

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Industrias Agrícolas de Bermejo S.A., es la principal industria de la región de Bermejo ubicada en el departamento de Tarija. Es una empresa productora y comercializadora de azúcar y alcohol a partir de caña de azúcar.

De acuerdo con la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas (AEMP) en el estudio de la Cadena Productiva de Azúcar en Bolivia, se estima que 1 tonelada métrica de caña de azúcar produce entre 30 a 40 Kg de melaza; y, por cada tonelada métrica de melaza se producen 230 litros de alcohol (AEMP, 2010:31-32), y se generan alrededor de 2530 litros de vinaza, tomando como base una producción de 11 litros de vinaza/ litro de alcohol, relación que se maneja en la industria local.

Dicho de otro modo la vinaza proviene de la caña de azúcar y se obtienen de la fermentación y destilación de las melazas para producir alcohol; son el principal residuo en la obtención de alcohol. Es un líquido de color café con bajo pH, olor dulce y contiene materia orgánica disuelta y en suspensión.

El volumen generado de vinaza es elevado, si no se realiza un debido tratamiento podría producir severos impactos al medio ambiente.

Es por ello que en la actualidad es necesario buscar maneras de utilizar los residuos industriales, en este caso la vinaza con el fin de obtener productos en beneficio de la comunidad.

Para mitigar su impacto contaminante, la vinaza ha sido objeto de investigaciones, misma que demuestran que la vinaza como fertilizante es un excelente producto orgánico mejorador del suelo debido a que mejora el pH del suelo e incrementa la concentración de potasio (Alfaro R. y Alfaro, J., 1996); así también mejora las relaciones catiónicas, principalmente entre el calcio y el magnesio. Pero, es necesario conocer la influencia de la concentración de vinaza con la que se va a trabajar.

## **1.2 Objetivos**

Los objetivos de la presente investigación son los que se detallan a continuación.

### **1.2.1 Objetivo General**

Elaborar (con carácter experimental) Fertilizante Orgánico a partir de Vinaza producida en Industrias Agrícolas de Bermejo S.A. departamento de Tarija.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar la Vinaza producida en Industrias Agrícolas de Bermejo S.A. departamento de Tarija para la elaboración del Fertilizante Orgánico.
- Seleccionar el método de concentración de la Vinaza.
- Diseñar y ejecutar la Fase Experimental del Proceso Tecnológico de elaboración de Fertilizante Orgánico a partir de Vinaza.
- Determinar y valorar las propiedades físico químicas, así como los parámetros de calidad del producto obtenido: Fertilizante Orgánico de Vinaza
- Determinar el rendimiento del Proceso Tecnológico experimental utilizado para la elaboración de Fertilizante Orgánico de Vinaza.

## **1.3 Justificación**

El tratamiento de los residuos industriales, incluida la vinaza procedente de Las Industrias Agrícolas De Bermejo S.A. es un tema muy debatido hoy, sobre todo en países industrializados, en los cuales existen regulaciones gubernamentales que controlan el grado de contaminación producido por sus industrias.

Es importante buscar maneras de dar un valor agregado a los residuos industriales, en este caso la vinaza, con el fin de obtener productos en beneficio de la comunidad.

### **1.3.1 Justificación Económica**

Es importante resaltar que los fertilizantes orgánicos además de tener una gran importancia ambiental, también proporcionan beneficios económicos, ya que reducen los costos para su elaboración, debido a que la materia prima es un residuo industrial disponible.

Notiboliviarrural (2018, Marzo 26) Industrias Agrícolas de Bermejo S.A. tiene proyectado la implementación del segundo destilador con una capacidad de 120000 litros y así ingresar en el proyecto “Bolivia en la era de los biocombustibles”, lanzado por el Gobierno e industrias azucareras de Santa Cruz. Bermejo estima hacer inversiones de US\$ 500000 para instalar la deshidratadora en su infraestructura para producir alcohol anhidro, que incentivaría a los productores de la zona en ampliar la superficie de caña en 3000 Ha más en los siguientes años.

Por consiguiente aumentara la disponibilidad de este residuo industrial en grandes cantidades.

### **1.3.2 Justificación Tecnológica**

Para el desarrollo del presente proyecto se cuenta con los equipos necesarios para la obtención del fertilizante orgánico propuesto, además de contar con las técnicas adecuadas para la realización de las pruebas necesarias.

### **1.3.3 Justificación Social**

La obtención de este fertilizante orgánico ayuda a combatir uno de los problemas principales de las sociedades al brindar un manejo alternativo a este tipo de residuo industrial que muchas veces constituye una de los mayores retos a superar para la industria.

Ing. Mendoza Norma (2018, abril 26) destaca que luego de un estudio realizado por parte de Industrias Agrícolas de Bermejo S.A. afirma que la aplicación directa de vinaza a los campos de cultivo no es recomendable y que en la actualidad se está usando la vinaza en un % mínimo para la elaboración de abono orgánico.

Esto quiere decir que el residuo industrial está en exceso y aun no se le ha dado un valor agregado a todo el subproducto generado.

### **1.3.4 Justificación Ambiental**

Con la implementación del segundo destilador con una capacidad de 120000 litros, se generara mayor cantidad en litros de vinaza, considerando como base una producción de 11 litros de vinaza/ litro de alcohol, relación que se maneja en la industria local.

Esto constituyen un problema ambiental, si no es manejado adecuadamente el residuo generado, es por ello que en la actualidad es necesario buscar maneras de dar un valor agregado a los residuos industriales, en este caso la vinaza.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Generalidades de los Fertilizantes Orgánicos**

##### **2.1.1 Definición**

En general se denomina fertilizante a cualquier material que contenga uno o más nutrientes esenciales y que se añada al suelo o se aplique sobre follaje de las plantas con el propósito de complementar el suministro de dichos nutrientes.

Se define como fertilizante orgánico a los productos obtenidos a partir de residuos o de desechos animales, vegetales y a los subproductos de estos que se han obtenido por algún proceso (natural o industrial), tal como es el caso de la vinaza que es un subproducto del proceso de destilación.

En cualquier caso, la mayoría de los productos orgánicos tienen contenidos muy pequeños de elementos nutritivos que, no obstante, deben tenerse en cuenta, dado que la aplicación de estos productos al suelo se hace en cantidades bastante considerables, ya que su objetivo principal es mantener el contenido de materia orgánica del suelo.

Por ello, la aportación de elementos nutritivos en forma orgánica es un medio de incrementar la reserva de los mismos en el suelo y por tanto, el nivel de fertilidad. Su liberación lenta y progresiva es una garantía de que elementos móviles como el nitrógeno permanecen retenidos en el suelo de modo que no es lavado fácilmente.

##### **2.1.2 Caracterización del fertilizante orgánico**

Como se ha mencionado anteriormente el fertilizante orgánico es un producto obtenido a partir de residuos o desechos animales y/o vegetales que contiene porcentajes mínimos y máximos de materia orgánica y elementos que se citan en la TABLA II- 1.

**TABLA II- 1 Características del fertilizante orgánico**

N orgánico	Mínimo	2 % sobre materia seca
N + P + K	Mínimo	6 % sobre el peso total
Materia orgánica total	Mínimo	% sobre materia seca
Relación C/N	Mínimo	25; Máximo 35
Humedad	Máximo	35%
Cadmio	Máximo	30 ppm
Cobre	Máximo	1.500 ppm
Níquel	Máximo	350 ppm
Plomo	Máximo	1.000 ppm
Zinc	Máximo	3.000 ppm
Mercurio	Máximo	20 ppm
Cromo	Máximo	750 ppm

**Fuente:** Manual de fertilizantes, México - 1º Ed. 2004.

### 2.1.3 Riqueza de los Fertilizantes

Se entiende como riqueza, graduación o concentración de un abono la cantidad de elemento nutritivo asimilable, que contiene por unidad de peso de producto.

El concepto de elemento asimilable en los fertilizantes, si bien tiene alguna afinidad con el mismo concepto empleado en el suelo, no tiene relación ni correspondencia alguna directa. En efecto, la determinación del contenido de elemento asimilable que define la riqueza del fertilizante obedece a unas normas concretas de análisis para cada tipo de fertilizante en particular que, de algún modo, se estima que refleja la cantidad de elemento que pueda participar activamente en las reacciones del sistema suelo-planta. Al analizar las propiedades específicas de los principales fertilizantes, se examinará el valor agronómico del contenido fertilizante en cada caso.



#### **2.1.4 Relación C/N equilibrada**

La relación C/N, expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción (Coyne, 2000). El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un fertilizante de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el fertilizante. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un fertilizante equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el serrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las deyecciones animales y los residuos de matadero.

Para saber con precisión cuál es la relación C/N, las materias primas deberían ser analizadas y de ese modo poder determinar cuáles son las cantidades exactas de carbono y nitrógeno presentes en ellas, dado que existen variaciones en estos valores por motivos estacionales. Sin embargo, para fines prácticos, es aceptable el realizar una mezcla usando como referencia los valores promedio.

#### **2.1.5 Requerimientos de elementos esenciales del fertilizante**

Se pueden dividir en nutrientes primarios y secundarios; los nutrientes primarios son nitrógeno, fósforo y potasio y los nutrientes secundarios son magnesio, azufre y calcio.

##### **2.1.5.1 Nitrógeno**

Es el nutriente mineral más demandado por las plantas. Esto no resulta sorprendente si tenemos en cuenta que el Nitrógeno es el constituyente más habitual de la planta, después del carbono y el oxígeno. El Nitrógeno total mineralizable presente en el suelo

depende de su contenido original de Nitrógeno orgánico. El nitrato es la forma más importante de Nitrógeno adquirida por las plantas en los suelo (Coyne, 2000).

Como es sabido el Nitrógeno es tomado por las plantas principalmente en su forma nítrica lo que ocurre en condiciones naturales a través de la nitrificación de la materia orgánica, posteriormente a su amonificación a través, de la acción de distintos mohos y bacterias aerobios (Maroto, 1990).

#### **2.1.5.2 Potasio**

Interviene en procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la respiración, regulando la transpiración logrando ahorro de agua, también es regulador de la funciones de la planta, activador de enzimas. El Potasio participa en los mecanismos de apertura y cierre estomático (Azcón-Bieto, 1993).

Este elemento K determina en gran medida el tamaño final de los productos, su coloración, serosidad, y sabor de los frutos, así como del tamaño y color de las hojas y el tamaño y peso específico de los tubérculos y rizomas de los cultivos (Yáñez, 2002).

#### **2.1.5.3 Fósforo**

Es el segundo nutriente inorgánico necesario para las plantas y los microorganismos, además interviene en la mayoría de los procesos de crecimiento, influye directamente sobre mecanismos, como la floración, la fructificación y la formación de un adecuado sistema radicular (Maroto, 1990).

#### **2.1.5.4 Calcio**

Es un elemento importante y esencial para la formación y desarrollo inicial de todos los órganos y tejidos de las plantas ya que es indispensable para la formación de cada una de las células y su multiplicación, se requiere para la conformación de las paredes celulares y para la regulación de la integridad de las membranas (Yáñez, 2002).

#### **2.1.5.5 Azufre**

En los compuestos orgánicos de las células se presenta en estado reducido como grupo sulfhidrilo. La mayoría de los organismos fotosintéticos asimilan el azufre en estado

inorgánico como sulfatos que posteriormente son reducidos. También bacterias y hongos también pueden asimilar el azufre como sulfato. Las necesidades de nitrógeno y azufre, pueden cubrirse frecuentemente con materiales orgánicos que contienen estos dos elementos en estado reducido. (Yáñez, 2002).

#### **2.1.5.6 Magnesio**

Es el constituyente central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un aceptador de la energía provista por el sol; por ello, del 15 al 20 por ciento del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes. El Mg se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta. (FAO, 2002).

#### **2.1.6 Importancia de la presencia de un aditivo en un fertilizante**

El aditivo debe mejorar la estructura física del abono orgánico, facilitando la aireación, absorción de la humedad de la filtración de nutrientes en el suelo. También debe favorecer el incremento de la actividad macro y microbiológica del abono y de la tierra, y al mismo tiempo estimula el desarrollo uniforme y abundante del sistema radical de las plantas.

##### **2.1.6.1 Cascarilla de Arroz**

La cascarilla de arroz es una alternativa como aditivo, ya que es una fuente rica en sílice, en forma de ceniza, lo que confiere a los vegetales mayor resistencia contra el ataque de plagas insectiles y enfermedades. A largo plazo, se convierte en una constante fuente de humus. Además es un material rico en carbono. En la siguiente tabla se detalla la composición química de la cascarilla de arroz.

**TABLA II- 2 Caracterización físico - química de la cascarilla de arroz**

<b>Cascarilla de arroz</b>	
<b>Componente</b>	<b>%</b>
Carbono	39,1

Hidrógeno	5,2
Nitrógeno	0,6
Oxígeno	37,2
Azufre	0,1
Cenizas	17,8
Humedad	21,3

**Fuente:** Varón CJ. Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz.- Peña S, Zambrano G. Hormigón Celular con la Utilización de Materiales Locales.- NTC3493- Elaboración propia.

En la forma de cascarilla carbonizada (ceniza), aporta principalmente fósforo y potasio, como se detalla en la TABLA II-3, y al mismo tiempo ayuda a corregir la acidez de los suelos. La cascarilla de arroz, puede alcanzar, en muchos casos, hasta una tercera parte del total de los componentes de los abonos orgánicos.

**TABLA II- 3 Caracterización físico - química de la ceniza de cascarilla de arroz**

<b>Ceniza de cascarilla de arroz</b>	
<b>Componente</b>	<b>%</b>
Ceniza de Sílice (SiO <sub>2</sub> )	94,1
Óxido de Calcio (CaO)	0,55
Óxido de Magnesio (MgO)	0,95
Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	2,10
Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	0,11

Sulfato	0,06
Cloro	0,05
Óxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> )	0,05
Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,12
Otros componentes: (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,82
Humedad	0,852

**Fuente:** Varón CJ. Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz.- Peña S, Zambrano G. Hormigón Celular con la Utilización de Materiales Locales.- NTC3493-Elaboración propia.

López y Aguilar (2016) en la Patente “Producción de fertilizante sólido a partir de vinazas” trabaja con un 45,50 y 55 % de aditivo, que es una mezcla de cascarilla de arroz y ceniza (70/30%), para obtener las características deseadas del fertilizante.

## 2.2 Materia Prima: Vinaza

La vinaza es un material líquido resultante de la fermentación de la melaza y posterior destilación del alcohol y está compuesta por agua, sales minerales, materia orgánica y constituyentes no fermentables de la melaza, es considerado un residuo corrosivo: (Tesis de grado, Ing. Ruiz Gareca Lisbeth, 2011.)

La composición de la vinaza es variable y depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo, eficiencia de la fermentación y destilación además de las variedades y maduración de la caña. Sin embargo la vinaza presenta en su composición componentes químicos.

Este residuo, es altamente corrosivo y contaminante de las fuentes de agua; es un líquido de color café con bajo pH, olor dulce y contenido de materia orgánica disuelta

y en suspensión. La elaboración del fertilizante orgánico a partir de vinaza, se realiza con el propósito de aprovechar los sólidos disueltos y la cantidad considerable de nutrimentos que contiene la vinaza, necesarios para el desarrollo vegetal. A continuación se muestra la composición físico-química de la vinaza, en el capítulo III se realiza un estudio más detallado de su composición.

**TABLA II- 4 Composición físico-química de la vinaza de IABSA**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Bicarbonatos	mg/l	7370
Cobre	mg/100g	< 0,03
Fósforo	mg/100g	12,2
Humedad	%	92,69
Nitrógeno Total	%	0,07
Potasio Total	mg/100g	934
Plomo	mg/100g	0,07
Zinc	mg/100g	0,63

**Fuente:** CEANID, 2018 - IABSA, 2018

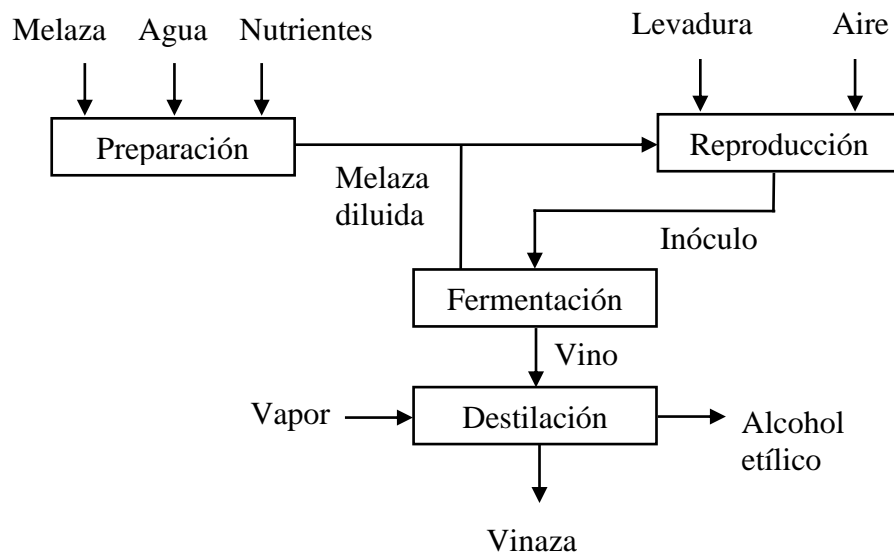
Como se puede observar en la Tabla II-4 la vinaza posee los nutrientes primarios de un fertilizante, cabe resaltar que aunque la cantidad sea mínima, el propósito de la elaboración del fertilizante orgánico, es de aprovechar los sólidos.

### **2.2.1 Proceso de obtención de la vinaza**

La melaza que sale de la producción de azúcar es dirigida a sección de destilería, donde se prepara en unas cubas de 70000 litros de capacidad, el denominado mosto. Que se obtiene diluyendo la melaza en agua caliente y se agregan levaduras para que se realice la fermentación.

Una vez obtenido el mosto se lo lleva a las centrifugas donde se separa el vino a destilación y la crema, esta crema vuelve a ser llevada a otras cubas puesto que todavía contiene levadura. Mientras el vino es llevado a una torre de destilación de 10 platos que trabajan en un intervalo de temperatura de 107 – 95°C, y una presión de 1-1,5 Kg/cm<sup>2</sup>. Entonces debido a los diferentes puntos de ebullición el alcohol se va separando de la vinaza. Saliendo por la parte superior de la torre el alcohol y por la parte inferior la vinaza. (Tesis de grado, Ing. Ruiz Gareca Lisbeth, 2011).

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



**Fuente:** Pérez, Y. y Garrido N. 2009

### 2.2.2 Vinaza generada en Industrias Agrícolas de Bermejo S.A. 2000-2017

A continuación se detalla la producción de Vinaza que se generó en Industrias Agrícolas de Bermejo S.A. 2000-2017, si por cada litro de alcohol se obtiene aproximadamente 11 litros de vinaza.

**TABLA II- 5 Producción de Vinaza IABSA 2000-2017**

<b>Año</b>	<b>Producción de Alcohol (Lts.)</b>	<b>Producción de Vinaza (Lts.)</b>
2000	3.666.387	40.330.257
2001	5.104.009	56.144.099
2002	3.766.975	41.436.725
2003	5.172.936	56.902.296
2004	5.405.212	59.457.332
2005	6.675.536	73.430.896
2006	6.396.920	70.366.120
2007	6.339.353	69.732.883
2008	6.977.621	76.753.831
2009	7.886.898	86.755.878
2010	4.839.776	53.237.536
2011	7.452.858	81.981.438
2012	8.831.387	97.145.257
2013	6.882.913	75.712.043
2014	3.542.073	38.962.803
2015	1.484.030	16.324.330
2016	6.581.620	72.397.820
2017	4.621.758	50.839.338

**Fuente** IABSA. 2018-Elaboración Propia

### **2.3 Métodos empleados para la concentración de la vinaza**

A continuación se procede a describir dos métodos de concentración de la vinaza usados frecuentemente en países como Brasil, Argentina, Colombia y Paraguay.

#### **2.3.1 Evaporación por doble efecto**

Este método se lleva a cabo la eliminación de agua a través de la evaporación.

Sin embargo se debe tener en cuenta que las temperaturas elevadas deterioran el proceso, lo cual se evita trabajando con presiones a vacío cada vez mayores, para así tener las características orgánicas deseadas en el concentrado.

El Rotavapor permite la evaporación rápida de disolvente de una disolución debido a que dispone de una bomba de vacío.



La vinaza contiene un % humedad. Por tanto el objetivo es evaporar el agua, debido a que se encuentra en mayor porcentaje.

Es importante conocer el punto de ebullición del disolvente (agua), para no sobrecalentar el baño de agua y trabajar con presiones al vacío aceptables.

Este método se realiza en dos diferentes condiciones de temperaturas y presiones al vacío, tomando en cuenta una temperatura menor en el último efecto y una presión al vacío mayor por lo anteriormente dicho.

### **2.3.2 Ósmosis Inversa**

Este método se encarga de separar toda la materia prima o también llamada soluto, que esta presenta en la solución. En este método se obliga al disolvente a fluir a través de una membrana mediante la acción de una presión mayor a la presión osmótica normal.

En el método de ósmosis inversa, las moléculas presentes de soluto son de aproximadamente el mismo tamaño del disolvente.

En estos métodos de separación, basándose en la diferencia de presiones a través de una membrana, combinan la adaptabilidad con la simplicidad técnica, lo cual hace un método muy eficaz, pero a su vez presenta un elevado costo de instalación.

**CAPÍTULO III**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

## CAPÍTULO III

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 Descripción y análisis de la materia prima

La vinaza fue recolectada de Industrias Agrícolas de Bermejo durante la época de zafra. Así mismo se realizó dos muestreos, de los cuales se obtuvieron sus análisis respectivos en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”.

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



**Fuente:** Elaboración propia, 201

Los análisis físico - químicos se realizaron en el laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

A continuación se detallan los tipos de análisis realizados:

Laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID)

En este laboratorio se realizaron los análisis de materia prima; vinaza. (Anexo F)

- Determinación de Cobre

- Determinación de Fósforo total
- Determinación de Humedad
- Determinación de Nitrógeno total
- Determinación de Potasio total
- Determinación de Plomo
- Determinación de Zinc

### 3.1.1 Resultados de los análisis de la materia prima

En la TABLA III- 1 se muestran los resultados del análisis físico-químico que se realizó a la materia prima (vinaza):

**TABLA III- 1 Análisis físico - químico de la vinaza producida en Industrias Agrícolas de Bermejo S.A.**

Parámetro	Unidad	Resultado
Cobre	mg/100g	<0,03
Fósforo	mg/100g	12,2
Humedad	%	92,69
Nitrógeno Total	%	0,07
Potasio Total	mg/100g	934
Plomo	mg/100g	0,07
Zinc	mg/100g	0,63

**Fuente:** Elaboración propia - CEANID, 2018

Como se puede observar en la TABLA III- 1, el contenido de potasio es de 934 mg/100g, esto indica que la vinaza tiene mayor porcentaje de potasio, además de poseer 12,2 mg/100g de fósforo. El aporte de Nitrógeno no es significativo, debido al elevado porcentaje de humedad.

La vinaza tiene rangos mínimos de Cobre, Plomo y Zinc, estos valores no sobrepasan los valores límites referenciales de la TABLA II-1 que requiere un fertilizante.

### **3.2 Diseño Experimental**

El diseño experimental del presente estudio es realizado en la concentración de la vinaza en el Rotavapor.

El diseño experimental planteado es de  $2^2$ , donde 2 son los niveles y 2 factores. Se repite la experiencia dos veces para tener resultados significativos y validados.

#### **3.2.1 Factores**

Los factores manipulables son:

##### **a) °Bx**

La vinaza se considera concentrada cuando posee 55 a 60% de sólidos totales.

La concentración alrededor de 60°Bx tiene la posibilidad de uso para elaboración de fertilizante. (DIECA N°21,1985 y El Agricultor Costarricense, 1985).

Por tanto para que exista una influencia notable del nivel de concentración en la elaboración del fertilizante se considera los rangos de 50 a 60°Bx para concentrar la vinaza.

Se considera vinaza concentrada:

##### **b) Porcentaje de vinaza**

El porcentaje de vinaza que se mezcle con el aditivo afectara a la relación Carbono/Nitrógeno que se obtenga.

López y Aguilar (2016) en la Patente “Producción de fertilizante sólido a partir de vinazas” trabaja con un 45,50 y 55% de vinaza, donde obtiene relaciones C/N dentro de los límites de aceptación, sin embargo para notar diferencias significativas se analizarán 45 y 55% de vinaza.

#### **3.2.2 Niveles**

A continuación se presentan los niveles de los factores.

**TABLA III- 2 Niveles de los factores**

Nivel	°Bx	% de Vinaza
1	50	55
2	60	45

**Fuente:** Elaboración propia

**TABLA III- 3 Codificación de las variables**

Nivel	°Bx	% de Vinaza
1	-1	-1
2	1	1

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.3 Variable respuesta

La variable respuesta es la relación Carbono/Nitrógeno

### 3.2.4 Número de combinaciones

Al ser el diseño factorial:

$$2^k$$

El número de experiencias es:  $2^2 = 4$

Considerando dos réplicas:

Numero de experimentos:  $2^2 * 2 = 8$  experimentos

La combinación de las variables o interacción se muestra en la TABLA III-4.

**TABLA III- 4 Diseño Factorial para el método de Concentración**

<b>Nº de Experimento</b>	<b>Nombre del experimento</b>	<b>°Bx</b>	<b>% de vinaza</b>	<b>R C/N</b>
1	1-55% A	-1	-1	Y1
2	1-55% B	-1	-1	Y2
3	2-45% A	-1	1	Y3
4	2-45% B	-1	1	Y4
5	3-55% A	1	-1	Y5
6	3-55% B	1	-1	Y6
7	4-45% A	1	1	Y7
8	4-45% B	1	1	Y8

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3 Selección del método a utilizar para la concentración de la vinaza

La selección del método para la concentración de la vinaza se realiza en base a un análisis de las ventajas y desventajas de los siguientes métodos:

- Evaporación por doble efecto
- Ósmosis inversa.

**TABLA III- 5 Análisis de las ventajas y desventajas de ambos métodos**

<b>Factor evaluado</b>	<b>Análisis de las ventajas y desventajas de ambos métodos</b>	
	<b>Evaporación por doble efecto</b>	<b>Ósmosis Inversa</b>
<b>Presión de operación</b>	Comúnmente se trabaja con presión por debajo a la atmosférica (vacío).	El método de ósmosis Inversa Plato Tubular de Rochem opera a una presión osmótica elevada de 50 a 60 bar.

<b>Complejidad</b>	El método consiste en realizar la evaporación de la materia prima para así poder eliminar su componente de dilución (agua), trabaja a presiones por debajo de la atmosférica (vacío).	La ósmosis inversa consiste en separar un componente de otro en una solución, mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semi-permeable. Se opera a presiones por encima de la presión atmosférica.
<b>Efecto sobre los componentes importantes</b>	Al tratarse de un producto orgánico, se debe tener en cuenta que las temperaturas elevadas deterioran el proceso; lo que afectará las características orgánicas del producto final.	El método de ósmosis inversa, presenta la obtención de un producto de mayor calidad, debido a que se remueven sus contaminantes casi en su totalidad. De acuerdo a un estudio realizado (ver anexo H) se puede revelar que por este método a diferencia del método de evaporación se tiene la mayor recuperación de Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre los cuales son considerados requerimientos esenciales de un fertilizante.
<b>Disponibilidad del equipo para la Investigación</b>	El Rotavapor permite la evaporación rápida de disolvente de una disolución debido a que dispone de una bomba de vacío. Este equipo se encuentra disponible en el	Debido a su elevado costo de instalación, e incluso al cambio de membranas que requiere el método de ósmosis inversa. Estos equipos no se encuentran disponibles.



	LOU (Laboratorio de Operaciones unitarias).	
<b>Costos</b>	Este método presenta un diseño apropiado para su realización, con un costo de instalación más reducido.	El método requiere una membrana semipermeable de elevado costo. Además de una presión alta, lo que implica mayor costo de operación.

**Fuente:** Elaboración propia, 2018

Para la selección del método se asigna una calificación de acuerdo a una escala predeterminada de uno a diez, siendo el método adecuado aquel que acumule el mayor puntaje.

**TABLA III- 6 Escala de calificación por puntuación del 1 al 10**

<b>Escala de Puntuación</b>	<b>Puntuación</b>
Excelente	10
Muy Buena	7
Buena	5
Regular	3
Mala	1

**Fuente:** Elaboración propia, 2018

La TABLA III- 6 permite realizar la siguiente calificación de los métodos:

**TABLA III- 7 Calificación de los métodos**

<b>Factor evaluado</b>	<b>Calificación</b>	
	<b>Evaporación por doble efecto</b>	<b>Ósmosis Inversa</b>
<b>Presión de operación</b>	10	1
<b>Complejidad</b>	5	3
<b>Efecto sobre los componentes importantes</b>	7	10
<b>Disponibilidad del equipo para la Investigación</b>	9	2
<b>Costos</b>	10	2

**Fuente:** Elaboración propia, 2018

En la TABLA III- 7 se muestra la calificación de ambos métodos, que se traducen en la siguiente matriz de selección del método.

**TABLA III- 8 Matriz de decisión para la selección del método de concentración de la vinaza**

Parámetros	Selección del método para la concentración de la vinaza				
	Valoración porcentual %	Evaporación por doble efecto		Ósmosis Inversa	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
<b>Presión de operación</b>	20	10	20	1	2
<b>Complejidad</b>	25	5	12,5	3	7,5
<b>Efecto sobre los componentes importantes</b>	25	7	17,5	10	25
<b>Disponibilidad del equipo para la Investigación</b>	15	9	13,5	2	3
<b>Costos</b>	15	10	15	2	3
<b>TOTAL</b>	100		<u>78,5</u>		40,5

**Fuente:** Elaboración propia, 2018

Según los resultados de la matriz de decisión, el método más conveniente para la concentración de la vinaza es la evaporación por doble efecto mediante el uso de rotavapores, debido a la baja presión de operación y además se cuenta con la disponibilidad del equipo, lo que reduce los costos de manera positiva.

### **3.4 Descripción del método de investigación**

La presente investigación brinda una alternativa para el aprovechamiento de la vinaza, para la elaboración de fertilizante orgánico.

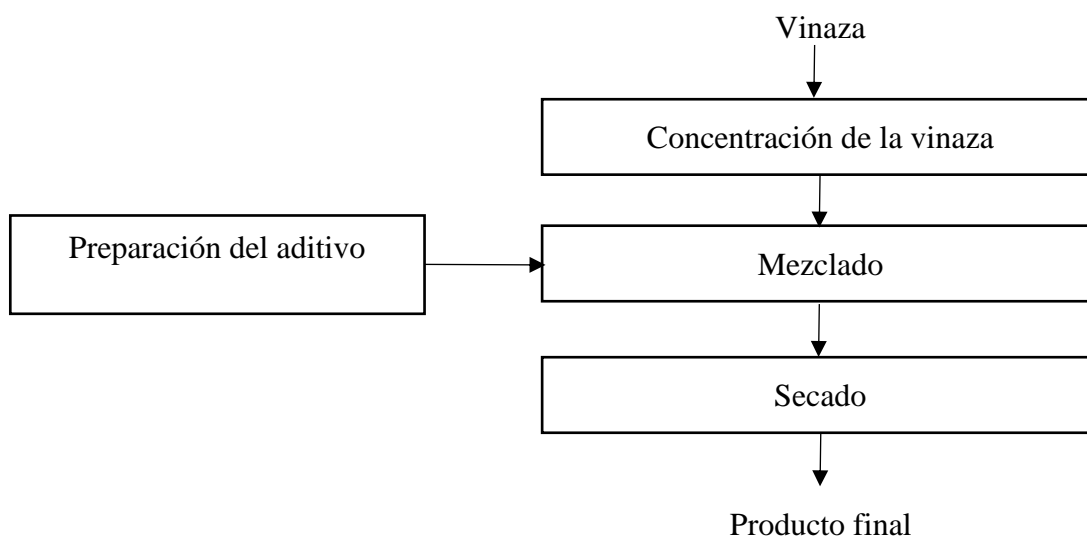
Para el desarrollo del presente proyecto, la parte experimental consiste principalmente en la concentración de la vinaza, según los resultados de la matriz de decisión

presentada en la TABLA III-8, el método más conveniente para la concentración de la vinaza es la evaporación por doble efecto en rotavapores, a la cual posteriormente se le adiciona una mezcla de cascarilla y ceniza de cascarilla de arroz, con la finalidad de mejorar la estructura física del fertilizante y posteriormente se realice el secado de la mezcla.

### 3.5 Proceso para la elaboración de fertilizante orgánico a partir de vinaza

En el siguiente diagrama se describe el proceso para la elaboración de fertilizante orgánico a partir de vinaza.

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



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.6 Descripción del proceso para la obtención de fertilizante orgánico a partir de vinaza

El proceso para la obtención de fertilizante orgánico a partir de vinaza, se describe a continuación.

#### 3.6.1 Concentración de la vinaza en el Rotavapor

La vinaza proveniente Industrias Agrícolas de Bermejo S.A se procedió a concentrarla a 50 y 60°Bx en los rotavapores luego de haber realizado una discusión de las pruebas

preliminares (Anexo A.7), donde se estableció concentrar la vinaza bajo las siguientes condiciones de temperatura:

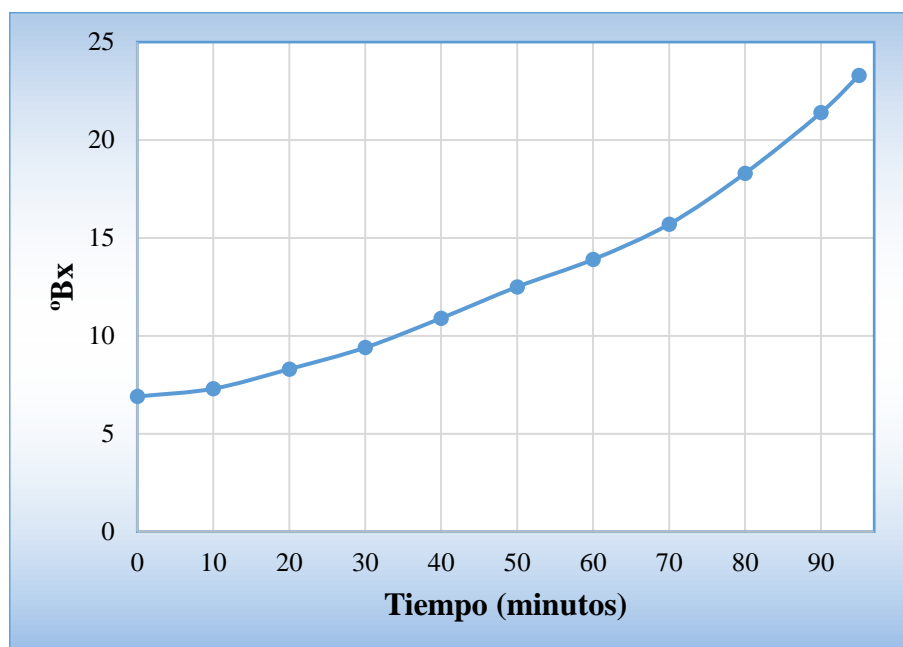
### 3.6.1.1 Concentración de la vinaza a 50°Bx

La primera etapa se realizó en el rotavapor 1 bajo las siguientes condiciones:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
°Bx <sub>i</sub>	Grados Brix inicial	6,9 °Bx
°Bx <sub>f</sub>	Grados Brix final	23,3 °Bx
T	Temperatura de concentración	80 °C
P	Presión de vacío	60,955 kPa
t	Tiempo	95 minutos

A continuación se detalla la curva de concentración de la vinaza de la primera etapa.

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



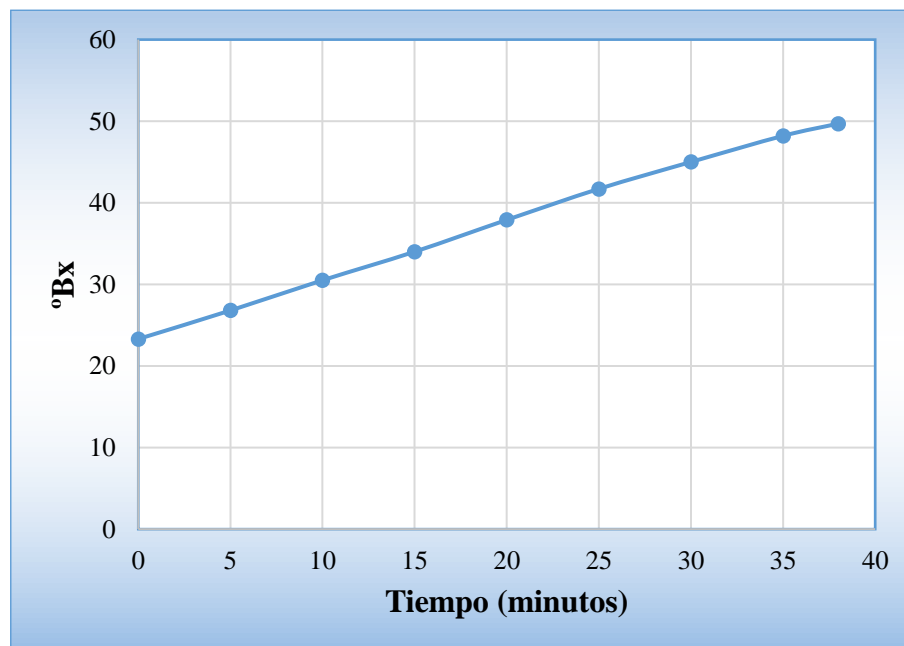
**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

La segunda etapa se realizó en el rotavapor 2 bajo las siguientes condiciones:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$^{\circ}\text{Bx}_i$	Grados Brix inicial	23,3 $^{\circ}\text{Bx}$
$^{\circ}\text{Bx}_f$	Grados Brix final	49,7 $^{\circ}\text{Bx}$
T	Temperatura de concentración	70 $^{\circ}\text{C}$
P	Presión de vacío	75,994 kPa
t	Tiempo	38 minutos

A continuación se detalla la curva de concentración de la vinaza de la segunda etapa.

**Fig. 3- 4 Curva de Concentración de la vinaza a 49,7 $^{\circ}\text{Bx}$ – segunda etapa a 70 $^{\circ}\text{C}$**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

Por tanto el tiempo total de concentración hasta alcanzar 49,7  $^{\circ}\text{Bx}$  fue de 133 minutos.

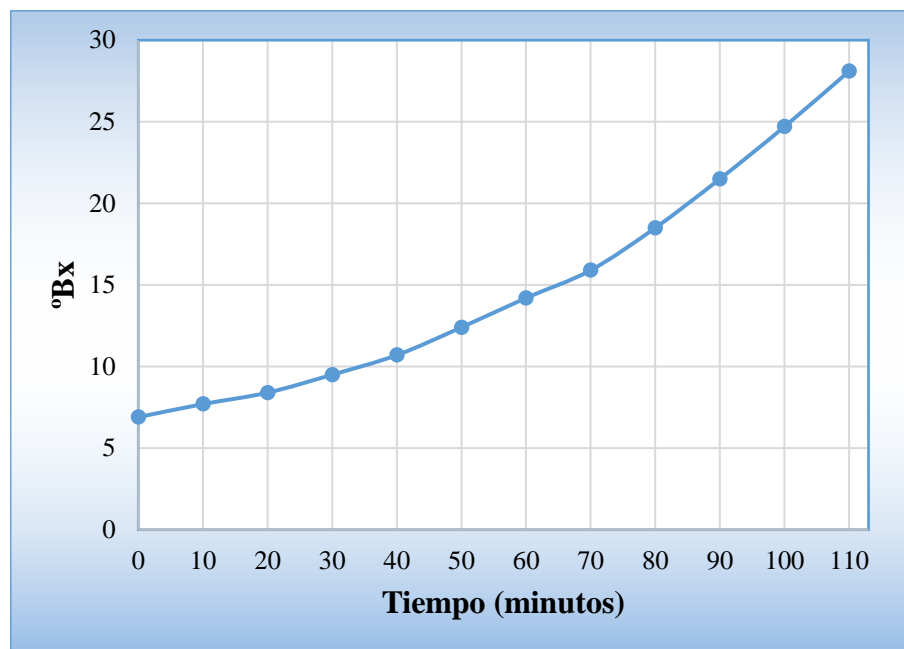
### 3.6.1.2 Concentración de la vinaza a 60 $^{\circ}\text{Bx}$

La primera etapa se realizó en el rotavapor 1 bajo las siguientes condiciones:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$^{\circ}\text{Bx}_i$	Grados Brix inicial	6,9 $^{\circ}\text{Bx}$
$^{\circ}\text{Bx}_f$	Grados Brix final	28,1 $^{\circ}\text{Bx}$
T	Temperatura de concentración	80 $^{\circ}\text{C}$
P	Presión de vacío	60,955 kPa
t	Tiempo	110

A continuación se detalla la curva de concentración de la vinaza de la primera etapa.

**Fig. 3- 5 Curva de Concentración de la vinaza a 28,1 $^{\circ}\text{Bx}$ – primera etapa a 80 $^{\circ}\text{C}$**



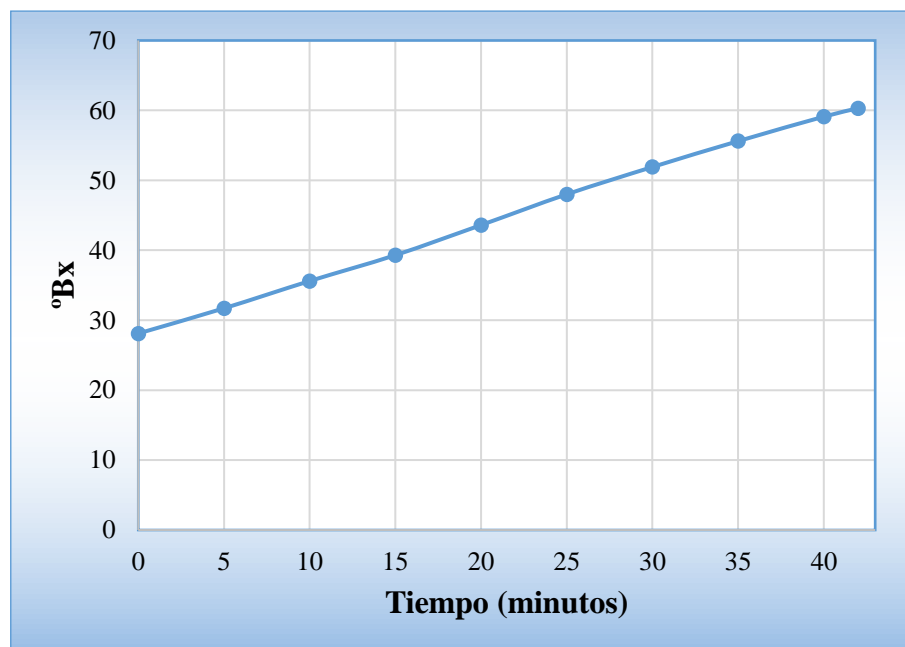
**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

La segunda etapa se realizó en el rotavapor 2 bajo las siguientes condiciones:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$^{\circ}\text{Bx}_i$	Grados Brix inicial	28,1 $^{\circ}\text{Bx}$
$^{\circ}\text{Bx}_f$	Grados Brix final	60,3 $^{\circ}\text{Bx}$
T	Temperatura de concentración	70 $^{\circ}\text{C}$
P	Presión de vacío	75,994 kPa
t	Tiempo	42 minutos

A continuación se detalla la curva de concentración de la vinaza de la segunda etapa.

**Fig. 3- 6 Curva de Concentración de la vinaza a 60,3 $^{\circ}\text{Bx}$ – segunda etapa a 70 $^{\circ}\text{C}$**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2019



Por tanto el tiempo total de concentración hasta alcanzar 60,3 °Bx fue de 152 minutos.

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



**Fuente:** Elaboración propia, 2019

### **3.6.2 Preparación del aditivo**

La cascarilla de arroz se utilizó considerando una mezcla de cascarilla de arroz y ceniza (70/30%), para obtener las características deseadas del fertilizante.

La cascarilla de arroz es procesada para su posterior inclusión de la siguiente manera:

- Molienda de la cascarilla de arroz
- Obtención de ceniza de la cascarilla de arroz

#### **3.6.2.1 Molienda de la cascarilla de arroz**

La cascarilla de arroz pasó a través de un tamiz de 0.8 mm de un molino de martillos con un rendimiento del 78%, con el fin de obtener la cascarilla de arroz fina para mejorar la consistencia física deseada del fertilizante.

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



**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

### **3.6.2.2 Obtención de ceniza de la cascarilla de arroz**

La cascarilla de arroz fue incinerada en la mufla a 550°C para obtener las cenizas de la misma.

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



**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

### **3.6.3 Mezclado**

Se realizó un mezclado de la vinaza y el aditivo, con la finalidad de lograr una mezcla totalmente homogénea.

Para lo cual se realizaron las siguientes formulaciones:

**TABLA III- 9 Formulación para la elaboración del fertilizante orgánico**

<b>Componentes de la mezcla</b>	<b>Muestra 1- 55%</b>	<b>Muestra 2- 45%</b>	<b>Muestra 3- 55%</b>	<b>Muestra 4- 45%</b>
<b>Aditivo</b>	45	55	45	55
<b>Vinaza de 50°Bx</b>	55	45	-	-
<b>Vinaza de 60°Bx</b>	-	-	55	45
<b>Total %</b>	100	100	100	100

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

Se obtuvieron 4 diferentes formulaciones. El aditivo está compuesto de un 70 % de cascarilla de arroz y un 30% de ceniza de cascarilla de arroz.

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



**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

### 3.6.4 Secado

Terminada la inclusión del aditivo y luego de verificar que la mezcla se encontraba perfectamente homogenizada, las muestras pasaron a un secador al vacío, a una temperatura de 65°C y una presión de vacío de 0.8 bar con la finalidad de retirar la humedad del producto. Para obtener el producto final.

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



**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

El proceso de secado se realizó en el secador al vacío bajo las siguientes condiciones:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
T	Temperatura de concentración	65 °C
P	Presión de vacío	80 kPa
P <sub>c</sub>	Peso de la cápsula vacía	37,223 g

A continuación se detalla las curvas de secado de las cuatro muestras con diferente formulación, dicha formulación se detalla en la TABLA III-9.

#### 3.6.4.1 Muestra 1-55%

**TABLA III- 10 Datos de elaboración de la curva de secado - Muestra 1-55%**

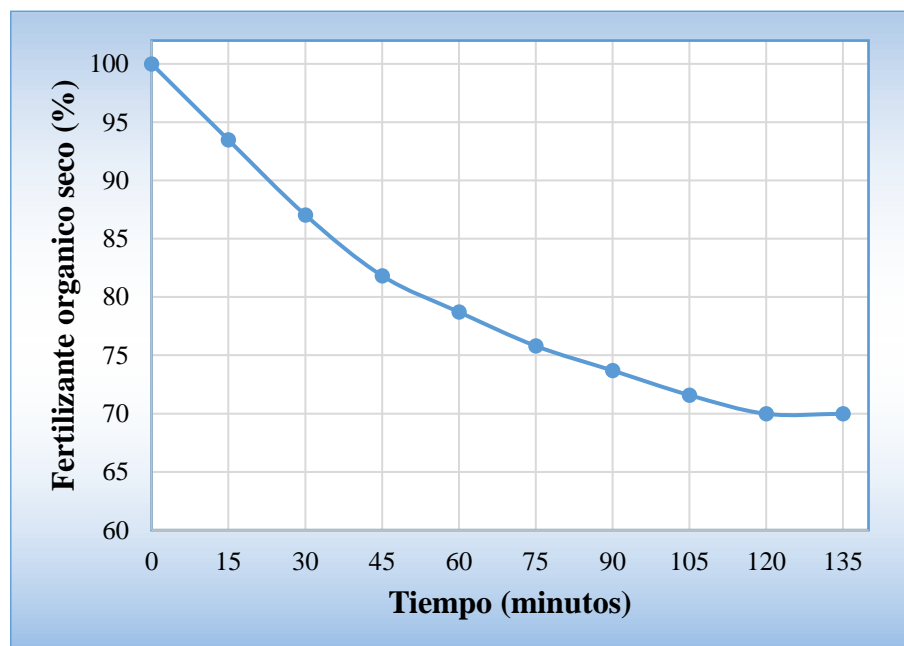
<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Masa de muestra ( gramos)</b>	<b>Fertilizante orgánico seco (%)</b>
0	9,96	100
15	9,31	93,47
30	8,67	87,05
45	8,15	81,83
60	7,84	78,71

Tiempo (minutos)	Masa de muestra (gramos)	Fertilizante orgánico seco (%)
75	7,55	75,80
90	7,34	73,69
105	7,13	71,59
120	6,97	69,98
135	6,97	69,98

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

A continuación se detalla la curva de secado en base a los datos de la TABLA III-10.

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



**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

Como se puede observar en la Fig. 3-12 el tiempo total de secado es de 120 minutos, considerando un peso constante.

## 3.6.4.2 Muestra 2-45%

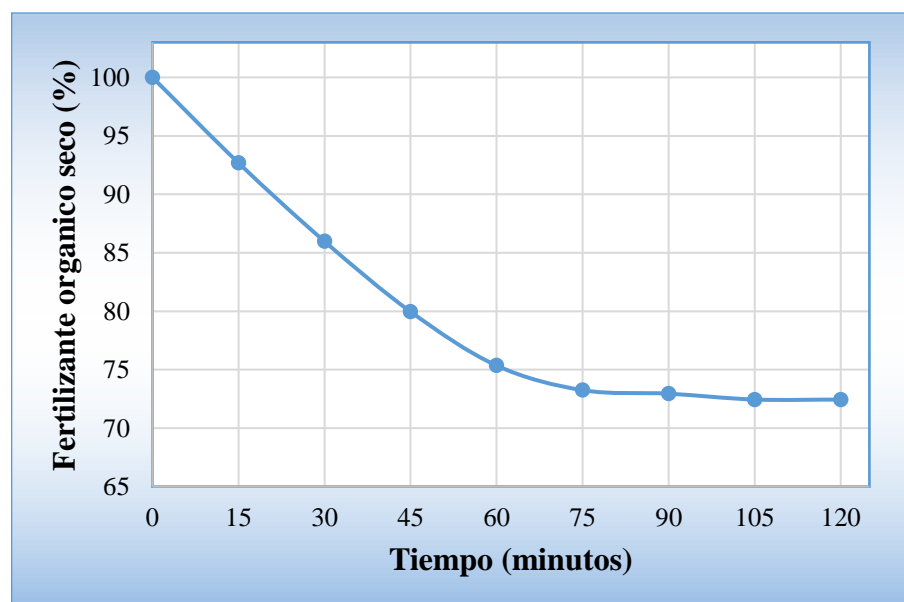
TABLA III- 11 Datos de elaboración de la curva de secado - Muestra 2-45%

Tiempo (minutos)	Masa de muestra (gramos)	Fertilizante orgánico seco (%)
0	9,98	100
15	9,25	92,69
30	8,58	85,97
45	7,98	79,96
60	7,52	75,35
75	7,31	73,25
90	7,28	72,95
105	7,23	72,44
120	7,23	72,44

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

A continuación se detalla la curva de secado en base a los datos de la TABLA III-11.

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



**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

Como se puede observar en la Fig. 3-13 el tiempo total de secado es de 105 minutos, considerando un peso constante.

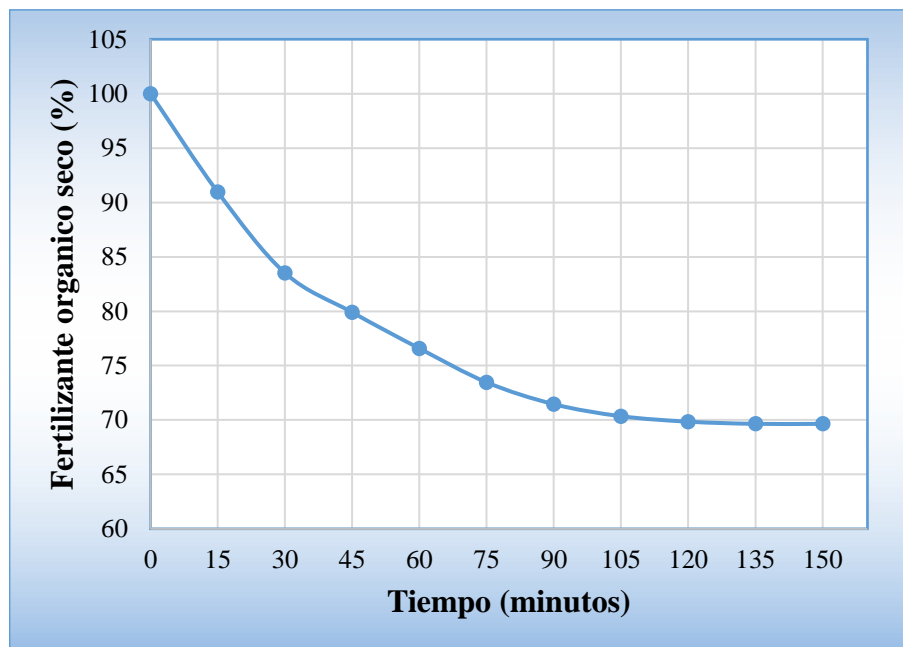
### 3.6.4.3 Muestra 3-55%

**TABLA III- 12 Datos de elaboración de la curva de secado - Muestra 3-55%**

Tiempo (minutos)	Masa de muestra ( gramos)	Fertilizante orgánico seco (%)
0	9,95	100
15	9,05	90,95
30	8,31	83,52
45	7,95	79,90
60	7,62	76,58
75	7,31	73,47
90	7,11	71,46
105	7,00	70,35
120	6,95	69,85
135	6,93	69,65
150	6,93	69,65

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

A continuación se detalla la curva de secado en base a los datos de la TABLA III-12.

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

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

Como se puede observar en la Fig. 3-14 el tiempo total de secado es de 135 minutos, considerando un peso constante.

#### 3.6.4.4 Muestra 4-45%

**TABLA III- 13 Datos de elaboración de la curva de secado - Muestra 4-45%**

Tiempo (minutos)	Masa de muestra ( gramos)	Fertilizante orgánico seco (%)
0	9,95	100
15	9,12	91,658
30	8,40	84,422
45	7,97	80,101
60	7,59	76,281

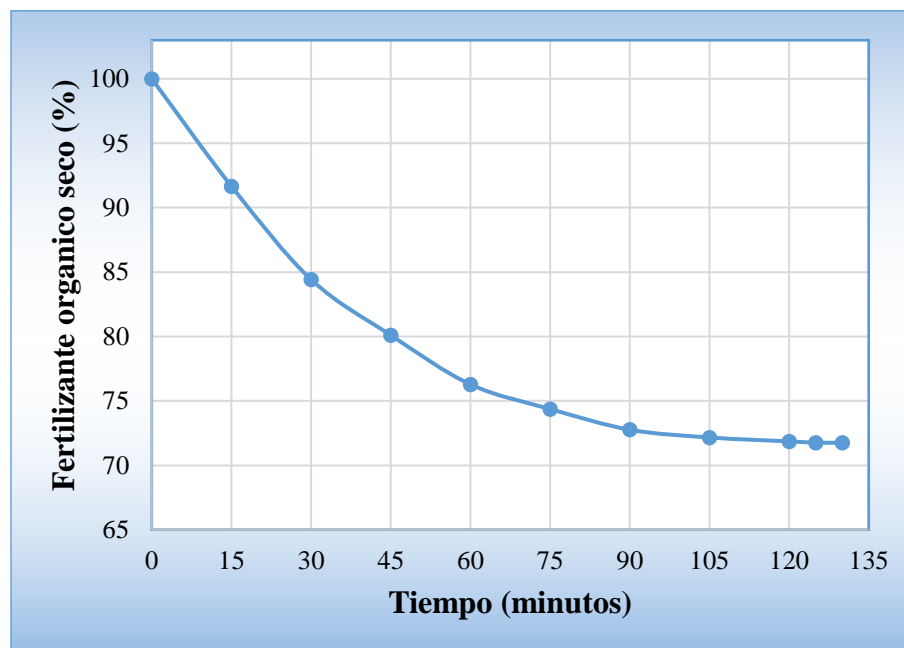


Tiempo (minutos)	Masa de muestra (gramos)	Fertilizante orgánico seco (%)
75	7,40	74,372
90	7,24	72,764
105	7,18	72,161
120	7,15	71,859
125	7,14	71,759
130	7,14	71,759

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

A continuación se detalla la curva de secado en base a los datos de la TABLA III-13.

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



**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

Como se puede observar en la Fig. 3-15 el tiempo total de secado es de 125 minutos, considerando un peso constante.


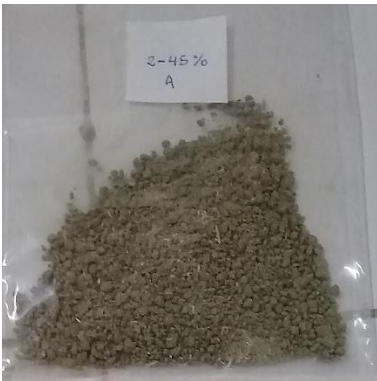
### 3.6.5 Productos finales



Luego de haber verificado que el fertilizante posee la consistencia y presentación adecuada se procederá a pesar cada una de las muestras y envasarlas en bolsas herméticas, con la finalidad de evitar la absorción de humedad del ambiente, y posteriormente realizar los análisis respectivos.

#### 3.6.5.1 Determinación del porcentaje de vinaza óptimo para la elaboración de fertilizante

Se determinara el % de vinaza óptimo en función a una descripción física y resultados de los análisis respectivos de los productos finales.

**TABLA III- 14 Descripción de los productos**

N° Muestra	Presentación gráfica	Descripción
1-55%		Se obtuvo un producto de color café claro, consistencia final estable, ya que el proceso de mezclado fue homogéneo.
2-45%		Este producto presenta un color café claro, tiene una consistencia inestable, debido a que durante la elaboración se presentaron problemas en la homogenización.

3-55%		Se obtuvo un producto de color café claro, tiene una consistencia final estable, debido a que la etapa de homogenización no presentó inconvenientes.
4-45%		Este producto es de color café claro, tiene una consistencia inestable, debido a que en la etapa de homogenización presento inconvenientes para el completo homogenizado.

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

**TABLA III- 15 Resultados de Relación C/N**

N° Muestra	%C	%N	Relación C/N
1-55%	24,80	0,73	31,92
2-45%	25,43	0,54	47,09
3-55%	23,55	0,57	41,32
4-45%	27,47	0,53	51,82

**Fuente:** CEANID - Elaboración Propia, 2019

Después de analizar la descripción y la Relación C/N de cada producto. Se determina que el mejor % de vinaza usado es de la muestra 1-55% debido a que es un producto con una consistencia final estable, ya que el proceso de mezclado no presentó inconvenientes, además luego de observar la TABLA III-15, tomando en cuenta que la

relación C/N debe ser entre 25-35 (CEDAF, 2001), la muestra 1-55% se encuentra dentro del límite de aceptabilidad.

### 3.7 Descripción de las características de los equipos utilizados



#### Refractómetro

<b>Marca</b>	<b>ABBE COMECTA A-WYA-1S</b>
<b>Índice refractivo</b>	1,300-1,700
<b>Brix</b>	0-95°Bx
<b>Rango correctivo de la temperatura del °Bx</b>	15-45°C
<b>Dimensiones</b>	38x18x33cm
<b>Peso</b>	10 Kg
<b>Lámpara de iluminación</b>	6,3 V 0,25 A

#### Rotavapor



<b>Marca</b>	<b>Heidolph Laborota4000</b>
<b>Potencia</b>	1320 W
<b>Temperatura de baño</b>	30-180°C
<b>Velocidad</b>	0- 270 rpm
<b>Voltaje</b>	230/240 V
<b>Frecuencia</b>	50/60 Hz



### Molino de Martillos

---

<b>Marca</b>	<b>Laboratory Mil 120</b>
--------------	-------------------------------

---

<b>Tamiz estándar</b>	0,8 mm
-----------------------	--------

---

<b>Humedad máxima</b>	25%
-----------------------	-----

---

<b>Capacidad</b>	300 gramos en 30-50 segundos
------------------	---------------------------------

---



### Secador al Vacío

---

<b>Marca</b>	<b>Labor Müszeripari Müvek</b>
--------------	--

---

<b>Potencia</b>	1,4 kW
-----------------	--------

---

<b>Rango de temperaturas</b>	20-200°C
------------------------------	----------

---

<b>Presión de vacío</b>	0,2-0,8 bar
-------------------------	-------------

---



### Mufla

<b>Marca</b>	<b>VULCAN A-550</b>
<b>Dimensiones</b>	18x23x23cm
<b>Rango de temperaturas</b>	200-1100°C
<b>Peso</b>	20 Kg
<b>Potencia</b>	2400 W
<b>Voltaje</b>	200/240 V
<b>Frecuencia</b>	50/60 Hz



### Balanza analítica

<b>Marca</b>	<b>KERN</b>
<b>Precisión</b>	0,1 mg
<b>Capacidad</b>	220 g
<b>Carga mínima</b>	10 mg
<b>Peso neto</b>	6 Kg

### 3.8 Balance de materia y energía del proceso

El balance de materia y energía se ve conveniente realizarlo a la muestra ganadora 1-55%.

#### 3.8.1 Diagrama de flujo del proceso de elaboración del fertilizante orgánico

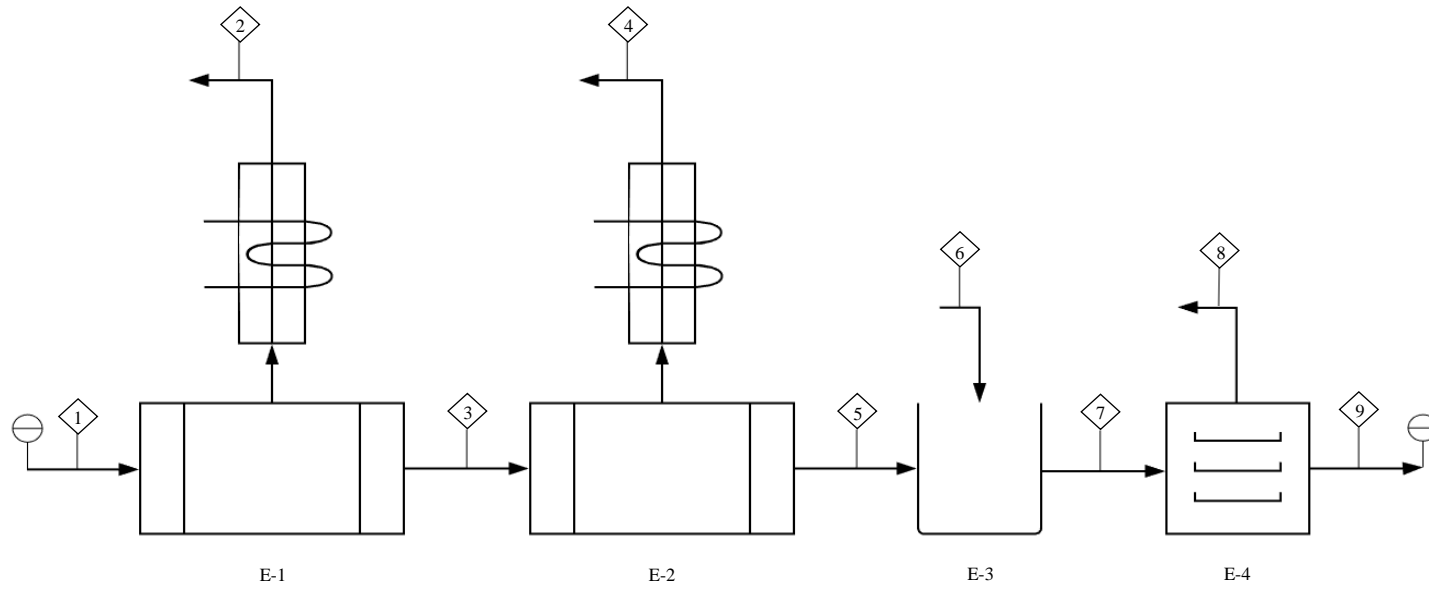
La siguiente tabla muestra las especificaciones de las corrientes del diagrama de flujo.

**TABLA III- 16 Especificaciones de las corrientes del diagrama de flujo del proceso de elaboración fertilizante orgánico**

Corriente	Especificación	Corriente	Especificación
C <sub>1</sub>	Masa de vinaza de alimentación	C <sub>6</sub>	Masa de aditivo
C <sub>2</sub>	Masa de agua evaporada en la primera etapa	C <sub>7</sub>	Masa de la mezcla obtenida del proceso de mezclado
C <sub>3</sub>	Masa de vinaza concentrada obtenido de la primera etapa	C <sub>8</sub>	Masa de agua evaporada en el proceso de secado
C <sub>4</sub>	Masa de agua evaporada en la segunda etapa	C <sub>9</sub>	Masa de fertilizante orgánico obtenido
C <sub>5</sub>	Masa de vinaza concentrada obtenido de la segunda etapa		

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

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



**Lista de Equipos**

<b>Texto mostrado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Texto mostrado</b>	<b>Descripción</b>
<b>E-1</b>	Rotavapor 1	<b>E-3</b>	Mezclado
<b>E-2</b>	Rotavapor 2	<b>E-4</b>	Secador al vacío

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019



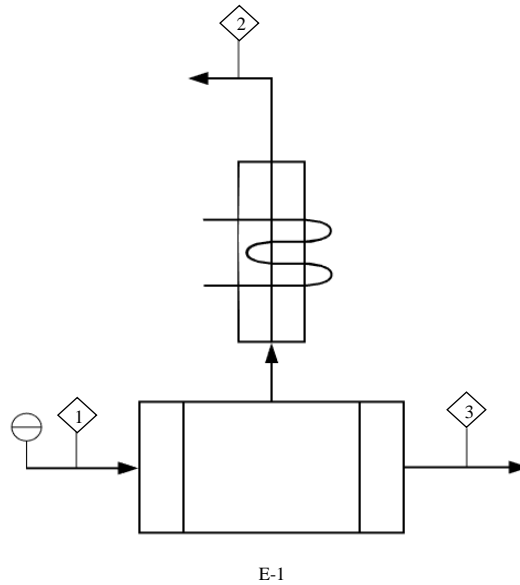
### 3.8.2 Balance de materia

**TABLA III- 17 Datos del proceso de elaboración del fertilizante para el balance de materia**

<b>Concentración en el Rotavapor 1</b>	
°Bx inicial	6,9 °Bx
°Bx final	23,3 °Bx
Cantidad inicial de Vinaza	600 ml
<b>Concentración en el Rotavapor 2</b>	
°Bx inicial	23,3 °Bx
°Bx final	49,7 °Bx
<b>Mezclado - 55% de vinaza</b>	
Porcentaje de cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de arroz	45% (70% cascarilla de arroz y 30% de ceniza de cascarilla de arroz)
Porcentaje de vinaza de 49,7 °Bx	55%
<b>Secado</b>	
Masa inicial	9,963 g
Masa final	6,969 g
Humedad final	8,12%

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

- Operación 1. Concentración en el Rotavapor 1



Cálculo de la cantidad de vinaza concentrada en la primera etapa y la masa de agua condensada:

Donde:

$C_1 = 616,680$  g de vinaza, calculada en el anexo C-1.

Balance general:

$$C_1 = C_2 + C_3 \quad \text{Ec. 3.1}$$

Balance de sólidos:

$$C_1 X_1 = C_2 X_2 + C_3 X_3 \quad \text{Ec. 3.2}$$

$C_2$  es el agua por lo que  $X_2 = 0$ .

La vinaza concentrada es de 23.3°Bx, entonces la cantidad de vinaza obtenida es:

$$C_3 = \frac{C_1 X_1}{X_3} \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$C_3 = \frac{616,680 \text{ g} * 0.069}{0,233}$$

$$C_3 = 182,622 \text{ g de vinaza de } 23.3 \text{ °Bx}$$

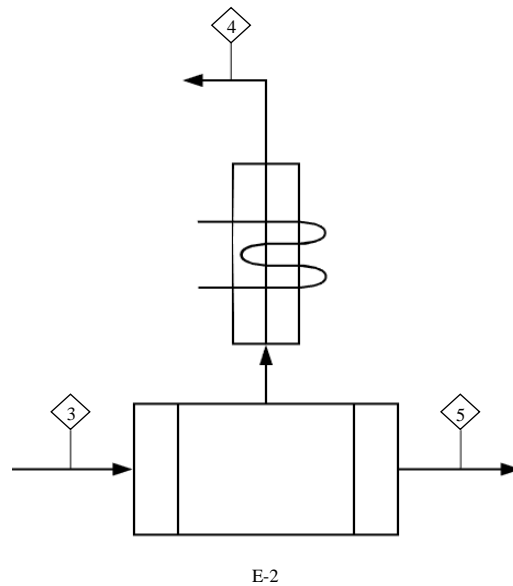
Despejando  $C_2$  de la ecuación 3.1, la masa de agua es:

$$C_2 = C_1 - C_3 \quad \text{Ec. 3.4}$$

$$C_2 = 616,680 \text{ g} - 182,622 \text{ g}$$

$$C_2 = 434,058 \text{ g de agua}$$

- Operación 2. Concentración en el Rotavapor 2



Cálculo de la cantidad de vinaza concentrada en la segunda etapa y la masa de agua condensada

Balance general:

$$C_3 = C_4 + C_5 \quad \text{Ec. 3.5}$$

Balance de sólidos:

$$C_3 X_3 = C_4 X_4 + C_5 X_5 \quad \text{Ec. 3.6}$$

$C_4$  es el agua por lo que  $X_4 = 0$ .

La vinaza concentrada obtenida de la segunda etapa es de 49,7°Bx, entonces la cantidad de vinaza obtenida es:

$$C_5 = \frac{C_3 X_3}{X_5} \quad \text{Ec. 3.7}$$

$$C_5 = \frac{182,622 \text{ g} * 0,233}{0.497}$$

$$C_5 = 85,616 \text{ g de vinaza de } 49,7 \text{ }^\circ\text{Bx}$$

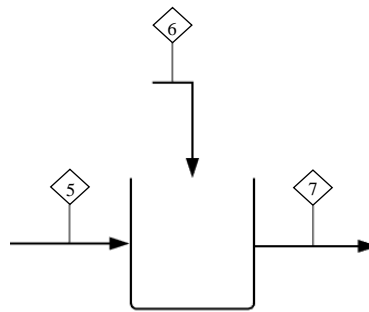
Despejando  $C_4$  de la ecuación 3.5, la masa de agua es:

$$C_4 = C_3 - C_5 \quad \text{Ec. 3.8}$$

$$C_4 = 182,622 \text{ g} - 85,616 \text{ g}$$

$$C_4 = 97,006 \text{ g de agua}$$

- Operación 3. Mezclado, cascarilla de arroz, ceniza de cascarilla de arroz y vinaza concentrada de 49,7 °Bx.



E-3

Se realizará el mezclado tomando la siguiente formulación:

- ✓ 55% de vinaza
- ✓ 45% de aditivo (70% cascarilla de arroz y 30% de ceniza de cascarilla de arroz)

Cálculo de la cantidad de mezcla obtenida y la cantidad de aditivo que se debe añadir.

Balance General:

$$C_5 + C_6 = C_7 \quad \text{Ec. 3.9}$$

Tomando en cuenta que  $C_5 = 85,616 \text{ g}$  es el 55%,

La cantidad de mezcla obtenida es el 100% de  $C_5$ :

$$C_7 = 85,616 \text{ g} * \frac{100\%}{55\%}$$

$$C_7 = 155,665 \text{ g de mezcla}$$

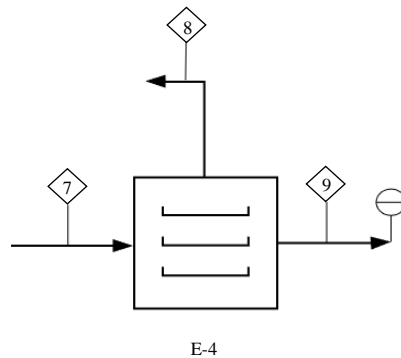
Despejando  $C_6$  de la ecuación 3.9, la cantidad de aditivo que se debe añadir es:

$$C_6 = C_7 - C_5 \quad \text{Ec. 3.10}$$

$$C_6 = 155,665 \text{ g} - 86,616 \text{ g}$$

$C_6 = 70,049 \text{ g}$  de aditivo de 70% de cascarilla de arroz y 30% de ceniza de cascarilla de arroz.

- Operación 4. Secado de la mezcla para obtener el producto final



Cálculo de la cantidad de fertilizante obtenido y la masa de agua evaporada.

Balance General:

$$*C_7 = *C_8 + *C_9 \quad \text{Ec. 3.11}$$

Despejando  $*C_8$  de la ecuación 3.11, la masa de agua evaporada es:

$$*C_8 = *C_7 - *C_9 \quad \text{Ec. 3.12}$$

$$*C_7 = 9,96 \text{ g}$$

$$*C_9 = 6,97 \text{ g}$$

$$*C_8 = 9,96 \text{ g} - 6,97 \text{ g} = 2,99 \text{ g}$$

La humedad del producto final es  $X_9 = 0,081$  entonces  $X_7$  es:

Balance por componente: agua

$$*C_7X_7 = *C_8X_8 + *C_9X_9 \quad \text{Ec. 3.13}$$

Despejando  $X_7$  de la ecuación 3.13 se tiene:

$C_8$  es la masa de agua evaporada por lo que  $X_8=1$ .

$$X_7 = \frac{*C_8X_8 + *C_9X_9}{*C_7} \quad \text{Ec. 3.14}$$

$$X_7 = \frac{2,99 \text{ g} + (6,97\text{g} * 0.081)}{9,97 \text{ g}}$$

$$X_7 = 0,357$$

Tomando en cuenta que la alimentación al secador es:

$C_7 = 155,665$  g de mezcla

Recalculamos la masa de agua evaporada y la cantidad de producto obtenido.

Balance General

$$C_7 = C_8 + C_9 \quad \text{Ec. 3.15}$$

Balance por componente: agua

$$C_7X_7 = C_8X_8 + C_9X_9 \quad \text{Ec. 3.16}$$

Despejando  $C_8$  de la ecuación 3.15 y reemplazando en la ecuación 3.16:

$$C_7X_7 = C_7 - C_9 + C_9X_9$$

Despejando  $C_9$ :

$$C_9 = \frac{C_7 (X_7 - 1)}{(X_9 - 1)} \quad \text{Ec. 3.17}$$

$$C_9 = \frac{155,665 \text{ g} (0,357 - 1)}{(0,081 - 1)}$$

**$C_9 = 108,915$  g de producto obtenido**

Despejando  $C_8$  de la ecuación 3.15 calculamos la masa de agua evaporada.

$$C_8 = C_7 - C_9 \quad \text{Ec. 3.18}$$

$$C_8 = 155,665 \text{ g} - 108,915 \text{ g}$$

$$C_8 = 46,750 \text{ g de agua}$$

### 3.8.2.1 Resultados del balance de materia

**TABLA III- 18 Resultados del balance de materia**

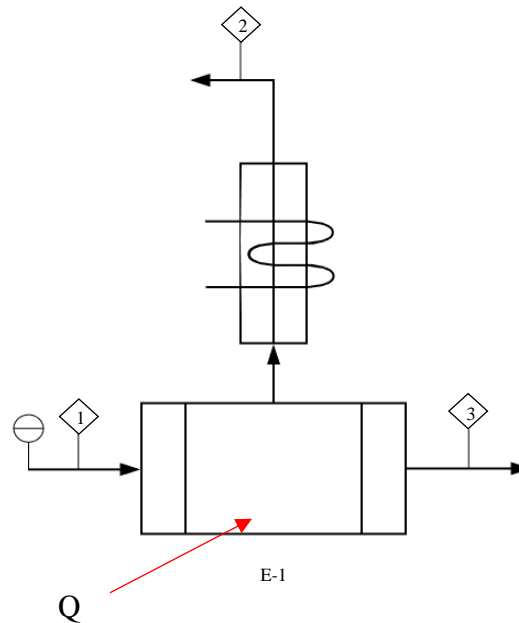
<b>Balance de materia</b>		
<b>Corriente</b>	<b>Definición</b>	<b>Gramos (g)</b>
<b>C<sub>1</sub></b>	Vinaza de alimentación	616,680
<b>C<sub>2</sub></b>	Agua evaporada en la primera etapa	434,058
<b>C<sub>3</sub></b>	Vinaza concentrada obtenido de la primera etapa	182,622
<b>C<sub>4</sub></b>	Agua evaporada en la segunda etapa	97,006
<b>C<sub>5</sub></b>	Vinaza concentrada obtenido de la segunda etapa	85,616
<b>C<sub>6</sub></b>	Aditivo	70,049
<b>C<sub>7</sub></b>	Mezcla obtenida del proceso de mezclado	155,665
<b>C<sub>8</sub></b>	Agua evaporada en el proceso de secado	46,750
<b>C<sub>9</sub></b>	Fertilizante orgánico obtenido	108,915

**Fuente:** Elaboración propia, 2019

### 3.8.3 Balance de energía

En este acápite se realiza el balance de energía en los procesos de; evaporación y secado.

#### 3.8.3.1 Balance en el Rotavapor 1



Balance en el sistema de evaporación

La bomba de vacío reduce la presión del sistema en 60,955 kPa, por lo que la presión del sistema es de:

$$P_{\text{atm Tarija}} = 102,1 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{sist}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{red}} \quad \text{Ec. 3.19}$$

Donde:

Término	Definición	Datos
$P_{\text{atm}}$	Presión atmosférica de Tarija	102,1 kPa
$P_{\text{red}}$	Presión de vacío	60,955 kPa
$P_{\text{sist}}$	Presión del sistema	incógnita



Sustituyendo los datos en la ecuación 3.19 se obtiene:

$$P_{\text{sist}} = 102,100 \text{ kPa} - 60,955 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{sist}} = 41,145 \text{ kPa}$$

A esta presión la temperatura de ebullición del agua es:

$$t_{\text{eb agua}} = 76,562^{\circ}\text{C} \quad (\text{Obtenida del Anexo C.1})$$

El calor entregado es igual a:

$$Q_{\text{entregado}} = Q_1 = m_{\text{agua de baño}} * C_{p_{\text{agua b.}}} (t_{\text{baño}} - t_{\text{ambiente}}) \quad \text{Ec. 3.20}$$

El calor absorbido es igual a:

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_2 = m_{\text{VS}} * C_{p_{\text{VS}}} (t_{\text{vinaza}} - t_{\text{ambiente}}) + m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} (t_{\text{eb agua}} - t_{\text{ambiente}}) + C_2 * \Delta h_{\text{vap agua}} \quad \text{Ec. 3.21}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$t_{\text{vinaza}}$	Temperatura final de la vinaza	72°C
$t_{\text{ambiente}}$	Temperatura del ambiente	20°C
$t_{\text{eb agua}}$	Temperatura de ebullición del agua a 41,145 kPa	76,562°C (Anexo C-1)
$\Delta h_{\text{vap agua}}$	Entalpia de vaporización del agua a la presión de 41,145 kPa	2318,619 $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Anexo C-1)
$C_{p_{\text{agua}}}$	Capacidad calorífica del agua a 76,562°C	4,194 $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^{\circ}\text{K}}$ (Anexo C-2)
$C_{p_{\text{VS}}}$	Capacidad calorífica de la vinaza sólida en el Rotavapor 1	1,665 $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^{\circ}\text{K}}$ (Anexo B.5)

$C_2$	Masa de agua evaporada en la primera etapa	0,434 Kg
$m_{VS}$	Masa de vinaza solida contenida en la corriente $C_1$	0,043 Kg (Anexo B.2.2)
$m_{agua}$	Masa de agua contenida en la corriente $C_1$	0,574 Kg (Anexo B.2.1)
$Q_{absorbido}$	El calor absorbido	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.21 se obtiene:

$$Q_{absorbido} = Q_2 = 0,043 \text{ Kg} * 1,665 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} (72 - 20) + 0,574 \text{ Kg} \\ * 4,194 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} (76,562 - 20) + 0,434 \text{ Kg} * 2318,619 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \\ Q_{absorbido} = Q_2 = 1146,168 \text{ KJ}$$

Cálculo de la masa de agua necesaria para el baño

Si:

$$Q_{entregado} = Q_{absorbido} \quad \text{Ec. 3.22}$$

Despejar  $m_{\text{agua de baño}}$  de la ecuación 3.20 y reemplazar el valor de  $Q_2$ .

$$m_{\text{agua de baño}} = \frac{Q_{entregado}}{C_{p_{\text{agua b.}}}(t_{\text{baño}} - t_{\text{ambiente}})} \quad \text{Ec. 3.23}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$Q_{entregado}$	Calor entregado	1146,168 KJ

$t_{\text{baño}}$	Temperatura del baño	80°C
$t_{\text{ambiente}}$	Temperatura del ambiente	20°C
$C_{p_{\text{agua b.}}}$	Capacidad calorífica del agua en condiciones normales	$4,187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$
$m_{\text{agua de baño}}$	masa de agua necesaria para el baño	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.23 se obtiene:

$$m_{\text{agua de baño}} = \frac{1146,168 \text{ KJ}}{4,187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} (80 - 20)}$$

$$m_{\text{agua de baño}} = 4,562 \text{ Kg}$$

Balance en el condensador

Cálculo de la masa de agua necesaria para condensar el agua

Tomando en cuenta la ecuación 3.22

$$Q_{\text{entregado}} = Q_{\text{absorbido}}$$

Igual a:

$$Q_3 = Q_4$$

$$C_2 * \Delta h_{\text{vap agua}} + m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} (t_{\text{eb agua}} - t_{\text{cond}}) = m_{\text{agua de cond.}} * C_{p_{\text{agua de cond.}}} (t_{\text{salida}} - t_{\text{entrada}}) \quad \text{Ec. 3.24}$$

Despejando la  $m_{\text{agua de cond.}}$  de la ecuación 3.24 se obtiene:

$$m_{\text{agua de cond.}} = \frac{C_2 * \Delta h_{\text{vap agua}} + m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} (t_{\text{eb agua}} - t_{\text{cond.}})}{C_{p_{\text{agua de cond.}}} (t_{\text{salida}} - t_{\text{entrada}})} \quad \text{Ec. 3.25}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$C_2$	Masa de agua evaporada en la primera etapa	0,434 Kg
$\Delta h_{\text{vap agua}}$	Entalpia de vaporización del agua a la presión de 41,145 kPa	2318,619 $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Anexo C-1)
$m_{\text{agua}}$	Masa de agua contenida en la corriente $C_1$	0,574 Kg (Anexo B.2.1)
$C_{p_{\text{agua}}}$	Capacidad calorífica del agua a 76,562°C	4,194 $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$ (Anexo C-2)
$t_{\text{eb agua}}$	Temperatura de ebullición del agua a 41,145 kPa	76,562°C (Anexo C-1)
$t_{\text{cond.}}$	Temperatura del condensado	23°C
$C_{p_{\text{agua de cond.}}}$	Capacidad calorífica del agua en condiciones normales	4.187 $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$
$t_{\text{salida}}$	Temperatura de salida del agua refrigerante	21°C
$t_{\text{entrada}}$	Temperatura de entrada del agua refrigerante	19°C
$m_{\text{agua de cond.}}$	Cálculo de la masa de agua necesaria para condensar el agua	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.25 se obtiene:

$$m_{\text{agua de cond.}} = \frac{0,434 \text{ Kg} * 2318,619 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + 0,574 \text{ Kg} * 4,194 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (76,562 - 23)}{4,187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (21 - 19)}$$

$$m_{\text{agua de cond.}} = 135,565 \text{ Kg}$$

En un tiempo de 95 minutos se tiene 135,565 Kg de agua.

Por tanto el calor entregado “Q<sub>3</sub>” es igual a:

$$Q_{\text{entregado}} = Q_3 = m_{\text{agua de cond.}} * C_{p_{\text{agua de cond.}}} (t_{\text{salida}} - t_{\text{entrada}}) \quad \text{Ec. 3.26}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$m_{\text{agua de cond.}}$	masa de agua necesaria para condensar el agua	135,565 Kg
$C_{p_{\text{agua de cond.}}}$	Capacidad calorífica del agua en condiciones normales	$4,187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$
$t_{\text{salida}}$	Temperatura de salida del agua refrigerante	21°C
$t_{\text{entrada}}$	Temperatura de entrada del agua refrigerante	19°C
$Q_{\text{entregado}}$	Calor entregado	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.26 se obtiene:

$$Q_{\text{entregado}} = 135,565 \text{ Kg} * 4,187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (21 - 19)$$

$$Q_{\text{entregado}} = Q_3 = 1135,221 \text{ KJ}$$

Cálculo del caudal:

$$\text{Caudal} = \frac{V_{\text{agua de cond.}}}{t} \quad \text{Ec. 3.27}$$

El volumen de agua de condensación es:

Si:

$$\rho_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{agua de cond.}}}{V_{\text{agua de cond.}}} \quad \text{Ec. 3.28}$$

Despejando  $V_{\text{agua de cond.}}$  de la ecuación 3.28 se tiene:

$$V_{\text{agua de cond.}} = \frac{m_{\text{agua de cond.}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad \text{Ec. 3.29}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$m_{\text{agua de cond.}}$	masa de agua necesaria para condensar el agua	135,565Kg
$\rho_{\text{agua}}$	Densidad del agua	$1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
$V_{\text{agua de cond.}}$	El volumen de agua de condensación	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.29 se obtiene:

$$V_{\text{agua de cond.}} = \frac{135,565 \text{ Kg}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

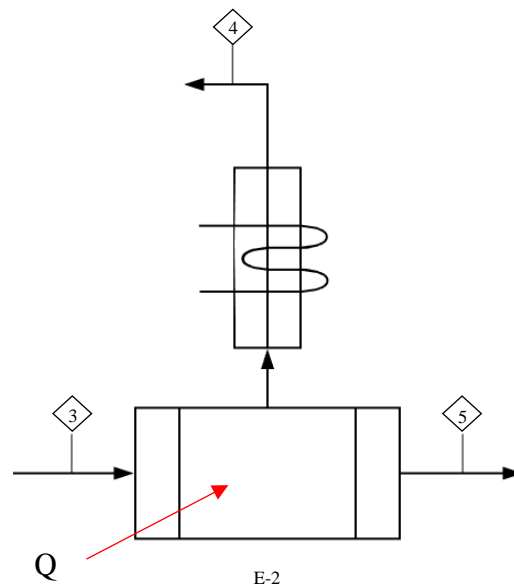
$$V_{\text{agua de cond.}} = 0,136 \text{ m}^3 = 136 \text{ L}$$

Si el tiempo de concentración son 95 minutos el caudal es:

$$\text{Caudal} = \frac{136 \text{ L}}{95 \text{ min}}$$

$$\text{Caudal} = 1,432 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

### 3.8.3.2 Balance en el Rotavapor 2



Balance en el sistema de evaporación

La bomba de vacío reduce la presión del sistema en 75,994 kPa.

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.19 se obtiene la presión del sistema igual a:

$$P_{\text{sist}} = 102,100 \text{ kPa} - 75,994 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{sist}} = 26,106 \text{ kPa}$$

A esta presión la temperatura de ebullición del agua es:

$$t_{\text{eb agua}} = 65,961^\circ\text{C} \quad (\text{Obtenida del Anexo C.1})$$

El calor entregado es igual a:

$$Q_{\text{entregado}} = Q_5 = m_{\text{agua de baño}} * C_{p_{\text{agua b.}}} (t_{\text{baño}} - t_{\text{inicial}}) \quad \text{Ec. 3.30}$$

El calor absorbido es igual a:

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_6 = m_{\text{VS}} * C_{p_{\text{VS}}} (t_{\text{vinaza}} - t_{\text{inicial}}) + m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} (t_{\text{eb agua}} - t_{\text{inicial}}) + C_4 * \Delta h_{\text{vap agua}} \quad \text{Ec. 3.31}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$m_{VS}$	Masa de vinaza solida contenida en la corriente $C_3$	0,043 Kg (Anexo B.3.2)
$C_{p_{VS}}$	Capacidad calorífica de la vinaza sólida en el Rotavapor 2	$1,676 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K}$ (Anexo B.6)
$t_{vinaza}$	Temperatura final de la vinaza	62°C
$t_{inicial}$	Temperatura inicial de la corriente $C_3$	34°C
$m_{agua}$	Masa de agua contenida en la corriente $C_3$	0,140 Kg (Anexo B.3.1)
$C_{p_{agua}}$	Capacidad calorífica del agua a 66°C	$4,188 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K}$ (Anexo C-2)
$t_{eb \text{ agua}}$	Temperatura de ebullición del agua a 26,106 kPa	65,961°C (Anexo C-1)
$C_4$	Masa de agua evaporada en la segunda etapa	0,097 Kg
$\Delta h_{vap \text{ agua}}$	Entalpia de vaporización del agua a la presión de 26,106 kPa	$2343,994 \frac{KJ}{Kg}$ (Anexo C-1)
$Q_{absorbido}$	Calor absorbido	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.31 se obtiene:



$$Q_{\text{absorbido}} = Q_6 = 0,043 \text{ Kg} * 1,676 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} (62 - 34) + 0,140 \text{ Kg} \\ * 4,188 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} (65,961 - 34) + 0,097 \text{ Kg} * 2343,994 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \\ Q_{\text{absorbido}} = Q_6 = 248,125 \text{ KJ}$$

Cálculo de la masa de agua necesaria para el baño

Tomando en cuenta la ecuación 3.22:

$$Q_{\text{entregado}} = Q_{\text{absorbido}}$$

Despejar  $m_{\text{agua de baño}}$  de la ecuación 3.30 y reemplazar el valor de  $Q_6$ .

$$m_{\text{agua de baño}} = \frac{Q_{\text{entregado}}}{C_{p_{\text{agua}}} (t_{\text{baño}} - t_{\text{inicial}})} \quad \text{Ec. 3.32}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$Q_{\text{entregado}}$	Calor entregado	248,125 KJ
$t_{\text{baño}}$	Temperatura del baño	70°C
$t_{\text{inicial}}$	Temperatura inicial de la corriente C <sub>3</sub>	34°C
$C_{p_{\text{agua b.}}}$	Capacidad calorífica del agua en condiciones normales	$4.187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$
$m_{\text{agua de baño}}$	Masa de agua necesaria para el baño	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.32 se obtiene:

$$m_{\text{agua de baño}} = \frac{248,125 \text{ KJ}}{4.187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} (70 - 34)}$$

$$m_{\text{agua de ba\~{n}o}} = 1,646 \text{ Kg}$$

Balance en el condensador

Cálculo de la masa de agua necesaria para condensar el agua

Tomando en cuenta la ecuación 3.22

$$Q_{\text{entregado}} = Q_{\text{absorbido}}$$

Igual a:

$$Q_7 = Q_8$$

$$C_4 * \Delta h_{\text{vap agua}} + m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} (t_{\text{eb agua}} - t_{\text{cond.}}) = m_{\text{agua de cond.}} * C_{p_{\text{agua de cond.}}} (t_{\text{salida}} - t_{\text{entrada}}) \quad \text{Ec. 3.33}$$

Despejando la  $m_{\text{agua de cond.}}$  de la ecuación 3.33 se obtiene:

$$m_{\text{agua de cond.}} = \frac{C_4 * \Delta h_{\text{vap agua}} + m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} (t_{\text{eb agua}} - t_{\text{cond.}})}{C_{p_{\text{agua de cond.}}} (t_{\text{salida}} - t_{\text{entrada}})} \quad \text{Ec. 3.34}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$C_4$	Masa de agua evaporada en la segunda etapa	0,097 Kg
$\Delta h_{\text{vap agua}}$	Entalpia de vaporización del agua a la presión de 26,106 kPa	$2343,994 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Anexo C-1)
$m_{\text{agua}}$	Masa de agua contenida en la corriente $C_3$	0,140 Kg (Anexo B.3.1)
$C_{p_{\text{agua}}}$	Capacidad calorífica del agua a 65,961°C	$4,188 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$ (Anexo C-2)

$t_{eb \text{ agua}}$	Temperatura de ebullición del agua a 26,106 kPa	65,961°C (Anexo C-1)
$t_{cond.}$	Temperatura del condensado	22°C
$C_{p \text{ agua de cond.}}$	Capacidad calorífica del agua en condiciones normales	$4,187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$
$t_{salida}$	Temperatura de salida del agua refrigerante	20°C
$t_{entrada}$	Temperatura de entrada del agua refrigerante	19°C
$m_{\text{agua de cond.}}$	Masa de agua necesaria para condensar el agua	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.34 se obtiene:

$$m_{\text{agua de cond.}} = \frac{0,097 \text{ Kg} * 2343,994 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + 0,140 \text{ Kg} * 4,188 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} (65,961 - 22)}{4,187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} (20 - 19)}$$

$$m_{\text{agua de cond.}} = 60,459 \text{ Kg}$$

En un tiempo de 38 minutos se tiene 60,459 Kg de agua.

Por tanto “ $Q_8$ ” es igual a:

$$Q_{\text{entregado}} = Q_8 = m_{\text{agua de cond.}} * C_{p \text{ agua de cond.}} (t_{\text{salida}} - t_{\text{entrada}}) \quad \text{Ec. 3.35}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$m_{\text{agua de cond.}}$	masa de agua necesaria para condensar el agua	60,459 Kg
$C_{p_{\text{agua de cond.}}}$	Capacidad calorífica del agua en condiciones normales	$4,187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$
$t_{\text{salida}}$	Temperatura de salida del agua refrigerante	20°C
$t_{\text{entrada}}$	Temperatura de entrada del agua refrigerante	19°C
$Q_{\text{entregado}}$	Calor entregado	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.35 se obtiene:

$$Q_{\text{entregado}} = 60,459 \text{ Kg} * 4.187 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} (20 - 19)$$

$$Q_{\text{entregado}} = Q_8 = 253,142 \text{ KJ}$$

Cálculo del caudal

Mediante la ecuación 3.29 se calcula el volumen de agua de condensación igual a:

$$V_{\text{agua de cond.}} = \frac{m_{\text{agua de cond.}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad \text{Ec. 3.29}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$m_{\text{agua de cond.}}$	masa de agua necesaria para condensar el agua	60,459 Kg
$\rho_{\text{agua}}$	Densidad del agua	$1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
$V_{\text{agua de cond.}}$	Volumen de agua de condensación	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.29 se obtiene:

$$V_{\text{agua de cond.}} = \frac{60,459 \text{ Kg}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

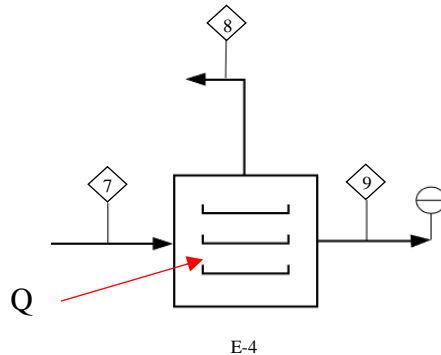
$$V_{\text{agua de cond.}} = 0,060 \text{ m}^3 = 60 \text{ L}$$

Si el tiempo de concentración son 38 minutos, reemplazando el dato en la ecuación 3.27 el caudal es:

$$\text{Caudal} = \frac{60 \text{ L}}{38 \text{ min}}$$

$$\text{Caudal} = 1,579 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

### 3.8.3.3 Balance en el secador



La bomba de vacío reduce la presión del sistema en 80 kPa.

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.19 se obtiene la presión del sistema igual a:

$$P_{\text{sist}} = 102,100 \text{ kPa} - 80 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{sist}} = 22,1 \text{ kPa}$$

A esta presión la temperatura de ebullición del agua es:

$$t_{\text{eb agua}} = 62,255^\circ\text{C} \quad (\text{Obtenida del Anexo C.1})$$

Balance de energía

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_9 = C_7 * C_{p_{\text{mezcla}}} (t_s - t_{\text{ambiente}}) + m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} (t_{\text{eb agua}} - t_{\text{ambiente}}) + C_7 * \Delta h_{\text{vap}} \quad \text{Ec. 3.36}$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$C_7$	Masa de la mezcla obtenida del proceso de mezclado	0,156 Kg
$C_{p_{\text{mezcla}}}$	Capacidad calorífica de la mezcla sólida	$2,497 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$ (Anexo B.11)
$t_s$	Temperatura de secado	65 °C
$t_{\text{ambiente}}$	Temperatura del ambiente	20 °C
$m_{\text{agua}}$	Masa de agua contenida en la corriente $C_7$	0,056 Kg (Anexo B.4.1)
$C_{p_{\text{agua}}}$	Capacidad calorífica del agua a 62,255°C	$4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$ (Anexo C-2)
$t_{\text{eb agua}}$	Temperatura de ebullición del agua a 22,1 kPa	62°C (Anexo C-1)
$\Delta h_{\text{vap agua}}$	Entalpia de vaporización del agua a la presión de 22,1 kPa	$2353,088 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Anexo C-1)
$Q_{\text{absorbido}}$	Calor absorbido	incógnita

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.36 se obtiene:

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_9 = 0,156 \text{ Kg} * 2,497 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} * (65 - 20) + 0,056 \text{ Kg} * 4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} * (62,255 - 20) + \left( 0,156 * 2353,088 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_9 = 394,516 \text{ KJ}$$

### 3.8.3.4 Resultados del balance de energía

**TABLA III- 19 Resultados del balance de energía**

Balance de energía		
Equipo	Término	Kilojoule (KJ)
Rotavapor 1	Q <sub>1</sub> evaporador Q <sub>1</sub> = Q <sub>2</sub>	1146,168
	Q <sub>3</sub> calor de condensación Q <sub>3</sub> = Q <sub>4</sub>	1135,221
Rotavapor 2	Q <sub>5</sub> evaporador Q <sub>5</sub> = Q <sub>6</sub>	248,125
	Q <sub>7</sub> calor de condensación Q <sub>7</sub> = Q <sub>8</sub>	253,142
Secador al vacío	Q <sub>9</sub> secado	394,516

**Fuente:** Elaboración propia, 2019

Como se puede observar en la TABLA III-19 el calor que genera el evaporador es el mayor, igual a 1146,168 KJ, en cambio el calor del secador es menor equivalente a 394,516 KJ.

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Análisis del producto final

Los análisis físico-químicos se realizaron a la muestra que presenta las mejores características, luego de realizarse un análisis de la descripción física y la Relación C/N (Ver acápite 3.6.5.1) resultando la muestra 1-55%.

Se determinó la cantidad de Calcio, Fosforo, Magnesio y Potasio Total, además del porcentaje de materia orgánica, cenizas, humedad y nitrógeno total. La determinación de la Relación C/N se realizó mediante cálculo (ver Anexo D.4, D.5 y D.6), tomando en cuenta el porcentaje de materia orgánica.

##### 4.1.1 Resultados del producto final

En la siguiente tabla se muestran los resultados del análisis físico-químico de la muestra 1-55%.

**TABLA IV- 1 Análisis físico - químico del fertilizante orgánico a partir de vinaza**

Parámetro	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	1086
Fosforo	mg/100g	34,2
Magnesio total	mg/100g	284
Potasio Total	mg/100g	4414
Materia orgánica	%	40,17
Nitrógeno total	%	0,73
Carbono orgánico	%	23,30 (Anexo E.4)
Relación C/N	-	31,92 (Anexo E.6)
Humedad	%	8,12 (Anexo E.1)
N+P+K	%	4,91
Cenizas	%	32,08 (Anexo E.7)

**Fuente:** CEANID – Elaboración propia

Como se puede observar en la TABLA IV, el fertilizante orgánico tiene mayor cantidad de potasio, el cual es uno de los nutrientes primarios de un fertilizante, sin embargo la cantidad de fósforo es mínima, la relación C/N se encuentra dentro de los límites aceptables.

#### 4.1.2 Comparación de la composición del producto final y del fertilizante (Kimelgran)

Kimelgran es un fertilizante orgánico mineral de suelos de grano soluble a partir de vinaza líquida producida por la empresa Kimel de Colombia, una empresa dedicada al medio ambiente y gestión de residuos.

**TABLA IV- 2 Composición del producto final y del Kimelgran**

Parámetro	Producto	Kimelgran
	%	
Calcio	1,08	1,35
Fósforo	0,03	-
Magnesio total	0,28	1,8
Potasio Total	4,41	3,75
Materia orgánica	40,17	-
Nitrógeno total	0,73	1,25
Carbono orgánico	23,30	27,50
Relación C/N	31,92	22
Humedad	8,12	9,40
N+P+K	5,18	5
Cenizas	32,08	28

**Fuente:** CEANID –Kimel de Colombia, 2012 (Ver Anexo H) - Elaboración propia, 2019

Los nutrientes primarios de un fertilizante son el nitrógeno, fósforo y potasio, como se observa en la TABLA IV- 2 el producto final tiene el mayor porcentaje de NPK en comparación con el fertilizante Kimelgran, debido a que posee un 4,41% de potasio, cabe resaltar que el producto final tiene un % mínimo de fósforo.

La relación C/N de ambos productos se encuentra dentro de los límites indicados en la TABLA II-1.

#### 4.2 Análisis estadístico del diseño experimental

Para el tratamiento estadístico de los datos del diseño factorial, se utilizó el programa SPSS STATISTICS 18.0 (Statistical Package for the Social Sciences).

Mediante el Análisis de Varianza Univariante, se determina la influencia de los factores; Grados Brix y porcentaje de vinaza, sobre la variable respuesta relación C/N.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de Relación C/N introducidos al SPSS. De acuerdo al diseño factorial de  $2^2$  con dos replicas se tiene:

**Fig. 4- 1 Ejecución de Análisis en SPSS-Variable respuesta relación C/N**

	Bx	PorcVinaza	RCN	BxPorcVinaza
1	-1,00	-1,00	33,97	1,00
2	-1,00	-1,00	31,92	1,00
3	-1,00	1,00	47,09	-1,00
4	-1,00	1,00	49,50	-1,00
5	1,00	-1,00	37,28	-1,00
6	1,00	-1,00	41,32	-1,00
7	1,00	1,00	56,57	1,00
8	1,00	1,00	51,82	1,00

**Fuente:** Programa informático SPSS, 2019

**Fig. 4- 2 Análisis de Varianza ANOVA (Relación C/N)****Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente:RCN

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	532,576 <sup>a</sup>	3	177,525	29,046	,004
Intersección	15266,160	1	15266,160	2497,802	,000
Bx	75,093	1	75,093	12,286	,025
PorcVinaza	457,380	1	457,380	74,835	,001
Bx * PorcVinaza	,104	1	,104	,017	,903
Error	24,447	4	6,112		
Total	15823,184	8			
Total corregida	557,023	7			

a. R cuadrado = ,956 (R cuadrado corregida = ,923)

**Fuente:** Programa informático SPSS, 2019

A partir de este análisis es posible señalar a las variables más significativas con una confianza del 95%, es decir, variables que poseen colas de significación menores al 5% (0,05). Para el presente caso las variables significativas están constituidas por los grados Brix (0,025) y el porcentaje de vinaza (0.001).

**4.2.1 Análisis de Regresión (relación C/N)**

El modelo de regresión establece el modelo matemático que relaciona las variables más significativas con la variable respuesta. Para el análisis de regresión, se introdujo al SPSS las variables grados Brix y porcentaje de vinaza.

**Fig. 4- 3 Regresión****Variables introducidas/eliminadas**

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PorcVinaza, Bx	.	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas.

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,976 <sup>a</sup>	,953	,934	2,27949

a. Variables predictoras: (Constante), PorcVinaza, Bx

b. Variable dependiente: RCN

**ANOVA<sup>b</sup>**

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	522,871	2	261,435	50,314	,000 <sup>a</sup>
1 Residual	25,980	5	5,196		
Total	548,851	7			

a. Variables predictoras: (Constante), PorcVinaza, Bx

b. Variable dependiente: RCN

**Coefficientes<sup>a</sup>**

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95.0% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	43,596	,806		54,095	,000	41,525	45,668
1 Bx	3,009	,806	,363	3,733	,014	,937	5,080
PorcVinaza	7,504	,806	,906	9,311	,000	5,432	9,575

a. Variable dependiente: RCN

**Fuente:** Programa informático SPSS, 2019

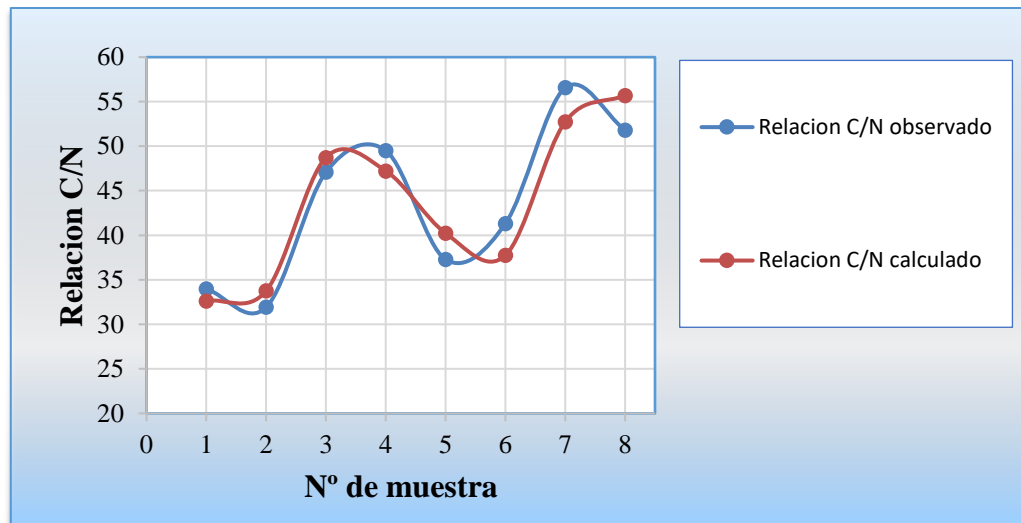
Por lo tanto, a partir de los coeficientes proporcionados en la Fig. 4- 3, la ecuación matemática de la regresión es la siguiente:

$$R\ C/N = 43,596 + (3,009 * Bx) + (7,504 * PorcVinaza) \quad \text{Ec. 4.1}$$

Esta ecuación relaciona todas las variables introducidas con la Relación C/N.

Para observar la influencia de una variable o factor sobre otro, se presenta el siguiente análisis.

**Fig. 4- 4 Relación C/N observado y Relación C/N calculado**



**Fuente:** Elaboración propia, 2019

Como se puede observar, la ecuación para la relación C/N calculada se ajusta de manera favorable a la relación C/N observada, lo cual demuestra que la ecuación es válida para un grado de exactitud del 95%.

### 4.3 Rendimiento del proceso

Si se alimentan 616,680 g de vinaza y se obtiene 108,915 g de fertilizante orgánico gracias a la adición del aditivo, el rendimiento del proceso es de:

$$\%_{\text{rend del proceso}} = \frac{C_9}{C_1} * 100\% \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$\%_{\text{rend del proceso}} = \frac{108,915 \text{ g}}{616,680 \text{ g}} * 100\%$$

$$\%_{\text{rend del proceso}} = 17,662\%$$

Por tanto el rendimiento del proceso es el 17%, tomando en cuenta que se eliminan 577,814 g de agua en los procesos de concentración y secado.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

De acuerdo a los objetivos planteados en el presente proyecto, se tiene las siguientes conclusiones.

- Se elaboró fertilizante orgánico con una vinaza de 50°Bx, empleando 55% de vinaza y 45% de aditivo constituido por cascarilla de arroz y cenizas de la misma, obteniendo una relación C/N dentro de los límites de aceptación.
- Se logró caracterizar la vinaza, resaltando en su composición un mayor porcentaje de potasio, considerado uno de los requerimientos esenciales que debe tener un fertilizante.
- Se obtuvo un rendimiento del 18% para el proceso empleado en la elaboración del fertilizante.
- Se logró dar un valor agregado a la vinaza, mediante la elaboración de este fertilizante con el fin de ayudar a combatir uno de los problemas principales de las sociedades al brindar un manejo alternativo a este tipo de residuo industrial que muchas veces constituye una de los mayores retos a superar para la industria.

#### **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda la implementación del presente proyecto, para el aprovechamiento de la vinaza en función a las grandes cantidades generadas.
- Debido a que el proyecto desarrollado es a escala experimental, tomando en cuenta el método de concentración, se recomienda el diseño de evaporadores al vacío.
- Se recomienda trabajar en proyectos de caracterización de suelos para elaborar fertilizantes adecuados para la región.