

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE LICOPENO DEL TOMATE**

**Por:**

**MABEL JOHANNA SAAVEDRA COLQUE**

**Modalidad de graduación: Proyecto de Grado Investigación Aplicada, presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

**Tarija, agosto de 2016**

**VºBº**

---

Ing. Ernesto Álvarez

DECANO

---

Ing. Silvana Paz

VICEDECANA

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Juan Carlos Keri M.

---

Ing. Freddy López Z.

---

Ing. Jorge Erazo A. Ph D

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad de la autora.

Dedicado a Dios quien ha guiado mi camino y me ha dado fuerzas en mis estudios, a mis padres quienes se han esforzado y sobre todo me han dado su amor y paciencia. Dedicado a mis hermanas, sobrinos y a todos mis familiares con mucho cariño.

Dedicado a los docentes y compañeros con quienes compartimos conocimientos y experiencias.

Agradezco a Dios y a mis padres por la vida y permitirme conocer y experimentar lo bello de la naturaleza.

Agradezco el apoyo incondicional del Lic. Juan Carlos Callisaya, de la Lic. Ma. Carmen Sánchez y a todo el equipo del Laboratorio de Compuestos Bioactivos quienes contribuyeron enormemente en el desarrollo del proyecto. Agradezco a la institución del CEANID quienes me brindaron su espacio y apoyo.

Agradezco a los ingenieros; Ing. Freddy López, Ing. Juan Carlos Keri y Dr. Jorge Erazo quienes me apoyaron en el desarrollo del presente proyecto. Al Ing. Ignacio Velázquez por su tiempo y apoyo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Licopeno y la salud humana	2
1.1.2 Producción	3
1.1.3 Mercado potencial de licopeno	4
1.1.4 Tomate ( <i>Lycopersicum Esculentum</i> )	6
1.2 Justificación	8
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivos general	9
1.3.2 Objetivos específicos	9
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	
2.1 Origen del tomate	10
2.2 Descripción taxonómica	10
2.3 Morfología y estructura del tomate	11
2.3.1 Morfología de la planta del tomate	11
2.3.2 Estructura del fruto del tomate	14
2.4 Biosíntesis de licopeno en el tomate	17
2.5 Composición química del tomate	18
2.6 Carotenoides	18
2.6.1 Estructura básica	19

2.6.2 Propiedades	21
2.6.2.1 Estequiometría	21
2.6.2.2 Absorción de la luz	21
2.6.2.3 Propiedades químicas	21
2.7 Licopeno	22
2.7.1 Características físicas y químicas del licopeno	23
2.7.2 Presencia del licopeno alimentos	23
2.7.3 Carotenoides presentes en el tomate	24
2.7.4 Presencia de licopeno en diferentes variedades de tomate	25
2.8 Métodos y técnicas de extracción de licopeno	26
2.8.1 Métodos tradicionales	27
2.8.1.1 Extracción por solventes por agitación	27
2.8.1.2 Extracción por soxhlet	28
2.8.2 Métodos no tradicionales	28
2.8.2.1 Extracción asistida por microondas	28
2.8.2.2 Extracción por fluidos supercríticos	28
2.8.2.3 Extracción por pulsaciones eléctrica	29
2.8.2.4 Extracción de licopeno por degradación enzimática	30
2.8.2.5 Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	30
2.9 Selección del proceso experimental	32
2.9.1 Selección del proceso de extracción	34
2.9.2 Selección del tipo de solvente	36
2.10 Proceso de Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU)	37

2.10.1 Definición de ultrasonido	37
2.10.2 Mecanismo de Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU)	38
2.10.3 Principales parámetros a evaluar durante la extracción asistida por ultrasonido	40
2.10.3.1 Configuración del sonicador	41
2.10.3.2 Frecuencia e intensidad de la radiación	42
2.10.3.3 Tiempo de sonicación	42
2.10.3.4 Temperatura	42
2.10.3.5 Tipo de disolvente y relación soluto-disolvente	43
2.11 Factores que influyen en el proceso de obtención	44
2.11.1 Calor	45
2.11.2 Luz	45
2.11.3 Oxígeno	46
2.12 Purificación de licopeno	46
2.12.1 Cromatografía en capa fina	46
2.12.2 Cromatografía en columna	47
2.12.3 Cristalización de licopeno	48
2.12.4 Identificación cualitativa	49
2.13 Análisis del extracto de licopeno	49
2.13.1 Identificación de licopeno	49
2.13.2 Cuantificación de licopeno	51
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>PARTE EXPERIMENTAL</b>	
3.1 Descripción del método de investigación	52

3.1.1	Proceso de obtención de licopeno patrón	53
3.1.1.1	Recolección de la materia prima	55
3.1.1.2	Caracterización de la materia prima	55
3.1.1.3	Acondicionamiento de la materia prima	56
3.1.1.4	Triturado	56
3.1.1.5	Secado	56
3.1.1.6	Extracción	59
3.1.1.7	Separación y filtración	60
3.1.1.8	Evaporación	61
3.1.1.9	Cromatografía en capa fina y en columna de licopeno	62
3.1.1.9.1	Cromatografía en capa fina	62
3.1.1.9.2	Cromatografía en columna	64
3.1.1.10	Cristalización	68
3.1.1.11	Prueba cualitativa de Licopeno	69
3.1.1.12	Espectro de licopeno en UV-Vis	70
3.1.1.13	Elaboración de la curva espectrofotométrica	71
3.1.2	Proceso de extracción de licopeno de la cáscara de tomate	73
3.1.2.1	Diseño experimental	74
3.1.2.1.1	Factores	74
3.1.2.1.2	Niveles	74
3.1.2.1.3	Variable respuesta	75
3.1.2.1.4	Número de combinaciones	75
3.1.2.2	Descripción del proceso de extracción	77

3.1.1.2.1 Extracción	77
3.1.1.2.2 Separación	78
3.1.1.2.3 Filtración	78
3.1.1.2.4 Evaporación	78
3.1.1.2.5 Análisis espectrofotométrico	79
3.1.1.2.6 Cristalización	79
3.1.1.2.7 Almacenamiento	81
3.1.1.3 Determinación de licopeno inicial	82
3.2 Balance de materia y energía del proceso	84
3.2.1 Diagrama de flujo del proceso de extracción	86
3.2.2 Balance de materia	88
3.2.3 Balance de energía	96
3.2.3.2 Balance de energía en el proceso de preparación de la materia prima	96
3.2.3.3 Balance de energía secador	97
3.2.3.4 Balance en el rota-evaporador	98
3.2.3.5 Balance de energía en el sonicador	100
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	
4.1 Análisis de la materia prima	102
4.1.1 Resultados de los análisis de la materia prima	103
4.1.1.1 Composición de la materia prima	103
4.2 Resultados de los análisis del producto final	103
4.2.1 Análisis estadístico de los datos para la curva patrón	103

4.2.2 Datos experimentales del proceso de extracción	107
4.2.3 Determinación de licopeno inicial	116
4.3 Análisis estadístico del diseño experimental	118
4.3.1 Temperatura vs Rendimiento	125
4.3.2 Tiempo de extracción vs Rendimiento	127
4.4 Cálculos y resultados del balance de materia y energía	128
4.5 Análisis estimativo de los costos de producción a escala laboratorio	129
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1 Conclusiones	132
5.2 Recomendaciones	133
Referencias Bibliográficas	134

## **ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS**

Cuadro I-1 Bolivia: Superficie cultivada, producción y rendimiento del tomate.....	7
Cuadro I-2 Variedad de tomates producidos en el Valle central de Tarija, 2008.....	7
Tabla II-1 Taxonomía del Tomate.....	10
Tabla II-2 Composición química y nutricional del tomate maduro fresco.....	18
Tabla II-3 Propiedades del Licopeno.....	23
Tabla II-4 Cantidad de Licopeno presente en ciertos alimentos.....	24
Tabla II-5 Concentración de licopeno en distintos tipos de tomate.....	25

Tabla II-6 Contenido de licopeno en productos derivados del Tomate.....	26
Tabla II-7 Ventajas y Desventajas de Métodos de extracción tradicionales y no tradicionales.....	32
Tabla II-8 Selección del proceso de extracción.....	35
Tabla II-9 Matriz de Selección.....	36
Tabla II-10 Selección del tipo de solvente.....	37
Tabla II-11 Parámetros a evaluar durante la extracción asistida por Ultrasonido.....	40
Tabla II-12 Cantidad de licopeno obtenido por Extracción Ultrasónica.....	43
Tabla III-1 Material de laboratorio.....	54
Tabla III-2 Datos de elaboración de curva de secado a 70°C.....	58
Tabla III-3 Parámetros de control de la centrifugadora.....	61
Tabla III-4 Parámetros de control del rota-evaporador.....	62
Tabla III-5 Volúmenes para las soluciones hijas.....	72
Tabla III-6 Niveles de los factores.....	75
Tabla III-7 Codificación de las variables.....	75
Tabla III-8 Diseño Factorial para el proceso de extracción.....	76
Tabla III-9 Registro de Absorbancias.....	83
Tabla III-10 Datos de proceso de obtención de licopeno.....	84
Tabla III-11 Corrientes de proceso.....	86
Tabla IV-1 Composición de la materia prima.....	103
Tabla IV-2 Registro de absorbancias de las soluciones hijas.....	104
Tabla IV-3 Coeficientes <sup>a</sup> .....	104
Tabla IV-4 Cálculo de la concentración de licopeno extraída a 20 minutos y 7 °C.....	108

Tabla IV-5 Cálculo de la concentración de licopeno extraída a 35 minutos y 7 °C .....	109
Tabla IV-6 Cálculo de la concentración de licopeno extraída a 50 minutos y 7°C.....	110
Tabla IV-7 Cálculo de la concentración de licopeno extraída a 20 minutos y 20 °C.....	111
Tabla IV-8 Cálculo de la concentración de licopeno extraída a 35 minutos y 20 °C.....	112
Tabla IV-9 Cálculo de la concentración de licopeno extraída a 50 minutos y 20 °C.....	113
Tabla IV-10 Cálculo de la concentración de licopeno extraída a 20 minutos y 40 °C.....	114
Tabla IV-11 Cálculo de la concentración de licopeno extraída a 35 minutos y 40 °C.....	115
Tabla IV-12 Cálculo de la concentración de licopeno extraída a 50 minutos y 40 °C.....	116
Tabla IV-13 Cantidad de licopeno total por extracción ultrasónica.....	117
Tabla IV-14 Rendimiento del proceso de extracción en el sonicador.....	118
Tabla IV-15 Datos para el cálculo del análisis de varianza.....	119
Tabla IV-16 Factores Inter-Sujetos.....	122
Tabla IV-17 Análisis de Varianza.....	122
Tabla IV-18 Historial de iteraciones <sup>b</sup> .....	124
Tabla IV-19 Estimaciones de los parámetros.....	124
Tabla IV-20 ANOVA.....	125
Tabla IV- 21 Resultados del balance de materia.....	129
Tabla IV-22 Resumen de balance de energía.....	130
Tabla IV-23 Costos de producción.....	131

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Mercado Global de Carotenoides valorado por el tipo de producto, 2010 y 2018 (Millones de dólares) .....	5
Figura 2-1 Planta de Tomate.....	11
Figura 2-2 Flor de Tomate.....	12
Figura 2-3 Frutos de una planta de Tomate.....	13
Figura 2-4 Fruto del Tomate.....	14
Figura 2-5 Tejidos del mesocarpio, pericarpio y la célula del tomate.....	16
Figura 2-6 Estructura de los principales Carotenos.....	20
Figura 2-7 Estructura del licopeno.....	22
Figura 2-8 Perfil de carotenoides presentes en el tomate.....	24
Figura 2-9 Proceso para la obtención de licopeno, LycoRed.....	27
Figura 2-10 Equipos experimentales utilizados para la extracción asistida por Ultrasonido.....	31
Figura 2-11 Rango de frecuencias y su aplicación.....	38
Figura 2-12 Cavitación de microburbujas por efecto de sonicación.....	39
Figura 2-13 Ruptura de la pared celular.....	40
Figura 2-14. Equipo de ultrasonido tipo Horn y en baño ultrasónico.....	41
Figura 2-15 Efecto del tratamiento térmico en la degradación total de licopeno.....	45
Figura 2-17 Separación de componentes en Columna.....	47
Figura 2-17 Cristales de licopeno observados mediante microscopio.....	48
Figura 2-18 Licopeno sólido.....	49
Figura 2-19 Espectro de absorción visible del licopeno, $\gamma$ -caroteno, $\beta$ -caroteno y $\alpha$ -caroteno.....	50

Figura 3-1 Tomate variedad pera proveniente de la comunidad La Merced.....	55
Figura 3-2 Cáscara de tomate triturada.....	57
Figura 3-3 Curva de Secado.....	58
Figura 3-4 Cáscara de tomate seco al 11% de humedad.....	59
Figura 3-5 Cáscara de tomate y solvente en tubos Falcom.....	60
Figura 3-6 Centrifugación del extracto.....	60
Figura 3-7 Fase oleosa filtrada y separada.....	61
Figura 3-8 Evaporación del Extracto de licopeno.....	62
Figura 3-9 Cromatografía en capa fina.....	63
Figura 3-10 Extracto separado por cromatografía en capa fina.....	64
Figura 3-11 Columna empacada con silica gel.....	65
Figura 3-12 Corrida de la columna.....	66
Figura 3-13 Fracciones obtenidas de la columna.....	67
Figura 3-14 Cromatografía en capa fina de las fracciones purificadas.....	67
Figura 3-15 Cristales en solución saturada.....	68
Figura 3-16 Cristales y cromatografía de capa fina.....	68
Figura 3-17 Prueba de Identificación cualitativa de Licopeno.....	69
Figura 3-18 Espectro de licopeno UV-Vis.....	70
Figura 3-19 Solución Madre e Hijas para la elaboración de la curva espectrofotométrica.....	71
Figura 3-20 Extracción de la cáscara de tomate en el Sonicador.....	77
Figura 3-21 Mezcla solvente soluto después de la sonicación.....	77
Figura 3-22 Oleorresina evaporada y almacenada.....	78
Figura 3-23 Medición espectrofotométrica de los extractos.....	79

Figura 3-24 Cristalización de las soluciones concentradas en acetato de etilo..	80
Figura 3-25 Cristalización de la solución evaporada de diclorometano.....	80
Figura 3-26 Filtración de los cristales.....	81
Figura 3-27 Cristales secos de licopeno.....	81
Figura 3-28 Fase oleosa separada Primera y segunda extracción.....	82
Figura 3-29 Cambio de color de cáscara de tomate en la primera, segunda y tercera extracción.....	82
Figura 3-30 Extractos concentrados primera, segunda y tercera extracción.....	83
Figura 4-1 Curva patrón.....	105
Figura 4-2 Curva patrón ajustada expresada en concentración mol/L.....	106
Figura 4-3 Variación de la cantidad de licopeno extraída respecto a la temperatura y la relación masa: soluto a 20 minutos.....	126
Figura 4-4 Variación de la cantidad de licopeno extraída respecto a la temperatura y la relación masa: soluto a 35 minutos.....	127
Figura 4-5 Variación de la cantidad de licopeno extraída respecto a la temperatura y la relación masa: soluto a 50 minutos.....	127
Figura 4-6 Porcentaje de cantidad de licopeno extraído a diferentes temperaturas y tiempos para la relación 1:8 y 1:12.....	128

### **INDICE DE DIAGRAMAS**

Diagrama de Bloques III-1 Proceso de obtención de Licopeno Patrón.....	53
Diagrama III-2 Proceso experimental de extracción de Licopeno de la cáscara del tomate.....	73
Diagrama III-3 Flujo del proceso de extracción de licopeno del tomate.....	87

## **NÓMINA DE ANEXOS**

### **ANEXO I**

**ANÁLISIS FISIQUÍMICO DE LA CÁSCARA DEL TOMATE**

### **ANEXO II**

**RUTA METABÓLICA PARA LA BIOSÍNTESIS DE CAROTENOIDES**

### **ANEXO III**

**ESPECIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS**

### **ANEXO IV**

**DISEÑO FACTORIAL**

### **ANEXO V**

**ABSORBANCIAS UV/VISIBLE PARA CAROTENOIDES**

### **ANEXO VI**

**GALERÍA DE FOTOS**

## NOMENCLATURA, ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA UTILIZADA

Ha	hectáreas
Ton	toneladas
mg	miligramos
g	gramos
nm	nanómetros
µg	microgramos
ml	mililitros
µL	microlitros
m <sup>3</sup>	metro cúbico
mm	milímetros
gmol	gramo-mol
ppm	partes por millón
kV	kilovoltios
kHz	kilohertz
MHz	megahertz
GHz	gigahertz
W	wattios
Lux	Unidad de iluminancia del sistema internacional
bar	unidad de medida de presión, bares.
mbar	milibares
kPa	kilopascales
<i>g</i>	Fuerza gravitacional

rpm	revoluciones por minuto
kcal	kilocalorías
kJ	kilojoules
K	Kelvin
°C	Grados Celsius
kWh	kilowattio-hora, unidad de medida de energía
HPLC	High Performance Liquid Chromatography, Cromatografía líquida de alta eficacia.
UV-vis	Espectroscopia Ultravioleta-visible
FAO	Food and Agriculture Organization o de sus siglas en español, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
WHO	World Health Organization o de sus siglas en español OMS, Organización Mundial de la Salud
EFSA	European Food Safety Authority o de sus siglas en español, Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria.
EAU	Extracción Asistida por Ultrasonido
CEANID	Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences