

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**PROYECTO DE GRADO**



**OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE ETANOL MEDIANTE UN  
TRATAMIENTO ÓPTIMO DE RESIDUOS CÍTRICOS EN EL MUNICIPIO  
DE CERCADO**

**Por:**

**LIZ STEPHANNIE LOPEZ HUANCA**

**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.**

**Julio 2023**

**TARIJA-BOLIVIA**

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.

## **DEDICATORIA**

*“Entre tus alas dormí  
Y en tu mirada compasiva, crecí  
Siempre confiaste en todo lo que soñé  
Me cuidaste y me guiaste hasta aquí”  
(Zoé, 2014)*

*Para mi querida abuela: Florencia Colque  
Choque, así como en vida me cuidaste y  
protegiste, sé que lo seguirás haciendo  
desde el cielo, me harás falta por siempre,  
Mami Menchi.*

## AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones, por ser mi guía, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mi abuelita y abuelito que me cuidaron desde la infancia hasta ahora y forjaron una familia unida.

A mis padres Belizario y Elizabeth quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, valentía y el no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanas, Yessenia, Patricia e Ian por ser las personas que siempre me apoyan, llenan de alegría mi vida, por todos los consejos brindados, por compartir horas y horas de películas, series.

A toda mi familia, la más bulliciosa y alegre que siempre han procurado mi bienestar y que si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, mis estudios no hubiesen sido posibles.

Agradezco a los docentes de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Juan Misael Saracho por guiar y formar parte de otro objetivo alcanzado.

# ÍNDICE

## PRELIMINARES

ADVERTENCIA .....	I
DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
RESUMEN .....	IV

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

1.1.	ANTECEDENTES .....	1
1.2.	OBJETIVOS .....	3
1.2.1.	Objetivo general .....	3
1.2.2.	Objetivos específicos .....	3
1.3.	JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3.1.	Justificación Social .....	3
1.3.2.	Justificación Tecnológica .....	4
1.3.3.	Justificación Medioambiental .....	4
1.3.4.	Justificación Económica .....	5
1.3.5.	Justificación personal .....	5

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1.	ASPECTOS TÉCNICOS Y OTRAS CONSIDERACIONES .....	6
2.2.	MATERIA PRIMA .....	6
2.2.1.	Residuos cítricos .....	6
2.2.2.	Composición de los residuos cítricos .....	7
2.2.2.1.	Azúcares reductores .....	7
2.2.2.2.	Materiales lignocelulósicos .....	9
2.3.	PRETRATAMIENTOS .....	15
2.3.1.	Pretratamientos mecánicos .....	15
2.3.1.1.	Trituración mecánica .....	15

2.3.1.2.	Molienda comprimida .....	15
2.3.2.	Pretratamientos térmicos .....	16
2.3.2.1.	Explosión de vapor .....	16
2.3.2.2.	Agua líquida a alta temperatura (lhw) .....	16
2.3.3.	Pretratamientos químicos .....	16
2.3.3.1.	Hidrólisis ácida .....	16
2.3.3.2.	Hidrólisis alcalina .....	17
2.3.4.	Pretratamientos fisicoquímicos .....	18
2.3.5.	Pretratamientos biológicos .....	18
2.4.	EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES .....	19
2.5.	HIDRÓLISIS .....	20
2.5.1.	Hidrólisis enzimática .....	21
2.5.2.	Hidrólisis ácida .....	22
2.5.3.	Hidrólisis alcalina .....	23
2.5.4.	Inhibidores: .....	24
2.6.	MODELO CINÉTICO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA .....	25
2.6.1.	Método Diferencial de Resolución Van 't Hoff .....	28
2.7.	FERMENTACIÓN .....	29
2.7.1.	Glucólisis .....	30
2.7.2.	Tipos de fermentación .....	37
2.8.	LEVADURA .....	40
2.8.1.	SACCHAROMYCES CEREVISIAE .....	40
2.9.	PROCESOS TECNOLÓGICOS DE HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN: .....	41
2.9.1.	Sacarificación y fermentación simultáneas (SSF) .....	41
2.9.2.	La pre-sacarificación y fermentación (PRESAC) .....	42
2.9.3.	Sacarificación-fermentación independientes. (SHF) .....	42
2.10.	DESTILACIÓN .....	42
2.10.1.	Destilación simple .....	43
2.10.2.	Destilación diferencial o abierta .....	43

2.10.3.	Destilación cerrada o de equilibrio.....	43
2.10.4.	Destilación por rectificación.....	44
2.11.	ETANOL.....	45

### **CAPITULO III**

#### **PARTE EXPERIMENTAL**

3.1.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	47
3.1.1.	Selección del método.....	47
3.2.	PROCESO TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL.....	54
3.2.1.	Diagrama de flujo de proceso de obtención de etanol.....	54
3.4.	DESARROLLO DEL PROCESO EXPERIMENTAL.....	65
3.4.1.	1° etapa: pretratamientos.....	65
3.1.1.	Recolección y análisis de la materia prima.....	66
3.4.1.1.	Acondicionamiento.....	68
3.4.1.2.	Extracción de aceites esenciales (destilación por arrastre de vapor)...	69
3.4.1.3.	PRIMER SECADO.....	72
3.4.1.4.	Molienda y tamizado.....	72
3.4.1.5.	Pretratamiento alcalino (hidrólisis hidrotérmica alcalina).....	74
3.4.1.6.	Segundo secado.....	75
3.4.2.	ETAPA 2: HIDRÓLISIS ÁCIDA.....	76
3.4.2.1.	Determinación del volumen de dilución.....	77
3.4.2.2.	Determinación de la densidad.....	78
3.4.2.3.	Filtrado.....	78
3.4.2.4.	Cinética de hidrólisis ácida.....	79
3.4.3.	ETAPA 3: FERMENTACIÓN.....	79
3.4.4.	Esterilización de materiales.....	80
3.4.5.	Acondicionamiento del mosto.....	81
3.4.6.	Inoculación de la levadura.....	82
3.4.7.	Fermentación alcohólica.....	82
3.5.	ETAPA 4: DESTILACIÓN.....	84

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

4.1.	RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA .....	85
4.2.	DETERMINACIÓN DE HOLOCELULOSA.....	85
4.3.	RESULTADOS EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL, DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR.....	87
4.3.1.	Balance de materia .....	88
4.3.2.	Balance de energía destilación por arrastre de vapor .....	91
4.4.	RESULTADOS DEL PRIMER SECADO .....	98
4.4.1.	Balance de materia .....	98
4.4.2.	Balance de energía.....	99
4.4.3.	Curva de secado.....	101
4.5.	RESULTADOS EN LA MOLIENDA.....	103
4.5.1.	Balance de materia .....	103
4.5.2.	Balance de energía.....	104
4.5.3.	Análisis granulométrico.....	105
4.6.	RESULTADOS PRETRATAMIENTO ALCALINO HIDRÓLISIS HIDROTÉRMICA ALCALINA .....	107
4.6.1.	Balance de materia .....	108
4.6.2.	Balance de energía.....	109
4.7.	RESULTADOS SEGUNDA ETAPA DE SECADO.....	110
4.7.1.	Balance de materia .....	111
4.7.2.	Balance de energía.....	111
4.7.3.	Curva de secado.....	112
4.8.	RESULTADOS EN LA HIDRÓLISIS ÁCIDA .....	114
4.8.1.	Resultado del análisis estadístico de experimentos .....	118
4.8.2.	Cálculo del volumen de dilución.....	125
4.8.3.	Resultados de la densidad de la dilución.....	126
4.8.4.	Balance de materia .....	126



4.8.5.	Balance de masa en el filtrado.....	127
4.8.6.	Balance de energía total.....	127
4.8.7.	Cinética de hidrólisis ácida.....	128
4.8.8.	RENDIMIENTO EN EL PROCESO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA .....	132
4.9.	RESULTADOS DE LA CORRECCIÓN DE SUSTRATOS .....	133
4.10.	RESULTADOS EN LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	134
4.10.1.	Rendimiento en la etapa de fermentación .....	134
4.10.2.	Resultado del análisis estadístico de experimentos .....	138
4.10.3.	Balance de materia .....	143
4.10.4.	Balance de energía.....	144
4.11.	RESULTADOS EN LA ETAPA DE DESTILACIÓN.....	145
4.11.1.	Balance de materia .....	146
4.11.2.	Balance energía .....	147

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.	CONCLUSIONES.....	149
5.2.	RECOMENDACIONES .....	151

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	152
---------------------------------	-----

ANEXO A .....	163
---------------	-----

ANEXO B.....	164
--------------	-----

ANEXO C.....	170
--------------	-----

ANEXO D .....	193
---------------	-----

## INDICE DE FIGURAS

Figura II-1. Fórmula estructural de la glucosa .....	9
Figura II-2. Fórmula estructural de la Fructosa .....	9
Figura II-3. Componentes y composiciones del material lignocelulósico y sus potenciales productos de hidrólisis .....	10
Figura II-4 Gráfica de componentes y composición de la cáscara de cítricos .....	11
Figura II-5. Estructura de la cadena de Celulosa. Líneas Punteadas y solidas: enlaces de hidrogeno inter e intra moleculares .....	12
Figura II-6. Estructura de xilano de plantas herbáceas .....	13
Figura II-7. Estructura de O- acetil-galactoglucomanano de plantas herbáceas. ....	13
Figura II-8. Unidades de monolignoles constituyentes de la lignina. 1: alcohol p-cumarílico, 2: alcohol coniferílico, 3: alcohol sinapílico.....	14
Figura II-9. Pretratamientos utilizados en biomasa lignocelulósica .....	19
Figura II-10. Vista microscópica de la ubicación de los aceites esenciales.....	20
Figura II-11. Degradación enzimática de la fibra de celulosa .....	22
Figura II-12. Proceso de hidrólisis Ácida .....	23
Figura II-13. Hidrólisis Básica o alcalina de un Ester .....	24
Figura II-14 Esquematzación general de la fermentación alcohólica.....	29
Figura II-15. Ruta metabólica de la formación de alcohol.....	31
Figura II-16. Ruta Metabólica Primer Paso Activación de la Glucosa.....	32
Figura II-17. Ruta Metabólica Segundo Paso Reordenamiento.....	33
Figura II-18. Ruta Metabólica Tercer Paso: Inversión. ....	33
Figura II-19. Ruta Metabólica Cuarto Paso: División .....	34
Figura II-20. Ruta Metabólica Quinto Paso: Oxidación. ....	35
Figura II-21. Ruta Metabólica Sexto Paso: Fosforilación.....	35
Figura II-22. Ruta Metabólica Séptimo: Transferencia Enzimática .....	36
Figura II-23. Ruta Metabólica Octavo Paso.....	36
Figura II-24. Ruta Metabólica noveno Paso .....	37
Figura II-25. Equipo de Fermentación Discontinua y Gráfica Concentración vs Tiempo de Fermentación.....	38

Figura II-26. Equipo de Fermentación Continua y Gráfica Concentración vs Tiempo de Fermentación.....	39
Figura II-27. <i>S. cerevisiae</i> en microscopio.....	40
Figura III-1. Diagrama de Flujo del Proceso de obtención de etano .....	55
Figura III-2. Combinaciones en diseño factorial 2 <sup>2</sup> .....	62
Figura III-3. Diagrama de flujo: Pretratamientos realizados .....	66
Figura III-4. recolección de la materia prima.....	67
Figura III-5. lavado de la materia prima .....	68
Figura III-6. Cáscaras separas de los diferentes cítricos utilizados .....	69
Figura III-7. Pesaje de Materia Prima en recipiente para destilación .....	70
Figura III-8. Equipo: Destilador por arrastre de vapor y recolección de Aceite Esencial .....	70
Figura III-9. Secado de la materia prima .....	72
Figura III- 10. Equipo y trituración de la materia Prima.....	73
Figura III- 11. Tamizado de la materia prima .....	74
Figura III-12. Preparación de la materia para la hidrólisis hidrotérmica y el equipo utilizado.....	75
Figura III- 13. Hinchamiento de la materia prima al finalizar el pretratamiento y lavado hasta neutralización. ....	75
Figura III-14. Matraz Erlenmeyer con muestra en el equipo de agitación magnética	77
Figura III-15. Medición del Volumen de Dilución .....	77
Figura III-16. Medida de Densidad de la dilución .....	78
Figura III-17. Filtración con liencillo.....	78
Figura III- 18. Cinética de hidrólisis ácida.....	79
Figura III-19. Diagrama de flujo del Proceso de Fermentación.....	80
Figura III-20. Proceso de esterilización .....	81
Figura III-21. Neutralización del producto hidrolizado .....	81
Figura III-22. Inoculación de levadura y crecimiento.....	82
Figura III- 23. Mosto (Sustrato hidrolizado) a fermentar .....	83
Figura III-24. Equipo: Termostato y los experimentos realizados.....	83

Figura III-25. Equipo de destilación rotavapor .....	84
Figura IV-1. Muestra al finalizar el secado.....	86
Figura IV-2. Diagrama de flujo en el condensador.....	88
Figura IV-3. Diagrama balance de materia en el matraz .....	89
Figura IV-4. Diagrama para el Balance de materia en la torre .....	90
Figura IV-5. Diagrama para el balance de energía en la torre .....	92
Figura IV-6. Diagrama de flujo para el cálculo del balance de energía en el condensador.....	94
Figura III-7. Diagrama de flujo y balance de materia y energía en la destilación por arrastre de vapor .....	97
Figura IV- 8. Diagrama de flujo: Proceso de secado .....	98
Figura IV-9 Curva de Secado Tiempo (min) vs Peso (g).....	102
Figura IV-10. Diagrama de flujo de proceso: Molienda .....	105
Figura IV-11. Diagrama de flujo de proceso: Tamizado .....	105
Figura IV- 12. Curva Granulométrica: Abertura de malla (diámetro) vs % Pasa.....	107
Figura IV-13. Hinchamiento, y decoloración del sustrato posterior a la hidrólisis alcalina .....	108
Figura IV-14. Resumen general balance de materia y energía .....	110
Figura IV-15. Segunda Curva de Secado.....	114
Figura IV-16. Diagrama de Pareto muestra la influencia de las variables en el proceso .....	120
Figura IV-17. Rendimiento observado vs rendimiento esperado.....	123
Figura IV-18. Valores observados vs valores ajustados al modelo .....	124
Figura IV-19. Error entre el porcentaje de azúcares observado y lo generado por SPSS.....	125
Figura IV-20. Resumen Balance de Masa Hidrólisis Ácida .....	128
Figura IV- 21. Gráfico tiempo vs Concentración.....	130
Figura IV- 22. Gráfico de linealidad y ecuación que describe el modelo y $R^2$ .....	131
Figura IV-23. Diagrama de Pareto .....	138
Figura IV-24. Rendimiento observado vs rendimiento esperado.....	141

Figura IV-25. Valores observados vs valores ajustados al modelo .....	142
Figura IV-26. Error entre el rendimiento observado y el rendimiento generado.....	142
Figura IV-27. Resumen balance materia en la fermentación .....	145
Figura IV- 28. Resumen Balance materia y energía .....	148

## INDICE DE TABLAS

Tabla II-1. Composición de material azucarado en cítricos en base a 100 g de fruta	8
Tabla II-2. Composición de material lignocelulósico de mandarina y naranja en cáscara.....	10
Tabla II-3 propiedades físicas y químicas del etanol.....	45
Tabla II-4 resumen de producción de etanol a partir de cáscaras de variedades de frutas cítricas.....	46
Tabla III-1. Ventajas y desventajas de pretratamientos.....	48
Tabla III-2. Escala de puntaje asignado para la matriz de selección.....	49
Tabla III-3. Selección del proceso de pretratamiento.....	50
Tabla III-4. Ventajas y desventajas de diferentes procesos de hidrólisis y fermentación.....	51
Tabla III-5. Escala de puntaje asignado para la matriz de selección en la etapa entre la hidrólisis y la fermentación.....	52
Tabla III-6. Selección del proceso entre hidrólisis y fermentación.....	53
Tabla III-7. Matriz de diseño, combinaciones en diseño factorial $2^3$ .....	57
Tabla III-8. Parámetros para la conversión de celulosa a azúcares totales.....	59
Tabla III-9. Diseño factorial para el proceso de hidrólisis.....	59
Tabla III-10. Diseño factorial en datos.....	60
Tabla III-11. Tabla de variables para la fermentación.....	63
Tabla III-12. Diseño experimental etapa de fermentación.....	64
Tabla III-13. Diseño experimental etapa de fermentación combinaciones realizadas.....	65
Tabla III-14. Cantidad de cáscara.....	69

Tabla III- 15. Datos que se recolectaron durante el proceso en la torre .....	71
Tabla III-16. Datos que se recolectaron durante el proceso en el condensador.....	71
Tabla III-17. Nomenclatura las mallas según une y astm.....	73
Tabla IV-1. Resultado análisis fisicoquímicos de la materia prima .....	85
Tabla IV-2. Resultados de la determinación de holocelulosa.....	86
Tabla IV-3. Resultados de la determinación de holocelulosa (%)......	87
Tabla IV- 4. Datos para el balance en la torre de destilación .....	87
Tabla IV-5. Datos para balance de materia y energía en el condensador .....	88
Tabla IV- 6. Datos del secado para la curva.....	101
Tabla IV-7. Condiciones de uso de los equipos: molienda y tamizado .....	104
Tabla IV-8. Nomenclatura las mallas según une y astm .....	106
Tabla IV- 9. Cálculo realizado en excel .....	106
Tabla IV-10. Datos obtenidos para la curva de secado .....	113
Tabla IV-11. Resumen de datos según el tiempo de los 8 experimentos realizados .....	116
Tabla IV-12. Resumen de datos según el tiempo de las réplicas de los 8 experimentos realizados .....	117
Tabla IV-13. Comparación de mejores resultados .....	118
Tabla IV-14. Análisis de varianza spss.....	119
Tabla IV-15. Análisis de varianza minitab 19 .....	119
Tabla IV- 16. Resultado prueba de fisher .....	121
Tabla IV-17. Análisis de varianza de regresión lineal.....	121
Tabla IV- 18. Coeficientes del modelo.....	122
Tabla IV- 19. Resumen del modelo de regresión lineal .....	123

Tabla IV-20. Errores entre valores observados y ajustados del modelo.....	124
Tabla IV- 21. Resultados de la determinación del volumen de dilución .....	125
Tabla IV-22. Tabla datos y cálculo de la densidad.....	126
Tabla IV-23. Datos obtenidos para la cinética de hidrólisis .....	129
Tabla IV-24. Resolución de la ecuación de sexto grado de la cinética de hidrólisis ácida .....	131
Tabla IV-25. Resultados de la linealización .....	132
Tabla IV- 26. Rendimiento de la etapa de hidrólisis .....	133
Tabla IV- 27. Corrección de sustrato.....	133
Tabla IV-28. Consumo de sustrato en la fermentación alcohólica en base al diseño experimental .....	134
Tabla IV-29. Cálculo de la masa, etanol teórico, rendimiento .....	137
Tabla IV-30. Análisis de varianza .....	138
Tabla IV-31. Resultados de la prueba de fisher.....	139
Tabla IV-32. Análisis de varianza de regresión lineal.....	139
Tabla IV-33. Coeficientes del modelo.....	140
Tabla IV-34 resumen del modelo en la fermentación alcohólica .....	140
Tabla IV-35. Errores entre los valores observados y ajustados del modelo .....	141
Tabla IV-36. Datos estequiometrías en orden .....	144
Tabla IV- 37. Resultados de la destilación .....	146



## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación II-1 Representación del modelo .....	26
Ecuación II-2. Representación de las reacciones de primer orden tanto para celulosa como para hemicelulosa.....	26
Ecuación II-3. Ecuación de formación y expresión algebraica lineal en función de la concentración .....	27
Ecuación II-4. Ecuación de Arrhenius .....	27
Ecuación II-5 Ecuación general en base a la dependencia de la concentración.....	28
Ecuación II-6. Ecuación de formación de etanol .....	29
La ecuación II-7 indica la ecuación general que en síntesis describe todos los pasos mencionados anteriormente. ....	37
Ecuación II- 8. Ecuación general: Glucólisis.....	37
Ecuación III-1. Modelo de Diseño Estadístico de 3 Factores con Replicación .....	60
Ecuación III-2. Modelo de diseño factorial.....	64
Ecuación IV- 1. Formula del porcentaje de holocelulosa .....	86
Ecuación IV-2. volumen a partir del caudal.....	89
Ecuación IV-3. Cálculo de la masa por la densidad.....	89
Ecuación IV-4. Balance de materia entrada y salida del agua de refrigeración.....	89
Ecuación IV-5. Balance general en el matraz .....	90
Ecuación IV-6. Cantidad de vapores al condensador.....	90
Ecuación IV-7. Cálculo de la masa de agua residual .....	91
Ecuación IV-8. Cálculo de la masa total de agua que queda en la torre .....	91
Ecuación IV-9. Cálculo del vapor generado en la torre .....	91
Ecuación IV-10. Fórmula para el Cálculo del flujo masico.....	91
Ecuación IV- 11. Fórmula y cálculo del Calor Sensible.....	92
Ecuación IV-12. Fórmula para el Cálculo de la potencia de la hornalla.....	93
Ecuación IV-13. Cálculo del Calor Latente .....	93
Ecuación IV-14. Cálculo del calor total.....	93
Ecuación IV-15. Cálculo del Calor de vaporización, Lambda de vaporización .....	94
Ecuación IV-16. Formulación del calor cedido por el vapor de agua.....	95

Ecuación IV-17. Cálculo del calor recibido .....	95
Ecuación IV-18. Cálculo del consumo de Combustible (Gas natural) .....	96
Ecuación IV-19. Balance General del secado y Cálculo de la Corriente de agua en la salida .....	98
Ecuación IV- 20. Balance general en el secado .....	99
Ecuación IV-21. Fórmula según Choi y Oikos para el calor específico: .....	99
Ecuación IV-22. Cálculo del calor sensible .....	100
Ecuación IV-23. Cálculo del calor Latente .....	100
Ecuación IV-24. Cálculo del calor total.....	100
Ecuación IV-25. Energía eléctrica .....	101
Ecuación IV-26. Modelo de la curva de secado y el valor de $R^2$ .....	103
Ecuación IV-27. Balance General Molienda Calculo de las perdidas .....	103
Ecuación IV-28. Balance General Tamizado.....	104
Ecuación IV-29. Cálculo de las pérdidas .....	104
Ecuación IV-30. Fórmula Porcentaje de retención .....	106
Ecuación IV- 31. Fórmula cálculo de % acumulado.....	106
Ecuación IV- 32. Fórmula Porcentaje de Retención.....	106
Ecuación IV-33. Balance General proceso de Pretratamiento Alcalino dentro del recipiente metálico .....	109
Ecuación IV-34. Balance General proceso de Pretratamiento Alcalino en la autoclave .....	109
Ecuación IV-35. Cálculo del Calor total en el autoclave .....	109
Ecuación IV-36. Balance general del segundo secado.....	111
Ecuación IV-37. Cálculo de la humedad presente en la muestra:.....	111
Ecuación IV-38. Ecuación Polinómica de tercer grado, representación de la curva de secado .....	114
Ecuación IV-39. Modelo lineal experimental .....	122
Ecuación IV- 40. Balance General y perdidas .....	127
Ecuación IV- 41. Balance General en el Filtrado .....	127
Ecuación IV-42. Ecuación de velocidad de reacción.....	129

Ecuación IV-43. Ecuación representativa de la cinética de hidrólisis ácida.....	130
Ecuación IV-44. Modelo cinético de segundo orden .....	132
Ecuación IV- 45. Fórmula para el cálculo de rendimiento .....	132
Ecuación IV-46. Fórmula para el cálculo de la densidad con los grados brix .....	135
Ecuación IV-47. Fórmula para el cálculo de la masa en base a la densidad.....	135
Ecuación IV- 48. Fórmula para el cálculo del rendimiento total .....	136
Ecuación IV- 49. Modelo lineal del diseño experimental.....	140
Ecuación IV- 50. Balance general para la fermentación.....	143
Ecuación IV-51. Ecuación general de la fermentación alcohólica .....	143
Ecuación IV- 52. Balance general de Energía .....	144
Ecuación IV- 53. Balance General.....	147