

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



**OBTENCIÓN DE CERA REFINADA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) A PARTIR DE CACHAZA GENERADA EN EL INGENIO AZUCARERO DE BERMEJO (I.A.B.S.A.) TARIJA (BOLIVIA)**

**Por:**

**JAKELINE ROSARIO ARAMAYO LUCANA**

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

**Septiembre de 2019**  
**TARIJA – BOLIVIA**

**V°B°**

---

Ing. Ernesto Álvarez González  
DECANO

---

Ing. Elizabeth Castro Figueroa  
VICEDECANA

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. José Ernesto Auad Aguirre

---

Ing. Norma Elizabeth Mendoza Farfán

---

Ing. José Johnny Mercado Rojas

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

Dedicado a Dios, mi fuerza de voluntad y sustento diario. A mi papá, mamá y hermano quienes me dieron las mejores raíces para crecer y alas para volar.

Agradezco a mi familia por su apoyo desinteresado en todos estos años. A mis docentes por ser un pilar fundamental en mi formación académica. Al Ing. Juan Carlos Vega por su valiosa y desinteresada colaboración. Al Ing. Mario Gallardo e Ing. Norma Mendoza de I.A.B.S.A. por la información y el material necesario para la ejecución del presente proyecto. Al Ing. Ignacio Velásquez por su ayuda con el análisis estadístico; Al Ing. Ernesto Auad e Ing. Johnny Mercado por su tiempo, consejos y exigencia para lograr un buen proyecto de investigación. A mis muy queridísimas amigas Evelin y Abigail; a todos mis amigos, quienes fueron partícipes de experiencias, conocimientos y gratas anécdotas durante estos años de vida universitaria.

A medida que crecemos vamos adquiriendo nuevas responsabilidades, hay tiempos buenos y malos, pero sin temor a equivocarme digo que lo aprendido fue lo mejor que dejaron esos tiempos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### RESUMEN

### CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

	<b>Página</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
1.2.1. Objetivo General .....	5
1.2.2. Objetivos Específicos .....	5
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>6</b>
1.3.1. Impacto Económico.....	6
1.3.2. Impacto Tecnológico.....	7
1.3.3. Impacto Social.....	7
1.3.4. Impacto Ambiental .....	7

### CAPÍTULO II

### CONSIDERACIONES DE LA MATERIA PRIMA Y EL PRODUCTO

<b>II. CONSIDERACIONES DE LA MATERIA PRIMA Y EL PRODUCTO .....</b>	<b>9</b>
2.1. Consideraciones de la cachaza .....	9
2.1.1 La industria azucarera en el sur de Bolivia .....	9
2.1.2. Subproductos de Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima.....	10
2.1.3. La cachaza como subproducto .....	12

2.1.4. Cantidad de cachaza generada en Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima .....	14
2.2. Consideraciones de la cera de caña de azúcar .....	16
2.2.1. Generalidades de las ceras.....	16
2.2.2. Ceras naturales .....	17
2.2.3. Ceras vegetales .....	18
2.2.4. Aspectos generales del mercado de ceras vegetales.....	22
2.2.5. Caracterización de la cera refinada de caña de azúcar .....	24

### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO TEÓRICO**

<b>III. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
3.1. Característica y composición de la cera cruda de caña de azúcar y sus fracciones....	26
3.1.1. Composición de las ceras de cutícula de caña de azúcar .....	26
3.1.2. Cera cruda de caña de azúcar .....	26
3.1.3. Usos y aplicaciones de la cera de caña de azúcar .....	31
3.2. Procesos tecnológicos empleados para extracción de cera de caña de azúcar .....	33
3.2.1. Procesos tecnológicos estudiados a través de los años para extracción de la cera de caña de azúcar .....	34
3.2.2. Teoría de los métodos de extracción .....	35
3.2.3. Métodos experimentales de extracción de cera de caña de azúcar .....	38
3.2.4. Tecnología experimental de refinación de la cera cruda de caña de azúcar.....	41



3.3. Variables que influyen en el proceso de extracción .....	41
3.4. Parámetros de control para caracterizar la cera de caña de azúcar .....	43

## **CAPÍTULO IV**

### **DESCRIPCIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL**

<b>IV. DESCRIPCIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>45</b>
4.1. Metodología de investigación .....	45
4.1.1. Selección del proceso de obtención de cera cruda de caña de azúcar a partir de cachaza .....	45
4.1.2. Refinación de la cera cruda de caña de azúcar a partir de la cachaza .....	50
4.2. Diseño factorial .....	50
4.2.1. Identificación de las variables .....	51
4.3. Materiales usados en la investigación .....	54
4.3.1. Descripción y análisis de la cachaza .....	54
4.3.2. Reactivos usados en la investigación .....	59
4.3.3. Equipos, instrumentos y materiales usados en laboratorio .....	60
4.4. Diagrama de bloques del proceso experimental de obtención de cera refinada a partir de cachaza generada en I.A.B.S.A. ....	61
4.5. Descripción del diagrama de bloques del proceso de obtención de cera refinada de caña de azúcar a partir de cachaza generada en I.A.B.S.A. ....	62
4.5.1. Recolección de la cachaza.....	63
4.5.2. Secado .....	64
4.5.3. Molienda.....	67
4.5.4. Extracción.....	69
4.5.5. Filtración .....	72

4.5.6. Evaporación.....	74
4.5.7. Primera etapa de refinación.....	76
4.5.8. Segunda etapa de refinación.....	79
4.6. Análisis de la cera refinada .....	84
4.7. Pruebas de aceptación o pruebas hedónicas .....	85
4.8. Diagrama de flujo y balance de materia y energía del proceso.....	87
4.8.1. Balance de materia del proceso de obtención de cera de caña de azúcar a partir de cachaza generada en I.A.B.S.A. ....	91

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>109</b>
5.1. Resultados de análisis físico - químico de la cachaza del ingenio azucarero de Bermejo .....	109
5.1.2. Resultado análisis granulométrico de la cachaza .....	110
5.2. Análisis estadístico de resultados experimentales de la extracción de cera refinada de caña de azucara a partir de cachaza.....	111
5.2.1. Cálculo del análisis de varianza .....	114
5.2.2. Regresión de los resultados de obtención de cera refinada de caña de azúcar a partir de cachaza.....	116
5.2.3. Determinación de los parámetros óptimos para la obtención de cera refinada de caña de azúcar a partir de cachaza .....	119
5.3. Rendimiento del proceso de extracción de cera refinada de caña de azúcar a partir de cachaza .....	123
5.4. Resultados de la caracterización de cera refinada de caña de azúcar a partir de cachaza .....	124

5.5. Comparación de la cera de caña de azúcar con otras ceras vegetales .....	126
5.6. Resultados de pruebas hedónicas realizadas para la cera refinada de caña de azúcar .....	128
5.7. Resultados del balance de materia y energía del proceso .....	132

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>137</b>
6.1. Conclusiones .....	137
6.2. Recomendaciones.....	140

## Índice de Tablas

	<b>Página</b>
Tabla I-1 Diversificación de productos en los Ingenios azucareros de Bolivia.....	2
Tabla I-2 Producción de caña de azúcar en Bolivia.....	3
Tabla I-3 Cantidad de caña procesada en I.A.B.S.A. (2012 - 2017).....	4
Tabla II-1 Subproductos de la industria azucarera.....	11
Tabla II-2 Composición física de la cachaza generada en I.A.B.S.A. ....	13
Tabla II-3 Composición química de la cachaza generada en I.A.B.S.A. ....	14
Tabla II-4 Porcentaje de cachaza generada en I.A.B.S.A. en los últimos seis años ...	15
Tabla II-5 Cantidad de cachaza generada en I.A.B.S.A. en los últimos seis años.....	15
Tabla II-6 Ejemplo del mecanismo de esterificación o formación de ceras .....	16
Tabla II-7 Principales países consumidores de ceras naturales .....	22
Tabla II-8 Principales países competidores de ceras vegetales.....	23
Tabla II-9 Precio de las ceras vegetales en dólares americanos.....	23
Tabla II-10 Composición química de la cera de caña de azúcar.....	24
Tabla II-11 Propiedades físicas de la cera de caña de azúcar .....	25
Tabla III-1 Constituyentes de la cera de cutícula.....	26
Tabla III-2 Propiedades físico - químicas de la cera cruda de cachaza .....	27
Tabla III-3 Contenido de cera cruda de cachaza de algunos países .....	28
Tabla III-4 Porcentaje de los componentes de la cera cruda.....	28
Tabla III-5 Propiedades de la cera dura .....	29
Tabla III-6 Propiedades del aceite de cachaza .....	29
Tabla III-7 Propiedades de la resina.....	31

Tabla III-8 Usos de la cera cruda de caña de azúcar.....	31
Tabla III-9 Usos de los derivados de la cera cruda de caña de azúcar.....	32
Tabla III-10 Ventajas y desventajas del proceso de Merz.....	39
Tabla III-11 Ventajas y desventajas del proceso Sweenson.....	40
Tabla IV-1 Escala de calificación.....	45
Tabla IV-2 Selección del procesos de extracción de cera de caña de azúcar.....	46
Tabla IV-3 Matriz de decisión para el tipo de proceso de extracción de cera de caña de azúcar.....	49
Tabla IV-4 Niveles de variación de los factores.....	52
Tabla IV-5 Matriz de diseño con factor específico.....	53
Tabla IV-6 Matriz de diseño.....	53
Tabla IV-7 Matriz de diseño factorial.....	54
Tabla IV-8 Cuadro de resultados de densidad aparente de la cachaza.....	57
Tabla IV-9 Análisis granulométrico de la cachaza.....	58
Tabla IV-10 Especificaciones del etanol 96 °GL.....	59
Tabla IV-11 Material e instrumentos usados en laboratorio.....	61
Tabla IV-12 Datos para la elaboración de la curva de secado.....	65
Tabla IV-13 Etapas de extracción de cera cruda.....	71
Tabla IV-14 Escala para prueba hedónica de 5 puntos.....	86
Tabla IV-15 Datos experimentales para la realización del balance de materia y energía.....	87
Tabla IV-16 Nomenclatura del diagrama de flujo.....	91
Tabla IV-17 Corrientes del proceso.....	91
Tabla V-1 Composición físico - química de la cachaza de I.A.B.S.A.....	109

Tabla V-2 Resultado análisis granulométrico .....	111
Tabla V-3 Datos experimentales del proceso de extracción de cera de caña de azúcar .....	113
Tabla V-4 Datos para el cálculo del análisis de varianza.....	114
Tabla V-5 Factores inter - sujetos .....	115
Tabla V-6 Análisis de varianza aplicado a datos experimentales del proceso de obtención de cera de caña de azúcar .....	115
Tabla V-7 Cuadro de variables introducidas - eliminadas .....	116
Tabla V-8 Resumen de los coeficientes de correlación y determinación .....	117
Tabla V-9 Análisis de regresión de las variables en estudio.....	117
Tabla V -10 Coeficientes para construir el modelo de regresión.....	118
Tabla V-11 Datos experimentales del proceso de obtención de cera de caña de azúcar .....	120
Tabla V-12 Condiciones de operación recomendada para el proceso de extracción de cera refinada de caña de azúcar a partir de cachaza.....	122
Tabla V-13 Características Físico - químicas de la cera refinada de caña de azúcar	124
Tabla V-14 Comparación de la cera de caña obtenida con la cera de candelilla .....	126
Tabla V-15 Comparación de la cera de caña obtenida y la cera de carnauba.....	127
Tabla V-16 Calificación de pruebas hedónicas realizado para cera de caña de azúcar a partir de cachaza.....	129
Tabla V-17 Resultado final para las pruebas hedónicas .....	131
Tabla V-18 Resultados del balance de materia .....	133
Tabla V-19 Resultados del balance de energía .....	136

## Índice de Figuras

	<b>Página</b>
Figura 2 -1 Diagrama de bloques de producción de azúcar (I.A.B.S.A.) .....	10
Figura 3-1 Proceso de extracción por lixiviación .....	36
Figura 3-2 Proceso de extracción líquido – líquido .....	37
Figura 4-1 Cachaza húmeda sacada de los filtros rotativos de vacío.....	56
Figura 4-2 Gráfica de porcentaje acumulado vs. N° de malla .....	58
Figura 4-3 Diagrama de bloques del proceso de extracción de cera refinada de caña de azúcar a partir de cachaza .....	62
Figura 4-4 Recolección de la cachaza desde los filtros rotativos al vacío de I.A.B.S.A. ....	63
Figura 4-5 Secado de la cachaza .....	64
Figura 4-6 Curva de secado.....	66
Figura 4-7 Molienda de la cachaza .....	67
Figura 4-8 Cachaza molida .....	68
Figura 4-9 Pre calentamiento del solvente .....	69
Figura 4-10 Sistema de extracción de cera cruda.....	70
Figura 4-11 Determinación de las etapas de extracción de la cera cruda .....	71
Figura 4-12 Contenido de cera cruda en cada extracción .....	72
Figura 4-13 Primera filtración.....	73
Figura 4-14 Segunda filtración .....	74
Figura 4-15 Evaporación del etanol de la solución solvente – cera cruda .....	75
Figura 4 -16 Cera cruda de caña de azúcar .....	76
Figura 4-17 Extracción del aceite de cachaza .....	77

Figura 4-18 Filtración de la solución solvente - aceite .....	78
Figura 4-19 Evaporación de solvente y recuperación del aceite de cachaza .....	79
Figura 4-20 Mezcla de cera y resina .....	80
Figura 4-21 Extracción de la resina .....	81
Figura 4 -22 Filtración de la solución cera – solvente .....	82
Figura 4-23 Evaporación del solvente.....	83
Figura 4-24 Cera de caña de azúcar .....	84
Figura 4-25 Pruebas hedónicas .....	86
Figura 4-26 Diagrama de bloques – flujo general del proceso de extracción de cera de caña de azúcar a partir de cachaza .....	89
Figura 4-27 Diagrama de flujo del proceso de extracción de cera de caña de azúcar a partir de cachaza.....	90
Figura 5-1 Rendimiento de cera frente a temperatura de extracción .....	121
Figura 5-2 Rendimiento de cera de caña de azúcar.....	121
Figura 5-3 Resultados de las pruebas hedónicas.....	131



## Índice de Anexos

	<b>Página</b>
<b>ANEXO A</b> .....	147
<b>ANEXO B</b> .....	150
<b>ANEXO C</b> .....	153
<b>ANEXO D</b> .....	157
<b>ANEXO E</b> .....	161
<b>ANEXO F</b> .....	163
<b>ANEXO G</b> .....	170
<b>ANEXO H</b> .....	173

## NOMENCLATURA

<b>Abreviatura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
kg	Masa	kilogramo
km	Distancia	kilometro
t <sub>extrac.</sub>	Tiempo de extracción	h
T	Temperatura	°C
T.C.D	Toneladas de caña por día	t / día
t	Masa	toneladas
tm	Toneladas métricas	toneladas métricas
Pa	Pascal	kg / m <sup>2</sup>
% Pol	Porcentaje de sacarosa aparente	
% MO	Porcentaje de materia orgánica	
P	Potencia	kW
g	Masa	g
Etc.	Etcétera	etc.
A <sub>1</sub>	Temperatura 65 °C	°C
A <sub>2</sub>	Temperatura 70 °C	°C
B <sub>1</sub>	Tiempo de extracción 1 h	h
B <sub>2</sub>	Tiempo de extracción 1,5 h	h

$B_3$	Tiempo de extracción 2 h	h
R	Variable respuesta	%
$N_{exp}$	Número de experimentos	
$F_A$	Factor A	
$F_B$	Factor B	
W	Peso cachaza húmeda	g
PSs	Porcentaje peso cachaza seca	%
Q	Energía	kcal
$Q_{GV}$	Energía de generación de vapor	kcal
mv	Masa vapor	kg
$C_p$	Capacidad calorífica	kcal / kg °C
$T_f$	Temperatura final	°C
$T_o$	Temperatura inicial	°C
$\Delta v$	Calor latente de vaporización del etanol	kcal / kg