

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE COLORANTE NATURAL “BETALAÍNA” A  
PARTIR DE REMOLACHA (VARIEDAD DETROIT)  
PRODUCIDA EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA**



**POR:**

**RAQUEL WENDY CARVALLO RAMÍREZ**

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

**Agosto de 2017**

**TARIJA-BOLIVIA**

Dedicado a mi Dios, el creador de todas las cosas, quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi madre, a quien le debo todo lo que soy como persona, por su apoyo, consejos, comprensión y amor; también a mis queridos compañeros, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante estos años compartiendo conocimientos y experiencias.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES .....	1
OBJETIVOS.....	10
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
JUSTIFICACIÓN.....	11

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Materia Prima: Remolacha (Beta Vulgaris).....	14
2.1.1. Origen de la Remolacha .....	14
2.1.2. Descripción Taxonómica de la planta de Remolacha.....	15
2.1.3. Morfología de la planta de Remolacha.....	16
2.1.4. Características Organolépticas .....	17
2.1.5. Remolacha Detroit.....	17
2.1.6. Composición química de la Remolacha .....	18
2.2. Colorantes .....	20
2.2.1. Colorantes Artificiales.....	20
2.2.2. Colorantes Naturales.....	21
2.3. Identificación del Producto: Betalaína.....	21
2.3.1. Características de la Betalaína.....	21
2.3.2. Aplicaciones .....	25

2.3.3.	Fuentes.....	26
2.3.4.	Reacciones químicas para obtención de Betalaínas .....	26
2.3.5.	Factores que afectan la Estabilidad de la Betalaína.....	33
2.4.	Métodos de Extracción de Betalaínas .....	35
2.4.1.	Extracción por Soxhlet .....	35
2.4.2.	Extracción por Fermentación.....	35
2.4.3.	Extracción por Cristalización .....	36
2.4.4.	Extracción por Micropartículas .....	36
2.4.5.	Extracción por Centrifugado .....	37
2.4.6.	Extracción por Compresión .....	37
2.5.	Descripción de solventes .....	38
2.5.1.	Alcohol Etílico.....	38
2.5.2.	Agua .....	38

### CAPÍTULO III

#### PARTE EXPERIMENTAL

3.1.	Descripción del método de investigación .....	40
3.1.1.	Caracterización microscópica del colorante.....	41
3.1.2.	Selección del Tipo de Solvente .....	42
3.1.3.	Proceso de obtención de Betalaína por Centrifugado.....	43
3.1.3.1.	Recepción de la materia prima .....	44
3.1.3.2.	Selección y Lavado .....	45
3.1.3.3.	Pelado .....	46
3.1.3.4.	Corte.....	46
3.1.3.5.	Pesado de la muestra .....	47

3.1.3.6.	Extracción con Solvente.....	47
3.1.3.7.	Centrifugado.....	48
3.1.3.8.	Almacenamiento.....	49
3.1.4.	Extracción por Compresión.....	50
3.1.4.1.	Recepción de la materia prima.....	51
3.1.4.2.	Selección y Lavado.....	51
3.1.4.3.	Pelado.....	51
3.1.4.4.	Rallado.....	51
3.1.4.5.	Pesado de la muestra.....	52
3.1.4.6.	Extracción con solvente.....	52
3.1.4.7.	Filtración.....	53
3.1.4.8.	Prensado.....	53
3.1.4.9.	Evaporación.....	54
3.1.4.10.	Almacenamiento.....	55
3.1.4.11.	Elaboración de la solución madre e hijas para análisis de espectrofotometría.....	55
3.1.5.	Selección del Proceso.....	57
3.1.5.1.	Proceso de extracción de betalaínas de la pulpa de Remolacha.....	57
3.1.6.	Diseño Experimental.....	59
3.1.6.1.	Factores.....	59
3.1.6.2.	Niveles.....	59
3.1.6.3.	Variable Respuesta.....	60
3.1.6.4.	Número de Combinaciones.....	60
3.1.6.5.	Descripción del proceso de Extracción.....	62

3.1.6.5.1.	Agitación .....	62
3.1.6.5.2.	Filtración .....	63
3.1.6.5.3.	Prensado .....	63
3.1.6.5.4.	Evaporación.....	64
3.1.6.5.5.	Almacenamiento.....	64
3.1.6.5.6.	Análisis cualitativo de betalaínas .....	64
3.1.6.5.7.	Análisis espectrofotométrico.....	67
3.2.	Balance de Materia y Energía .....	68
3.2.1.	Diagrama de Flujo del proceso de Extracción .....	69
3.2.2.	Balance de materia .....	71
3.2.3.	Balance de Energía.....	82

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1.	Análisis de la materia prima y producto final.....	85
4.1.1.	Resultados de los análisis de la materia prima .....	86
4.2.	Resultados de los análisis del producto final .....	86
4.2.1.	Análisis estadístico de los datos para la curva patrón .....	87
4.2.2.	Determinación de Betalaínas .....	89
4.2.3.	Cálculos y resultados del balance de materia y energía .....	92
4.3.	Análisis estimativos de los costos de producción a escala laboratorio.....	95

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones .....	97
5.2. Recomendaciones .....	98
BIBLIOGRAFÍA .....	99

### ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS

Tabla I-1: Producción mundial de Remolacha .....	2
Tabla I-2: Bolivia, Superficie y producción de remolacha 2007-2008, según cultivos, censo agropecuario 2008 .....	3
Tabla I-3: Tarija, superficie y producción de remolacha en las campañas de invierno 2012 y verano 2012-2013, según cultivos, censo agropecuario 2013 .....	3
Tabla I-4: Principales mercados importadores de materias colorantes de origen vegetal o animal año 2007, expresados en miles de dólares y en toneladas .....	6
Tabla I-5: Principales mercados exportadores de materias colorantes de origen vegetal o animal año 2007, expresados en miles de dólares y en toneladas .....	7
Tabla II-1 Taxonomía de la planta de Remolacha.....	15
Tabla II-2 Clasificación de la raíz de Remolacha.....	15
Tabla II-3: Información Nutricional de la Remolacha .....	18
Tabla II-4: Cuantificación de Betalaínas y Compuestos Fenólicos en la Remolacha .	19
Tabla II-5: Valores de constante dieléctrica y momento dipolar para etanol y agua. .	39
Tabla III-1: Selección del tipo de solvente.....	42
Tabla III-2: Características físicas de la materia prima.....	45
Tabla III-3: Volúmenes para las soluciones hijas.....	57
Tabla III-4: Selección del Proceso para obtención de Betalaínas .....	57
Tabla III-5: Niveles de los Factores .....	59

Tabla III-6: Codificación de las Variables .....	60
Tabla III-7: Diseño Factorial para el proceso de extracción .....	61
Tabla III-8: Registro de concentraciones de colorante en espectrofotometría .....	67
Tabla III-9: Datos de proceso de obtención de Betalaínas .....	68
Tabla III-10: Corrientes de Proceso.....	69
Tabla IV-1: Análisis de materia prima .....	86
Tabla IV-2 Análisis de producto final .....	86
Tabla IV-3: Condiciones del Espectrofotómetro.....	87
Tabla IV-4: Registro de absorbancias de las soluciones hijas.....	87
Tabla IV-5: Concentración del colorante .....	88
Tabla IV-6: Rendimiento del proceso de extracción .....	89
Tabla IV-7: ANOVA <sup>b</sup> .....	90
Tabla IV-8: COEFICIENTES <sup>a</sup> .....	90
Tabla IV-9: Resultados del balance de materia .....	92
Tabla IV-10: Resultados del balance de energía .....	95
Tabla IV-11: Costos de producción.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II-1: Morfología de la planta de Remolacha .....	17
Figura II-2: Fórmula General de las Betalaínas.....	22
Figura II-3: Vista microscópica de Betalaínas dentro de la Remolacha.....	23
Figura II-4: Estructura de las moléculas de Ácido Betalámico (a); Betacianinas (b) y	
Figura II-5: Coloración de compuestos dentro de las Betalaínas .....	26
Figura II-6: Síntesis biológica de Betalaínas .....	27
Figura II-7: Síntesis química del ácido betalámico .....	29



Figura II-8: Mecanismo de reacción para síntesis de ácido betalámico .....	30
Figura II-9: Reacciones Químicas de las Betalaínas .....	31
Figura II-10: Estructura básica de las Betacianinas más abundantes .....	32
Figura II-11: Estructura básica de las Betaxantinas más abundantes.....	33
Figura III-1: Vista microscópica de colorante en remolacha .....	41
Figura III-2: Ubicación geográfica del municipio El Puente .....	44
Figura III-3: Remolacha variedad Detroit proveniente del municipio El Puente.....	44
Figura III-4: Remolachas seleccionadas y lavadas.....	45
Figura III-5: Remolacha pelada manualmente .....	46
Figura III-6: Corte transversal de la remolacha.....	46
Figura III-7: Pesado de la materia prima .....	47
Figura III-8: Extracción con solvente en agitador magnético .....	48
Figura III-9: Centrifugadora .....	48
Figura III-10: Almacenamiento del producto en frascos de vidrio .....	49
Figura III-11: Rallado de la Remolacha .....	51
Figura III-12: Pesado de muestra .....	52
Figura III-13: Extracción con solvente en agitador magnético .....	52
Figura III-14: Filtración del producto.....	53
Figura III-15: Prensado de los sólidos residuales.....	53
Figura III-16: Evaporación y concentración del colorante en rota-vapor .....	54
Figura III-17: Almacenamiento del líquido obtenido.....	55
Figura III-18: Solución madre e hijas para la elaboración de la curva espectrofotométrica .....	55
Figura III-19: Extracción de Betalaínas en el agitador magnético .....	62

Figura III-20: Mezcla Betalaínas: Solvente después de la agitación.....	62
Figura III-21: Filtración del colorante luego de la agitación.....	63
Figura III-22: Compresión de la parte sólida separada en la filtración .....	63
Figura III-23: Almacenamiento del colorante .....	64
Figura III-24: Prueba cualitativa para presencia de Betalaínas con KOH.....	65
Figura III-25: Reacción cualitativa con hidróxido de potasio 0.5 N .....	65
Figura III-26: Prueba cualitativa para presencia de Betalaínas con NH <sub>3</sub> .....	66
Figura III-27: Reacción cualitativa con amoniaco .....	66
Figura III-28: Soluciones preparadas en cubas de cuarzo para análisis espectrofotométrico. .....	67
Figura IV-1: Variación de la concentración de Betalaínas vs Absorbancia .....	88
Figura IV-2: Rendimiento Observado y Rendimiento Calculado .....	91

#### ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama III-1: Diagrama de Bloques por Centrifugado .....	43
Diagrama III-2: Diagrama de Bloques del Proceso de Extracción por Compresión ...	50
Diagrama III-3: Proceso experimental de extracción de Betalaínas de la pulpa de remolacha .....	58
Diagrama III-4: Flujo del proceso de extracción de betalaínas de la remolacha.....	70

NÓMINA DE ANEXOS

ANEXO I

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA Y EL PRODUCTO

ANEXO II

RUTA METABÓLICA PARA LA BIOSÍNTESIS DE BETALAÍNAS

ANEXO III

SELECCIÓN DEL SOLVENTE Y PROCESO EN LA PARTE EXPERIMENTAL

ANEXO IV

SEGUNDA EXTRACCIÓN DEL COLORANTE CON SOLVENTE

ANEXO V

TRATAMIENTO DEL COLORANTE CON HIDRÓXIDO DE CALCIO

ANEXO VI

ESPECTRO DE BETALAÍNAS EN UV-VIS

ANEXO VII

DATOS ESTADÍSTICOS DE LA PARTE EXPERIMENTAL

ANEXO VIII

ANÁLISIS QUE REALIZA CEANID

ANEXO IX

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

ANEXO X

GALERÍA DE FOTOS