



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS  
CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA



---

**Tema:** Extracción y microencapsulación de licopenos provenientes de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*)

---

Trabajo de Titulación, modalidad proyecto de investigación, previa a la obtención del Título de Ingeniero Bioquímico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

**Autor:** Christian Fabián Pérez Sánchez

**Tutor:** Lic. MSc. Danae Fernández Rivero

**Ambato – Ecuador**

**Enero-2019**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Lic. MSc. Danae Fernández Rivero

**CERTIFICA**

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos, de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, 12 de diciembre de 2018.



---

Lic. MSc. Danae Fernández Rivero

C.I. 175718120-9

**TUTORA**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Christian Fabián Pérez Sánchez, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Bioquímico, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



---

Christian Fabián Pérez Sánchez

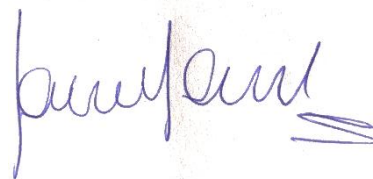
C.I. 180446598-5

AUTOR

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad proyecto de investigación el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman



---

Presidente del tribunal



---

Dr. Orestes Darío López Hernández.

C.I. 175478486-4



---

Ing. Mg. José Isaac Molina Sánchez.

C.I. 180375230-0

Ambato, 07 de enero de 2019.

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto de investigación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



---

Christian Fabián Pérez Sánchez

C.I. 180446598-5

AUTOR

## **DEDICATORIA**

Agradecido con la gracia de Dios, y confiando en la perfección y tiempo de sus planes, dedico este trabajo de investigación, a mis padres, a mi hijo y a toda mi familia, por ser el apoyo y pilar fundamental en cada día de mi vida, por enseñarme a levantarme después de cada caída, por enseñarme que antes de crecer profesionalmente debo crecer como ser humano, por sus consejos, que aunque tropiece mil veces siempre debo levante y poner todo en las manos de Dios. Dedico este trabajo de investigación también a todas las personas que fueron parte de esta etapa de mi vida, pues muchas veces, una sola palabra de apoyo puede ser la semilla para que todas las aspiraciones personales germinen y de sus frutos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Lic. MSc. Danae Fernández Rivero, por todos los conocimientos brindados para el desarrollo de este trabajo de investigación, pero principalmente por su calidad humana, su paciencia, su tiempo y su carisma que siempre la ha caracterizado.

Agradezco a la doctora Jaqueline Ortiz, decana de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, por su don de gente, pues no solo se ha enfocado en la dirección académica, sino también en ser un apoyo moral a través de cada consejo brindado.

Agradezco a la Ab. Anita del Pozo, por su ayuda incondicional durante toda mi formación académica, por su capacidad para combinar la parte humanitaria y profesional a la misma vez, y principalmente por enseñarme a luchar aunque los problemas parezcan grandes.

Agradezco al Dr. Orestes López, por ser un verdadero ejemplo a seguir, por ser no solo un docente más, sino un amigo en quien se puede confiar aún en circunstancias de dificultad personal.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
INDICE DE ECUACIONES.....	X
INDICE DE ANEXOS.....	X
RESUMEN.....	1
Palabras claves: .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	4
CAPITULO I.....	4
EL PROBLEMA .....	4
1.1. Tema de investigación.....	4
1.2. Justificación .....	4
1.3. Objetivos .....	5
1.3.1. Objetivo general .....	5
1.3.2. Objetivos específicos .....	5
CAPÍTULO II .....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes investigativos .....	6
2.1.1. Tomate de árbol ( <i>Solanum betaceum</i> ).....	6
2.1.2. Perfil nutricional del tomate árbol.....	7
2.1.3. Aplicaciones del licopeno .....	7
2.1.4. Mecanismo de acción antioxidante .....	8
2.1.5. Microencapsulación mediante secado por aspersión.....	8
2.1.6. Ensayos de actividad antioxidante .....	9
2.2. Hipótesis.....	9
2.2.1. Hipótesis nula.....	9
2.2.2. Hipótesis alternativa.....	9
2.3. Señalamiento de las variables de la hipótesis.....	9
2.3.1. Variables dependientes.....	9
2.3.2. Variables independientes .....	9
CAPÍTULO III.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
3.1. Materiales, equipos y reactivos .....	10
3.1.1. Materiales .....	10
3.1.2. Equipos.....	10
3.1.3. Reactivos .....	10



3.2. Métodos.....	11
3.2.1. Tratamiento de la muestra vegetal .....	11
3.2.2. Obtención del extracto vegetal.....	11
3.2.2. Análisis de los extractos obtenidos .....	12
3.2.3. Ensayo de actividad antioxidante.....	14
3.2.5. Análisis estadístico.....	15
3.2.6. Obtención de microcápsulas mediante secado por aspersión.....	15
3.2.7. Análisis infrarrojo .....	16
CAPÍTULO IV.....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
4.1. Análisis y discusión de resultados.....	17
4.1.1. Obtención del extracto vegetal.....	17
4.1.2. Ensayo de actividad antioxidante.....	22
4.1.3. Análisis infrarrojo .....	23
4.1.4. Eficiencia de la microencapsulación.....	25
4.2. Verificación de la hipótesis.....	25
CAPITULO V.....	26
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
5.1. Conclusiones .....	26
5.2. Recomendaciones.....	26
BIBLIOGRAFÍA .....	27
ANEXOS .....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Solanum betaceum.....	6
Figura 2. Espectro estándar del licopeno. ....	12
Figura 3. Diagrama de Pareto para el porcentaje de eficiencia de la extracción.....	18
Figura 4. Gráfico de Efectos Principales para la eficiencia de la extracción. ....	18
Figura 5. Diagrama de Superficie de Respuesta Estimada para la eficiencia de extracción. .	19
Figura 6. Diagrama de Pareto estandarizado para la masa de licopeno en cien gramos de sólidos extraídos.....	20
Figura 7. Gráfico de Efectos Principales para la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos (mL en 100g). ....	20
Figura 8. Diagrama de Superficie de Respuesta Estimada para la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos (mL en 100g).....	21
Figura 9. Diagrama de Superficie de Respuesta Optimizada para el porcentaje de eficiencia de la extracción y la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos. ....	21
Figura 10. A) Espectro de resonancia para el concentrado de licopenos; B) Espectro de resonancia para el microencapsulado; C) Espectro de resonancia para los polímeros utilizados. ....	24

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción taxonómica del tomate árbol.....	6
Tabla 2. Diseño factorial.....	12
Tabla 3. Análisis de varianza para el porcentaje de eficiencia de la extracción. ....	17
Tabla 4. Análisis de varianza para la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos. ....	19
Tabla 5. Optimización de los factores de estudio para las variables respuestas .....	21
Tabla 6. Optimización de las variables respuesta. ....	22
Tabla 7. Porcentaje de eficiencia de microencapsulación.....	25

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Concentración de licopenos. ....	13
Ecuación 2. Masa de sólidos extraídos. ....	13
Ecuación 3. Porcentaje de la eficiencia de extracción.....	13
Ecuación 4. Masa de licopenos en 100 gramos de sólidos extraídos.....	13
Ecuación 5. Porcentaje de inhibición de DPPH.....	14
Ecuación 6. Porcentaje de eficiencia de microencapsulación (E.M). ....	16

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados obtenidos para el diseño experimental. ....	30
Anexo 2. Curva de calibración de Trolox (50-500 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ). ....	30
Anexo 3. Resultados obtenidos en la técnica de DPPH. ....	30

## RESUMEN

El presente trabajo está basado en la extracción y microencapsulación del compuesto bioactivo licopeno presente en los desechos agroindustriales del tomate árbol (*Solanum betaceum*). Se realizó un diseño experimental  $3^2$ , donde los factores estudiados fueron: la relación material vegetal/volumen de disolvente (1:30; 1:50; 1:70) y el tiempo de extracción (30; 60; 120 min). A partir de los resultados obtenidos se calcularon los porcentajes de eficiencia de la extracción y la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos, obteniendo que el proceso de extracción se optimizó con una relación material vegetal/volumen de disolvente de 1:70 y un tiempo de extracción de 30 minutos. Con la finalidad de aumentar la estabilidad del licopeno extraído se microencapsuló mediante secado por aspersión, utilizando maltodextrina y goma arábiga como polímeros, obteniendo una eficiencia del proceso de microencapsulación del 96.5 %. Mediante el análisis de espectrometría infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR) se corroboró la eficacia del proceso de microencapsulación. Se comprobó la actividad antioxidante mediante la técnica de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) ya que se obtuvieron valores de porcentaje de inhibición de DPPH para el extracto rico en licopenos de 60.23 % y para el microencapsulado de 49.85 % lo que representó 686.73 y 287.34  $\mu\text{mol}$  de Trolox en un gramo de masa de sólidos extraídos respectivamente.

**Palabras claves:** Tomate de árbol, microencapsulación, compuestos bioactivos, secado por aspersión, actividad antioxidante.

## ABSTRACT

The present work is based on the extraction and microencapsulation of the bioactive compound lycopene present in the agroindustrial waste of the tomato tree (*Solanum betaceum*). An experimental design 32 was carried out, where the factors studied were: the vegetal material ratio / solvent volume (1:30, 1:50, 1:70) and the extraction time (30; 60; 120 min). From the results obtained, the percentages of extraction efficiency and the lycopene mass were calculated in one hundred grams of extracted solids, obtaining that the extraction process was optimized with a vegetal material / solvent volume ratio of 1:70 and a extraction time of 30 minutes. In order to increase the stability of the extracted lycopene, it was microencapsulated by spray drying, using maltodextrin and arabic gum as polymers, obtaining an efficiency of the microencapsulation process of 96.5 %. Through the analysis of infrared spectrometry by Fourier Transforms (FTIR) the effectiveness of the microencapsulation process was corroborated. The antioxidant activity was checked by means of the DPPH technique (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil), since percentage values of DPPH inhibition were obtained for the lycopene-rich extract of 60.23 % and for the 49.85 % microencapsulation represented 686.73 and 287.34  $\mu\text{mol}$  of Trolox in one gram of mass of solids extracted respectively.

**Key words:** Tree tomato, microencapsulation, bioactive compounds, spray drying, antioxidant activity.

## INTRODUCCIÓN

El aumento de enfermedades degenerativas en el ser humano debido al estilo de vida actual ha desencadenado la búsqueda de nuevos alimentos funcionales que además de prevenir, puedan minimizar, o anular efectos perjudiciales. Las fuentes vegetales son el principal objeto de investigación en la actualidad debido a la presencia de compuestos bioactivos. El tomate de árbol (*Solanum betaceum*), además de su valor comercial y su alta rentabilidad, presenta contenidos elevados de carotenoides, específicamente licopenos. El licopeno está presente en una amplia variedad de frutas y verduras como la papaya, sandía, zanahoria y pimiento rojo, sin embargo su presencia sobresale en el tomate de árbol, principalmente en su cáscara (Waliszewski y Blasco, 2010). Este carotenoide es un precursor biosintético de la mayor parte de los carotenoides cíclicos, presenta una naturaleza altamente lipofílica, alifática, y se caracteriza por sus largas cadenas de carbono con un gran número de enlaces dobles conjugados que presentan resonancia posicional desencadenando en una deslocalización electrónica, que se traduce en la absorción y emisión de energía a distintas longitudes de onda dando como resultado su color intenso (Lima, 2012). En base a estudios realizados, se asocia la ingesta del licopeno con la prevención de diferentes tipos de cáncer, principalmente el de próstata, donde se ha observado en estudios epidemiológicos que a medida que se aumenta la ingesta de tomate, disminuye el riesgo de padecer cáncer (Leticia, Bresciani, Pandolfo, y Kairúz, 2006). En general el tomate proporciona cerca del 90 % del licopeno en nuestra dieta, ya sea por su consumo directo o a través en sus derivados como zumos, salsas, y conservas (Gámez, Noguera, Vertucci, y Sandoval, 2016). Su absorción por el organismo depende de varios factores, como la liberación de complejos formados con proteínas, liberación de su matriz y la presencia de aceites y fibra dietética que potencialmente disminuyen su absorción (Cruz, González, y Sánchez, 2013). Por tal motivo, se precisa la búsqueda de nuevas formulaciones que aumenten su estabilidad, biodisponibilidad, y permitan su absorción directamente en el organismo. La microencapsulación es una de las técnicas más apropiadas que brindan estos beneficios, pues la sustancia de interés es protegida dentro de una matriz polimérica, evitando cualquier forma de degradación externa, y proporcionando una liberación controlada dentro del organismo humano (López, 2010).

# CAPITULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Tema de investigación

EXTRACCIÓN Y MICROENCAPSULACIÓN DE LICOPENOS PROVENIENTES DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum*).

### 1.2. Justificación

En Ecuador, la explotación de frutales andinos se ha incrementado año tras año. El cultivo del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) presenta un gran interés por los agricultores de la Sierra debido a su alta rentabilidad y fáciles características de cultivo (CICO & CORPEI, 2009). Los ingresos en el cultivo del tomate de árbol pueden llegar a los USD 20000 al año, con una inversión en compra de semillas, preparación del suelo, abonos y terreno de USD 8000 y USD 2000 para el mantenimiento de una hectárea (MAGAP, 2016).

Las provincias de Ecuador que más cultivan el tomate de árbol son: Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Loja (Uquillas, Tenorio, y Yagual, 2011). La provincia Tungurahua es la de mayor producción anual, presenta 12051 Tm, lo que equivale al 59.62 % de la producción nacional de este cultivo (INEC, 2018). Las principales áreas de cultivo se encuentran en: Pelileo, Patate, Los Andes, Montalvo, Totoras, y Baños (Colimba y Morales, 2013).

El procesamiento y la industrialización del tomate de árbol en el país dependen de la preferencia de los consumidores, así pues, los principales productos generados a partir de dicho fruto son: zumos, pulpa, mermelada y conservas (INIAP, 2014). Sin embargo, los residuos agroindustriales generados en este sector de la producción llegan a ser una fuente de contaminación ambiental, ya que son desechados en rellenos sanitarios desaprovechando una gran cantidad de compuestos bioactivos presentes, principalmente en las cáscaras y semillas, las que representan entre el 15 y el 20 % del fruto (González, 2015).

Este fruto es una fuente importante de vitaminas (A, B, C), minerales (calcio, fósforo, magnesio y potasio), carbohidratos (fructosa y fibra), ácido gamma amino butírico, aceites y compuestos con capacidad antioxidante como licopeno,

polifenoles y antocianinas (Rosas, 2016). El licopeno es un antioxidante de elevado potencial de extracción en los desechos agroindustriales, principalmente en la cáscara, alcanzando hasta una concentración de 54 mg/100 g de materia vegetal (Márquez, Otero, y Cortés, 2007). Este valor puede variar dependiendo de las condiciones ambientales en que se desarrolla la fruta, su especie y el grado de madurez (Waliszewski y Blasco, 2010).

Desde hace varios años las recomendaciones dietéticas se han enfocado en el consumo de alimentos funcionales, aquellos que además de aportar con sus propiedades nutricionales básicas ejercen uno o varios efectos favorables adicionales en nuestra salud, debido a la presencia de compuestos bioactivos: microelementos, vitaminas y compuestos fitoquímicos (flavonoides, índoles y carotenoides) (Waliszewski, 2010). La mejora de las funciones gastrointestinales, modificación del metabolismo mediante la inducción de enzimas, regulación hormonal, fortalecimiento del sistema inmune, así como el aporte al sistema redox y antioxidante, son algunos ejemplos de los beneficios que aporta la ingesta de los compuestos bioactivos (Cruz et al., 2013).

En esta investigación se plantea la extracción y microencapsulación del compuesto bioactivo licopeno como una alternativa viable de aprovechamiento a estos residuos agroindustriales, principalmente la cáscara desechada del fruto que potencialmente puede ser utilizada para la elaboración de nuevos productos con capacidad antioxidante en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica.

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Extraer y microencapsular licopenos procedentes de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) con capacidad antioxidante.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Desarrollar una tecnología para la extracción de licopenos a partir de los residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*).
- Microencapsular el extracto rico en licopenos mediante secado por aspersion.
- Demostrar la capacidad antioxidante del extracto rico en licopenos y del microencapsulado.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes investigativos

##### 2.1.1. Tomate de árbol (*Solanum betaceum*)

El tomate de árbol (*Solanum betaceum*), es un frutal andino de 2 a 4 metros de altura procedente de América del Sur y descrito por primera vez por Antonio José de Cavanilles. Esta planta presenta un tallo semileñoso, hojas cordiformes y un fruto de forma ovoide de 4 a 10 cm de longitud y de 3 a 7 cm de diámetro, con una coloración que varía entre el rojo, amarillo y anaranjado. Las condiciones óptimas para este cultivo son en climas templados y fríos, con una temperatura entre los 14 °C a 20 °C y en altitudes desde los 1000 a 3300 msnm (INIAP, 2014).



Figura 1. *Solanum betaceum*.

Fuente: (INIAP, 2014)

Tabla 1. Descripción taxonómica del tomate árbol.

Reino:	Plantae
División:	Angiospermae
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Género:	<i>Solanum</i>
Subgénero:	<i>Cyphomandra</i>
Sección:	<i>Pachyphylla</i>
Especie:	<i>Solanum betaceum</i>

Fuente: (Colimba y Morales, 2013).



### **2.1.2. Perfil nutricional del tomate árbol**

Este fruto presenta un perfil nutricional de importancia que lo enmarca dentro de los alimentos funcionales debido a que se caracteriza por la presencia de fibras, minerales, provitamina A, vitamina B6, vitamina C, vitamina E, antocianinas, polifenoles, flavonoides y carotenoides como el licopeno (Rosas, 2016).

Los compuestos con mayor concentración y disponibilidad son los carotenoides, pigmentos orgánicos sintetizados en los cloroplastos de la célula vegetal, aunque también pueden producirse en microorganismos que han sido modificados genéticamente como hongos, levaduras y algas (Gámez, 2017). Pertenecen a la familia de los terpenos, su naturaleza es lipofílica. Los carotenoides presentan 7 o más dobles enlaces conjugados, que les confiere la capacidad de absorber luz visible, que es utilizada durante la fotosíntesis en las plantas, y que le confiere un papel fotoprotector (Ibanez, y Martinez 2016).

### **2.1.3. Aplicaciones del licopeno**

La ingesta de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante está directamente relacionada con la disminución del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y crónicas como el cáncer. Muchas investigaciones se han enfocado en el estudio del licopeno, cuya actividad puede revertir, retardar o anular reacciones que desencadenan la oxidación de sustratos biológicos (Bárcenas, Preciado, y Iñiga, 2014).

El licopeno, responsable de la coloración roja en frutas y verduras es el carotenoide más investigado en la industria cosmética, alimentaria y farmacéutica, ya que no solo presenta propiedades como colorante, sino como un poderoso antioxidante que puede anular efectos perjudiciales de los radicales libres como, daño oxidativo a moléculas de lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, que podrían desencadenar enfermedades degenerativas (Waliszewski, y Blasco, 2010).

Estudios epidemiológicos exhortan al consumo de licopeno, pues tiene un efecto favorable sobre la salud humana. Investigaciones realizadas en una población de 48000 personas durante 6 años por la Universidad de Harvard reveló que el riesgo de presentar cáncer de próstata se redujo en un 45 %, luego de incluir en su dieta

semanal una ingesta de por lo menos 10 raciones de tomate o sus derivados (Miller et al., 2002).

#### **2.1.4. Mecanismo de acción antioxidante**

El licopeno actúa protegiendo las células humanas del estrés oxidativo generado por el oxígeno o por sus especies reactivas (ERO), entre los que se encuentran el radical hidroxilo, el anión superóxido, y radicales generados por ácidos grasos poliinsaturados oxidados, además de especies reactivas de nitrógeno como el radical del dióxido de nitrógeno o como el óxido nítrico (Londoño, 2012).

Existen diferentes vías para estabilizar especies reactivas, entre ellas se encuentra el mecanismo SET (single electron transfer), en donde el compuesto antioxidante dona un electrón al radical libre, y el mecanismo HAT (hydrogen atom transfer), donde un átomo de hidrógeno es transferido a la especie reactiva. Por otro lado, ciertos antioxidantes actúan inhibiendo la aparición de especies pro-oxidantes, facilitando así la eliminación de dichas especies o a su vez favoreciendo la reducción de las moléculas que ya han sido blanco de oxidación (Rendon, 2016).

#### **2.1.5. Microencapsulación mediante secado por aspersión**

Una vía para proteger los compuestos bioactivos de reacciones de degradación es la microencapsulación mediante secado por aspersión, esta permite microencapsular sustancias bioactivas en una matriz polimérica con el objetivo de impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno (Cristina, Davalos, Kasapis, y Gorczyca, 2014).

El método consiste en el secado de gotas muy finas, generadas por la atomización de la emulsión a ser encapsulada, en el lecho de una corriente de gas caliente que generalmente es aire, en donde como producto final se obtienen partículas esféricas con diámetros entre los 20  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$  (López, 2010).

Los polímeros de uso común para el empleo de esta técnica es la goma arábiga y los almidones, debido a su capacidad para crear esferas (Cristina et al., 2014).

Estudios realizados por Guevara (2007), durante la microencapsulación de sustancias oleosas utilizando goma arábiga, maltodextrina y almidón modificado se muestra una mayor protección ante cualquier posible degradación, además menciona que el

proceso depende del tipo de agente encapsulante, pH de la emulsión y las temperaturas de entrada y salida en el proceso.

### **2.1.6. Ensayos de actividad antioxidante**

Para la determinación de la actividad antioxidante se utilizan en la actualidad los ensayos en microplacas, estos representan una alternativa viable para el análisis en un amplio número de muestras. La técnica de DPPH (2,2-difenil-1 picrilhidrazilo) es utilizada en la actualidad para determinar la capacidad antioxidante, ya que este radical es susceptible a captar un átomo de hidrógeno donado por el agente antioxidante, lo que produce una decoloración del reactivo, mediante una reacción de primer orden que se la puede seguir evaluando a través la medición de su absorbancia en función del tiempo a una longitud de onda de 515 nm (Poma, Inocente, Pardo, y Norabuena, 2015).

## **2.2. Hipótesis**

### **2.2.1. Hipótesis nula**

No se extraerá ni se microencapsulará licopenos procedentes de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) con capacidad antioxidante.

### **2.2.2. Hipótesis alternativa**

Se extraerán y microencapsularán licopenos procedentes de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) con capacidad antioxidante.

## **2.3. Señalamiento de las variables de la hipótesis**

### **2.3.1. Variables dependientes**

- Porcentaje de eficiencia de la extracción (% E.E).
- Masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos (m<sub>L</sub> en 100 g).

### **2.3.2. Variables independientes**

- Relación materia vegetal/volumen de disolvente (1/30, 1/50, 1/70)
- Tiempo de extracción (30, 60 y 120 minutos)

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales, equipos y reactivos

##### 3.1.1. Materiales

- Residuo agroindustrial del tomate de árbol (*Solanum betaceum*).
- Material de vidrio PYREX-GLASSCO.
- Toallas de papel Vifas.
- Magnetos Elicrom.
- Papel Aluminio Alumina.
- Papel filtro Vifas.

##### 3.1.2. Equipos

- Mini Spray Dryer BUCHI-B290.
- Balanza analítica Adventurer Pro.
- Balanza de humedad Citizen MB 200.
- Espectrofotómetro UV-VIS Multiskan GO, Thermo Scientific, Dinamarca.
- Espectrofotómetro UV-VIS HACH DR 5000, Germany.
- Espectroscopio infrarrojo Jasco FT/IR 4100.
- Destilador de agua QUIMIS.
- Computadora Dell Inspiron 15R con el sistema operativo Windows 10.
- Plancha de agitación MULTI-PLACE.
- Rotaevaporador IKA RV8.
- Refrigerador Indurama.
- Molino de cuchillas INOX-EQUIP.
- Horno de convección GANDER MTN.
- Pipeta automática Thermo Scientific, Dinamarca.
- Software de análisis de datos estadístico y gráfico, Statgraphics XVII 64x.

##### 3.1.3. Reactivos

- DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) Sigma-Aldrich.
- Trolox (6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid) Sigma-Aldrich.

- Etanol al 96% de pureza Scharlau.
- Maltodextrina Roig Pharma.
- Goma Arábica Roig Pharma.
- Metanol al 100% de pureza Scharlau.
- Agua destilada.

## **3.2. Métodos**

### **3.2.1. Tratamiento de la muestra vegetal**

Se recolectaron los residuos agroindustriales generados a partir del procesamiento del tomate de árbol en la planta Hortifrutícola Ambato Compañía Anónima (Planhofa C.A), los cuales fueron trasladados hasta los Laboratorios de la Unidad Operativa de la Dirección de Investigación y Desarrollo (UODIDE) pertenecientes a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, de la Universidad Técnica de Ambato, para su pretratamiento y posterior extracción del compuesto bioactivo licopeno presente en dichos residuos.

El material vegetal fue cortado en trozos de aproximadamente 7 cm de largo, los cuales se sometieron a un proceso de secado por 14 horas a una temperatura de 50 °C en un horno de convección marca GANDER MTN hasta obtener un producto completamente libre de agua. El material seco obtenido fue procesado en un molino de cuchillas marca INOX-EQUIP con el fin de obtener el residuo vegetal en polvo.

Según Cardona, Ríos, y Restrepo (2006), el material vegetal seco permite una penetración adecuada del disolvente y al estar en forma de polvo la superficie de contacto es mucho mayor, facilitándose la extracción del compuesto bioactivo de interés.

### **3.2.2. Obtención del extracto vegetal**

Para la obtención del extracto de vegetal rico en licopenos se analizaron dos factores de estudio: relación materia vegetal/volumen de disolvente (1/30, 1/50 y 1/70) y tiempo de extracción (30, 60 y 120 min), cada uno con dos réplicas, manteniendo una temperatura de 50 °C constante en todos los experimentos. Cardona et al. (2006) recomienda trabajar a una temperatura entre los 40 y 65 °C pues se favorece la solubilidad de las sustancias lipofílicas en el disolvente y por lo tanto la extracción de una mayor cantidad de licopenos.

Se utilizó etanol al 96 % de pureza como disolvente orgánico, utilizando matraces de Erlenmeyer marca PYREX cubiertos con papel aluminio para evitar una evaporación excesiva del disolvente, que podría afectar la eficiencia de la extracción.

Se determinó la influencia de estos factores sobre las variables respuesta: porcentaje de eficiencia de la extracción (% E.E) y masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos (m<sub>L</sub> en 100 g), siguiendo un diseño factorial 3<sup>2</sup>, donde 0, 1, y 2, representan los niveles bajo, medio y alto para cada factor.

Tabla 2. Diseño factorial.

		FACTOR B		
		b0	b1	b2
FACTOR A	a0	a0b0	a0b1	a0b2
	a1	a1b0	a1b1	a1b2
	a2	a2b0	a2b1	a2b2

### 3.2.2. Análisis de los extractos obtenidos

Utilizando un espectrofotómetro UV-VIS HACH DR 5000, Germany, se determinó la absorbancia de cada extracto (A) a una longitud de onda de 472 nm (Rodríguez, 2001), utilizando etanol como blanco. La longitud de onda a utilizarse, depende de la muestra a ser analizada y del disolvente, y corresponde a aquella longitud donde la absorbancia del analito se maximiza (Yaneselli, Botta, y Chury, 2016). En la Figura 2 se muestra el espectro estándar del licopeno correspondiente al pico de absorbancia más alto a la longitud de onda de 471 nm.

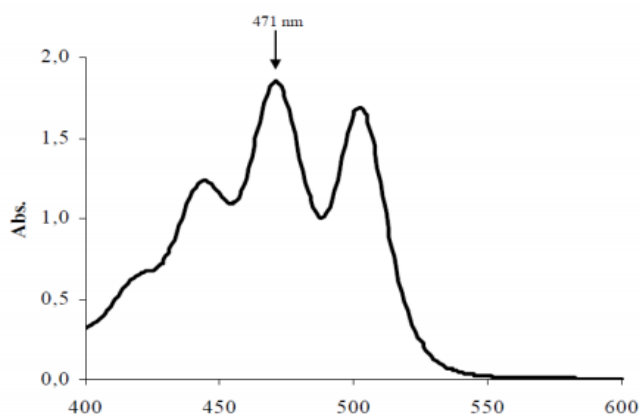


Figura 2. Espectro estándar del licopeno.

Se calculó la concentración de licopenos (C) siguiendo la Ecuación 1, utilizando un valor de absorptividad del etanol de 3450 (E) (Strati y Oreopoulou, 2011).

$$C = \frac{A * 10^4}{E}$$

Ecuación 1. Concentración de licopenos.

Se determinó la humedad residual de cada extracto con una balanza de humedad Citizen MB 200. El valor de porcentaje de sólidos extraídos (% SST) fue calculado restandole al 100 % el valor de humedad obtenido en cada extracto.

La masa de sólidos extraídos (MSE) se calculó a través de la siguiente expresión:

$$MSE = \frac{V * \% SST}{100}$$

Ecuación 2. Masa de sólidos extraídos.

donde:

V: volumen del extracto.

El porcentaje de eficiencia de la extracción (% E.E) se determinó a través de la relación entre la masa de licopenos extraídos ( $m_L$ ) y la masa de material vegetal (MV) utilizado.

$$\% E.E = \left( \frac{m_L}{MV} \right) * 100$$

Ecuación 3. Porcentaje de la eficiencia de extracción.

Se calculó la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos ( $m_L$  en 100 g) a través de la siguiente expresión:

$$m_L \text{ en } 100g = \frac{(m_L * 100)}{MSE}$$

Ecuación 4. Masa de licopenos en 100 gramos de sólidos extraídos.

### 3.2.3. Ensayo de actividad antioxidante

Para cuantificar la actividad antioxidante de los extractos se utilizó la técnica de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), la cual utiliza una solución metanólica de DPPH que tiene un electrón desapareado susceptible a reaccionar con el compuesto antioxidante que es objeto de estudio, mediante la cesión de un átomo de hidrógeno proporcionado por el agente antioxidante (Kedare y Singh, 2011). La solución metanólica de DPPH se preparó a una concentración de 60  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  utilizando metanol al 80 % como disolvente y una velocidad de agitación de 130 rpm durante 20 minutos.

Para obtener la curva de calibración se preparó una solución madre de Trolox a una concentración de 500  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , el cual es un análogo de la vitamina E. Se realizaron diluciones para obtener las siguientes concentraciones de Trolox: 50, 100, 200, 400, 500  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , utilizando como disolvente una mezcla de etanol-agua en proporción 50:50.

Se utilizó una placa de 96 pocillos, donde se le adicionó las siguientes soluciones: 20  $\mu\text{L}$  de agua destilada más 180  $\mu\text{L}$  de etanol al 80% como blanco; 20  $\mu\text{L}$  de agua destilada más 180  $\mu\text{L}$  de DPPH como blanco reactivo; 20  $\mu\text{L}$  de cada dilución de Trolox más 180  $\mu\text{L}$  de solución de DPPH y 20  $\mu\text{L}$  de muestra más 180  $\mu\text{L}$  de DPPH. La absorbancia se determinó a la longitud de onda de 515 nm en un espectrofotómetro Multiskan GO (Thermo Scientific, Dinamarca).

Se calculó el porcentaje de inhibición del radical DPPH, a través de la Ecuación 5 y los resultados se expresaron como equivalentes a  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g de masa de sólidos extraídos.(Bobo-García et al., 2015)

$$\% \text{ Inhibición DPPH} = \left( 1 - \left( \frac{A_m - A_b}{A_c - A_b} \right) \right) * 100$$

Ecuación 5. Porcentaje de inhibición de DPPH.

donde:

$A_m$ : Absorbancia de la muestra.

$A_b$ : Absorbancia del blanco reactivo.

$A_c$ : Absorbancia control



### 3.2.5. Análisis estadístico

Se utilizó el software Statgraphics Centurion versión XVI.I con un diseño experimental  $3^2$  donde se realizó un análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas entre los factores estudiados y sus interacciones. Se optimizó la respuesta para conocer la mejor relación material vegetal/volumen de disolvente y tiempo de extracción para las variables respuestas: porcentaje de la eficiencia de extracción (% E.E) y masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos ( $m_L$  en 100 g). Se consideraron diferencias significativas con un valor- $p < 0,05$ .

En el diseño factorial  $3^n$  se cuenta con  $n$  factores de estudio y tres niveles respectivamente a los cuales se los puede llamar bajo, medio y alto. Para plantear su modelo estadístico correspondiente se considera el efecto individual de cada factor y también su interacción. Por consiguiente, en este caso se tiene un modelo matemático del tipo:

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \delta_j + (\gamma\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$\text{Con } i=1, 2,3; j=1, 2,3; k= 1, \dots, n$$

donde  $\gamma_i$  es el efecto del factor A en su nivel  $i$ ,  $\delta_j$  representa el efecto del factor B en su nivel  $j$ ,  $(\gamma\delta)_{ij}$  es el efecto de interacción de ambos en los niveles  $ij$  y  $n$  es el número de repeticiones de cada tratamiento (Salazar, 2007).

### 3.2.6. Obtención de microcápsulas mediante secado por aspersión

Se concentró en un rotaevaporador marca IKA RV8 el extracto obtenido donde se maximizaron ambas variables respuestas, a una temperatura aproximada de 50 °C y una velocidad de agitación de 200 rpm, con circulación constante de agua y conectado al vacío para permitir una destilación del etanol a una temperatura menor a su punto de ebullición que es igual a 78 °C, con la finalidad de no degradar el compuesto bioactivo.

Se preparó una emulsión a partir del concentrado de licopenos con agua destilada, maltodextrina y goma arábiga, estos actúan como matrices poliméricas durante el proceso de microencapsulación.

La emulsión se alimentó en el equipo mini Spray Dryer BUCHI-B290 con una temperatura de entrada de 150 °C y salida de 90 °C. Al estar la emulsión en contacto con el medio de secado, se eliminó el agua y el ingrediente activo se atrapa dentro de la capa solidificada del material hidrocoloide, formando la cápsula (Moser, 2017).

Se determinó la eficiencia del proceso de microencapsulación, mediante la relación entre la concentración de licopenos presentes en el interior de las microcápsulas y en la superficie, que se obtuvo al diluir en etanol y en agua respectivamente el microencapsulado. (Ecuación 6)

$$E. M = \frac{CA-CE}{CA} * 100$$

Ecuación 6. Porcentaje de eficiencia de microencapsulación (E.M).

donde:

CA= Concentración de licopeno en la superficie.

CE= Concentración de licopeno en las microcápsulas.

### **3.2.7. Análisis infrarrojo**

La espectrometría infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR) se basa en la capacidad que presentan las moléculas para absorber energía de la luz en ciertas longitudes de ondas específicas conocidas como frecuencias de resonancia (Jurado, y Laura, 2012). Se analizaron las siguientes muestras: microencapsulado, matrices poliméricas (goma arábica y maltodextrina) y el extracto rico en licopenos, en el Laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, mediante el uso de un espectroscopio infrarrojo (Jasco FT/IR 4100).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis y discusión de resultados

##### 4.1.1. Obtención del extracto vegetal

Con el objetivo de desarrollar una tecnología para la extracción de licopenos a partir de los residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) se estudiaron la influencia que ejercen los factores: relación material vegetal/volumen de disolvente (A) y tiempo de extracción (B) sobre el porcentaje de eficiencia de la extracción y la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos, mediante un diseño experimental  $3^2$ , con un nivel de confianza del 95 % (Anexo 1).

En la Tabla 3 se muestran los resultados del análisis de varianza para el porcentaje de eficiencia de la extracción, donde se puede observar que existen diferencias significativas para la relación material vegetal/volumen de disolvente (MV/E), así como para su interacción cuadrática (AA), y la interacción cuadrática del tiempo de extracción (BB). Sin embargo, el tiempo de extracción no presentó influencia significativa sobre el porcentaje de eficiencia de la extracción. Según Cornejo (2011) indica que la extracción y cuantificación de carotenoides, depende de la polaridad y la naturaleza del solvente, la estructura de simples o dobles enlaces que presenta la muestra a ser estudiada, y la naturaleza de los grupos terminales, los cuales interactúan con el material a extraer, lo que indica que la relación material vegetal/volumen del disolvente tiene una fuerte influencia sobre el proceso de extracción.

Tabla 3. Análisis de varianza para el porcentaje de eficiencia de la extracción.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: MV/E	9,63333E-7	1	9,63333E-7	7,67	0,0170
B:Tiempo de extracción	3,E-8	1	3,E-8	0,24	0,6338
AA	7,51111E-7	1	7,51111E-7	5,98	0,0308
BB	0,0000149511	1	0,0000149511	119,08	0,0000
bloques	8,88889E-9	1	8,88889E-9	0,07	0,7947
Error total	0,00000150667	12	1,25556E-7		
Total (corr.)	0,0000182111	17			

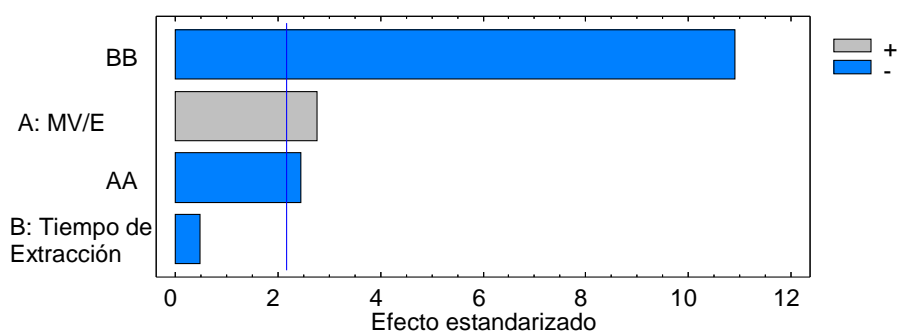


Figura 3. Diagrama de Pareto para el porcentaje de eficiencia de la extracción. De acuerdo con el Diagrama de Pareto (Figura 3), la relación cuadrática del tiempo de extracción influye significativamente de forma negativa sobre el porcentaje de eficiencia de la extracción, en una relación cuadrática, lo que significa que mientras mayor es el tiempo de extracción, se extraerá menos licopenos. El tiempo de extracción, puede ejercer un efecto positivo o negativo sobre la concentración final, dependiendo la solubilidad del solvente y la estabilidad del compuesto de interés, pues en ciertos casos, mientras mayor es el tiempo del tratamiento, la concentración aumenta, y en otros, la sustancia de interés se satura o se degrada (Juscamaita et al., 2017), en esta investigación debió ocurrir saturación del solvente. La relación material vegetal/volumen de disolvente influye de manera positiva, lo que indica que mientras mayor sea la relación material vegetal/volumen de disolvente, mayor será el porcentaje de la eficiencia de extracción, pues disminuye la masa del material vegetal por lo que el etanol no se satura.

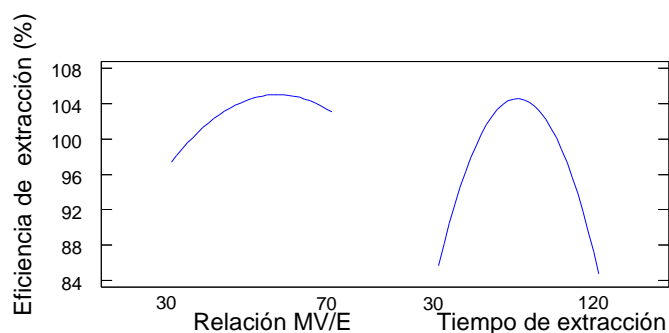


Figura 4. Gráfico de Efectos Principales para la eficiencia de la extracción. El Gráfico de Efectos Principales muestra que a medida que aumenta la relación material vegetal/volumen de disolvente y el tiempo de extracción, aumenta el

porcentaje de eficiencia de la extracción, hasta un valor de relación MV/E de 1:50 y un tiempo de 60 minutos (Figura 4).

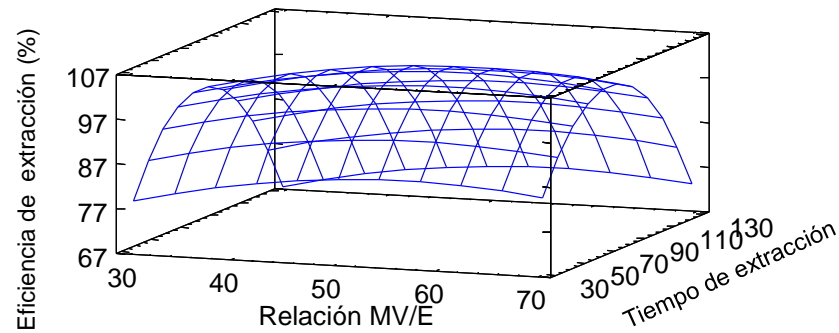


Figura 5. Diagrama de Superficie de Respuesta Estimada para la eficiencia de extracción.

El Diagrama de Superficie de Respuesta Estimada indica que el porcentaje de eficiencia de la extracción presenta su máximo valor para la relación MV/E 1:50 con un tiempo de extracción de 60 minutos (Figura 5).

Se determinó la influencia de estos factores sobre la masa de licopeno en cien gramos de sólidos extraídos. El Análisis de varianza (Tabla 4) mostró que la relación material vegetal/volumen de disolvente, el tiempo de extracción, y sus relaciones cuadráticas, tienen una influencia significativa sobre la masa de licopenos obtenida.

Tabla 4. Análisis de varianza para la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: MV/E	981,021	1	981,021	30,66	0,0001
B: Tiempo de extracción	10668,4	1	10668,4	333,39	0,0000
AA	192,747	1	192,747	6,02	0,0304
BB	1947,75	1	1947,75	60,87	0,0000
bloques	10,4272	1	10,4272	0,33	0,5786
Error total	383,993	12	31,9994		
Total (corr.)	14184,3	17			

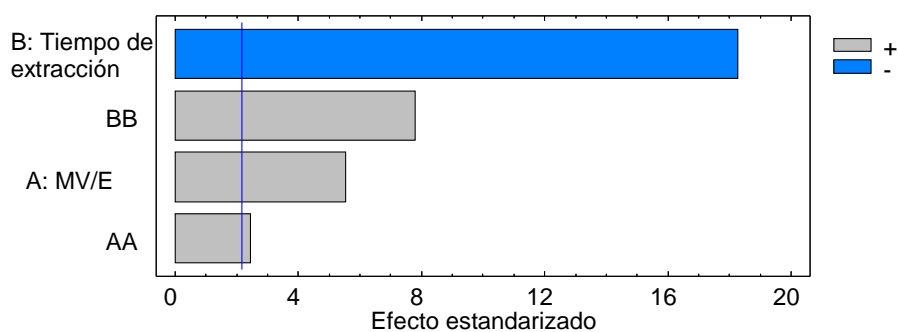


Figura 6. Diagrama de Pareto estandarizado para la masa de licopeno en cien gramos de sólidos extraídos.

La Figura 6 muestra que el tiempo de extracción influye significativamente de forma negativa sobre la masa de licopenos obtenida, mientras que la relación material vegetal/volumen de disolvente presenta un efecto positivo, es decir que mientras mayor es esta relación, mayor será la masa de licopenos obtenida.

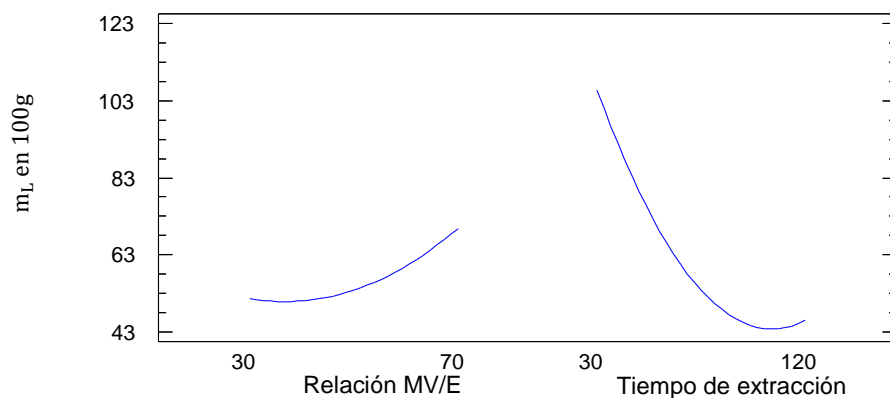


Figura 7. Gráfico de Efectos Principales para la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos (m<sub>L</sub> en 100g).

El Gráfico de Efectos Principales (Figura 7), muestra el comportamiento de cada factor sobre la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos. A medida que aumenta la relación material vegetal/volumen de disolvente se incrementa la extracción de licopenos, por el contrario, a medida que el tiempo de extracción es mayor disminuye la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos.

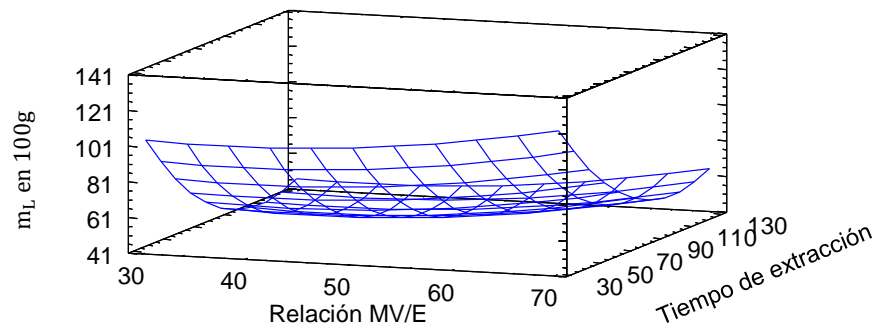


Figura 8. Diagrama de Superficie de Respuesta Estimada para la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos ( $m_L$  en 100g).

El valor máximo de la masa de licopenos en cien gramos de sólidos se obtiene para la relación MV/E 1:70 y el tiempo de extracción de 30 minutos (Figura 8).

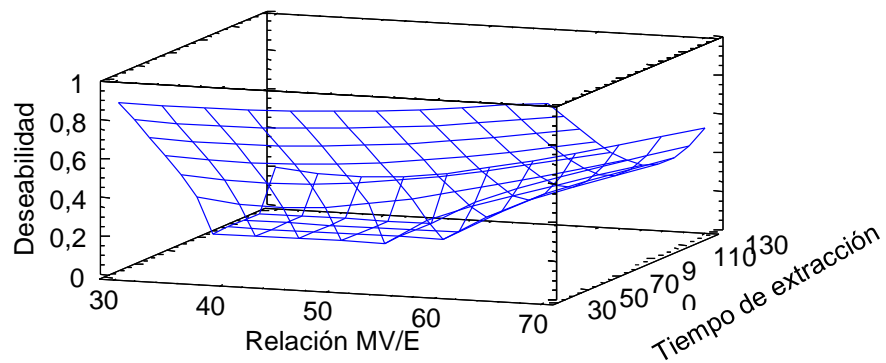


Figura 9. Diagrama de Superficie de Respuesta Optimizada para el porcentaje de eficiencia de la extracción y la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos.

Tabla 5. Optimización de los factores de estudio para las variables respuestas

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Relación	30,0	70,0	69,7934

Tiempo	30,0	120,0	30,1253
--------	------	-------	---------

Tabla 6. Optimización de las variables respuesta.

<i>Respuesta</i>	<i>Óptimo</i>
Licopenos	121,247
Rendimiento de Licopenos	0,00843881

En la Figura 9 se muestra el Diagrama de Superficie de Respuesta Optimizada para el porcentaje de eficiencia de la extracción y la masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos, donde se observa que con una relación MV/E 1:70 y un tiempo de extracción de 30 minutos se maximizaron ambas variables, obteniéndose un porcentaje de eficiencia de la extracción de 0.0084 y una masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos de 121.3 mg (Tabla 5 y 6). Los resultados obtenidos se corroboran con lo reportado por Gámez et al. (2016), en donde obtiene 106,1 mg de licopeno por cada 100 gramos de fruta madura utilizando etanol como disolvente.

El uso de etanol como disolvente, presenta un alto rendimiento de extracción para los licopenos, debido a su alta solubilidad en compuestos grasos, además de no sufrir ningún cambio químico durante el proceso de extracción (Cardona et al., 2006).

#### 4.1.2. Ensayo de actividad antioxidante

A partir de la curva de calibración con Trolox (50-500  $\mu\text{mol.l}^{-1}$ ), se obtuvo la siguiente ecuación de la recta:  $y = 0.1834x - 3.3862$ , con un coeficiente de determinación ajustado  $R^2 = 0.99$ , donde “x” representa la concentración de Trolox, y el porcentaje de inhibición es representado por el eje “y”. (Anexo 2)

Se obtuvo un porcentaje de inhibición del radical DPPH igual al 60.23 %, en la dilución  $\frac{1}{2}$  del extracto rico en licopenos lo que equivale a una concentración equivalente Trolox de 693.81  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  y 686.73  $\mu\text{mol}$  de Trolox en un gramo de masa de sólidos extraídos. (Anexo 3)

Estos resultados fueron analizados frente a los reportados por Kuskoski, Asuero, Troncoso, Mancini, y Fett (2005), donde la actividad antioxidante equivalente a Trolox obtenido en tomate de árbol fue de 491.32  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g de sólidos extraídos.



El microencapsulado presentó un porcentaje de inhibición del radical DPPH igual a 49.85 % para una concentración equivalente de Trolox de  $290.3 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , lo que equivale a  $287.34 \mu\text{mol}$  de Trolox en un gramo de masa de sólidos extraídos (Anexo 3). La actividad antioxidante del licopeno al ser microencapsulado no debe afectarse, pues los polímeros utilizados durante el proceso protegen al compuesto bioactivo de cualquier forma de degradación o reacción con otras sustancias, en esta investigación se observó una disminución de la capacidad antioxidante que puede ser debido a que todo el licopeno presente en el interior de las microcápsulas no se disolvió.

Los polisacáridos como el almidón, goma arábica, maltodextrina, utilizados como material de pared durante el proceso de microencapsulación crean una barrera a partir de enlaces covalentes con propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas, evitando la volatilización y alargando la vida útil del compuesto de interés (Arango, Gutiérrez, Ruiz, y Vélez, 2014).

#### **4.1.3. Análisis infrarrojo**

La Figura 10 muestra los espectros de resonancia correspondientes al concentrado de licopenos, microencapsulado y la mezcla de polímeros, con un barrido de frecuencia de  $400$  a  $4000 \text{ cm}^{-1}$ , frente al porcentaje de transmitancia (40-115 %). La muestra analizada del concentrado rico en licopenos presenta una banda de gran intensidad con su pico máximo a una frecuencia de resonancia igual a  $1043.3 \text{ cm}^{-1}$ , con un 43.86 % de transmitancia. En el análisis para el microencapsulado la frecuencia de resonancia es igual a  $1020.16 \text{ cm}^{-1}$  con una transmitancia mayor siendo del 70.19 %, muy similar a la frecuencia de resonancia de la mezcla de polímeros ( $1015.34 \text{ cm}^{-1}$ ) con una transmitancia del 72 %. Estos espectros indican que el compuesto bioactivo se halla dentro de la matriz polimérica y que el proceso de microencapsulación fue de alta eficiencia.

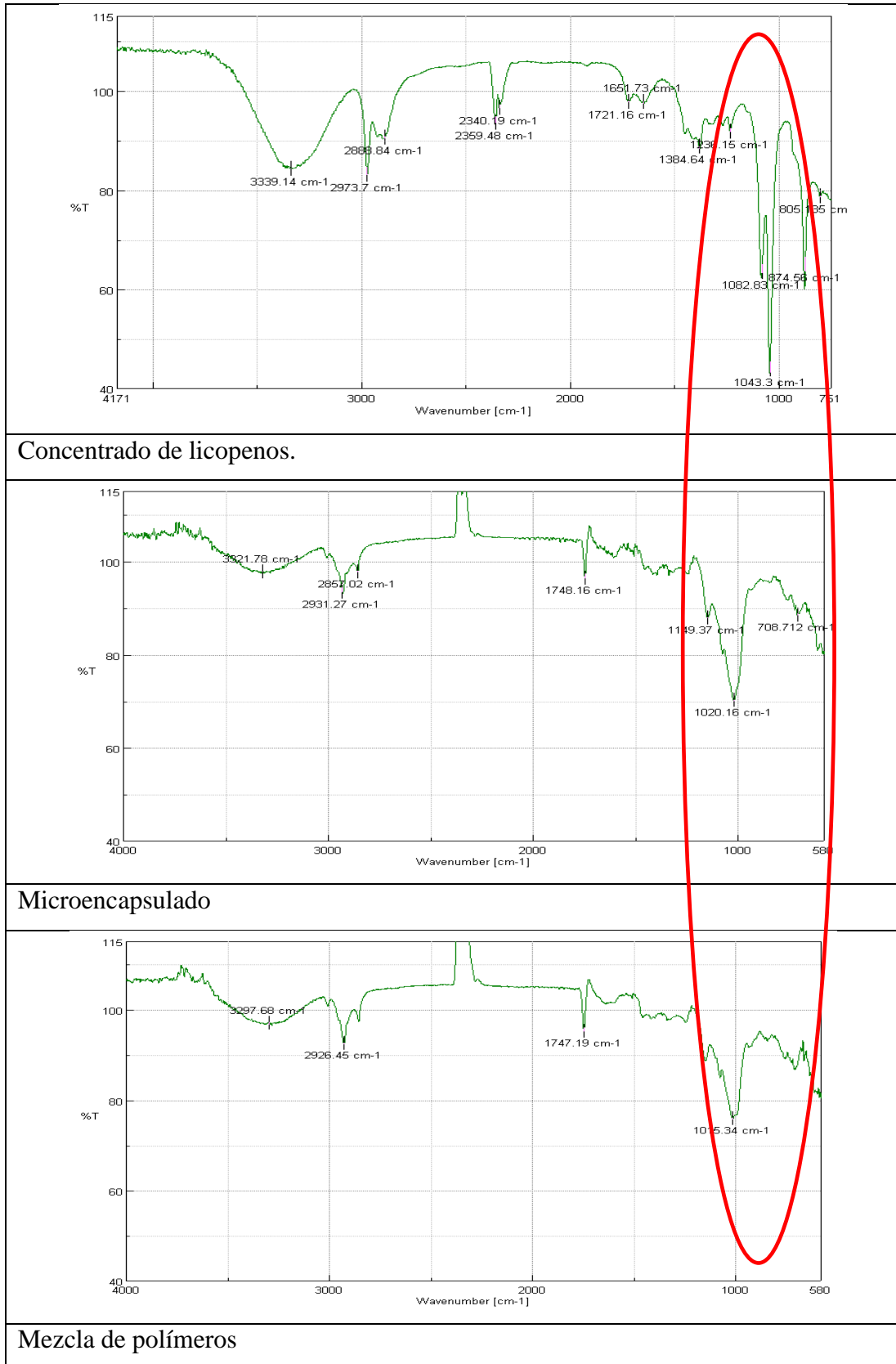


Figura 10. A) Espectro de resonancia para el concentrado de licopenos; B) Espectro de resonancia para el microencapsulado; C) Espectro de resonancia para los polímeros utilizados.

#### 4.1.4. Eficiencia de la microencapsulación.

Al disolver el microencapsulado en agua destilada y etanol, se obtuvo la concentración de licopenos presentes en la superficie y en el interior de las microcápsulas respectivamente. Se relacionó ambas concentraciones para obtener el porcentaje de eficiencia de microencapsulación, el cual fue del 96.5 %, lo que se corresponde a los espectros obtenidos en el análisis infrarrojo, donde los porcentajes de transmitancia para el microencapsulado y la mezcla de polímeros son muy similares.

Tabla 7. Porcentaje de eficiencia de microencapsulación.

Dilución 1:10	Absorbancia	Concentración (mg/L)	E.M (%)
Agua	0,863	2,501	96,5
Etanol	0,035	0,089	

El valor obtenido es similar al reportado por Jordán (2017) donde obtuvo un 92.08 % de eficiencia de microencapsulación para el aceite de sachá inchi microencapsulado utilizando goma arábiga y maltodextrina.

#### 4.2. Verificación de la hipótesis

$H_0 \neq 0$  Se rechaza la hipótesis nula.

$H_a = 0$  Se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que si se podrá extraer y microencapsular licopenos procedentes de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) con capacidad antioxidante.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se desarrolló una tecnología para la extracción de licopenos a partir de los residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*), optimizándose el proceso para un porcentaje de eficiencia de la extracción de 0.0084 % y una masa de licopenos en cien gramos de sólidos extraídos de 121.3 mg con una relación material vegetal/volumen de disolvente 1:70 y un tiempo de extracción de 30 minutos.
- Se microencapsuló el extracto rico en licopenos mediante secado por aspersión utilizando goma arábiga y maltodextrina como polímeros, obteniendo un 96.5 % de eficiencia de microencapsulación.
- Se corroboró mediante análisis de espectrofotometría infrarroja la presencia de licopenos en el interior de las microcápsulas.
- Se demostró la capacidad antioxidante del extracto rico en licopenos y del microencapsulado, con valores equivalentes a una concentración de Trolox de 693.81  $\mu\text{mol}$  de Trolox. $\text{l}^{-1}$  para el extracto rico en licopenos y 290.30  $\mu\text{mol}$  de Trolox. $\text{l}^{-1}$  para el microencapsulado, lo que representa 686.73  $\mu\text{mol}$  de Trolox en un gramo de sólidos extraídos para el extracto de licopenos y 287.34  $\mu\text{mol}$  de Trolox en un gramo de sólidos extraídos en el microencapsulado.

#### 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar determinaciones de la actividad antioxidante *in vivo* al extracto rico en licopenos y al microencapsulado obtenido.
- Se recomienda utilizar otros métodos de extracción como: extracción mediante arrastre con vapor, extracción con soxhlet, extracción con fluidos supercríticos, extracción asistida por microondas, extracción por ultrasonido, cuya aplicación pudiera incrementar el rendimiento de extracción del compuesto de interés.
- Se recomienda realizar pruebas de estabilidad al extracto rico en licopenos y al microencapsulado, a diferentes temperaturas de conservación y con diferentes materiales de envase.
- Se recomienda realizar ensayos para evaluar la biodisponibilidad del compuesto bioactivo licopeno microencapsulado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arango, G., Gutiérrez, G. P. A., Ruiz, R. A. V., & Vélez, H. M. (2014). *Microencapsulación de alimentos*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* (Vol. 57). Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/25055>
- Bárcenas Pozos, G., & Preciado Iñiga, M. E. (2014). El tamarillo (*Cyphomandra betacea*) y su importancia como fuente de compuestos antioxidantes. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(1), 48–53.
- Bobo-García, G., Davidov-Pardo, G., Arroqui, C., Vírseda, P., Marín-Arroyo, M. R., & Navarro, M. (2015). Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 204–209. <http://doi.org/10.1002/jsfa.6706>
- Cardona, E. M., Ríos, L. A., & Restrepo, G. M. (2006). Extraction of the carotenoid lycopene from chonto tomato (*lycopersicon esculentum*). *Vitae*, 13(53), 44–53.
- CICO, C. de I. e I. C., & CORPEI, C. de P. de E. e I. (2009). *Perfil de tomate de árbol*. Retrieved from <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Convenio> MAG IICA/productos/tomate\_arbol\_mag.pdf
- Colimba, J., & Morales, Á. (2013). Efecto de la aplicación de silicio en el segundo año de producción en el cultivo de tomate de árbol. Retrieved from <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/692>
- Cornejo, D. A. (2011). Extracción, Identificación, Cuantificación Y Determinación De La Actividad Antioxidante De Los Carotenoides Presentes En Las Flores De Senna Multiglandulosa a Través De Cuatro Métodos De Extracción. *SANGOLQUÍ / ESPE*, 40. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5011/2/T-ESPE-033045-A.pdf>
- Cristina, M., Davalos, Z., Kasapis, S., & Gorczyca, E. (2014). *Survival of microencapsulated probiotic Lactobacillus paracasei in spray dried mango powder*. Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/2922/1/T-SENESCYT-00882.pdf>
- Cruz Bojórquez, R. M., González Gallego, J., & Sánchez Collado, P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 6–15. <http://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6302>
- Gámez, J., Noguera, R., Vertucci, C., & Sandoval, T. (2016). Comparative study of two lycopene extraction methods from tomato waste processing. Retrieved from <http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/agrollania/2016/agro6.pdf>
- Gámez Losada, M. del C. (2017). *Aprovechamiento de derivados de tomate, como fuente de licopeno, en productos cárnicos tradicionales y tratados con radiaciones ionizantes*. *Universidad complutense de madrid*. Universidad complutense de madrid.
- González Barbera, C. (2015). *Aprovechamiento de derivados de tomate, como fuente de licopeno, en productos cárnicos tradicionales y tratados con radiaciones ionizantes*. Retrieved from <http://eprints.ucm.es/45731/1/T39449.pdf>
- Guevara, L. L. (2007). Microencapsulación de algunos compuestos bioactivos

- mediante secado por aspersión. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(10).
- INEC. (2018). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. Dirección De Estadísticas Agropecuarias Y Ambientales*. Retrieved from [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2017/Presentacion\\_Principales\\_Resultados\\_ESPAC\\_2017.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Presentacion_Principales_Resultados_ESPAC_2017.pdf)
- INIAP. (2014). *Estudio de la producción, agroindustria, y consumo del Tomate de Árbol (Solanum betaceum Cav.) a nivel nacional e internacional*. Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/836/1/P-SENESCYT-0001.pdf>
- Jordán, M. (2017). Obtención de un ingrediente funcional en polvo rico en omega-3, 6 y 9 a partir de una mezcla de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) y aceite de girasol (*Helianthus annuus*). Retrieved from <http://www.albayan.ae>
- Jurado Capel, L., & Laura. (2012). Estudio del grado de madurez y/o maduración de tomates empleando técnicas espectroscópicas moleculares. Retrieved from <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/4196>
- Juscamaita, L. F., Salvatierra, T. P., Silva, C. E., Quispe, M., Juscamaita, L., Pérez, T., & Espinoza, C. (2017). Evaluation of stability of carotenoids and antioxidant activity of nasturtium flowers ( *Tropaeolum majus* L .) in spray-drying microencapsulation, 83(3), 282–294. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5011/2/T-ESPE-033045-A.pdf>
- Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology*, 48(4), 412–22. <http://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(4), 726–732. <http://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016>
- Leticia, B., Bresciani, P., Pandolfo, M., & Kairúz, A. (2006). *Acta bioquímica clínica latinoamericana. Acta bioquímica clínica latinoamericana* (Vol. 40). [Federación de Especialistas de Análisis Biológicos de la Provincia de Buenos Aires]. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/535/53553013010/index.html>
- Lima, B. L. R. (2012). “*Extracción por acción biocatalítica y cauntificación de β-caroteno y licopeno de tomate de árbol (Cyphomandra betacea de solanum betaceum) del distrito de Pariahuanca*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ.
- Londoño Londoño, J. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. *Corporación Universitaria Lasallista*, 129–162.
- López Hernández, O. D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381–389. Retrieved from [http://bvs.sld.cu/revistas/far/vol\\_44\\_3\\_10/far13310.htm](http://bvs.sld.cu/revistas/far/vol_44_3_10/far13310.htm)
- Lucas Uquillas, K. A., Maggi Tenorio, J. M., & Yagual Chang, M. J. (2011). Creación de una empresa de producción, comercialización y exportación de tomate de árbol en el área de sangolquí, provincia de pichincha, 140. Retrieved from [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10688/2/TOMATE DE ARBOL.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10688/2/TOMATE_DE_ARBOL.pdf)
- MAGAP. (2016). Boletín situacional del tomate de árbol. Retrieved from [http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2017/boletin\\_situac](http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2017/boletin_situac)

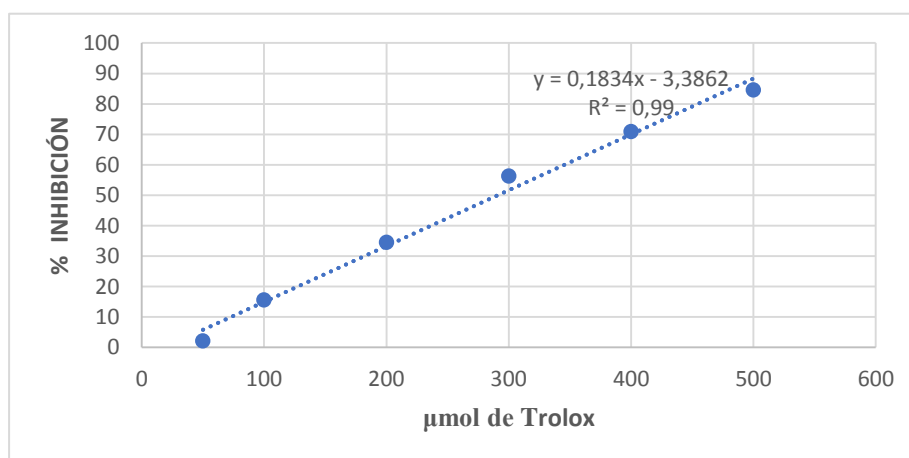
- ional\_tomate\_arbol\_2016.pdf
- Márquez, C. J., Otero, C. M., & Cortés, M. (2007). Cambios fisiológicos ,texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. *Vitae*, 14(2). Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/1698/169815389002/>
- Martinez-Dominguez, B., & Ibanez-Gomez, M. V. (2016). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *American Journal of Medicine, The*, 9416(10), 1–11. Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222004000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Miller, E. C., Giovannucci, E., Erdman, J. W., Bahnson, R., Schwartz, S. J., & Clinton, S. K. (2002, March 6). Tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. *Urologic Clinics of North America*. [http://doi.org/10.1016/S0094-0143\(02\)00020-4](http://doi.org/10.1016/S0094-0143(02)00020-4)
- Moser, J. (2017). Spray Drying Technology Volume One, (July), 1–46. <http://doi.org/10.1111/j.1471-0307.1990.tb02754.x>
- Poma, E., Inocente, M., Pardo, J., & Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante, 2(1), 0–3.
- Rendon, S. (2016). Actividad antioxidante in vivo de licopeno del tomate, papaya y guayaba rosada para la prevención del cáncer colorrectal, 1–106.
- Rodriguez Amaya, D. B. (2001). *A guide to carotenoid analysis in food. A Guide to carotenoid analysis in foods*.
- Rosas, C. E. L. (2016). Facultad de ingeniería y ciencias agropecuarias caracterización y microencapsulación de compuestos bioactivos de tomate de árbol (.
- Salazar, H. G. P.-R. D. L. V. (2007). *Análisis y diseño de experimentos. Journal of Experimental Psychology: General* (Vol. 136).
- Strati, I. F., & Oreopoulou, V. (2011). Process optimisation for recovery of carotenoids from tomato waste. *Food Chemistry*, 129(3), 747–752. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.015>
- Waliszewski, K. N., & Blasco, G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud Publica de Mexico*, 52(3), 254–265. <http://doi.org/10.1590/S0036-36342010000300010>
- Yaneselli, A. S., Botta, C., & Chury, N. (2016). Extracción y cuantificación de licopeno en tomates frescos, 0–27.

## ANEXOS

Anexo 1. Resultados obtenidos para el diseño experimental.

Bloque	Relación MV/E	Tiempo (min)	% E.E	mg/100g MSE
1	70	120	0,0085	52,5
1	30	120	0,0073	45,2
1	70	75	0,0098	72,1
1	50	30	0,0091	113,2
1	70	30	0,0082	119,8
1	50	75	0,0103	46,3
1	30	30	0,0079	102,2
1	50	120	0,0085	47,3
1	30	75	0,0101	53
2	70	120	0,0085	62
2	30	120	0,0078	45,1
2	70	75	0,0109	79,9
2	50	30	0,0084	103,8
2	70	30	0,0082	120,8
2	50	75	0,0102	48,5
2	30	30	0,0079	102,2
2	50	120	0,0085	52,1
2	30	75	0,0097	50,9

Anexo 2. Curva de calibración de Trolox (50-500  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ).



Anexo 3. Resultados obtenidos en la técnica de DPPH.

Muestras	Diluciones	% de Inhibición	$\mu\text{mol de Trolox.L}^{-1}$	$\mu\text{mol de Trolox/g MSE}$
<b>Extracto rico en licopenos</b>	Sin diluir	90,62318	512,592039	507,361508
	Dilución 1/2	60,2358765	693,806723	686,727063
<b>Microencapsulado</b>	10	49,8543972	290,297695	287,335473
	9	67,3121724	385,487309	381,553765
	8	70,3843914	402,238775	398,134298