca Astaxanthin Algae. Se recibió una bolsa de 113 gr de cultivo que contiene 5% de astaxantina por kg de materia seca.

El tomate (*Solanum lycopersicum* var. El cid) se obtuvo de los invernaderos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro campus Amealco.

3.3. Diseño de experimento

3.3.1. Diseño experimental

Se tuvieron 3 tratamientos y un control, teniendo 78 muestras en total, 21 y 57 muestras del puré sin y con las microalgas, respectivamente. El tratamiento 1 (T1) consistió en 19 repeticiones de puré de tomate las cuales fueron almacenadas a 25°C; (ECOHEL), tratamiento 2 (T2) con 19 repeticiones de puré de tomate almacenadas a 35°C; (MEMMERT) cámara incubadora y el tratamiento 3 (T3) con 19 repeticiones de puré de tomate adicionadas con microalgas almacenadas en cámaras incubadoras; 45°C; (ECOHEL) y el control de puré de tomate sin microalgas con 21 muestras, almacenando 6 muestras en cada una de las tres cámaras de temperatura. Los muestreos del puré de tomate adicionado con microalga se tomaron a los días 0, 20, 40, 70, 100, 130 y 160 y para el control de puré de tomate sin microalga, los muestreos fueron a los días 0, 70 y 160, ya que

son el control del inicio, intermedio y final del proceso de almacenamiento. El método de muestreo fue en reversa, y las muestras se almacenaron a 4 ° C. El diseño experimental fue completamente al azar.

3.3.2. Cálculo de la dosis de microalga

El consumo recomendado de puré de tomate al día es de 60g, mientras que la de astaxantina es de 6 mg/día y la dosis recomendada de antioxidantes para las personas es de 70 mg/día, según Ambati *et al.* (2014). Considerando estos datos, se calculó que los requerimientos se alcanzan añadiendo 4 g de microalga/ kg de puré de tomate antes del proceso de evaporación.



Figura 1: Microalga *Haematococcus pluvialis*

3.4. Preparación de puré de tomate

3.4.1. Escaldado del tomate

Se hirvieron 10 litros de agua en una olla de acero inoxidable con capacidad de 18 litros (marca Casandra), hasta llegar a una temperatura de 95°C la cual fue medida con un termómetro, posteriormente fueron vertidos los tomates a la olla durante 10s, después retirarlos con un colador. Después se retiró la piel y partieron con un cuchillo de acero inoxidable por la mitad para ser retiradas las semillas del tomate.

3.5. Molienda del tomate

Se molió el tomate en una licuadora industrial con capacidad de 4 litros (Marca INTERNATIONAL, E.U.A) hasta conseguir una mezcla homogénea. Se midieron los ° BRIX presentes en el puré de tomate inicial mediante un refractómetro (HANNA Instrument Inc. modelo HI 96801. EUA). El puré de tomate fue pesado en una balanza granataría (marca OHAUS, Newark, modelo TJ2611).

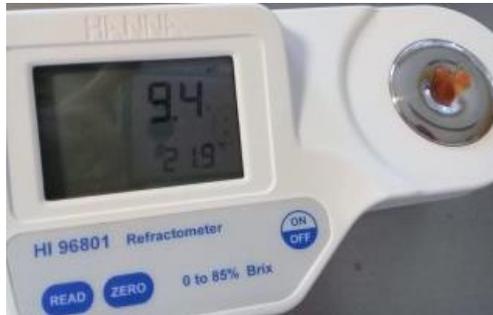


Figura 2: Medición de Grados Brix

3.6. Evaporación del puré de tomate

Se usó una parrilla de gas de tres quemadores. El puré de tomate se evaporó en una olla de acero inoxidable con capacidad de 18 litros (marca CASANDRA) y una olla de 8 litros, a una temperatura de 65°C hasta llegar a la mitad de volumen de puré de tomate y alcanzar 11° BRIX, se añadieron los 64 gr de la microalga al puré de tomate de la olla de mayor capacidad a la mitad del proceso.



Figura 3: Evaporación de puré de tomate

3.7. Empaque

Se vertieron 125 ml de puré en *pouches* transparentes (23 x 13 x 7 cm) de la marca Lamitec de plástico, se sellaron en una empacadora (FOODSAVER, E.U.A, FM200-000).



Figura 4: 1) Empaque de puré de tomate; 2) Bolsas de puré de tomate

3.8. Esterilización

Las muestras de puré de tomate se esterilizaron en una autoclave (All American, Modelo 25x) a una temperatura de 90 °C durante 25 minutos, esto para garantizar la calidad microbiológica e inocuidad del producto final del puré de tomate.



Figura 5: Esterilización de las bolsas de puré de

3.9. Almacenamiento del puré

Las muestras fueron almacenadas en un total de 190 días y los muestreos fueron de 0, 20, 40, 70, 100, 160 y 190 días, en tres cámaras incubadoras de 25°C, 35° y 45°C.



Figura 6: A) Cámaras incubadoras; B) Bolsas de puré de tomate almacenadas

IV. Variables

Las variables a medir al producto final de puré de tomate adicionadas con y sin *Haematococcus pluvialis* fueron: Grados Brix, pH, acidez titulable (TTA), compuestos fenólicos totales (TPC), capacidad antioxidante por el método DPPH y contenido de humedad.

Para la caracterización fisicoquímica del puré con y sin la microalga se determinó:

4.1. Grados brix

Los grados °Brix se midieron por medio de un refractómetro digital (HANNA®), se calibró el equipo tomando lectura de una gota de agua destilada antes de cada muestra y posteriormente se tomó una gota con una jeringa para hacer la lectura de las muestras de puré de tomate, tomándose tres lecturas de cada muestra.

4.2. pH

El pH se midió con un potenciómetro (HORIBA®) tomándose tres lecturas de cada muestra.

4.3. Acidez titulable

Para medir la acidez titulable se pesó 1 gr de cada muestra de puré de tomate y se añadieron 10 ml de agua destilada, posteriormente se agregó un indicador (fenolftaleína 1%), tres gotas por cada muestra, y se tituló con NaOH al 0.1 N, se registró el volumen de NaOH necesario para neutralizar el ácido contenido en la muestra que se titula. La neutralización se determinó por medio del cambio de color a un tono rosado que se produce por la presencia del indicador ácido-base empleado (Torres De Freitas et al., 2009). Los resultados de la acidez se expresaron como porcentaje de ácido cítrico predominante en la muestra.

4.4. Contenido de humedad

Se registró el peso de una charola de aluminio y posteriormente se colocó en ella aproximadamente 1 g de muestra. Posteriormente se llevó a peso constante por 6 h a 100 °C en un horno de circulación de aire caliente (Thermo Fisher), y se pasó a un desecador para registrar el peso de la charola más la muestra seca. El contenido de humedad en la muestra se calculó con la siguiente fórmula expresada en porcentaje:

M1 = Peso de la charola (g)

M2 = Peso de la muestra húmeda (g)

M3 = Peso de la charola con la muestra seca (g)

$$\% \text{ de humedad} = \frac{M2 - (M3 - M1)}{M2} * 100\%$$

4.5 Extracción de compuestos fenólicos

Para la obtención del extracto se empleó la metodología descrita por Lafarga *et al.*, 2019. Se pesaron 0.1 g de muestra y se agregaron 4 mL de una solución de metanol/agua (50:50) acidificada con HCl para obtener un pH final de 2, y se agitó a temperatura ambiente durante 1 h. Posteriormente se centrifugó por 10 min a 4000 g, y se recuperó el sobrenadante (extracto A). Al residuo (precipitado) se le agregó nuevamente una mezcla de 4 mL de acetona/agua (70:30), y se agitó a temperatura ambiente por 1 h, posteriormente se centrifugó por 10 min a 3000 g, y se recuperó el sobrenadante (extracto B).

Se mezclaron ambos extractos A y B para realizar la determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante.

4.6. Cuantificación de compuestos fenólicos totales

Para la determinación de polifenoles totales se utilizó el método de Folin y Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1998) adaptado a microplaca. Se tomaron 50 μ L de cada uno de los extractos obtenido en el punto 6.5 y posteriormente se adicionó 12.5 μ L del reactivo de Folin Ciocalteu 1N, se agitó durante 5 min, y luego se agregó 62.5 μ L de Na₂CO₃ al 5%. Se dejó reposar durante 30 min en la oscuridad y finalmente se leyó la absorbancia a 765 nm en un lector para microplacas (Multiskan FC Thermo Scientific).

La cuantificación se realizó por interpolación de los resultados en una curva estándar de ácido gálico, y se expresó como mg equivalentes de ácido gálico (AG) por gramo de muestra seca (mg equivalentes AG/g de muestra).

4.7. Determinación de la capacidad antioxidante por el método DPPH•

La actividad antioxidante se cuantificó mediante el método de eliminación de radicales (DPPH) siguiendo las metodologías descritas por Hidalgo et al., 2010. El ensayo se realizó en microplaca; para esto se utilizaron 70 μ L del extracto obtenido en el punto 6.5 y se agregaron 200 μ L del radical DPPH, previamente disuelto en metanol y ajustado a una absorbancia entre 0,75 y 0,78 a 515 nm. Para el blanco se agregaron 70 μ L de agua y 200 μ L de metanol, y para el control se adicionó 70 μ L de metanol y 200 μ L del radical. Una solución de Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) con 0,2 mg/ml disuelta en metanol se empleó como antioxidante de referencia. Las muestras se incubaron por 6 min y posteriormente se leyó la absorbancia a 515 nm en un lector para microplacas (Multiskan FC Thermo Scientific).

V. Resultados y Discusión

5.1. Rendimiento del puré de tomate

De acuerdo con (Fermoso A, 2016) de 1.5 toneladas de tomate a 1 tonelada de puré de tomates el rendimiento promedio de elaboración de puré de tomate, es decir (66.66%). De un total de 20.50 kg de tomate se obtuvieron 9.75 kg de puré, el cual representa un rendimiento del proceso de 47.56 %. El puré de tomate final alcanzó 11° Brix, este fue empacado en 78 bolsas de 125 gramos aproximadamente cada una. Por tanto, el rendimiento de puré de tomate en este trabajo fue menor en un 19% comparado con el promedio, dado a las circunstancias de la elaboración del puré de tomate de manera artesanal a menor escala en comparación con el industrial.

5.2. Caracterización fisicoquímica

En la Tabla 2 se presentan los resultados promedios obtenidos de pH, % de acidez, % de humedad, y grados Brix del puré de tomate con y sin la adición de la microalga.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de los purés elaborados

Variable	Puré sin microalga	Puré con microalga
pH	4.05 ± 0.02	4.11 ± 0.02
Acidez ¹	0.16 ± 0.01	0.22 ± 0.01
% Humedad	86.48 ± 0.01	86.82 ± 0.00
° Brix	10.71 ± 1.63	10.97 ± 0.42

Los resultados representan la media ± desviación estándar. Determinaciones con tres réplicas cada uno. ¹ % de ácido cítrico.

Los sólidos totales, los sólidos solubles, la acidez y el pH, son parámetros relacionados con la calidad final de los productos de tomate (Renquist et al., Reid, 2010). Pues influyen en la consistencia, el sabor, el pardeamiento no enzimático, y el crecimiento de los microorganismos en este tipo de productos (Maltini et al, 2003) Dichas variables fisicoquímicas están determinadas por las características de los tomates, pues se ha reportado que el tomate presenta valores de pH entre 4.15 y 4.80 y un porcentaje de acidez entre 0.13 y 0.48 g ácido cítrico/100 g de peso fresco

(Moracu et al., 2004). De manera general, la adición de la microalga incrementa en un 1.5; 37.5, 0.4 y 2.4% los valores de pH, acidez, humedad y ° Brix, respectivamente siendo significativas estadísticamente.

5.3 Caracterización fisicoquímica durante el almacenamiento

5.3.1 pH

En lo que respecta a la evolución del pH durante el almacenamiento del puré con y sin microalga, como lo muestra la Figura 7, se observa una disminución de pH a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, este comportamiento se ve igualmente afectado por la temperatura, siendo mayor el cambio de pH para el puré almacenado a 45 °C y menor para el almacenado a 25 °C.

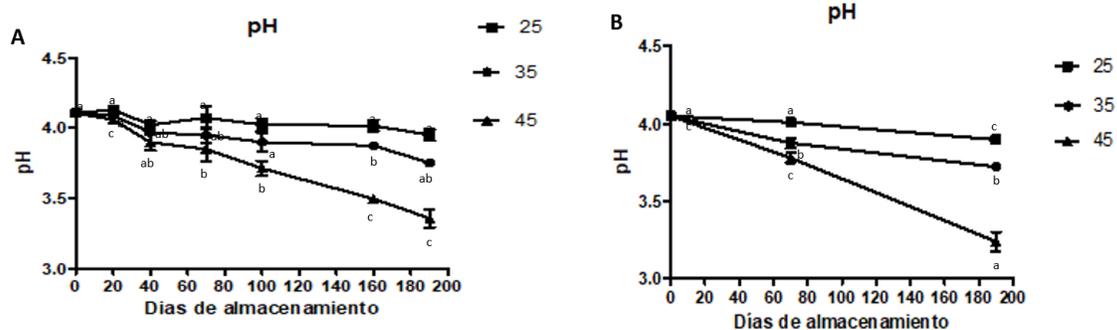


Figura 7: Evolución de pH, en puré adicionado con microalgas y sin microalgas. Letras distintas en la misma columna de almacenamiento indica diferencia significativa ($p < 0.005$). **A)** Muestras de puré de tomate adicionadas con microalgas. **B)** Muestras de puré de tomate sin microalgas

5.3.2 Acidez titulable

De la misma manera, se evaluó el contenido de acidez en las muestras al inicio y al final del almacenamiento (Tabla 3). Se puede observar un incremento al final del almacenamiento del 12, 2, 30 y del 5, 14, y 34% de las muestras almacenadas a 25, 35 y 45°C para las muestras con y sin alga, respectivamente.

Tabla 3. Contenido de acidez en las muestras de puré al inicio y al final del almacenamiento.

Temperatura de almacenamiento	Sin microalga		Con microalga	
	0 días	190 días	0 días	190 días
25°C	0.16 ±0.01	0.22 ±0.01*	0.21±0.02	0.34±0.017*
35°C	0.18±0.01	0.20±0.005*	0.32±0.02	0.22±0.003*
45°C	0.16±0.01	0.23± 1.69E-17*	0.50 ±0.09	0.53 ±0.069*

Datos expresados como media ± DE. El asterisco indica diferencia significativa.

Se ha reportado que la disminución del pH y por lo tanto un incremento en los valores de acidez durante el almacenamiento puede deberse a la hidrólisis de las sustancias pécticas que contribuyen al incremento de la concentración de ácidos orgánicos como el fumárico, pues se puede formar a partir de la hidrólisis térmica de estas (Kadakal et al., 2002).

5.3.3 Grados Brix

Se muestra el contenido de sólidos solubles del puré de tomate adicionado con y sin la microalga durante el almacenamiento (Figura 8), se observó un incremento de los sólidos solubles a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, este comportamiento se ve igualmente afectado por la temperatura, siendo mayor el incremento de sólidos solubles para el puré almacenado a 45°C y menor para los almacenados a 25°C. Al finalizar el tiempo de almacenamiento (190 días) el puré adicionado con microalgas, se presentó un incremento del 9.12, 28.09 y 66.81% para las muestras almacenadas a 25, 35 y 45 ° C, respectivamente, mientras que para el puré sin microalgas tuvo un incremento de 0, 59.77 y 97.8 % para las muestras almacenadas a 25, 35 y 45°C respectivamente. Este incremento puede deberse a una disminución en el contenido de humedad en el puré de tomate. El resultado del incremento de los grados brix de las muestras almacenadas con microalgas muestran que no hubo un incremento significativo en comparación con las muestras de puré sin microalgas.

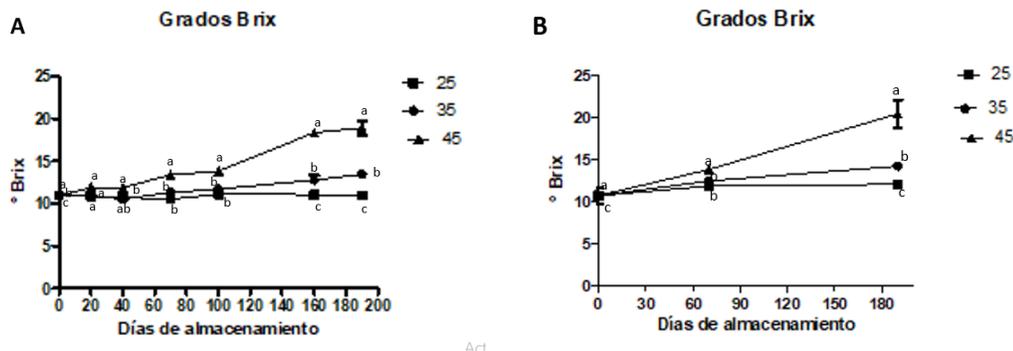


Figura 8: Grados Brix de las muestras de puré de tomate almacenadas 25, 35 y 45°C respecto a los días. Letras distintas en la misma columna de almacenamiento indica diferencia significativa ($p < 0.005$). **A)** Muestras de puré de tomate adicionadas con microalgas. **B)** Muestras de puré de tomate sin microalgas.

5.3.4 . Contenido de Humedad

El contenido de humedad de los productos almacenados constituye uno de los factores más importantes que afectan la estabilidad de la calidad de los alimentos. Las diferencias entre la actividad de agua del alimento y la humedad relativa del ambiente, ocasiona que los alimentos, en este caso el puré de tomate, pierda humedad, hasta un 41%, pasados 190 días almacenado a 45 °C de las muestras adicionadas con microalgas (Figura 9). Debido a una transferencia de agua (vapor) de la zona con mayor contenido de esta a la de menor, en este caso el ambiente (Kilcast D, 2011). Esto ocasiona que la textura y consistencia del puré se vean afectadas, esto por una evaluación netamente observacional.

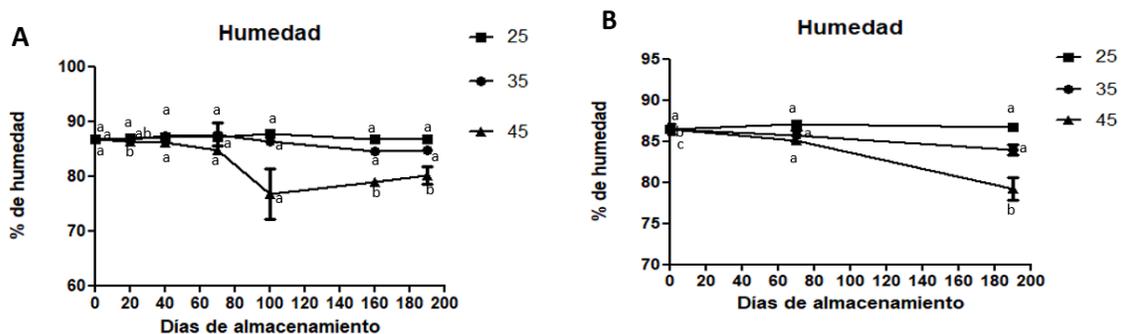


Figura 9: Porcentaje de humedad de las muestras de puré de tomate almacenadas 25, 35 y 45°C respecto a los días. Letras distintas en la misma columna de almacenamiento indica diferencia significativa ($p < 0.005$). **A)** Muestras de puré de tomate adicionadas con microalgas. **B)** Muestras de puré de tomate sin microalgas.

Las bolsas para el empaque del puré de tomate fueron de polietileno de alta densidad, y su función es proteger el contenido del entorno ambiental externo (agua, vapor de agua, gases, olores, microorganismos, polvo, golpes, vibraciones y fuerzas de compresión) (Villar, 2016). La velocidad de transmisión de vapor de agua es la tasa a la cual la masa de vapor de agua atraviesa la unidad de superficie de un material de envase dado, bajo condiciones específicas de temperatura y humedad relativa. Este fenómeno es relevante sobre todo para aquellos alimentos que tienden a perder o ganar humedad, puesto que pueden afectar las propiedades organolépticas de los productos durante su almacenamiento (Hernández-gutiérrez et al., 2014). Por tanto, la transmisión de vapor influyó para que se viera afectada la concentración de humedad conforme pasó el tiempo a mayor temperatura de 45°C.

5.3.5. Caracterización nutraceutica

Como parte de la caracterización nutraceutica del puré de tomate de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante por el método del radical DPPH.

Tabla 4. Caracterización nutraceutica de los purés elaborados.

Variable	Puré sin microalga	Puré con microalga
Compuestos fenólicos ¹	1.29 ± 0.12	1.19 ± 0.17
Capacidad antioxidante ²	245.19 ± 23.99	209.51 ± 10.58

Los resultados representan la media ± desviación estándar. Determinaciones con tres réplicas cada uno. ¹ mEq ácido gálico/g base seca, ²TEAC (µmol/g).

En la Tabla 4, se presentan los resultados obtenidos para el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del puré con y sin microalga. La adición de la microalga no representó un incremento en los compuestos fenólicos ni en la capacidad antioxidante de puré. Lo anterior puede deberse al tratamiento térmico (pasteurización) al que fue sometido el puré durante el procesamiento ocasionó una degradación de estos. De igual manera se ha reportado que la pasteurización no solo inactiva los sistemas enzimáticos y destruye los microorganismos, sino que afecta los atributos organolépticos y sensoriales de los productos (San Martin et al., 2002).

Autores han evaluado el efecto de la incorporación de la microalga en productos alimenticios, por ejemplo (Hossain et al., 2017) evaluaron la adición de *H. pluvialis* en galletas en un 5, 10 y 15% y notaron un incremento del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante por el método de DPPH dependiente de la concentración del alga, sin embargo en este trabajo no se notó un efecto de la adición del alga en estos valores, esto puede deberse a que el puré contiene 0.4% de *H. pluvialis*.

5.4 Caracterización nutraceútica durante el almacenamiento

En lo que respecta a la concentración de compuestos fenólicos durante el almacenamiento esta se presenta en la (Figura 10). Al finalizar el almacenamiento se presentó un incremento en la concentración de fenoles totales de 1.7, 2.6 y 8.1 veces, para 25, 35 y 45 °C, respectivamente.

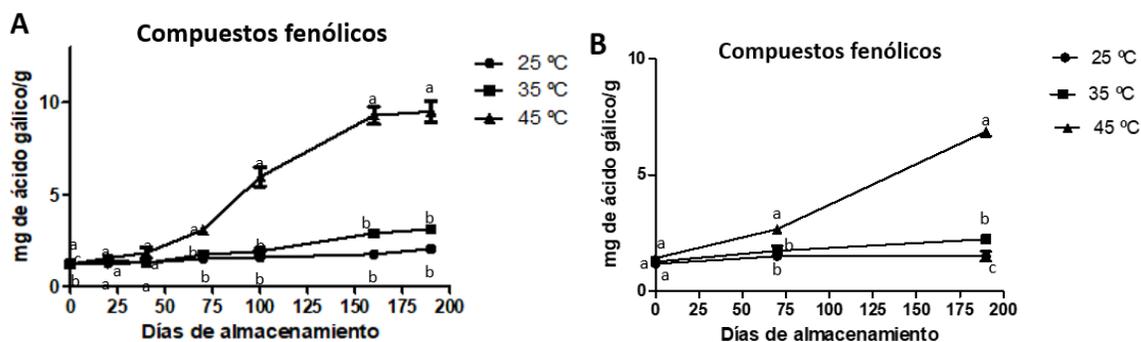


Figura 10: Compuestos fenólicos de las muestras de puré de tomate almacenadas 25, 35 y 45°C respecto a los días. Letras distintas en la misma columna de almacenamiento indica diferencia significativa ($p < 0.005$). **A)** Muestras de puré de tomate adicionadas con microalgas. **B)** Muestras de puré de tomate sin microalgas.

Autores como (Lavelli et al., Giovanelli, 2003) observaron en productos de tomate al finalizar el almacenamiento un incremento de los fenoles totales respecto a los valores iniciales, este comportamiento puede estar relacionado con dos factores; la formación de grupos hidroxilos libres debido a la hidrólisis de los flavonoides glucosídicos o a la liberación de compuestos fenólicos por parte de la pared celular.

Estos resultados observados en el contenido de fenoles totales, explicaría de igual manera el comportamiento de la capacidad antioxidante durante el almacenamiento (Figura 11). A los 190 días de almacenamiento la capacidad antioxidante a 25 °C disminuyó un 6.5%, pero a 35 y 45 °C presentó un incremento 8.9 y 96.1% respectivamente. Este incremento en la TEAC (capacidad antioxidante equivalente a Trolox, traducido de inglés) puede deberse a que los grupos hidroxilos libres o los compuestos fenólicos liberados tienen la capacidad de neutralizar radicales como el DPPH por la capacidad que tienen de donar átomos de hidrógeno (Gutierrez et al., 2015).

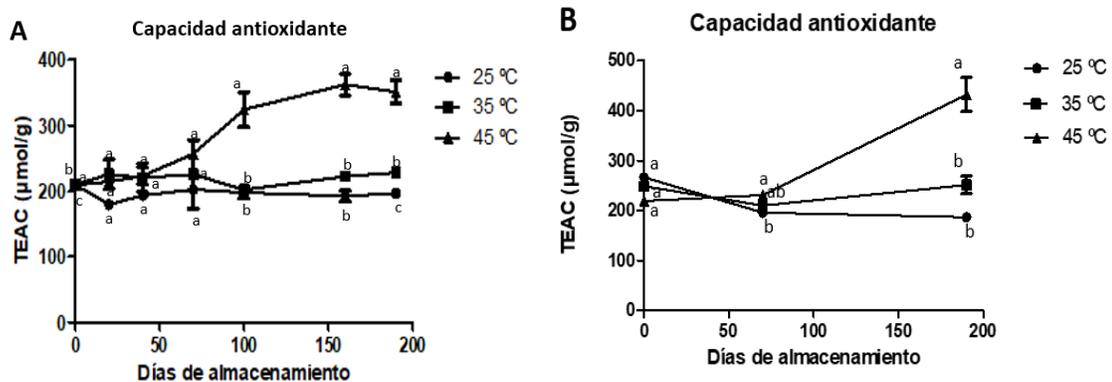


Figura 11: Capacidad antioxidante de las muestras de puré de tomate almacenadas 25, 35 y 45°C respecto a los días. Letras distintas en la misma columna de almacenamiento indica diferencia significativa ($p < 0.005$). **A)** Muestras de puré de tomate adicionadas con microalgas. **B)** Muestras de puré de tomate sin microalgas.

VI. Conclusión

La adición de microalgas al puré de tomate tuvo un efecto en las propiedades funcionales y nutraceuticas obteniendo un producto final de puré de tomate por debajo del rendimiento promedio con una disminución en el contenido de humedad y de pH, hubo un aumento en los grados Brix y Ácido cítrico del puré de tomate con y sin microalga. La capacidad antioxidante y compuestos fenólicos no representaron un aumento en el producto final de puré de tomate como se planteaba en un principio.

El almacenamiento de las muestras del puré de tomate a mayor temperatura presentó cambios más notorios en cuanto a las propiedades fisicoquímicas y nutricionales en ambos tratamientos. Estos resultados sugieren que la adición de microalga al puré de tomate tiene la capacidad de afectar las propiedades fisicoquímicas. Por tanto, lo anterior permite desechar la hipótesis planteada ya que no hubo una mejora notable en cuanto a las propiedades funcionales y nutricionales en el puré de tomate.

VII. Bibliografía

- Abdelmalek, B. E., Sila, A., Ghilissi, Z., Taktak, M. A., Ayadi, M. A., & Bougatef, A. (2016). The Influence of Natural Astaxanthin on the Formulation and Storage of Marinated Chicken Steaks. *Journal of Food Biochemistry*, 40(4), 393–403. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12224>
- Ambati, R. R., Moi, P. S., Ravi, S., & Aswathanarayana, R. G. (2014). Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications - A review. *Marine Drugs*, 12(1), 128–152. <https://doi.org/10.3390/md12010128>
- Bigliardi, B., & Galati, F. (2013). Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. *Trends in Food Science and Technology*, 31(2), 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.006>
- Caporgno, M. P., & Mathys, A. (2018). Trends in Microalgae Incorporation Into Innovative Food Products With Potential Health Benefits. *Frontiers in Nutrition*, 5, 58. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00058>
- Carballo, D. E., Caro, I., Andrés, S., Giráldez, F. J., & Mateo, J. (2018). Assessment of the antioxidant effect of astaxanthin in fresh, frozen and cooked lamb patties. *Food Research International*, 111(February), 342–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.054>
- Carrillo Inungaray, M. L., & Reyes Munguía, A. (2014). Vida útil de los alimentos / Lifetime food. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 2(3), 32. <https://doi.org/10.23913/ciba.v2i3.20>
- Cömert, E. D., & Gökmen, V. (2018). Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century. *Food Research International*, 105(October 2017), 76–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.056>
- Coronado H., M., Vega Y León, S., Gutiérrez T., R., Marcela, V. F., & Radilla V., C. (2015). Antioxidantes: Perspectiva actual para la salud humana. *Revista*

Chilena de Nutricion, 42(2), 206–212. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>

- Diantom, A., Curti, E., Carini, E., & Vittadini, E. (2017). Effect of added ingredients on water status and physico-chemical properties of tomato sauce. *Food Chemistry*, 236, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.160>
- Encina-Zelada, C. R., Bernal-Sánchez, A. P., & Rojas-Hurtado, D. (2013). Efecto de la temperatura de pasteurización y proporción de mezclas binarias de pulpa de carambola y mango sobre su capacidad antioxidante lipofílica. *Ingeniería Industrial*, 0(031), 197. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2013.n031.23>
- Espinoza Escalante, F. M. (2017). Microalgas en la alimentación ¿Suplementos novedosos o reinventados? *Ciencia*, 68(2), 1–5.
- Fermoso Gómez Angelica (2016). Tomate procesado. La-industria-del-tomate-procesado-II-20160830-0007.html
- Gerardi, C., Albano, C., Calabriso, N., Carluccio, M. A., Durante, M., Mita, G., Renna, M., Serio, F., & Blando, F. (2018). Techno-functional properties of tomato puree fortified with anthocyanin pigments. *Food Chemistry*, 240(April 2017), 1184–1192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.057>
- Gouveia, Luisa Raymundo, A., Batista, A. P., Sousa, I., & Empis, J. (2006). Chlorella vulgaris and Haematococcus pluvialis biomass as colouring and antioxidant in food emulsions. *European Food Research and Technology*, 222, 362–367
- Gutierrez, D. D., Ortega, W. M., De Oliveira E Silva, A. M., Muñoz, C. Z., Mancini-Filho, J., & Novoa, A. V. (2015). Comparación de las propiedades antioxidantes y contenido de polifenoles de extractos acuosos de las algas marinas Bryothamnion triquetrum y Halimeda opuntia. *Ars Pharmaceutica*, 56(2), 89–99. <https://doi.org/10.4321/s2340-98942015000200003>
- Guzmán, Biruete, A., Juárez Hernández, B., Sieiro Ortega, E., Romero Viruegas, R., & Silencio Barrita, J. (2009). Los nutraceuticos. Lo que es conveniente saber.

Revista Mexicana de Pediatría, 76(3), 136–145.

- Hernández-gutiérrez, A., Rodríguez-tomé, M., & Cordero-fernández, D. (2014). Influencia de la permeabilidad del envase en la calidad del azúcar. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 48(3), 22–25.
- Hossain, A. K. M. M., Brennan, M. A., Mason, S. L., Guo, X., Zeng, X. A., & Brennan, C. S. (2017). The Effect of Astaxanthin-Rich Microalgae “Haematococcus pluvialis” and Wholemeal Flours Incorporation in Improving the Physical and Functional Properties of Cookies. *Foods (Basel, Switzerland)*, 6(8). <https://doi.org/10.3390/foods6080057>
- Ju, Z. Y., Deng, D.-F., & Dominy, W. (2012). A defatted microalgae (Haematococcus pluvialis) meal as a protein ingredient to partially replace fishmeal in diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone, 1931). *Aquaculture*, 354–355, 50–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.028>
- Kidd, P. (2011). Astaxanthin, cell membrane nutrient with diverse clinical benefits and anti-aging potential. *Alternative Medicine Review*, 16(4), 355–364.
- Koyande, A. K., Chew, K. W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D.-T., & Show, P.-L. (2019). Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, 8(1), 16–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.001>
- Lavelli, V., & Giovanelli, G. (2003). Evaluation of heat and oxidative damage during storage of processed tomato products. II. Study of oxidative damage indices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(9), 966–971. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1433>
- Lavelli, V., Sri Harsha, P. S. C., Torri, L., & Zeppa, G. (2014). Use of winemaking by-products as an ingredient for tomato puree: The effect of particle size on product quality. *Food Chemistry*, 152, 162–168. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.103>

- Molino, A., Iovine, A., Casella, P., Mehariya, S., Chianese, S., Cerbone, A., Rimauro, J., & Musmarra, D. (2018). Microalgae Characterization for Consolidated and New Application in Human Food, Animal Feed and Nutraceuticals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph15112436>
- Ota, S., Morita, A., Ohnuki, S., Hirata, A., Sekida, S., Okuda, K., Ohya, Y., & Kawano, S. (2018). Carotenoid dynamics and lipid droplet containing astaxanthin in response to light in the green alga *Haematococcus pluvialis*. *Scientific Reports*, 8(1), 5617. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23854-w>
- Pacifico, S., Piccolella, S., Nocera, P., Tranquillo, E., Dal Poggetto, F., & Catauro, M. (2019). New insights into phenol and polyphenol composition of *Stevia rebaudiana* leaves. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 163, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2018.09.046>
- Piccolella, S., Crescente, G., Candela, L., & Pacifico, S. (2019). Nutraceutical polyphenols: New analytical challenges and opportunities. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 175, 112774. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.07.022>
- Pisoschi, A. M., & Negulescu, G. P. (2012). Methods for Total Antioxidant Activity Determination: A Review. *Biochemistry & Analytical Biochemistry*, 01(01), 1–10. <https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000106>
- Renquist, A. R., & Reid, J. B. (2010). *Quality of processing tomato (Lycopersicon esculentum) fruit from four bloom dates in relation to optimal harvest timing. 0671*. <https://doi.org/10.1080/01140671.1998.9514052>
- SAGARPA. (2017). Agrícola Nacional JITOMATE. *Planeación Agrícola Naional 2017-2030*, 2–20.
- Sathasivam, R., Radhakrishnan, R., Hashem, A., & Abd_Allah, E. F. (2019). Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 709–722. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.003>

- Sindhi, V., Gupta, V., Sharma, K., & Bhatnagar, S. (2013). ScienceDirect Potential applications of antioxidants e A review. *JOPR: Journal of Pharmacy Research*, 7(9), 828–835. <https://doi.org/10.1016/j.jopr.2013.10.001>
- Siro, I., Kopolna, E., Kopolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance--a review. *Appetite*, 51(3), 456–467. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060>
- Torres De Freitas, A., Durán, Z., & Rodríguez, C. (2009). Acidez titulable como control de calidad para la leche humana. *Archivos Venezolanos de Puericultura y Pediatría*, 72(3), 92–96.
- Villar, C. C. (2016). *Efecto del empaque en el contenido de humedad final para dos tipos de manzanas deshidratadas en almacenamiento controlado*. 40–43.
- Wayama, M., Ota, S., Matsuura, H., Nango, N., Hirata, A., & Kawano, S. (2013). Three-dimensional ultrastructural study of oil and astaxanthin accumulation during encystment in the green alga *Haematococcus pluvialis*. *PloS One*, 8(1), e53618. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053618>
- Yu, J., Gleize, B., Zhang, L., Caris-Veyrat, C., & Renard, C. M. G. C. (2019). Heating tomato puree in the presence of lipids and onion: The impact of onion on lycopene isomerization. *Food Chemistry*, 296, 9–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.188>

ANEXO 1

Tabla 5. Muestreos de puré de tomate

Tiempo de almacenamiento	Fecha de muestreo	Puré con microalga			Puré sin microalga			
		Temperatura de almacenamiento	25°C	35°C	45°C	25°C	35°C	45°C
0	14/11/2019		26	56	71	1	6	16
20	5/12/19		43,45,54	29,36,37	78,75,67			
40	25/12/19		47,53,57	30,28,27	68,70,69			
70	24/01/20		50,44,51	24,31,34	72,60,77	5,12,13	4,8,19	14,18,21
100	23/02/20		42,52,59	35,23,32	63,76,65			
160	23/04/20		55,58,49	22,39,40	62,64,66			
190	23/05/20		41,46,48	33,25,38	61,73,74	2,3,9	10,17,7	11,15,20
TOTAL DE MUESTRAS: 78								