

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



**“OBTENCIÓN DE BIOFERTILIZANTE ORGÁNICO A PARTIR
DE LA VINAZA DE LA UVA”**

POR:

HERMAN SALDAÑA TEJERINA

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.

Septiembre 2025
TARIJA-BOLIVIA

Dedicatoria:

Dedicado a Dios, mi principal sustento para lograr este objetivo. A mis padres Rolando Saldaña Gutiérrez y Maida Tejerina, por su amor incondicional y apoyo constante, a mis hermanos por su constante apoyo y motivación, y a mis amigos y compañeros que fueron parte de mi formación.

ÍNDICE

Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes.....	1
Mercado de biofertilizantes en el mundo	3
Materia prima	7
OBJETIVOS.....	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
JUSTIFICACIÓN	9
Justificación económica	10
Justificación social.....	10
Justificación tecnológica	11
Justificación ambiental.....	11

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO.....	12
1.1 Biofertilizante orgánico.....	12
1.1.1 Clasificación de los fertilizantes.....	13

1.1.1.1 Según su composición	13
1.1.1.2 Según su naturaleza	14
1.1.2 Composiciones químicas del fertilizante orgánico	14
1.1.3 Propiedades físicas del fertilizante orgánico	15
1.1.4 Presentación física del fertilizante	15
1.1.4.1 En polvo	16
1.1.4.2 Cristalina	16
1.1.4.3 Granulados	16
1.1.4.4 Macro granular	16
1.1.5 Riqueza de los fertilizantes	16
1.1.5.1 Relación C/N equilibrada	16
1.1.6 Requerimientos de elementos esenciales del fertilizante	17
1.1.6.1 Nitrógeno	18
1.1.6.2 Potasio	18
1.1.6.3 Fósforo	18
1.1.6.4 Calcio	18
1.1.6.5 Azufre	19
1.1.6.6 Magnesio	19
1.1.7 Importancia de la humedad y del pH del fertilizante	19
1.1.8 Importancia de la presencia de un aditivo en un fertilizante	20
1.1.9 Beneficios de los fertilizantes orgánicos en los cultivos	20
1.1.10 Diferencias entre el biofertilizante orgánico e inorgánico	21
1.2 Materia prima	22

1.2.1 Vinaza de uva	22
1.2.1.1 Composición químicas	23
1.2.1.2 Proceso de obtención de la vinaza	25
1.2.1.3 Aplicación de vinazas a suelos	27
1.2.2 Descripción de la Vid	28
1.2.2.1 Taxonomía de la vid.....	29
1.2.2.2 Morfología de la vid.....	29
1.2.3 Cascarilla de Arroz	30
1.2.3.1 Composición química.....	31
1.2.3.2 Utilidad y aporte en la agricultura.....	32
1.2.3.3 Ceniza de cascarilla de arroz	33
1.3 Métodos empleados para la concentración de la vinaza	34
1.3.1 Evaporación por rotavapor.....	34
1.3.1.1 Diagrama de bloque de concentración de la vinaza de uva.....	35
1.3.1.2 Ventajas y desventajas del Rotavapor.....	38
1.3.2 Ósmosis Inversa.....	39
1.3.2.1 Diagrama de bloque de la ósmosis inversa.....	40
1.3.2.2 Ventajas y desventajas de la Ósmosis Inversa	42

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	43
2.1 Proceso de concentracion de la vinaza.....	43
2.2 Proceso de homogenización con el aditivo	45

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3. PARTE EXPERIMENTAL.....	47
3.1 Descripción y análisis de la materia prima.....	47
3.1.1 Resultados de los compuestos físico – químico de la materia prima	48
3.1.2 Aportes de los compuestos analizados al Fertilizante Orgánico	49
3.1.2.1 Determinación de humedad	49
3.1.2.2 Determinación de conductividad eléctrica (CE)	49
3.1.2.3 Determinación de cobre (Cu).....	49
3.1.2.4 Determinación de fósforo total	50
3.1.2.5 Determinación de nitrógeno	50
3.1.2.6 Determinación de potasio	50
3.2 Selección del método a utilizar para la concentración de la vinaza.....	50
3.3 Diseño factorial.....	55
3.3.1 Factores	55
3.3.1.1 Concentración de sólidos totales en °Bx	55
3.3.1.2 Porcentaje de aditivos.....	56
3.3.2 Niveles	57
3.3.3 Variables	57
3.3.4 Variable respuesta.....	58
3.3.5 Número de combinaciones.....	58
3.4 Proceso empleado para la obtención de Biofertilizante Orgánico a partir de la vinaza de uva	61
3.5 Descripción del proceso	62

3.5.1 Recepción de la vinaza de uva	62
3.5.2 Vinaza diluida.....	62
3.5.3 Concentración de vinaza en el Rotavapor.....	62
3.5.3.1 Concentración de la vinaza a 50°Bx en el Rotavapor	63
3.5.3.2 Concentración de la vinaza a 60°Bx en el Rotavapor	64
3.5.4 Preparación de la cascarilla de arroz y cenizas.	67
3.5.4.1 Molienda de la cascarilla de arroz en molino de Martillo	67
3.5.4.2 Obtención de ceniza de la cascarilla de arroz	68
3.5.5 Homogenización.....	69
3.5.6 Secado del biofertilizante orgánico	71
3.5.6.1 Muestra 1	73
3.5.6.2 Muestra 2	75
3.5.6.3 Muestra 3	77
3.5.6.4 Muestra 4	79
3.5.7 Envasado	80
3.5.8 Biofertilizante orgánico	81
3.5.8.1 Análisis físico y químico del biofertilizante orgánico	82
3.6 Especificación de equipos y materiales utilizados.....	85
3.7 Balance de materia y energía del proceso	91
3.7.1 Balance de materia.....	91
3.7.1.1 Limpieza de la vinaza.....	93
3.7.1.2 Concentración de la vinaza de uva a 60 °Bx	94
3.7.1.3 Mezcla de la vinaza y los aditivos.....	95

3.7.1.4 Secado del biofertilizante orgánico	96
3.7.1.5 Resultados del balance de materia	98
3.7.2 Balance de energía.....	98
3.7.2.1 Balance de energía en la etapa de concentración.....	98
3.7.2.2 Balance de energía en el secado.....	104
3.7.1.3 Resultados del balance de energía.....	107

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	108
4.1 Análisis de la vinaza.....	108
4.2 Resultados de la concentración de solidos de la vinaza	109
4.3 Resultados físico-químico del producto final.....	110
4.4 Análisis estadístico del diseño experimental	112
4.4.1 Análisis de Regresión (relación C/N).....	114

CAPÍTULO V

COSTOS DEL PROYECTO

5. COSTOS DEL PROYECTO	118
5.1. Evaluación de Costos	118
5.2 Costos de elaboración del biofertilizante orgánico	124

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
6.1 Conclusiones.....	125

6.2 Recomendaciones	127
---------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
BIBLIOGRAFÍAS FÍSICAS.....	128
BIBLIOGRAFÍAS ELECTRÓNICAS	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Demanda mundial de nutrientes fertilizantes (millones de tonelada).	4
Tabla 2. Producción mundial de fertilizante inorgánico	4
Tabla I-1 Composición química del fertilizante orgánico.....	15
Tabla I-2. Composición química de las vinazas de uva.....	24
Tabla I-3. Taxonomía de la vid	29
Tabla I-4: Distribución del peso de los componentes del racimo de uva	29
Tabla I-5. Variedades cultivadas en tarrifa utilizadas para vinificación	30
Tabla I-6. Composición química de la cascarilla de arroz.....	32
Tabla I-7. Composición química de la ceniza de cascarilla de arroz.....	33
Tabla I-8. Ventajas y desventajas del rotavapor.....	38
Tabla-9. Ventajas y desventajas	42
Tabla II-1 Porcentaje de materia orgánica y nutrientes NPK para la vinaza concentrada a 60 °bx y vinaza seca.	45
Tabla III- 1 Análisis físico - químico de la vinaza producida en la bodega daroca. ..	48
Tabla III- 2 Analisis de ambos metodos con factores, ventajas y desventajas.	51
Tabla III- 3 Escala de calificación por puntuación del 1 al 10.....	52
Tabla III- 4 Calificación de los métodos seleccionados	53

Tabla III- 5 Matriz de decisión para la selección del método de concentración de la vinaza	54
Tabla III- 6 Niveles de los factores.....	57
Tabla III- 7 Variables.....	57
Tabla III- 8 Matriz de experimento.....	59
Tabla III-9. Codificación de los experimentos del biofertilizante orgánico	60
Tabla II-10 Parámetros y variables para la concentración de la vinaza de uva.....	63
Tabla III- 11: Datos de elaboración de la curva de concentración a 50 °bx	63
Tabla III-12 Parámetros y variables para la concentración de la vinaza de uva	65
Tabla III- 13: Datos de elaboración de la curva de concentración a 60 °bx	65
Tabla III- 14 Formulación para la elaboración del biofertilizante orgánico	70
Tabla III- 15 Datos de elaboración de curva del secado con 50 °bx	73
Tabla III- 16 Datos de elaboración de curva del secado con 60 °bx	75
Tabla III- 17 Datos de elaboración de curva del secado con 50 °bx	77
Tabla III- 18 Datos de elaboración de curva del secado con 60 °bx	79
Tabla III- 19 Análisis físico y químico del producto final	83
Tabla III-20 Resultados del análisis de la relación carbono/nitrógeno.....	85
Tabla III- 21 Especificaciones de las corrientes del proceso de limpieza de la vinaza	91
Tabla III-22. Equipos de obtención del biofertilizante orgánico.....	92
Tabla III-23 Datos del proceso en el balance de materia	93
Tabla II- 24 Resultados del balance de materia.....	98
Tabla IV-1 Análisis físico - químico de la vinaza.....	108
Tabla IV- 2 Resultados de concentración a 50 °Bx.....	109

Tabla IV- 3 Resultados de la concentración a 60 °Bx	110
Tabla IV-4. Resultados físico-químico del biofertilizante orgánico.....	111
Tabla IV-5. Valores obtenidos y corregido por el programa spss, de la relación c/n116	
Tabla V-1. Costos de la materia prima y materiales de laboratorio adquiridos para desarrollar la parte experimental del proyecto.	118
Tabla V- 2. Costos de análisis físicoquímicos de la vinaza de uva realizado en laboratorio de CEANID y Suelos.	119
Tabla V- 3. Análisis de densidad de la vinaza de uva	120
Tabla V- 4. Detalles de los costos de análisis físicoquímicos de las pruebas de obtención del biofertilizante en laboratorio de ceanid y suelos.	120
Tabla V- 5. Detalles de los costos de análisis físicoquímicos de las pruebas de obtención del biofertilizante en laboratorio de suelos	121
Tabla V-6. Detalle de costos de servicios y materiales directos e indirectos.....	121
Tabla V-7. Detalles de costos energéticos consumidos durante el proceso.....	122
Tabla V-8. Costos totales en general	123
Tabla V-9 Costos de elaboración del biofertilizante orgánico	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mercado global de biofertilizantes 2014-2024.....	5
Figura 2. Distribución mundial del mercado de biofertilizantes	6
Figura I-1. Diferencia entre fertilizante orgánico he inorgánico.....	22
Figura I-2 Diagrama de bloque de la obtención de la vinaza a partir de la uva	25
Figura I- 5: Rotavapor.....	37
Figura I- 3. Osmosis iversa	41
Figura II-1. Instalación del rotavapor concentrando a 60 °bx.....	44

Figura III-1. Vinaza de uva	47
Figura III-2. Diagrama de bloques del proceso de obtención del biofertilizante	61
Figura III- 3 Curva de concentración de la vinaza de uva a 50°bx	64
Figura III- 4 Rotavapor al vacío	64
Figura III- 5. Curva de concentración de la vinaza de uva a 60°bx	66
Figura III- 6. Concentración en el rotavapor.....	66
Figura III- 7. Molino de martillo	67
Figura II- 8. Mufla	68
Figura III-9. Desecador	69
Figura III- 10 Vinaza concentrada, ceniza y cascarilla de arroz molida.....	70
Figura III- 11 Secado del biofertilizante orgánico.....	71
Figura III- 12 Secado del biofertilizante orgánico.....	72
Figura III- 13. Curva de secado a 50 °bx	74
Figura III- 14. Curva de secado a 60 °bx	76
Figura III- 15. Curva de secado a 50 °bx	78
Figura III- 16. Curva de secado a 60 °bx	80
Figura III-17. Envasado del biofertilizante orgánico.....	81
Figura III-18. Biofertilizante orgánico.....	82
Figura 3. 19- Diagrama de flujo de proceso de obtención del biofertilizante orgánico	92
Figura IV-1. Ejecución del análisis de las variables en spss, considerando su relación con la variable de respuesta.....	112
Figura IV-2. Análisis de varianza (relación C/N).....	113
Figura IV-3. Pruebas de efectos inter sujeto para la relación c/n.....	113

Figura IV-4. Regresión lineal, variables de entradas.....	114
Figura IV-5. Regresión lineal, resumen del modelo.....	115
Figura IV-6. Regresión lineal, anova.....	115
Figura VI-7. Coeficientes del modelo de regresión lineal para la relación c/n.....	115
Figura IV-8. Relación de c/n calculado con referencia al corregido	117

ANEXOS

Anexo A. Pruebas preliminares.....	119
Anexo A-1 Prueba N°1.....	119
Tabla A- 1 Datos de elaboración de la curva de concentración a 50 °Bx.....	120
Figura A-1: Curva de concentración de la vinaza de uva a 50°Bx.....	121
Anexo A-2 Prueba N°2.....	121
Tabla A- 2 Datos de elaboración de la curva de concentración a 60 °Bx.....	122
Figura A- 2 Curva de concentración de la vinaza de uva a 60°Bx.....	123
Anexo A- 3 Prueba N°3.....	123
Tabla A- 3 Datos de elaboración de la curva de concentración a 50 °Bx.....	124
Anexo A- 4 Prueba N°4.....	124
Tabla A- 4: Datos de elaboración de la curva de concentración a 60 °Bx.....	125
Figura A-4: Curva de concentración de la vinaza de uva a 60°Bx.....	125
Anexo A- 5 Prueba N°5.....	126
Tabla A- 5: Datos de elaboración de la curva de concentración a 50 °Bx.....	126
Figura A-5: Curva de concentración de la vinaza de uva a 50°Bx.....	127
Anexo A- 6 Prueba N°6.....	127
Tabla A- 6: Datos de elaboración de la curva de concentración a 60 °Bx.....	128

Figura A-6: Curva de concentración de la vinaza de uva a 60°Bx.....	128
Anexo A- 7 Prueba N°7.....	129
Tabla A- 7: Datos de elaboración de la curva de concentración a 60°Bx.....	129
Figura A-7: Curva de concentración de la vinaza de uva a 50°Bx.....	130
Anexo A- 8 Prueba N°8.....	130
Tabla A- 7: Datos de elaboración de la curva de concentración a 60 °Bx.....	131
Figura A-7: Curva de concentración de la vinaza de uva a 50°Bx.....	131
Tabla A- 8 Resultados de las pruebas preliminares de concentración.....	132
Anexo B. Cálculos auxiliares.....	133
Anexo B- 1 Calcularemos la masa de vinaza que ingresa al rotavapor.....	133
Anexo B- 2 Composición de la Corriente C* y E.....	133
Anexo B- 2.1 Masa inicial de agua en la corriente C*.....	133
Anexo B- 2.2 Masa de sólidos en la corriente C*.....	134
Anexo B- 2.3 Masa final de agua en la corriente E.....	134
Anexo B- 2.4 Masa de sólidos en la corriente E.....	134
Anexo B- 3 Composición de agua de la Corriente G.....	135
Anexo B- 5 Cálculo de la capacidad calorífica de la vinaza sólida en el Rotavapor...	135
Anexo C- Tablas.....	137
Anexo C- 1 Tablas de propiedades del agua.....	137
TABLA C- 1 Propiedades del vapor saturado, unidades SI.....	137
TABLA C- 2 Capacidad calorífica del agua en función de la temperatura.....	138
TABLA C-3 Valores de la densidad en función al grado brix.....	139
Anexo D Análisis realizados.....	140

Anexo D- 1 Determinación de densidad de la vinaza.....	
Mediante análisis de densidad de la vinaza en Laboratorio de Suelos.....	141
Anexo D- 2 Determinación del porcentaje de humedad del biofertilizante orgánico..	142
Anexo D- 3 Determinación de cenizas.....	142
Anexo D- 3.1 Procedimiento.....	143
Anexo D- 3.2 Cálculo de la energía gastada.....	143
Anexo D- 4 Molienda de la cascarilla de arroz.....	144
Anexo D- 4.1 Procedimiento.....	144
Anexo D- 4.2 Cálculo de la energía consumida por el molino de martillo.....	145
Anexo D- 5 Determinación del porcentaje de carbono.....	145
Anexo D- 6 Resultados del porcentaje de carbono de las muestras.....	146
TABLA D-1 Resultados del porcentaje de carbono de las muestras.....	146
Anexo D- 7 Determinación de la relación carbono /nitrógeno.....	147
TABLA D- 2 Resultados de la relación C/N.....	147
Anexo E. Análisis fisicoquímico de la vinaza de uva.....	149
Anexo F. Análisis fisicoquímico de las pruebas experimentales.....	151
Anexo G. Análisis fisicoquímico del biofertilizante orgánico.....	163
Anexo G. Fotografías de la obtención de biofertilizante orgánico.....	164

SIGLAS Y/O ABREVIACIONES

LOU = Laboratorio de operaciones unitarias.

FAO = Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

°Bx = Grados Brix (concentración de sólidos solubles).

C/N = Relación Carbono/Nitrógeno.

RIL = Residuo Industrial Líquido.

CEANID = Centro de Análisis Investigación y Desarrollo.

CASAFE = Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes.

ANFFE = Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes.

a. C = Antes de Cristo.

d. C. = Después de Cristo.

pH = Potencial de Hidrógeno.

CEDAF = Centro para el desarrollo agropecuario y forestal.

SNV = la Organización Holandesa de Desarrollo.

ISO = International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización o Estandarización).

MAPA = Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

CPL = Consejo de Producción Limpia.

I.G.M.E = Instituto Geológico y Minero de España.

DBO5 = Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días.

PPM = Partes por millón.

ADN = Ácido Desoxirribonucleico.

CE = Corriente eléctrica.

DIECA = Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar.

DQO = Demanda Química de Oxígeno.

m.s.n.m. = Metros sobre el nivel del mar.

N = Nitrógeno.

P / P_2O_5 = Fósforo / Anhídrido fosfórico.

K / K_2O = Potasio / Óxido de potasio.

Mg = Magnesio.

Ca = Calcio.

Cu = Cobre

Cd = Cadmio

Hg = Mercurio

Pb = Plomo

Ni = Níquel

Cr = Cromo

SiO_2 = Dióxido de silicio

Al_2O_3 = Óxido de aluminio

Fe_2O_3 = Óxido de hierro

MnO = Óxido de manganeso

MgO = Óxido de magnesio

CaO = Óxido de calcio

Na_2O = Óxido de sodio

K_2O = Óxido de potasio

TiO_2 = Óxido de titanio

Zn = Zinc

$T\text{ }^{\circ}\text{C}$ = Temperatura en grados Celsius

$T\text{ }^{\circ}\text{C}$ = Temperatura en grados kelvin

% = Porcentaje