

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



**OBTENCION EXPERIMENTAL DE ACIDO ACETICO A PARTIR
DEL LIQUIDO PIROLEÑOSO**

POR:

SILVIA CONDORI AGUANTA

**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.**

Marzo - 2023

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M. Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

M. Sc. Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre
VICE DECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

M. Sc. Ing. Marlene Beatriz Simons Sánchez

Ing. Patricia Castillo Rocha

Ing. Macarena Pérez Rizzotti

ADVERTENCIA

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.

DEDICATORIA

A DIOS:

Por bendecir mi vida y guiarme con su inmensa sabiduría a lo largo de este camino, siendo mi apoyo incondicional en mis oraciones para sobrellevar con fortaleza las dificultades y logros.

A MIS PADRES:

A mi padre Nicolás Condori Ibáñez quien con su benevolencia me enseñó a nunca darme por vencida y que, a través de las dificultades de la vida, podemos lograr nuestras metas.

A mi madre Ana Aguanta Almanza un beso al cielo

A MIS HIJOS:

Samantha y Maximiliano quienes son mi motivación más grande para concluir con éxito este proyecto de tesis.

AGRADECIMIENTOS

A MIS DOCENTES:

Quienes tomaron el arduo trabajo de transmitirme sus conocimientos que corresponden a mi profesión y la vida misma.

A MI FAMILIA:

Agradecer a mis hermanos: Norman, Norah, Noel, Anahí por el apoyo y amor incondicional que me demuestran siempre.

A mis queridos sobrinos por el aguante y el cariño fraterno que mantenemos.

Williams Cruz quien ha sido mi mano derecha durante todo este tiempo; te agradezco por tu desinteresada ayuda, por echarme una mano cuando siempre la necesité, por aportar considerablemente en mi proyecto.

A mis compañeros y amigos:

Agradecer a todos mis amigos y compañeros de carrera por la desinteresada ayuda y el compañerismo demostrado hacia mi persona, por las buenas experiencias vividas en medio de nuestra formación académica, por ser mi familia estando yo lejos de mi hogar, muchas gracias!.

PENSAMIENTO

La vida no es fácil, para ninguno de nosotros.

Pero... ¡qué importa!

Hay que perseverar, y sobre todo, tener confianza en uno mismo.

Hay que sentirse dotado para realizar alguna cosa, y que esa cosa hay que alcanzarla, cueste lo que cueste.

¡Marie Curie!

INDICE

ADVERTENCIA	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
PENSAMIENTO.....	iv
RESUMEN	v

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1. INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DISPONIBILIDAD COMERCIAL DE ÁCIDO ACÉTICO	2
1.2.1 Principales exportadores de Ácido Acético	2
1.2.2 Principales Importadores de Ácido Acético	4
1.2.3 Principales Importadores de Ácido Acético en Bolivia	5
1.2.4 Valor CIF Importados USD de Ácido Acético en Bolivia	5
1.2.5 Principales países de origen de Ácido Acético Importado a Bolivia	6
1.2.6 Principales Consumidores de Ácido Acético en Bolivia.....	7
1.2.7 Perspectiva del mercado global de Ácido Piroleñoso	8
1.3 OBJETIVOS	10
1.3.1 Objetivo General	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 JUSTIFICACIÓN	10

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 MATERIA PRIMA.....	12
2.1.1 Generalidades de la Madera de Churqui	12
2.1.1.1 Características del Churqui.....	12
2.1.1.2 Taxonomía del Churqui	13
2.1.2 Generalidades del Líquido Piroleñoso	14
2.1.2.1 Composición química del Líquido Piroleñoso.....	15
2.1.3 Rendimientos de la destilación en seco	16
2.1.4 Factores Influyentes en la destilación en seco de la madera	18
2.1.4.1 Especies	19
2.1.4.2 Contenido de Humedad	20
2.1.4.3 Tamaño de la madera.....	20
2.1.5 Disponibilidad de materia prima (Líquido Piroleñoso).....	20
2.2 ÁCIDO PIROLEÑOSO COMO COMPONENTE DEL LÍQUIDO PIROLEÑOSO ...	21
2.2.1 Rendimientos del Ácido Piroleñoso	21
2.3 ÁCIDO ACÉTICO.....	22
2.3.1 Características del Ácido Acético	23
2.3.2 Propiedades Físicas del Ácido Acético	23
2.3.3 Propiedades Químicas del Ácido Acético	23
2.3.4 Riesgos en la manipulación del Ácido Acético	24
2.3.5 El Ácido Acético en la actualidad	25
2.3.6 Métodos de obtención de Ácido Acético.....	26
2.3.6.1 Carbonilación del Metanol.....	26
2.3.6.2 Oxidación del acetaldehído.....	27
2.3.6.3 Destilación Simple y extracción con solvente orgánico	27
2.3.6.4 Destilación Fraccionada.....	28
2.3.6.5 Destilación en el rotavapor	29
2.4 SELECCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL	30
2.4.1 Selección del Proceso de destilación evaporación rotatoria	31

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3. METODOLOGIA DE INVESTIGACION	32
3.1 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS	32
3.1.1 Análisis de la materia prima	32
3.1.2 Análisis del Ácido Acético	32
3.2 DISEÑO FACTORIAL	33
3.2.1 Diseño factorial Destilación en seco	33
3.2.2 Destilación de Ácido Acético por evaporación rotatoria	38
3.3 DESCRIPCION DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE DESTILACION EN SECO Y DESTILACION POR EVAPORACION ROTATORIA	38
3.3.1 Descripción de los equipos empleados en la realización de la parte experimental.....	39
3.3.1.1 Reactor pirolítico.....	39
3.3.1.2 pH metro	40
3.3.1.3 Balanza Analítica Electrónica.....	40
3.3.1.4 Secador infrarrojo termo control.....	41
3.3.1.5 Destilador por evaporación rotatoria	41
3.3.2 Descripción de los Materiales utilizados en la realización de la parte experimental. .	42
3.3.3 Descripción de los Reactivos empleados en la realización de la parte experimental.....	43
3.4 DESCRIPCION DEL METODO DE INVESTIGACION.....	44
3.5 DESCRIPCION DEL PROCESO DE OBTENCION DE ÁCIDO ACÉTICO A PARTIR DEL LIQUIDO PIROLEÑOSO	45
3.5.1 Recepción de la materia prima	45
3.5.2 Pesado de la materia prima (madera)	46
3.5.3 Determinación de la humedad de la materia prima (madera de churqui)	47
3.5.4 Pirolisis	47
3.5.5 Obtención del Ácido Piroleñoso	48
3.5.6 Destilación del Ácido Acético en el rotavapor.....	50
3.5.7 Aireación y trasiego.....	51
3.5.8 Medición del pH.....	53
3.5.9 Valoración acido – base	54
3.6 DETALLE DEL DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESO DE OBTENCION DE	

ACIDO ACETICO A PARTIR DEL LIQUIDO PIROLEÑOSO	55
3.7 BALANCE DE MATERIA PARA EL PROCESO DE OBTENCION DE ACIDO ACETICO A PARTIR DEL LIQUIDO PIROLEÑOSO	56
3.7.1 Recepción de la materia prima	56
3.7.2 Líquido condensable.....	56
3.7.3 Proceso de filtración del líquido condensable.....	57
3.7.4 Proceso de destilación por evaporación rotativa.....	57
3.7.5 Cálculo del rendimiento obtenido	58

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	59
4.1 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LA MATERIA PRIMA (MADERA DE CHURQUI).....	59
4.2 RENDIMIENTOS DEL LÍQUIDO PIROLEÑOSO	60
4.2.1 Velocidad de calentamiento en la destilación seca	61
4.2.2 Resultados en la etapa de destilación en seco.....	63
4.2.3 Análisis estadístico del diseño factorial en la etapa de destilación en seco	64
4.2.4 Resultados Estadísticos SPSS para la destilación en seco.....	64
4.2.4.1 Variable respuesta Rendimiento del Líquido Piroleñoso (%)	65
4.2.4.2 Análisis de regresión	65
4.3 RENDIMIENTO DEL ACIDO ACETICO.....	71
4.3.1 Variación de PH.....	71
4.3.2 Variación de la acidez	72
4.3.3 Resultados en la etapa de destilación por evaporación rotatoria	74
4.4 PRUEBA EXPERIMENTAL VISUAL SOBRE EL ENRAIZADO EN PLANTAS ORNAMENTALES AL SER TRATADOS CON LÍQUIDO PIROLEÑOSO.	75
4.5 CALCULO DEL RENDIMIENTO EN ETAPA DE DESTILACION EN SECO Y DESTILACION POR EVAPORACION ROTATORIA.....	77
4.5.1 Cálculo del rendimiento en la etapa de destilación en seco.....	77
4.5.2 Cálculo del rendimiento en la etapa de destilación por evaporación rotatoria	77

4.5.3 Cálculo del rendimiento total.....	77
4.6 DETERMINACION DE COSTOS PARA LA ELABORACION DEL PROYECTO .	78
4.7 DETERMINACIÓN DEL COSTO UNITARIO DEL PRODUCTO ÁCIDO ACÉTICO RECUPERADO.....	81

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
5.1 CONCLUSIONES	83
5.2 RECOMENDACIONES	85

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BIBLIOGRAFIA	86
--------------------	----

INDICE DE TABLAS

TABLA I - 1 Principales exportadores de Ácido Acético	3
TABLA I - 2 Principales Importadores de Ácido Acético	4
TABLA I - 3 Principales Importadores de Ácido Acético en Bolivia	5
TABLA I - 4 Valor CIF Importados USD de Ácido Acético en Bolivia.....	5
TABLA I - 5 Principales países de origen de Ácido Acético Importado a Bolivia.....	6
TABLA I - 6 Principales consumidores de Ácido Acético en Bolivia	7
TABLA I - 7 Principales proveedores de Ácido Piroleñoso	9
TABLA II – 1 Taxonomía del Churqui (especie Vachellia Caven)	14
TABLA II - 2 Constituyentes mayoritarios del Líquido Piroleñoso	16
TABLA II – 3 Rendimientos promedios en la destilación en seco	17
TABLA II – 4 Rendimiento de Ácido Piroleñoso	22
TABLA II - 5 Propiedades físicas químicas del Ácido Acético.....	24
TABLA II – 6 Clasificación del riesgo por manipulación del Ácido Acético	25
TABLA II - 7 Riesgos en la manipulación del Ácido Acético.....	25
TABLA II - 8: Ventajas y desventajas del método de destilación por evaporación Rotatoria	31
TABLA III – 1 Parámetros fisicoquímicos determinados del Líquido Piroleñoso.	32
TABLA III – 2 Parámetros fisicoquímicos determinados en el Ácido Acético.....	33
TABLA III – 3 Niveles de las variables para la Destilación en seco del Líquido Piroleñoso	35
TABLA III – 4 Matriz y Plan de experimentos para la Destilación en seco del Líquido Piroleñoso.....	35
TABLA III – 5 Combinaciones de las variables para la destilación en seco del Líquido Piroleñoso	36
TABLA III – 6 Interacciones de las variables en la destilación en seco de Líquido Piroleñoso	37
TABLA III – 7 Material de Laboratorio	42
TABLA III – 8 Reactivos usados en laboratorio	43
TABLA III – 9 Peso de las muestras de madera	46
TABLA III - 10 Peso del Líquido Piroleñoso	49
TABLA III – 11 Datos de la destilación del Ácido Acético en el rotavapor.....	50
TABLA III – 12 Datos en masa de la destilación en el rotavapor.....	52
TABLA III – 13 Datos del pH de las muestras del re destilado.....	53

TABLA III – 14 Acidez total titulable.....	54
TABLA IV – 1 Peso y rendimiento en porcentaje de la madera de churqui.....	59
TABLA IV-2 Caracterización físicas y mecánicas de la madera de Churqui.....	60
TABLA IV-3 Caracterización fisicoquímica del Líquido Piroleñoso.	60
TABLA IV – 4 Tiempo y velocidad de calentamiento por rangos de temperatura, aplicados en los diferentes tratamientos.	61
TABLA IV – 5 Resultados en la etapa de destilación en seco	63
TABLA IV – 6 Datos para el análisis de varianza	64
TABLA IV-7 Factores inter-sujetos (variable respuesta Rendimiento)	64
TABLA IV - 8 Análisis de varianza ANOVA Pruebas de los efectos inter-sujetos	65
TABLA IV- 9 Variables entradas/eliminadas ^a	66
TABLA IV – 10 Resumen del modelo ^b	66
TABLA IV - 11 ANOVA ^a	66
TABLA IV – 12 Coeficientes ^a	67
TABLA IV – 13 Estadísticas de residuos ^a	68
TABLA IV-14 Diferencia entre el Rendimiento observado y el Rendimiento del modelo matemático	69
TABLA IV – 15 Variación de pH del Ácido Acético	71
TABLA IV – 16 Variación de la acidez.....	73
TABLA IV – 17 Resultado en la etapa de destilación del Ácido Acético	74
TABLA IV – 18 Resultados obtenidos del informe de laboratorio al concluir la destilación por evaporación rotatoria del Ácido Acético	75
TABLA IV – 19 Detalle de Costos de la materia prima, insumos y reactivos	78
TABLA IV – 20 Detalle de Costos del ensamblaje del Reactor Piroclítico	78
TABLA IV – 21 Detalle de Costos de materiales de Laboratorio.....	79
TABLA IV – 22 Detalle de Costos de Análisis de Laboratorio	80
TABLA IV – 23 Detalle de Costos de materiales de apoyo	80
TABLA IV – 24 Detalle de Costos Totales	81
TABLA IV – 25 Detalle de Costos de la materia prima, insumos y reactivos	81

ÍNDICE DE GRAFICOS

GRAFICO I - 1 Principales exportadores de Ácido Acético	3
GRAFICO I - 2 Principales Importadores de Ácido Acético.....	4
GRAFICO I - 3 Valor CIF Importados USD de Ácido Acético en Bolivia.....	6
GRAFICO I - 4 Principales países de Origen de Ácido Acético Importado a Bolivia.....	7
GRAFICO I - 5 Principales Consumidores de Ácido Acético en Bolivia	8
GRAFICO II – 1 Rendimientos promedios de la destilación en seco	18
GRAFICO IV – 1 Tasa de calentamiento con relación a la temperatura de destilación en seco	62
GRAFICO IV – 2 P-P Normal de regresión residuo tipificado.....	69
GRAFICO IV-3 Diferencia entre el Rendimiento observado y el Rendimiento del modelo matemático	70
GRAFICO IV-4 Error Diferencia entre el Rendimiento observado y el Rendimiento del modelo matemático	70
GRAFICO IV – 5 Comportamiento de la variación del pH - Tiempo.....	72
GRAFICO IV – 6 Comportamiento de la variación de la Acidez – tiempo	73

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama de flujo III – 1 Proceso de obtención de ácido acético a partir del líquido piroleñoso	44
Diagrama de flujo III-2 Proceso de obtención de ácido acético a partir del líquido piroleñoso	55

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2 – 1 Árbol de Churqui (especie Vachellia Caven)	13
FIGURA 2 – 2 Diferencia entre especies de madera Coníferas y Latifoliadas	19
FIGURA 2 - 3 Estructura molecular del Ácido Acético	22
FIGURA 2 – 4 Diagrama y montaje de una destilación simple	28
FIGURA 2 – 5 Diagrama y montaje de una destilación fraccionada	29
FIGURA 2 – 6 Esquema de un Rotavapor	30
FIGURA 3 – 1 Reactor pirolítico	39
FIGURA 3 – 2 pH metro	40
FIGURA 3 – 3 Balanza Analítica Electrónica	40
FIGURA 3 – 4 Secador infrarrojo termo control	41
FIGURA 3 – 5 Destilador por evaporación rotatoria	41
FIGURA 3 – 6 Recepción de materia prima	45
FIGURA 3 – 7 Pesado de la madera y corte	46
FIGURA 3 – 8 Determinación de la humedad del churqui	47
FIGURA 3 – 9 Pirólisis de la materia prima (madera de churqui)	48
FIGURA 3 – 10 Ácido Piroleñoso	49
FIGURA 3 – 11 Destilación en el rotavapor	50
FIGURA 3 – 12 Aireación, trasiego de re destilado	51
FIGURA 3 – 13 Medición del pH	53
FIGURA 3 – 14 Valoración ácido – base	54
FIGURA 4 – 1 Prueba experimental visual sobre el enraizado en plantas ornamentales al ser tratado con ácido piroleñoso.	76

ANEXOS

ANEXO A INFORMES DE LABORATORIO	91
ANEXO B ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS	94
ANEXO C TECNICA EMPLEADA PARA VALORACION ACIDO-BASE	98