

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA ACREDITADA ARCOSUR MERCOSUR 2026-2032



**OBTENCIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS A
PARTIR DE LEONARDITA PARA SU USO COMO
BIOINSUMO AGRÍCOLA EN SAIV LTDA**

Por:

MOISES PANTOJA RIOS

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Julio de 2026

TARIJA-BOLIVIA

APROBADO POR:

M.Sc. Ing. Fernando E. Cortez Michel

DECANO a.i

M.Sc. Arq. Roger Teran Cardozo

VICEDECANO a.i

M.Sc. Ing. René Emilio Michel Cortes

DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRIBUNAL:

Ing. Ignacio Velásquez Sosa

Ing. Juan Pablo Herbas Barrancos

Ing. Fabricio Campero Verdun

Advertencia

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

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre por siempre haber estado para mí de forma incondicional y apoyarme sin importar cual sea la situación.

A mi tío Roger por brindarme sus enseñanzas, consejos, haberme hecho crecer como persona y ser un gran ejemplo a seguir en mi vida.

A mi gatita Cloe que me acompañó y me acompaña todos los días de mi vida, fuiste y eres mi inspiración para salir adelante.

A mi familia por su amor y apoyo que me han brindado y que sé que me brindarán por toda mi vida.

A mis amigos que siempre estuvieron en mis mejores y peores momentos, desde mi niñez hasta mi actualidad, sé que estuvieron y estarán ahí, ahora y siempre.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por el apoyo brindado durante toda mi etapa de formación académica y personal.

A mis docentes por brindarme sus conocimientos, sabiduría y experiencia para poder enfrentar cada obstáculo no solo laboral, sino también de la vida.

A la empresa SAIV Ltda., por abrirme sus puertas, apoyarme y permitirme crecer para ser un mejor profesional.

Pensamiento

No siempre triunfa el que más lo intenta,
pero siempre fracasa el que deja de
intentarlo.

CONTENIDO

Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen	v

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS.....	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
JUSTIFICACIÓN	4
Justificación tecnológica	4
Justificación social.....	4
Justificación económica	4
Justificación ambiental.....	4
Justificación personal.....	5

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Bioinsumo agrícola	7
1.1.1. Definiciones	7
1.1.2 Clasificación de bioinsumos agrícolas.....	7

1.1.3. La agroecología	8
1.1.4. Biofactoria.....	9
1.2. Leonardita como materia prima.....	10
1.2.1. El carbón mineral.....	10
1.2.2. El lignito.....	10
1.2.3. La leonardita.....	11
1.2.3.1. Composición química de la leonardita	12
1.2.4. Otras fuentes de ácidos húmicos y fúlvicos	13
1.3. Sustancias húmicas	14
1.3.1. El humus	14
1.3.2. Ácidos húmicos y fúlvicos	14
1.3.2.1. Ácidos húmicos.....	15
1.3.2.2. Ácidos fúlvicos	16
1.3.3. Principales diferencias entre ácidos húmicos y fúlvicos.....	18
1.3.4. Beneficios de los ácidos húmicos y fúlvicos.....	19
1.3.5. Mecanismo de acción.....	19
1.4 Ácidos húmicos y fúlvicos como bioinsumos	19
1.4.1. Parámetros referenciales de los ácidos húmicos y fúlvicos como bioinsumo agrícola	20
1.5 Procesos de obtención de ácidos húmicos y fúlvicos	21
1.5.1. Método con KOH como álcali.....	22
1.5.2. Obtención con NaOH.....	24

CAPÍTULO II: PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Descripción y análisis de la materia prima.....	27
2.1.1. Resultados de los análisis de la materia prima.....	28
2.2 Selección del proceso para la obtención de ácidos húmicos y fúlvicos.....	28
2.2.1. Matriz de Likert para la selección del proceso.....	30
2.2.2. Metodología para determinar el rendimiento de extracción	30
2.2.3. Diagrama de flujo del proceso.....	30
2.3. Diseño factorial.....	33
2.3.1. Selección de variables del diseño factorial	33
2.3.2 Diseño Factorial 2k.....	34
2.3.3. Codificación de variables.....	35
2.3.4. Niveles seleccionados para los factores designados.....	37
2.4. Descripción del método de investigación.....	41
2.4.1. Materiales, insumos y equipos a utilizar.....	42
2.4.2. Preparación de la solución KOH	43
2.4.2.1. Cálculos para la preparación de la solución de KOH.....	43
2.4.3. Experimentación de los tratamientos.....	45
2.4.3.1. Pesado de la materia prima	45
2.4.3.2. Preparación del baño maría	47
2.4.3.3. Adición del solvente alcalino a la muestra pesada.....	47
2.4.3.5. Filtrado y lavado del residuo	49
2.4.3.6. Secado en estufa.....	50
2.4.3.7. Enfriado en desecador	51

2.4.3.8. Pesado de la masa seca	52
2.4.3.9. Rendimiento de la extracción alcalina de sustancias húmicas.....	53
2.4.4. Fraccionamiento de los ácidos húmicos y fúlvicos	54
2.4.4.1. Acidificación de la solución	54
2.4.4.2. Toma de muestra y sedimentación.....	55
2.4.4.3. Centrifugado y fraccionamiento.....	55

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados obtenidos de la experimentación planteada	57
3.1.1. Resultados cualitativos.....	57
3.1.2. Resultados cuantitativos.....	57
3.2. Análisis estadístico del diseño experimental	61
3.2.1. Estadísticas descriptivas.....	61
3.2.2. Análisis de Varianza	62
3.2.3. Modelo multi lineal aditivo de efectos principales.....	63
3.3. Análisis del producto y su uso como bioinsumo agrícola.....	66
3.3.1. Análisis de laboratorio de ácidos húmicos y fúlvicos	66
3.3.2. Comparación con la materia prima.....	67
3.3.3. Comparación con otros productos	67
3.3.4. Adaptación como Bioinsumo	69
3.3.5. Análisis final del producto	70
3.4. Balance de materia y energía.....	71
3.4.1. Balance de materia.....	71

3.4.1.1. Balance de materia para el experimento N°23.....	72
3.4.1.1.1 Etapa de preparación de la mezcla.....	72
3.4.1.1.2. Extracción de sustancias húmicas.....	72
3.4.1.1.3. Filtrado	73
3.4.1.1.4. Lavado.....	73
3.4.1.1.5. Secado	74
3.4.1.1.6. Rendimiento global del proceso	75
3.4.1.2. Balance de materia para el experimento N°8	76
3.4.1.2.1. Etapa de preparación de la mezcla.....	76
3.4.1.2.2. Extracción de sustancias húmicas.....	76
3.4.1.2.3. Filtrado	77
3.4.1.2.4. Lavado.....	78
3.4.1.2.5. Secado	79
3.4.1.2.6. Rendimiento global del proceso	79
3.4.2. Balance de energía.....	80
3.4.2.1. Balance de energía en la extracción	80
3.4.2.2. Balance de energía en la estufa	82
3.5. Consumo de energía eléctrica del proceso	83
3.5.1 Costo del uso de energía eléctrica total del proyecto	84
3.6. Evaluación de costos asociados al proyecto	85

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.....	87
4.2. Recomendaciones.....	89

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
Referencias físicas	91
Referencias virtuales.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0-1. Importaciones de “los demás abonos minerales o químicos potásicos”	2
Tabla I-1. Composición química de la leonardita.....	13
Tabla I-2. Contenido de sustancias húmicas en otras fuentes	13
Tabla I-3. Ácidos y grupos funcionales del ácido húmico.....	16
Tabla I-4. Ácidos y grupos funcionales del ácido fúlvico	17
Tabla I-5. Diferencias entre ácidos fúlvicos y húmicos.....	18
Tabla I-6. Parámetros referenciales como bioinsumos agrícola.....	20
Tabla II-1. Análisis fisicoquímico de la Leonardita	28
Tabla II-2. Escala de valoración de Likert	29
Tabla II-3. Matriz de Likert.....	30
Tabla II-4. Variables dependientes e independientes del experimento.....	34
Tabla II-5. Niveles del diseño factorial 2^2	36
Tabla II-6. Diseño factorial para el proceso de extracción	36
Tabla II-7. Valores de pH para cada relación S/L con concentración 0,5N de KOH.	39
Tabla II-8. Niveles de los factores.....	40
Tabla II-9. Diseño factorial con los niveles	40
Tabla II-10. Materiales, equipos e insumos para la experimentación	42
Tabla II-11. Condiciones operativas del tratamiento ejemplo	45
Tabla III-1. Datos del diseño experimental.....	58
Tabla III-2. Rendimientos de las experimentaciones.....	59
Tabla III-3. Promedio de los rendimientos para las combinaciones iguales	60
Tabla III-4. Estadísticas descriptivas del diseño experimental	61

Tabla III-5. Pruebas de efectos intersujetos	62
Tabla III-6. Modelo matemático ajustado	63
Tabla III-7. Anova de la regresión.....	64
Tabla III-8. Coeficientes de la regresión.....	64
Tabla III-9. Comparación de rendimientos experimentales y teóricos	65
Tabla III-10. Resultados de los análisis de AH y AF	67
Tabla III-11. Características del Biocat 15.....	67
Tabla III-12. Características de los AH y AF de la Biofactoria	68
Tabla III-13. Comparación entre productos	68
Tabla III-14. Adición de ácido cítrico y su relación con el pH	69
Tabla III-15. Características finales del producto como bioinsumo.....	71
Tabla III-16. Experimentos con mejores rendimientos para el balance.....	71
Tabla III-17. Datos para el balance de energía.....	80
Tabla III-18. Potencias y tiempo de uso de los equipos.....	83
Tabla III-19. Costos por equipo.....	84
Tabla III-20. Costos asociados al proyecto	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1. Composición de la tierra sometida a variables de descomposición	11
Figura I-2. Resultados de los análisis químicos a la leonardita.....	12
Figura I-3. Espectrograma del ácido húmico	16
Figura I-4. Espectrograma del ácido fúlvico	17
Figura I-5. Colorimetría de las sustancias húmicas	18
Figura I-6. Ficha técnica Biocat – 15.....	21
Figura I-7. Ficha técnica HUMITECH	21
Figura I-8. Diagrama del proceso de obtención de sustancias húmicas con KOH.....	24
Figura I-9. Diagrama del proceso de obtención de sustancias húmicas con NaOH ...	26
Figura II-1. Diagrama de flujo del proceso	31
Figura II-2. Diagrama de flujo de la fracción no soluble.....	32
Figura II-3. Diagrama de flujo de la fracción soluble.....	33
Figura III-1. Promedio del rendimiento de las experimentaciones.....	60
Figura III-2. Gráfica de rendimientos experimentales y teóricos.....	66
Figura III-3. Relación ácido cítrico y pH	70

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía I-1. Biofactoría en CASA REAL.....	10
Fotografía I-2. Leonardita mineral o cruda	11
Fotografía I-3. Molécula de ácidos húmicos	15
Fotografía. II-1. Leonardita en su empaque junto a su registro fitosanitario.....	27
Fotografía II-2. Solución de hidróxido de potasio 0,5N envasada	45
Fotografía II-3. Leonardita pesada	46
Fotografía II-4. Sistema de baño maría a temperatura requerida	47
Fotografía II-5. Probeta cargada con solvente alcalino	48
Fotografía II-6. Sistema de extracción en condiciones operacionales.....	49
Fotografía II-7. Filtrado de la fracción no soluble.....	50
Fotografía II-8. Fracción no soluble en estufa	51
Fotografía II-9. Muestra enfriando en desecador	51
Fotografía II-10. Masa del residuo y el papel pesada en la balanza	52
Fotografía II-11. Ácido clorhídrico 50 % v/v.....	54
Fotografía II-12. Reposo de las sustancias húmicas en tubo Falcon	55
Fotografía II-13. Ácidos húmicos y fúlvicos tras centrifugación.....	56

GLOSARIO

-OH	Grupo funcional oxhidrilo
Da	Peso molecular en Dalton
pH	Potencial de hidrógeno
AT	Acidez total
-COOH	Grupo funcional carboxilo
IR	Espectrofotometría infrarroja
AH	Ácidos húmicos
AF	Ácidos fúlvicos
SH	Sustancias húmicas
NaOH	Hidróxido de Sodio
KOH	Hidróxido de Potasio
Na₂P₂O_{7na2}	Pirofosfato disódico
rpm	Revoluciones por minuto
ml	Mililitros
S:L	Relación sólido:líquido (g:ml)
T	Temperatura (°C)

t	Tiempo (horas)
m_o	Masa inicial (g)
m_s	Masa inicial seca (g)
m_p	Masa del papel filtro (g)
m_T	Masa total del papel filtro y la fracción no soluble (g)
m_r	Masa del residuo (g)
m_{ext}	Masa extraída (g)
R	Rendimiento (%)
E	Energía eléctrica consumida (kWh)
P	Potencia nominal (W)
C_p	Calor específico (J/g.°C)
λ	Calor latente de vaporización (J/g)
$Q_{sensible}$	Calor sensible (Joules)
$Q_{latente}$	Calor latente (Joules)
Q_{abs}	Calor absorbido (Joules)
F	Valor estadístico de prueba del análisis de varianza