

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



**ELABORACIÓN DE FERTILIZANTE ORGÁNICO A PARTIR  
DE VINAZA PRODUCIDA EN INDUSTRIAS AGRÍCOLAS DE  
BERMEJO S.A. DEPARTAMENTO DE TARIJA**

**Por:**

**SILVIA MARLENE PORCO VERA**

Proyecto de grado, modalidad (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 de 2019**

**Tarija – Bolivia**

**V°B°**

---

M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez

**DECANO**

Facultad de Ciencias y Tecnología

---

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANA**

Facultad de Ciencias y Tecnología

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Freddy Germán López Zamora

---

Ing. Miguel Ángel Vargas Coro

---

Ing. Abraham Anahue Flores

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.

**DEDICATORIAS**

Dedicado a Dios, mi principal sustento; a mis padres Victor y Beatriz, quienes me brindaron su amor, ayuda en todo momento y me dieron su apoyo para la culminación de la presente investigación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres por la vida y permitirme conocer y experimentar lo bello de la naturaleza.

Le agradezco a mi tutor de tesis Juan Carlos Vega Knez por su completo apoyo durante el desarrollo de la tesis.

Agradezco el apoyo incondicional al Ing. Freddy López Zamora y a todo el equipo del laboratorio CEANID quienes me brindaron su espacio y tiempo. Agradezco al Ing. Ernesto Caihuara Alejandro y al Ing. Ignacio Edwin Velasquez Soza por su tiempo y apoyo.

## ÍNDICE

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

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 Objetivo General .....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.3.1 Justificación Económica.....	2
1.3.2 Justificación Tecnológica.....	3
1.3.3 Justificación Social.....	3
1.3.4 Justificación Ambiental.....	4

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades de los Fertilizantes Orgánicos .....	5
2.1.1 Definición.....	5
2.1.2 Caracterización del fertilizante orgánico .....	5
2.1.3 Riqueza de los Fertilizantes .....	6

2.1.4 Relación C/N equilibrada.....	7
2.1.5 Requerimientos de elementos esenciales del fertilizante .....	7
2.1.5.1 Nitrógeno .....	7
2.1.5.2 Potasio .....	8
2.1.5.3 Fósforo .....	8
2.1.5.4 Calcio .....	8
2.1.5.5 Azufre.....	8
2.1.5.6 Magnesio .....	9
2.1.6 Importancia de la presencia de un aditivo en un fertilizante.....	9
2.1.6.1 Cascarilla de Arroz.....	9
2.2 Materia Prima: Vinaza .....	11
2.2.1 Proceso de obtención de la vinaza .....	12
2.2.2 Vinaza generada en Industrias Agrícolas de Bermejo S.A. 2000-2017 .....	13
2.3 Métodos empleados para la concentración de la vinaza .....	14
2.3.1 Evaporación por doble efecto.....	14
2.3.2 Ósmosis Inversa .....	15

### **CAPÍTULO III**

#### **PARTE EXPERIMENTAL**

3.1 Descripción y análisis de la materia prima .....	16
3.1.1 Resultados de los análisis de la materia prima.....	17
3.2 Diseño Experimental.....	18
3.2.1 Factores .....	18
3.2.2 Niveles .....	18

3.2.3 Variable respuesta .....	19
3.3 Selección del método a utilizar para la concentración de la vinaza .....	20
3.4 Descripción del método de investigación .....	24
3.5 Proceso para la elaboración de fertilizante orgánico a partir de vinaza .....	25
3.6 Descripción del proceso para la obtención de fertilizante orgánico a partir de vinaza .....	25
3.6.1 Concentración de la vinaza en el Rotavapor .....	25
3.6.1.1 Concentración de la vinaza a 50°Bx.....	26
3.6.1.2 Concentración de la vinaza a 60°Bx.....	27
3.6.2 Preparación del aditivo.....	30
3.6.2.1 Molienda de la cascarilla de arroz.....	30
3.6.2.2 Obtención de ceniza de la cascarilla de arroz .....	31
3.6.3 Mezclado .....	31
3.6.4 Secado .....	32
3.6.4.1 Muestra 1-55% .....	33
3.6.4.2 Muestra 2-45% .....	35
3.6.4.3 Muestra 3-55% .....	36
3.6.4.4 Muestra 4-45% .....	37
3.6.5 Productos finales .....	39
3.6.5.1 Determinación del porcentaje de vinaza óptimo para la elaboración de fertilizante .....	39
3.7 Descripción de las características de los equipos utilizados .....	41
3.8 Balance de materia y energía del proceso .....	44
3.8.1 Diagrama de flujo del proceso de elaboración del fertilizante orgánico.....	44



3.8.2 Balance de materia .....	46
3.8.2.1 Resultados del balance de materia .....	52
3.8.3 Balance de energía .....	53
3.8.3.1 Balance en el Rotavapor 1.....	53
3.8.3.2 Balance en el Rotavapor 2.....	60
3.8.3.3 Balance en el secador .....	66
3.8.3.4 Resultados del balance de energía.....	68

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Análisis del producto final .....	69
4.1.1 Resultados del producto final.....	69
4.1.2 Comparación de la composición del producto final y del fertilizante (Kimelgran).....	70
4.2 Análisis estadístico del diseño experimental.....	71
4.2.1 Análisis de Regresión (relación C/N) .....	72
4.3 Rendimiento del proceso.....	74

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones .....	75
5.2 Recomendaciones.....	75
BIBLIOGRAFÍA .....	76

## ANEXO A

### PRUEBAS PRELIMINARES

A.1 Prueba N°1 .....	79
A.2 Prueba N°2 .....	82
A.3 Prueba N°3 .....	85
A.4 Prueba N°4 .....	88
A.5 Prueba N°5 .....	91
A.6 Prueba N°6 .....	95
A.7 Discusión de los resultados de las pruebas preliminares .....	99

## ANEXO B

### CÁLCULOS AUXILIARES

B.1 Cantidad en Kg de vinaza que ingresa al Rotavapor 1 .....	101
B.2 Composición de la Corriente C1 .....	101
B.2.1 Masa de agua en C1.....	101
B.2.2 Masa de vinaza sólida en C1 .....	102
B.3 Composición de la Corriente C3 .....	102
B.3.1 Masa de agua en C3.....	102
B.3.2 Masa de vinaza sólida en C3 .....	103
B.4 Composición de agua de la Corriente C7 .....	103
B.4.1 Masa de agua en C7.....	103
B.5 Cálculo de la capacidad calorífica de la vinaza sólida en el Rotavapor 1 .....	104
B.6 Cálculo de la capacidad calorífica de la vinaza sólida en el Rotavapor 2 .....	105
B.7 Fracciones másicas que tiene cada componente del proceso de Mezclado E-3 .	107

B.7.1 Fracción másica de la vinaza “"XV" ” .....	107
B.7.2 Fracción másica de la cascarilla de arroz “XCA” .....	107
B.7.3 Fracción másica de la ceniza de cascarilla de arroz “XCCA”.....	108
B.8 Cálculo de la capacidad calorífica de la ceniza de cascarilla de arroz .....	108
B.9 Capacidad calorífica de la cascarilla de arroz .....	108
B.10 Cálculo de la capacidad calorífica de la vinaza de 49,7 °Bx .....	109
B.11 Capacidad calorífica de la mezcla en función a las fracciones másicas que tiene cada componente en el proceso de Mezclado E-3 .....	109

## **ANEXO C**

### **TABLAS**

C.1 Tablas de propiedades del agua.....	111
---	-----

## **ANEXO D**

### **ANÁLISIS REALIZADOS**

D.1 Determinación de densidad de la vinaza .....	113
D.2 Determinación de Humedad.....	115
D.3 Descripción del analizador de humedad.....	117
D.4 Determinación del porcentaje de Carbono .....	118
D.5 Resultados del % de carbono de las muestras .....	119
D.6 Determinación de la relación C/N.....	120
D.7 Resultados de la relación C/N .....	121
D.8 Determinación de cenizas.....	122

**ANEXO E**

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA VINAZA**

**ANEXO F**

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES**

**ANEXO G**

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL FERTILIZANTE ORGÁNICO**

**ANEXO H**

**COMPOSICIÓN DEL AGUA OBTENIDA POR EL MÉTODO DE ÓSMOSIS  
INVERSA Y EVAPORACIÓN**

**ANEXO I**

**COMPOSICIÓN DEL FERTILIZANTE ORGÁNICO**

**KIMELGRAN**

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

TABLA II- 1 Características del fertilizante orgánico.....	6
TABLA II- 2 Caracterización físico - química de la cascarilla de arroz.....	9
TABLA II- 3 Caracterización físico - química de la ceniza de cascarilla de arroz.....	10
TABLA II- 4 Composición físico-química de la vinaza de IABSA.....	12
TABLA II- 5 Producción de Vinaza IABSA 2000-2017.....	14

### CAPÍTULO III

#### PARTE EXPERIMENTAL

TABLA III- 1 Análisis físico - químico de la vinaza producida en Industrias Agrícolas de Bermejo S.A.....	17
TABLA III- 2 Niveles de los factores.....	19
TABLA III- 3 Codificación de las variables.....	19
TABLA III- 4 Diseño Factorial para el método de Concentración.....	20
TABLA III- 5 Análisis de las ventajas y desventajas de ambos métodos.....	20
TABLA III- 6 Escala de calificación por puntuación del 1 al 10.....	22
TABLA III- 7 Calificación de los métodos.....	23
TABLA III- 8 Matriz de decisión para la selección del método de concentración de la vinaza.....	24
TABLA III- 9 Formulación para la elaboración del fertilizante orgánico.....	32
TABLA III- 10 Datos de elaboración de la curva de secado - Muestra 1-55%.....	33
TABLA III- 11 Datos de elaboración de la curva de secado - Muestra 2-45%.....	35
TABLA III- 12 Datos de elaboración de la curva de secado - Muestra 3-55%.....	36

TABLA III- 13 Datos de elaboración de la curva de secado - Muestra 4-45%.....	37
TABLA III- 14 Descripción de los productos.....	39
TABLA III- 15 Resultados de Relación C/N.....	40
TABLA III- 16 Especificaciones de las corrientes del diagrama de flujo del proceso de elaboración fertilizante orgánico.....	44
TABLA III- 17 Datos del proceso de elaboración del fertilizante para el balance de materia.....	46
TABLA III- 18 Resultados del balance de materia.....	52
TABLA III- 19 Resultados del balance de energía.....	68

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

TABLA IV- 1 Análisis físico - químico del fertilizante orgánico a partir de vinaza..	69
TABLA IV- 2 Composición del producto final y del Kimelgran.....	70

## **ANEXO A**

### **PRUEBAS PRELIMINARES**

TABLA A- 1 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 23,8°Bx – primera etapa a 70 °C.....	79
TABLA A- 2 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 50,4 °Bx – segunda etapa a 60 °C.....	81
TABLA A- 3 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 27,9°Bx – primera etapa a 70 °C.....	82
TABLA A- 4 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 60,4°Bx– segunda etapa a 60 °C.....	84
TABLA A- 5 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 24°Bx – primera etapa a 75 °C.....	85

TABLA A- 6 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 49,7°Bx– segunda etapa a 65 °C.....	86
TABLA A- 7 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 27,8°Bx – primera etapa a 75 °C.....	88
TABLA A- 8 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 60,3°Bx– segunda etapa a 65 °C.....	90
TABLA A- 9 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 23,3°Bx – primera etapa a 80 °C.....	91
TABLA A- 10 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 49,7°Bx– segunda etapa a 70 °C.....	93
TABLA A- 11 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 28,1°Bx – primera etapa a 80 °C.....	95
TABLA A- 12 Datos de elaboración de la curva de concentración de la vinaza a 60,3°Bx– segunda etapa a 70 °C.....	97
TABLA A- 13 Resultados de las pruebas preliminares de concentración de vinaza a 50°Bx.....	99
TABLA A- 14 Resultados de las pruebas preliminares de concentración de vinaza a 60°Bx.....	99

## **ANEXO C**

### **TABLAS**

TABLA C- 1 Propiedades del vapor saturado, unidades SI.....	111
TABLA C- 2 Capacidad calorífica del agua en función de la temperatura.....	112

## **ANEXO D**

### **ANÁLISIS REALIZADOS**

TABLA D- 1 Resultados de densidad de la vinaza.....	114
---	-----

TABLA D- 2 Resultados de humedad del producto final.....	116
TABLA D- 3 Resultados del % de carbono de las muestras .....	119
TABLA D- 4 Resultados de la relación C/N .....	121
TABLA D- 5 Resultados de cenizas del producto final.....	123

## **ANEXO H**

### **COMPOSICIÓN DEL AGUA OBTENIDA POR EL MÉTODO DE ÓSMOSIS INVERSA Y EVAPORACIÓN**

TABLA H- 1 Composición del agua obtenida por el método de ósmosis inversa y evaporación.....	136
---	-----



## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

Fig. 2- 1 Proceso de producción de alcohol etílico a partir de melaza..... 13

### CAPÍTULO III

#### PARTE EXPERIMENTAL

Fig. 3- 1 Obtención de la vinaza de Industrias Agrícolas de Bermejo S.A..... 16

Fig. 3- 2 Diagrama de bloques del proceso para la elaboración de fertilizante orgánico a partir de Vinaza.....25

Fig. 3- 3 Curva de Concentración de la vinaza a 23,3°Bx–primera etapa a 80 °C.....26

Fig. 3- 4 Curva de Concentración de la vinaza a 49,7°Bx– segunda etapa a 70°C.....27

Fig. 3- 5 Curva de Concentración de la vinaza a 28,1°Bx– primera etapa a 80°C.....28

Fig. 3- 6 Curva de Concentración de la vinaza a 60,3°Bx– segunda etapa a 70°C.....29

Fig. 3- 7 Concentración de la vinaza por doble efecto en los rotavapores.....30

Fig. 3- 8 Molienda de la cascarilla de arroz.....31

Fig. 3- 9 Incineración de la cascarilla de arroz.....31

Fig. 3- 10 Mezclado de la vinaza y el aditivo.....32

Fig. 3- 11 Secado de la vinaza concentrada y el aditivo homogenizado.....33

Fig. 3- 12 Curva de secado-Muestra 1-55%.....34

Fig. 3- 13 Curva de secado-Muestra 2-45%.....35

Fig. 3- 14 Curva de secado-Muestra 3-55%.....37

Fig. 3- 15 Curva de secado-Muestra 4-45%.....38

Fig. 3- 16 Flujo del proceso de elaboración fertilizante orgánico.....45

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fig. 4- 1 Ejecución de Análisis en SPSS-Variable respuesta relación C/N.....	71
Fig. 4- 2 Análisis de Varianza ANOVA (Relación C/N).....	72
Fig. 4- 3 Regresión.....	73
Fig. 4- 4 Relación C/N observado y Relación C/N calculado.....	74

### ANEXO A

#### PRUEBAS PRELIMINARES

Fig. A- 1 Curva de Concentración de la vinaza a 23,8°Bx – primera etapa a 70 °C.....	80
Fig. A- 2 Curva de Concentración de la vinaza a 50,4°Bx – segunda etapa a 60 °C.....	81
Fig. A- 3 Curva de Concentración de la vinaza a 27,9°Bx – primera etapa a 70 °C.....	83
Fig. A- 4 Curva de Concentración de la vinaza a 60,4°Bx– segunda etapa a 60 °C.....	84
Fig. A- 5 Curva de Concentración de la vinaza a 24°Bx – primera etapa a 75 °C.....	86
Fig. A- 6 Curva de Concentración de la vinaza a 49,7°Bx– segunda etapa a 65 °C.....	87
Fig. A- 7 Curva de Concentración de la vinaza a 27,8°Bx– primera etapa a 75 °C.....	89
Fig. A- 8 Curva de Concentración de la vinaza a 60,3°Bx– segunda etapa a 65 °C.....	90
Fig. A- 9 Curva de Concentración de la vinaza a 23,3°Bx– primera etapa a 80 °C.....	92
Fig. A- 10 Curva de Concentración de la vinaza a 49,7°Bx– segunda etapa a 70°C.....	94
Fig. A- 11 Curva de Concentración de la vinaza a 28,1°Bx– primera etapa a 80°C.....	96
Fig. A- 12 Curva de Concentración de la vinaza a 60,3°Bx– segunda etapa a 70°C.....	98

**ANEXO D****ANÁLISIS REALIZADOS**

Fig. D- 1 Determinación de densidad.....	113
Fig. D- 2 Determinación de humedad.....	115
Fig. D- 3 Determinación de cenizas.....	122