

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

**ELABORACIÓN DE UN EDULCORANTE LÍQUIDO**  
**DE STEVIA**



**Por:**

**Valeria Cecilia Vilar Orosco**

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

**Abril-2016**

**TARIJA-BOLIVIA**

V°B°

---

M.Sc. Ing. Ernesto Albares Gonzalvez  
**DECANO**

---

M.Sc. Ing. Silvana Paz  
**VIDECANA**

---

M.Sc. Ing. Rene Michel Cortes  
**DIRECTOR**  
**DPTO. DE PROCESOS INDUSTRIALES**

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

---

**NOMBRE Ing. José Ernesto Auad Aguirre**

---

**NOMBRE Ing. David Blades Medrano**

---

**NOMBRE Ing. Miguel Vargas Coro**

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

Dedicado a todos aquellos que me brindaron su apoyo, paciencia y comprensión, en la decisión y duración de la ejecución de este trabajo de investigación.

Mi sincero agradecimiento:

A Dios, por darme esperanza y fortaleza, para seguir adelante.

A toda mi familia: padres, hermanos, tíos, primos y amigos que me brindaron su apoyo incondicional cuando lo necesite.

A la colaboración de bodegas Kohlberg, la cámara de la stevia Bolivia y al sr Luis Ruesjas

A los ingenieros: Rafael pando, Ignacio Velásquez, pablo Herbas, Luis López, Iván Medina y Erik Ramírez

A mis mascotas por darme su compañía y afecto en los momentos difíciles.

Mil puertas podrán cerrarse frente a mí, pero  
Dios abrirá una sola, que hará la gran diferencia.

## ÍNDICE

	Páginas
Advertencia .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Pensamiento .....	iv
Resumen .....	v

## INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES .....	1
OBJETIVOS .....	2
OBJETIVO GENERAL .....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
JUSTIFICACIÓN .....	3

## MARCO TEÓRICO I

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA STEVIA .....	5
1.2 OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	6
1.3 MANEJO DEL CORTE DE LAS PLANTAS DE STEVIA .....	6
1.4 SECADO DE LAS HOJAS DE STEVIA .....	7
1.5 EMBOLSADO PARA EL ALMACENAMIENTO DE LAS HOJAS DE STEVIA .....	7
1.6 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS .....	8
1.7 Estructura .....	8
1.7.1 Nombres químicos de los componentes de las hojas de Stevia (European Stevia Association, eustas 2006) .....	9
1.8 EDULCORANTES .....	10

1.8.1 EDULCORANTES CALÓRICOS .....	11
1.8.2 EDULCORANTES NO CALÓRICOS .....	11
1.8.2.1 EDULCORANTES NO CALÓRICOS SINTÉTICOS.....	11
1.8.2.2 EDULCORANTES NO CALÓRICOS NATURALES.....	12
1.9 COLOIDES.....	14
1.9.1 PROPIEDADES O EFECTOS DE LAS DISOLUCIONES COLOIDALES.....	15
1.10 ADSORCIÓN.....	15
1.11 CLARIFICACIÓN.....	16
1.11.1 COAGULACIÓN.....	16
1.11.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN.....	16
1.11.3 MATERIALES AYUDANTES DE COAGULACIÓN.....	17
1.11.4 AGENTES CLARIFICANTES.....	18
1.11.5 FLOCULACIÓN.....	18
1.11.6 SEDIMENTACIÓN.....	19
1.11.6.1 TIPOS DE SEDIMENTACIÓN.....	19
1.11.7 FILTRACIÓN.....	19
1.11.7.1 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN.....	20
1.11.7.2 TIPOS DE FILTRACIÓN.....	20
1.11.7.3 MEDIO FILTRANTE.....	21
1.11.7.4 TIPOS DE FILTROS .....	22
1.11.7.5 MATERIALES AYUDA FILTROS.....	22
1.11.7.6 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS DE FILTRACIÓN .....	24
1.11.7.7 FILTRACIÓN CLARIFICANTE.....	24
1.12. EVAPORACIÓN .....	24
1.13 ANALISIS BÁSICO DE LOS ALIMENTOS .....	24
1.13.1 LA BROMATOLOGÍA.....	25
1.14 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LOS ALIMENTOS .....	26

	Páginas
1.14.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ALIMENTOS.....	26
1.14.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ALIMENTOS.....	26
1.15 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN.....	28
1.15.1 LA PURIFICACIÓN DEL EXTRACTO POR MEDIO DEL PROTOCOLO CHAGAS SPACE DE LA UNIVERSIDAD EARTH.....	28
1.15.2 METODOS DE EXTRACCION DE IMAT.....	29
1.15.2.1 Extracto de ka'a he'e / "Bio_Ka'a he'e ALFA".....	29
1.15.2.2 Extracto de ka'a he'e / "Bio_Ka'a he'e BETA".....	29
1.16 MÉTODO PARA LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA STEVIA REBAUDIANA (M. Bravo AN. Ale B D. Rivera C., J. Huamán M. D. Delmás R M. Rodríguez B., M. Polo S., M. Bautista).....	30
1.17 EL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	31
1.17.1 DISEÑO FACTORIAL.....	31
1.17.2 PASOS PARA LA PLANEACIÓN Y REALIZACIÓN DE UN EXPERIMENTO.....	31
1.17.3 CONSTRUCCIÓN DE UN DISEÑO FACTORIAL COMPLETO $2^K$ .....	32
1.17.4 REPRESENTACIÓN DE LA MATRIZ EXPERIMENTAL $2^2$ .....	32
1.17.5 ESTIMACIÓN DE LOS EFECTOS PROMEDIO DE LOS FACTORES.....	33
1.17.6 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL $2^2$ .....	36
1.17.7 REPRESENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) EN EL DISEÑO $2^2$ .....	38

**CAPÍTULO II**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	39
2.1.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA .....	39
2.1.2 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA .....	40
2.1.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA MATERIA PRIMA .....	40
2.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	41
2.3. MÉTODOS Y MATERIALES .....	41
2.4 PROCESOS DE EXTRACCIÓN .....	42
2.5 PROCEDIMIENTOS PARA LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN .....	45
2.5.1 MEDICIONES DE LOS EXTRACTOS OBTENIDOS .....	46
2.5.1.1 MEDICIONES DEL EL EXTRACTO OBTENIDO A TEMPERATURA DE EBULLICIÓN EVAPORANDO EL AGUA POR 90 MINUTOS .....	46
2.5.1.2 MEDICIONES DEL EXTRACTO OBTENIDO A TEMPERATURA DE EBULLICIÓN EVAPORANDO EL AGUA POR 30 MINUTOS .....	47
2.5.1.3 MEDICIONES DEL EL EXTRACTO OBTENIDO A TEMPERATURA DE 70 °C .....	47
2.5.2 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA EN LA DETERMINACIÓN DE LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN .....	47
2.6 DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	48
2.6.1 MATERIAL BIOLÓGICO .....	48
2.6.2 PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES .....	48
2.6.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO .....	48
2.6.3 ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE EDULCORANTE .....	49
2.6.3.1 PRIMERA ETAPA .....	49

2.6.3.2 SEGUNDA ETAPA.....	49
2.6.3.3 TERCERA ETAPA.....	49
2.6.3.4 CUARTA ETAPA .....	49
2.6.3.5 QUINTA ETAPA.....	49
2.6.3.6 SEXTA ETAPA .....	49
2.6.3.7 SÉPTIMA ETAPA.....	49
2.6.3.8 OCTAVA ETAPA .....	49
2.6.3.9 NOVENA ETAPA .....	50
2.6.3.10 DÉCIMA ETAPA .....	50
2.7 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA PRIMERA ETAPA .....	50
2.7.1 MOLIENDA DE LA MATERIA PRIMA .....	50
2.8 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA SEGUNDA ETAPA .....	51
2.8.1 OBTENCIÓN DEL EXTRACTO SELECCIONADO PARA CLARIFICAR.....	51
2.9. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA TERCERA ETAPA.....	51
2.9.1 PROCESO DE ESTERILIZACIÓN DEL MATERIAL DE LABORATORIO A UTILIZAR.....	51
2.10 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA CUARTA ETAPA.....	54
2.10.1 ENSAYO PARA OBTENER LOS POSIBLES FACTORES Y VALOR APROXIMADO DE EL DOMINIO EXPERIMENTAL EN LA CLARIFICACIÓN CON GELATINA BLOOM 240.....	54
2.11 ENSAYO PARA OBTENER LOS POSIBLES FACTORES Y EL VALOR APROXIMADO DEL DOMINIO EXPERIMENTAL DE LA CLARIFICACIÓN MEZCLA DE LA BENTONITA SÓDICA, ALCOHOL ETÍLICO Y AGUA DESTILADA .....	56

2.12 ENSAYO PARA OBTENER LOS POSIBLES FACTORES Y EL VALOR APROXIMADO DE EL DOMINIO EXPERIMENTAL DE LA CLARIFICACIÓN DE LA MEZCLA BENTONITA SÓDICA CON AGUA.....	58
2.13 ENSAYO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS POSIBLES FACTORES Y EL VALOR APROXIMADO DEL EL DOMINIO EXPERIMENTAL DE LA CLARIFICACIÓN CON EL AGENTE BENTONITA SÓDICA.....	60
2.14 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA EN LA DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES Y DOMINIOS EXPERIMENTALES PARA LOS DIFERENTES AGENTES CLARIFICANTES .....	61
2.15 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO PARA DISEÑO FACTORIAL CORRESPONDIENTE AL AGENTE CLARIFICANTE GELATINA BLOOM 240 .....	63
2.15.1 DISEÑO FACTORIAL PARA EL AGENTE CLARIFICANTE GELATINA BLOOM 240 .....	64
2.15.2 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA LA CLARIFICACIÓN CON GELATINA BLOOM 240.....	66
2.16 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO FACTORIAL DE LA CLARIFICACIÓN CON EL AGENTE MEZCLA DE BENTONITA SÓDICA CON AGUA DESTILADA .....	67
2.16.1 DISEÑO FACTORIAL PARA EL AGENTE CLARIFICANTE MEZCLA DE BENTONITA SÓDICA CON AGUA DESTILADA.....	69
2.16.2 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA LA CLARIFICACIÓN CON LA MEZCLA BENTONITA SÓDICA CON AGUA DESTILADA.....	71

2.17 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO FACTORIAL CORRESPONDIENTE AL AGENTE CLARIFICANTE BENTONITA SÓDICA.....	72
2.17.1 DISEÑO FACTORIAL PARA EL AGENTE CLARIFICANTE BENTONITA SÓDICA .....	74
2.17.2 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA LA CLARIFICACIÓN CON BENTONITA SÓDICA.....	75
2.18 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA CUARTA ETAPA.....	76
2.18.1 ENSAYO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD MÁS ÓPTIMA DE BENTONITA SÓDICA PARA CLARIFICAR EL EXTRACTO DE STEVIA SELECCIONADO.....	77
2.19 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA QUINTA ETAPA.....	78
2.19.1 ENSAYO PARA DETERMINAR UNA CANTIDAD MÁS ÓPTIMA DE CARBÓN ACTIVADO PARA UNA SEGUNDA Y DESODORIZACIÓN DEL EXTRACTO TRATADO .....	78
2.20 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA SEXTA ETAPA .....	80
2.20.1 ENSAYO DE FILTRACIÓN AL VACÍO CON TIERRAS DIATOMEAS DEL EXTRACTO PREVIAMENTE CLARIFICADO .....	80
2.21 DESARROLLO DE LA SÉPTIMA ETAPA.....	83
2.21.1 CLARIFICACIÓN DEL EXTRACTO DE STEVIA CON BENTONITA SÓDICA Y CARBÓN ACTIVADO GRANULADO .....	83
2.22 DESARROLLO DE LA OCTAVA Y NOVENA ETAPA .....	83
2.22.1 CONCENTRACIÓN POR EVAPORACIÓN Y ENVASADO .....	83
2.23 DESARROLLO DE LA DECIMA ETAPA.....	85
2.23.1 ENSAYO PARA EL ANÁLISIS SENSORIAL DEL EDULCORANTE OBTENIDO .....	85

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LOS TRES PROCESOS DE EXTRACCIÓN .....	86
3.1.1 ANÁLISIS DEL EXTRACTO SELECCIONADO.....	86
3.2 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACIÓN .....	87
3.2.1 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LA CLARIFICACIÓN CON GELATINA BLOOM 240 .....	87
3.2.2 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LA CLARIFICACIÓN CON LA MEZCLA BENTONITA CON AGUA DESTILADA.....	87
3.2.3 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LA CLARIFICACIÓN CON BENTONITA SÓDICA .....	88
3.3 SELECCIÓN DEL AGENTE CLARIFICANTE .....	88
3.4 ANÁLISIS DE LA CANTIDAD ÓPTIMA DE BENTONITA SÓDICA PARA CLARIFICAR EL EXTRACTO DE STEVIA SELECCIONADO.....	89
3.5 ANÁLISIS DE LA CANTIDAD DE CARBÓN ACTIVADO PARA UNA DESODORIZACIÓN Y UNA SEGUNDA CLARIFICACIÓN DEL EXTRACTO SELECCIONADO .....	89
3.6 ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LA FILTRACIÓN AL VACÍO CON TIERRAS DIATOMEAS.....	90
3.7 CONTROL DE CALIDAD GENERAL DEL EDULCORANTE .....	90
3.7.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO (FILTRADO AL VACÍO CON DIATOMEAS) .....	91
3.7.1.1 RESULTADO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	91
3.7.1.2 RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	91
3.7.1.3 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.....	92

3.7.2 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO (SIN FILTRACIÓN CON DIATOMEAS).....	93
3.7.2.1 RESULTADO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	93
3.7.2.2 RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	93
3.7.2.3 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.....	94
3.7.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE AMBOS PRODUCTOS .....	94
3.8 RESULTADO DE LAS CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS .....	95
3.8.1 RESULTADO PARA LA PRUEBA SENSORIAL DE SABOR.....	95
3.8.1.1 ANÁLISIS DEL RESULTADO DE LA PRUEBA SENSORIAL DE SABOR .....	96
3.8.2 RESULTADO PARA LA PRUEBA SENSORIAL DE AROMA .....	97
3.8.2.1 ANÁLISIS DEL RESULTADO DE LA PRUEBA SENSORIAL DE AROMA.....	98
3.9 ANÁLISIS DE LA CANTIDAD RESULTANTE DE LOS PROCESOS.....	99
3.9.1 BALANCE DE MATERIA .....	99
3.9.1.1 BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN.....	99
3.9.1.2 BALANCE DE MATERIA PARA LA PRIMERA CLARIFICACIÓN CON BENTONITA SÓDICA .....	99
3.9.1.3 BALANCE DE MATERIA PARA LA SEGUNDA CLARIFICACIÓN Y DESODORIZACIÓN CON CARBÓN ACTIVADO .....	100
3.9.1.4 BALANCE DE MATERIA PARA LA EVAPORACIÓN DE APROXIMADAMENTE EL 50 % DE LA SOLUCIÓN EXTRACTORA.....	100
3.9.2 ANÁLISIS DE LAS CANTIDADES OBTENIDAS DESPUÉS DE LAS RESPECTIVAS CLARIFICACIONES.....	100

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES .....	101
4.2 RECOMENDACIONES .....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	105

#### Índice de Cuadros y/o Tablas

Tabla I-1 propiedades de la stevia.....	9
Cuadro1-1 edulcorantes no calóricos sintéticos.....	12
Cuadro 1-2 edulcorantes naturales.....	13
Tabla I-2 información nutricional del edulcorante comercial de stevia.....	13
Tabla I-3 Matriz experimental del diseño factorial.....	33
Tabla I-4 ANOVA para el diseño factorial 2 <sup>2</sup> .....	38
Tabla II-1 para Análisis de Varianza (ANOVA) para elegir la variable del proceso alimenticio.....	.66
Tabla II-2 Análisis de Varianza (ANOVA) para elegir la variable del proceso alimenticio.....	70
Tabla II-3 Análisis de Varianza (ANOVA) para elegir la variable del proceso alimenticio.....	75

#### Índice de Figuras

Fig1-1.....	5
Fig 1-2 (corte).....	6
Fig 1-3 (secado).....	7

	Páginas
Fig 1-4 .....	8
Figura 1-5 (proceso de clarificación) .....	16
Fig 1-6 .....	34
Fig 2-1 (materia prima) .....	39
Fig. 2-2 (refractómetro).....	44
Fig. 2-3 (peachímetro).....	44
Fig 2-4 (material para el ensayo de extracción para la obtencion de extracto Con evaporación de 30 y 90 minutos) .....	46
Fig 2-5 (material para la extarcción a 70 °C).....	46
Fig. 2-6 ( molino de cuchillas) .....	50
Fig. 2-7 (material a esterilizar para los primeros ensayos) .....	53
Fig. 2-8 (material envuelto para colocar en la canasta del autoclave) .....	53
Fig. 2-9 (autoclave) .....	54
Fig 2-10 (conservante sorbato de potasio y extracto a tratar) .....	55
Fig. 2-11(Extracto con agente clarificantes bentonita sódica y ácido cítrico anhidro después de varios días de reposo) .....	62
Fig.2-12 (materiales usados para el ensayo de clarificación con gelatina Bloom 240 y bentonita sódica con y sin agua) .....	63
Fig2-13 (Reactivos extracto y gelatina Bloom 240) .....	64
Fig 2-14 (Reactivos para el ensayo de la clarificación con bentonita sódica con agua).....	68
Fig 2-15 (frascos de ensayos preliminares y diseño experimental con sus replicas).....	72
Fig. 2-16 (bentonita sódica y extracto de stevia) .....	73
Fig 2-17 (carbón activado para clarificar y desodorizar) .....	79
Fig 2-18 (adición del carbón activado al extracto a tratar) .....	80
Fig 2-19 (materiales para la filtracion al vacío) .....	82
Fig 2-20( restos de las diatomeas despues de la filtración al vacío) .....	82

	Páginas
Fig 2-21 (evaporación del extracto clarificado y desodorizado con y sin filtración con diatomeas.....	84

## ANEXOS

### ANEXO1

ENCONTRANDO LOS CONTRASTES PARA LOS EFECTOS PRINCIPALES E INTERACCIONES PARA EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN CON GELATINA BLOOM240 .....	109
--	-----

### ANEXO2

ENCONTRANDO LOS CONTRASTES PARA LOS EFECTO PRINCIPALES E INTERACCIONES PARA EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN CON LA MEZCLA BENTONITA SÓDICA CON AGUA DESTILDA .....	112
--	-----

### ANEXO3

ENCONTRANDO LOS CONTRASTES PARA LOS EFECTOS PRINCIPALES E INTERACCIONES PARA EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN CON BENTONITA SÓDICA .....	115
---	-----

### ANEXO4

Informes de laboratorio, tablas, encuestas y fotos.....	118
---	-----