

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Debido a la contaminación ocasionada por el ser humano, muchas personas, empresas y organizaciones han optado por la preservación del medio ambiente, no sólo evitando procesos que contaminen, sino que aprovechando los residuos de las diferentes industrias alcoholera o vitivinícolas para crear alternativas orgánicas para el suelo. Tal es el caso de la vinaza, un residuo que proviene de la destilación del singani y aguardiente; el cual siendo tratado y llevado a un proceso de concentración y mezclado con otros aditivos, resulta como fertilizante orgánico y a diferencia de los fertilizantes químicos es un potenciador de los suelos y aporta muchos nutrientes a cualquier cultivo. (EcoAvant., 2017)

Según López M. U. y Aguilar J. M. (2016) en la patente, “Producción de Fertilizante Orgánico a partir de la vinaza de la destilación del alcohol etílico y Silvia M. P. (2019). Desarrollaron fertilizante sólido a partir de la destilación del alcohol etílico, con mezclas de aditivos como la cascarilla de arroz y su ceniza con un porcentaje de 45 % y 55 %, determinaron que sí es posible producir fertilizante a partir de vinazas.

Los biofertilizantes son abonos orgánicos naturales que ayudan a proporcionar a las plantas todos los nutrientes que necesitan y a mejorar la calidad del suelo creando un entorno microbiológico natural. Tienen la capacidad de promover el crecimiento de las plantas y reducir el uso de los fertilizantes sintéticos sin afectar la productividad de los cultivos (CASAFE, 2009, p.2887)

Pero la historia de la fertilización se inició cuando los agricultores primitivos o primeras comunidades humanas descubrieron que determinados suelos dejaban de producir rendimientos aceptables si se cultivaban continuamente, y que al añadir estiércol o residuos vegetales se restauraba la fertilidad. (ANFFE, 2008)

Los abonos orgánicos fueron utilizados como fertilizantes orgánicos entre las grandes culturas de la antigüedad (2000 a 2500 a. c), y los centros agrícolas más importantes como en Babilonia, Egipto, Roma y Alemania que utilizaron estiércol de animales que

se desarrollaron en las riveras de los grandes ríos, donde la alta fertilidad de los suelos era debido en gran parte a su contenido de materia orgánica, unos mil años d. c. se realizó una primera clasificación de los abonos orgánicos y se agruparon como abonos verdes y aguas negras para producción agrícolas.

Sin embargo, la fuente predominante de fertilizante para los siguientes miles de años fue el estiércol de animales, restos de plantas. Tras importantes avances efectuados en el siglo XIX en Europa fueron los precursores de la moderna industria de los fertilizantes. (Tisdale y Nelson, 1975)

La historia comercial de los biofertilizantes empezó en 1898 con el establecimiento en Milwaukee, Wisconsin, USA, de la empresa “The Nitragin Company” y la posterior comercialización 32 años después de los biofertilizantes fabricados con base en Rhizobium. Posteriormente, otros productos basados primero en Azotobacter y bacterias verde-azules, y posteriormente en Azospirillum y hongos arbusculares vinieron a complementar el mercado de los biofertilizantes. Durante el periodo de los años 1930-1940 bacterias diazotróficas de vida libre como Azotobacter, o la solubilizadora de fosfatos Bacillus megaterium, fueron empleadas a gran escala en Rusia y Europa del Este.

El direccionamiento principal del uso de biofertilizantes ha sido incrementar la producción agrícola, una estrategia mundialmente adoptada luego de la consolidación de la “revolución verde” por primera vez en Latino América en los Estados Unidos a mediados del siglo XX. Esta trayectoria fue ampliamente apoyada por la FAO después de que afirmara que los efectos de los biofertilizantes sobre el ambiente humano eran en su mayoría positivos. (FAO, 1972 y Bashan-Bashan, L. E. 2010)

En el año 2010 se instaló la primera planta de fertilizante orgánico en Sudamérica, ubicada en Paraguay y gestionada por la empresa Petropar. Esta planta fue operada por la compañía india Rochem, que implementó tecnología alemana, siendo parte de una red de aproximadamente 200 plantas de obtención de fertilizante orgánico en funcionamiento a nivel global. En el caso de Bolivia, la producción de fertilizantes químicos se inició oficialmente en 2018 con la puesta en marcha de la planta de urea

en Bulo Bulo, en la región del Chapare, Cochabamba. Sin embargo, hasta la fecha no se encuentran registros oficiales sobre la producción industrial de fertilizantes orgánicos en el país. A pesar de ello, en diversas regiones del occidente boliviano se preservan prácticas ancestrales vinculadas al uso de abonos orgánicos como el estiércol, la rotación de cultivos y el manejo integral del espacio agrícola, en consonancia con conocimientos tradicionales y sostenibles. (Ministerio de Hidrocarburo y Energía de Bolivia, 2018)

Mercado de biofertilizantes en el mundo

A nivel mundial, Norteamérica lidera el mercado de biofertilizantes, generando aproximadamente el 32% de los ingresos globales en este sector. Europa ocupa el segundo lugar con un 23%, mientras que el Medio Oriente representa cerca del 10%. Latinoamérica contribuye con un 16% del mercado mundial, destacándose países como Brasil, Argentina, Colombia y México como los principales productores y consumidores dentro de la región. (Pineda, 2019)

El consumo total de nutrientes fertilizantes ($N+P_2O_3+K_2O$) se estima en 184,67 millones de toneladas en 2014 y se prevé que alcance los 186,6 millones de toneladas en 2015. Con un crecimiento progresivo del 1,6 % anual, se espera que alcance los 199 millones de toneladas a finales de 2019. La tabla número uno, muestra las previsiones de la demanda mundial total de nutrientes fertilizantes entre 2015 y 2019, en comparación con el consumo real de los seis años anteriores. (Pineda, 2019).

Tabla 1. Demanda mundial de nutrientes fertilizantes (millones de tonelada).

Año	2015	2016	2017	2018	2019
Nitrógeno	112.54	113.96	115.50	116.91	118.22
Fósforo	42.11	42.86	43.79	44.65	45.53
Potasio	31.97	32.80	33.63	34.45	35.23
Total	186.62	189.62	192.92	196.01	199.01

Fuente: FAO, “World fertilizer trends and outlook to 2019,” Rome, 2016

La demanda mundial de fertilizantes para el año 2016 estaba distribuida principalmente entre USA, India, Brasil, Francia y Turquía con un 89% de la cantidad total demandada, siendo USA el consumidor más importante con aproximadamente un 39% del total. En la siguiente tabla se encuentra la información de las cantidades que se produjeron en el mismo periodo de tiempo. Los principales países que aportan a esta producción mundial son USA, India, Rusia, Canadá y Brasil, sumando un 72% aproximadamente. El principal exponente es USA acaparando un 22,51% de la producción total de fertilizantes químicos. (Pineda, 2019)

Tabla 2. Producción mundial de fertilizante inorgánico

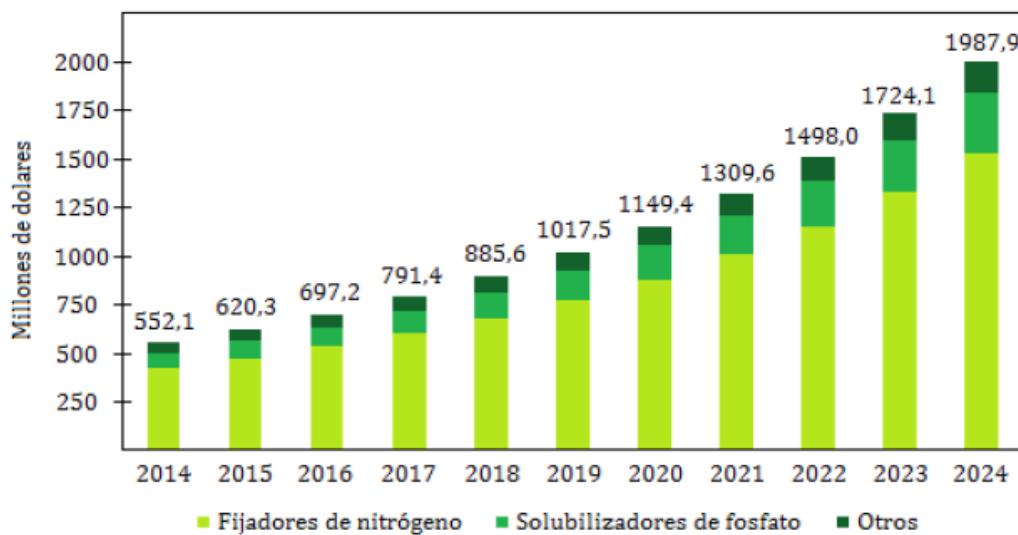
Año	2015	2016	2017	2018	2019
Nitrógeno	153.77	159.49	164.73	168.06	171.43
Fósforo	46.01	47.30	48.48	50.05	51.15
Potasio	44.03	45.43	47.51	49.92	51.64
Total	243.81	252.22	260.72	268.03	272.42

Fuente: FAO, “World fertilizer trends and outlook to 2019,” Rome, 2016

Al realizar una comparación entre la información antes mencionada se puede concluir que, en los 5 años estudiados, se logró cubrir la demanda mundial e incluso la

producción sobrepasó dicho límite en 25,6% aproximadamente. Sin embargo, entre el 60 al 90% del fertilizante total aplicado se pierde por procesos de lixiviación o mineralización, esto conlleva a que solo entre el 10 al 40% restante sea asimilado por las plantas. Aquí es donde los biofertilizantes pueden ser un componente importante, utilizando un sistema integrado donde la cantidad de fertilizante químico previamente adicionado al suelo sea recuperado e implementado de nuevo al cultivo. Lo anterior ha sido el motivo fundamental por el cual se ha visto incrementado el mercado de los biofertilizantes a nivel mundial como se observa en la siguiente imagen. (Pineda, 2019)

Figura 1. Mercado global de biofertilizantes 2014-2024

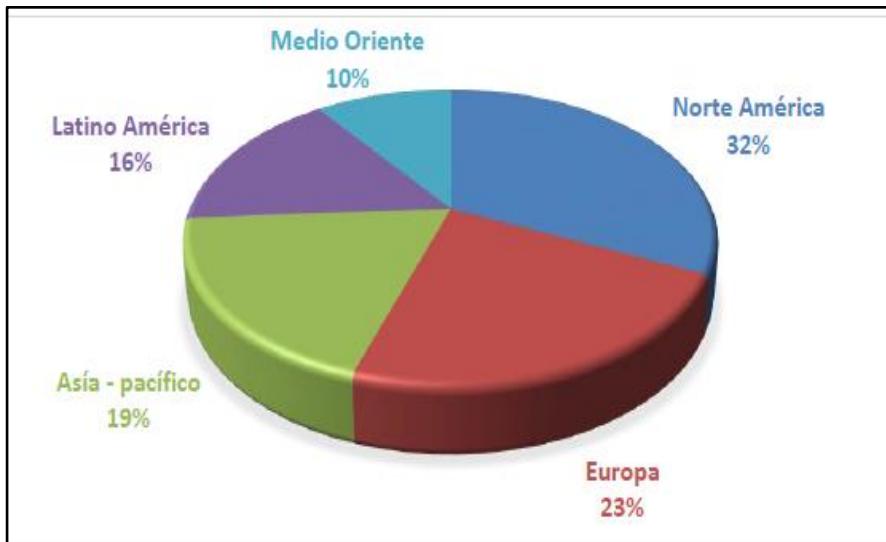


Fuente: Pineda, (2019)

La información suministrada de la figura I-1 resume el mercado real hasta el año 2016 y la proyección estadística de mercadeo hasta el año 2024. Sin embargo, solo se muestra de forma detallada la proporción de fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo, los cuales corresponden para un promedio entre los años 2014-2024 de aproximadamente 76,5 y 14,6% del mercado total, respectivamente. Por lo tanto, el 8,9% restante corresponde aproximadamente a los microorganismos promotores de crecimiento, solubilizadores de potasio, transportadores de fosfatos y oxidantes de azufre.

A nivel mundial la distribución del mercado se encuentra resumida en la siguiente imagen mostrando que Norte América tiene la mayor cantidad de ingresos provenientes de biofertilizantes con un 32%, seguido por Europa con un 23% y dejando atrás al medio oriente con un 10% aproximadamente. También se puede observar que Latino América tiene un 16% Materiales, del mercado mundial siendo Brasil, Argentina, Colombia y México los mayores exponentes de la región.

Figura 2. Distribución mundial del mercado de biofertilizantes



Fuente: Mordor, “Biofertilizers Market Growth, Trends & Forecast (2019–2024).”

Las empresas de mayor producción en el sector de los biofertilizantes a nivel mundial son: Novozymes A/S (Dinamarca), Rizobacter Argentina S.A. (Argentina), Lallemand Inc. (Canadá – USA), National Fertilizers Limited (India), Madras Fertilizers Limited (India), Gujarat State Fertilizers Chemicals (India), T Stanes Company Limited (India), Camson Bio Technologies Limited (India), Rashtriya Chemicals Fertilizers (India), Biomax (Colombia), Symborg (España), Agri Life (India) y Kiwa Bio-Tech Products Group Corporation (USA). (Cision, “Global Biofertilizer Markets, 2011-2018 & 2019-2024”)

Materia prima

La vinaza es el residuo que se obtienen después de destilar el mosto fermentado proveniente de la caña de azúcar, uvas y diferentes especies de agave. En este proceso

se producen alrededor de 6 a 15 litros de vinazas por litro de alcohol. La vinaza contiene altas cargas de sólidos disueltos y de materia orgánica. Su composición varía considerablemente de una destilería a otra dependiendo de factores como la materia prima utilizada, el tipo de fermentación y las operaciones de separación utilizadas. (Sebastián Pineda Pineda, 2019).

El vino ha acompañado a la humanidad a lo largo de su historia. Aunque existen indicios de que la vid ya se cultivaba y se elaboraban bebidas fermentadas a partir de uvas entre los años 6.000 y 5.000 a.C., es durante la Edad de Bronce (alrededor del 3.000 a.C.) cuando se considera el verdadero nacimiento del vino. En las riberas del Nilo, los egipcios fermentaban el mosto en grandes vasijas de barro y producían principalmente vino tinto, que adquirió un importante valor simbólico y social, siendo empleado tanto en rituales religiosos como en celebraciones paganas.

Gracias a la adaptabilidad de la especie *Vitis vinifera*, su cultivo se extendió por Europa Occidental a través de rutas comerciales y, eventualmente, llegó hasta Asia, difundiendo así su producción en diversas regiones del continente. Las producciones vinícolas se mantuvieron relativamente estables hasta inicios del siglo XIX. Sin embargo, a mediados de dicho siglo se evidenció un auge en la industria vinícola y de alcoholes, lo que impulsó el cultivo intensivo de la vid. En 1853, Pascual Ortega Muñoz construyó una fábrica de aguardiente con una balsa, marcando el inicio de una producción más industrializada. Para 1870, el comercio de exportación de ciertas regiones se centraba casi exclusivamente en vinos y aguardientes. (Dialnet. (s.f.). *La industria vinícola en Yecla*)

La introducción de la vid en América del Norte se atribuye a los españoles, desde donde se expandió por todo el continente. En 1544, el arte de la destilación llegó a México, momento en el cual ya se elaboraba cerveza. Durante el siglo XIX, la destilación experimentó una transformación significativa con la invención del alambique de destilación continua. Este innovador dispositivo, compuesto por una columna con platos internos, permitía que los vapores se reencontraran con el fermentado alcohólico,

optimizando así la obtención de alcohol y reduciendo la producción de vinaza como residuo.

Más adelante, en el siglo XX, se logró producir aguardiente, lo que también impulsó la generación de subproductos derivados del proceso, como la vinaza proveniente de las destilerías de aguardiente. (Jackson, M. 2003)

La producción de vino y singani en Bolivia tiene muchos años de historia, todo comenzó con la llegada de españoles y portugueses a finales del siglo XVI. Las primeras plantaciones de vid en Bolivia se hicieron en Mizque, y el año 1584 el cultivo de la vid llegó a Tarija. El primer registro de una viña tarijeña data de 1606 en la localidad de Entre Ríos. (SNV 2008)

Según los escritos de sacerdote católico Alejandro Corrado, en 1755 Tarija exportaba vinos a Tucumán y Potosí. Hoy, el valle central de Tarija es el principal productor de uva en Bolivia, tanto para el consumo fresco como para la elaboración de vinos y singanis. (SNV, 2008 (La Organización de Desarrollo de los Países Bajos))

Actualmente, los avances en los procesos de destilación permiten una selección mucho más precisa de las sustancias a separar. En este contexto, una destilación eficiente resulta tan importante como la calidad de la materia prima utilizada.

Así se fue desarrollando la generación de residuos industriales, entre ellos la vinaza de uva, un subproducto altamente contaminante que, si no es tratado adecuadamente, puede representar riesgos para el suelo, las fuentes de agua y al medioambiente en general, debido a su elevada carga orgánica, acidez y contenido de nutrientes que pueden alterar los ecosistemas naturales.

OBJETIVOS

Objetivo general

Obtener un biofertilizante orgánico sólido a partir de vinaza de uva, proveniente de la Bodega Daroca del departamento de Tarija, mediante un proceso de concentración de sólidos presente en la vinaza y formulación con aditivos, que permita mejorar la fertilidad del suelo, promover el crecimiento vegetal y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la vinaza de uva mediante análisis fisicoquímico realizado en el laboratorio del CEANID, para evaluar su viabilidad como materia prima.
2. Seleccionar el método de concentración que permita aumentar el contenido de sólidos y nutrientes presentes en la vinaza.
3. Formular experimentalmente el biofertilizante orgánico sólido, incorporando aditivos como la cascarilla de arroz y su ceniza, que mejoren su estabilidad y valor nutricional.
4. Realizar un control del proceso aplicando un balance de materia y de energía para cuantificar las entradas y salidas de masa y energía del experimento más óptimo.
5. Determinar las propiedades fisicoquímicas del biofertilizante obtenido, mediante análisis en los laboratorios del CEANID y Laboratorio de Suelos.
6. Calcular los costos asociados a los insumos directos e indirectos involucrados en la producción del biofertilizante, en condiciones de laboratorio.

JUSTIFICACIÓN

Es importante buscar maneras de dar un valor agregado a los residuos industriales, en este caso la vinaza, con el fin de obtener productos que representen beneficios tanto para las personas como para el medioambiente. La valorización de estos subproductos

contribuye a una economía circular, reduce la contaminación y promueve prácticas sostenibles en las industrias productoras de Tarija.

El presente estudio de investigación, tuvo como propósito aprovechar la materia prima disponible, como es la vinaza de la uva, dado que contiene un alto valor nutricional para las plantas gracias a su contenido de materia orgánica y minerales. Además, es una fuente accesible, de fácil obtención y susceptible de ser procesada mediante tecnologías existentes, lo cual facilita su transformación en biofertilizante.

Este proyecto se justifica en los siguientes aspectos:

Justificación económica

El producto obtenido a partir de este proyecto, es económicamente accesible, permitiendo su comercialización a precios bajos y competitivos, lo que lo convierte en una alternativa viable para pequeños, medianos y grandes productores agrícolas. Asimismo, el desarrollo de este biofertilizante orgánico puede generar nuevas oportunidades de empleo e incentivar la creación de microempresas orientadas al aprovechamiento de residuos agroindustriales.

Además, proporciona beneficios económicos significativos, ya que sus costos de elaboración son reducidos. Esto se debe a que la materia prima principal, la vinaza de la uva, es un residuo industrial de fácil acceso y disponibilidad, lo que minimiza los gastos en insumos.

Justificación social

Con la realización de este proyecto, buscó contribuir el bienestar social a través de la producción de alimentos más saludables y sostenibles. Al utilizar fertilizante orgánico elaborado a partir de vinaza, se reduce el uso de fertilizantes químicos que pueden dejar residuos tóxicos en los cultivos y deteriorar su calidad nutricional. De esta forma, se promueve una agricultura más limpia, que favorece la salud de los consumidores en general.

El fertilizante orgánico representa una alternativa viable y accesible para pequeños agricultores, quienes muchas veces no tienen los recursos suficientes para adquirir

fertilizantes químicos. Su implementación puede ayudar a mejorar los rendimientos agrícolas de forma sostenible, sin comprometer la salud del suelo ni del medioambiente.

Por tanto, el presente proyecto no solo busca mejorar la producción agrícola, sino también tener un impacto positivo en la salud pública de las personas.

Justificación tecnológica

El presente proyecto, contó con el respaldo de tecnología necesaria para llevar a cabo su desarrollo experimental, lo que permitió garantizar su viabilidad desde el punto de vista técnico. Se dispuso de equipos básicos y especializados para la caracterización, tratamiento y transformación de la vinaza, así como para el procesamiento de los aditivos utilizados en la formulación del fertilizante orgánico.

Justificación ambiental

Las vinazas representan fuentes renovables con alto potencial para la obtención de productos de valor agregado, como es el caso de los biofertilizantes. Su aprovechamiento no solo contribuye al desarrollo de tecnologías sostenibles, sino que también permitió reducir significativamente los impactos negativos del medio ambiente.

Las vinazas además de ser altamente contaminantes, también son producidas en grandes cantidades por las industrias vitivinícolas. Por lo tanto, si se utilizaran estas vinazas para la obtención de biofertilizantes, se reducirían los impactos ambientales.

En este sentido, el presente proyecto se enfocó en reutilizar este residuo industrial como materia prima para la elaboración de fertilizantes orgánicos. Esta transformación no solo reduce el volumen de desechos generados, sino que también disminuye las emisiones y los riesgos ecológicos del medioambiente.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Biofertilizante orgánico

La palabra fertilizante se utiliza para calificar a aquello que sirve para fertilizar: lograr que el suelo se vuelva fértil o gane más fertilidad. Gracias a la utilización de un producto fertilizante, por lo tanto, se puede conseguir que la tierra ofrezca un mayor desarrollo productivo.

Es importante mencionar que fertilizante puede utilizarse como sinónimo de abono, otro término que refiere a aquello que ayuda a mejorar la fertilidad del suelo o de los cultivos. Un fertilizante, es un compuesto inorgánica u orgánica que presenta nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas incrementando la calidad nutricional del terreno. (Merino, 2019)

Los fertilizantes inorgánicos son producidos en laboratorios u obtenidos a partir de la explotación de un yacimiento natural. Se trata de fertilizantes minerales que contienen potasio, hierro u otros nutrientes. (EG-1908- Chambi Mamani, Cinthia Eliana.pdf)

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.

Los fertilizantes orgánicos, son de origen vegetal o animal como ya se mencionó. El guano, excremento de los animales, es uno de los fertilizantes orgánicos más conocidos: contiene potasio, fósforo y nitrógeno.

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. (FAO, 2005).

Este proyecto de investigación, fue de la mano con la normativa ISO 14001: Sistemas de gestión ambiental: Esta norma ayuda a las organizaciones a controlar sus impactos ambientales. Es crucial para la producción de fertilizantes orgánicos, ya que se busca minimizar el impacto negativo en el medio ambiente. (14001, 2015)

1.1.1 Clasificación de los fertilizantes

1.1.1.1 Segundo su composición

En consonancia con la práctica habitual, el nitrógeno, el fósforo y el potasio deben denominarse macronutrientes primarios, y el calcio, magnesio, sodio y azufre deben denominarse «macronutrientes secundarios». Asimismo, los abonos deben denominarse «simples» cuando contengan únicamente un macronutriente independientemente de que este sea primario o secundario o bien un macronutriente primario en combinación con uno o más macronutrientes secundarios, deben denominarse «compuestos» cuando contengan más de un macronutriente primario independientemente de que también contengan uno o más macronutrientes secundarios o bien, no contengan ningún macronutriente primario sino más de un macronutriente secundario.

Simples: Son aquellos que solo contienen uno de los tres elementos nitrógeno, fósforo y potasio. Los fertilizantes simples, según que contengan nitrógeno, fósforo, o potasio, se denominan: nitrogenados, fosfatados, o potásicos.

Compuestos: Pueden ser binarios o ternarios, según su composición que participen dos o tres elementos principales. Los abonos ternarios contienen nitrógeno, fósforos y potasio independiente de cualquier otro elemento nutritivo adicional.

Complejos: En los fertilizantes complejos, los elementos nutritivos pueden haberse agregado por simple mezcla de fertilizantes simples. O también, por reacciones químicas que integra los elementos más estrechamente, con la finalidad de mejorar las

propiedades físicas, químicas y biológicas del fertilizante. En este caso en particular se denominan fertilizantes complejos.

1.1.1.2 Segundo su naturaleza

Orgánicos: Son aquellos productos obtenidos a partir de residuos o desechos de animales, vegetales e industrias que contienen los porcentajes mínimos y máximos de materia orgánicas.

Inorgánicos: Se conocen como fertilizantes inorgánicos o químicos a aquellos productos que son obtenidos mediante procesos químicos desarrollado a escala industrial, que tienen igualmente una cantidad mínima de algunos de los elementos principales.

1.1.2 Composiciones químicas del fertilizante orgánico

Su composición química depende de la materia orgánica de que proceda y del momento de desarrollo de este. Además de sustancia orgánica contiene gran cantidad de elementos como nitrógeno, fósforo y calcio, así como un alto porcentaje de oligoelementos.

Los abonos orgánicos contienen los tres nutrientes primarios: nitrógeno, fósforo y potasio, reportan numerosos beneficios al cultivo con respecto al uso de fertilizantes químicos. (Trujillo-Perú Patente nº 28.30, 2016)

TABLA I-1 Composición química del fertilizante orgánico

Nº	COMPONENTES	LÍMITES	% PARTICIPACIÓN
1	N orgánico	Mínimo	2 % sobre materia seca
2	N + P + K	Mínimo	6 % sobre el peso total
3	Materia orgánica total	Mínimo	% sobre materia seca
4	Relación C/N	Mínimo	25; Máximo 35
5	Humedad	Máximo	35%
6	Cadmio	Máximo	30 ppm
7	Cobre	Máximo	1.500 ppm
8	Níquel	Máximo	350 ppm
9	Plomo	Máximo	1.000 ppm
10	Zinc	Máximo	3.000 ppm
11	Mercurio	Máximo	20 ppm
12	Cromo	Máximo	750 ppm

Fuente: Manual de fertilizantes, México, 2004.

1.1.3 Propiedades físicas del fertilizante orgánico

Las propiedades físicas de los fertilizantes orgánicos son de gran importancia porque repercuten tanto en su eficiencia agronómica como en su manejo, transporte y almacenamiento. Muchos de los problemas que se presentan durante el almacenamiento de fertilizantes, tales como: compactación, segregación, tamaño de partículas, densidad aparente, humedad relativa.

1.1.4 Presentación física del fertilizante

Los fertilizantes pueden presentarse en estado sólido y líquido.

Los fertilizantes sólidos varían también en su forma de presentación como ser en polvo, cristalina, granulado y macro granulado.

1.1.4.1 En polvo: El grado de finura de las partículas varía con el tipo de fertilizante y puede ser también una característica importante para obtener la máxima eficacia.

1.1.4.2 Cristalina: En muchos productos, el compuesto químico obtenido tiene naturaleza cristalina, lo que permite una manipulación y distribución aceptable.

1.1.4.3 Granulados: Mediante este proceso se consigue dar una forma física al fertilizante que permita su manipulación sobre todo su distribución al campo, por procedimiento mecánico con las mejores condiciones para asegurar una aplicación uniforme. Para considerar que un producto es granulado, debe tener una composición de partículas del 90 %, comprendido entre 1 y 4 mm. Como es lógica la granulación tanto más perfecta es, cuando más esféricas es la partículas.

1.1.4.4 Macro granular: Recientemente, como resultado de las diversas investigaciones sobre liberación progresiva de los elementos nutritivos, se está desarrollando la producción de grandes granulos de 1 a 3 cm de diámetro. (MAPA, 2006) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).

1.1.5 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. 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 principales de los fertilizantes orgánicos, se examinará el valor agronómico del contenido fertilizante en cada caso.

1.1.5.1 Relación C/N equilibrada

La relación C/N, expresa la unidad 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. Según el Manual de Fertilizante Orgánico, teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta varía en función de la materia prima que conforman el fertilizante. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Si la relación C/N es demasiado alta ($>35:1$), la descomposición es lenta porque falta nitrógeno disponible. Si la relación es demasiado baja ($<10:1$), hay exceso de nitrógeno, lo que puede causar liberación de amoníaco, olores desagradables y pérdida de nitrógeno.

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 con ciertas cantidades de nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el aserrín. 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. (Manual de Fertilizante Orgánico, 2021)

1.1.6 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.

1.1.6.1 Nitrógeno

El nitrógeno es fundamental para el crecimiento vegetal y la formación de proteínas, clorofila y ADN. Esto no resulta sorprendente si tenemos en cuenta que el nitrógeno es el constituyente más habitual de las plantas, después del carbono y el oxígeno. El nitrógeno total 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 suelos (Coyne, 2000).

1.1.6.2 Potasio

El potasio interviene en procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la respiración, regulando la transpiración logrando ahorro de agua, también es regulador de las 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).

1.1.6.3 Fósforo

El fósforo constituye el segundo nutriente esencial para el desarrollo de las plantas y microorganismos. Su participación es determinante en la mayoría de los procesos fisiológicos asociados al crecimiento, ya que influye directamente en mecanismos fundamentales como la floración, la fructificación y la formación de un sistema radicular eficiente y bien desarrollado (Maroto, 1990).

1.1.6.4 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).

1.1.6.5 Azufre

En los compuestos orgánicos de las células se presenta en estado reducido como grupo sulfídrico. 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).

1.1.6.6 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 magnesio se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta. (FAO, 2002).

1.1.7 Importancia de la humedad y del pH del fertilizante

La humedad ideal para un biofertilizante suele estar entre los 12 al 30 % según López Mejía Ulises y Aguilar José Miguel (2016). Humedades superiores a los valores indicados producirían un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica, con lo que el medio de volvería anaeróbico, favoreciendo los metabolismos fermentativos y las respiraciones anaeróbicas. Si la humedad se sitúa en valor inferior al 10 %, desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extramente lento.

Mientras tanto el rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio. El pH cercano al neutro entre los 6.5 a 7.5 ligeramente ácidos y ligeramente básicos nos aseguran el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH inferiores a 5.5 inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores superiores a 8 también son agentes inhibidores del crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales del medio, de forma que no son asequibles para los microorganismos. (Sztern y Pravia, 1999)

1.1.8 Importancia de la presencia de un aditivo en un fertilizante

La incorporación de aditivos en un fertilizante orgánico cumple funciones fundamentales tanto en su estructura física como en su valor agronómico. El propósito principal de añadir un aditivo es mejorar la textura y composición del abono, promoviendo una mayor aireación y capacidad de retención de humedad. Esto facilita la infiltración y disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo cual es crucial para el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas. Asimismo, los aditivos estimulan la actividad de microorganismos benéficos del suelo, favoreciendo el equilibrio biológico y el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Una alternativa ampliamente utilizada como aditivo es la cascarilla de arroz, que destaca por su riqueza en sílice, especialmente cuando se utiliza en forma de ceniza. Esta propiedad fortalece la estructura celular de los vegetales, brindándoles mayor resistencia frente a enfermedades y plagas, especialmente insectos. A mediano y largo plazo, la cascarilla de arroz también contribuye a la formación de humus, mejorando la fertilidad del suelo.

En su forma carbonizada (como ceniza de cascarilla), no solo aporta fósforo y potasio, sino que también tiene un efecto corrector sobre la acidez del suelo, lo que lo convierte en una excelente enmienda para suelos degradados. Además, pueden incorporarse otros aditivos como cascarilla de café, paja, abonos verdes, o residuos de cosechas de granos y hortalizas, que enriquecen el fertilizante con nutrientes específicos y mejoran su desempeño agronómico. (FAO, 2010)

1.1.9 Beneficios de los fertilizantes orgánicos en los cultivos

Aporte de algunos o casi la mayoría de los elementos esenciales para las plantas, dependiendo del fertilizante orgánico utilizado. Son de mayor residualidad que los fertilizantes inorgánicos.

Tienen la particularidad de liberar nutrientes en forma gradual, lo cual garantiza un cierto suministro de nutrientes para el cultivo durante su desarrollo. Mejoran la estructura del suelo, porosidad, aireación y capacidad de retención de agua. Tienen la

habilidad de formar complejos orgánicos con los nutrientes brindándoles a éstos mayor disponibilidad para las plantas.

Son fuente de carbono orgánico para la actividad de organismos heterótrofos presentes en el suelo. Aumentan la infiltración del agua, reduciendo el escurrimiento superficial. Lo que ayuda a reducir las pérdidas de suelo por erosión hídrica. Favorecen una mayor estabilidad de agregados del suelo. Los fertilizantes orgánicos confieren al suelo una mayor capacidad productiva, conservación de su fertilidad en el tiempo y ser sostenibles con el paso de los ciclos productivos.

Los fertilizantes orgánicos son una alternativa natural y sostenible a los fertilizantes químicos. Estos productos, obtenidos a partir de la descomposición de materia orgánica, ofrecen una serie de beneficios tanto para las plantas como para el suelo.

Nutrientes esenciales: Liberan de forma gradual nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Mejora de la estructura del suelo: Incrementan la capacidad de retención de agua y aire en el suelo, favoreciendo el desarrollo de las raíces y la actividad microbiana.

Aumento de la materia orgánica: Incrementan la cantidad de materia orgánica en el suelo, mejorando su fertilidad a largo plazo.

Fomento de la vida microbiana: Estimulan el crecimiento de microorganismos beneficiosos que descomponen la materia orgánica y mejoran la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Mayor resistencia a plagas y enfermedades: Las plantas cultivadas con fertilizantes orgánicos suelen ser más resistentes a plagas y enfermedades, gracias a un sistema inmunológico más fuerte. (Dr. Vasyl Cherlinka, 2018)

1.1.10 Diferencias entre el biofertilizante orgánico e inorgánico

Los tres nutrientes principales (nitrógeno, fósforo y potasio) están presentes en una determinada proporción en ambos tipos de fertilizantes. Sin embargo, ésta es la única similitud clara entre ambos tipos. La primera diferencia entre el fertilizante orgánico y

el químico, es que los orgánicos nutren el suelo, mientras que los inorgánicos o sintéticos nutren los cultivos. Aunque con ciertos matices, esta suposición es correcta y la siguiente imagen muestra la verdadera esencia de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos a la hora de realizar un aporte de nutrientes a la planta. (Sinha, S., 2015)

Figura I-1. Diferencia entre fertilizante orgánico he inorgánico



Fuente: (Sinha, S., 2015)

Los fertilizantes orgánicos son una herramienta valiosa para la agricultura sostenible, ya que contribuyen a mejorar la salud del suelo y a obtener cultivos de mayor calidad. Al utilizar estos productos, los agricultores no solo benefician a sus cultivos, sino también al medio ambiente y a los consumidores.

1.2 Materia prima

1.2.1 Vinaza de uva

La vinaza es el residuo industrial líquido (RIL), generado en el proceso de destilación de bebidas alcohólicas, obtenida en grandes volúmenes. El rendimiento del destilado es del 10 al 15 %. Esta cantidad varía de acuerdo con la materia prima para la fermentación, destacando, entre las que generan mayor cantidad de vinaza, la caña de azúcar, la uva. (María A. Díez Rojo, 2010)

Según VARGAS, M. (1987), ALFARO R. y ALFARO. J. A. (1996), GUERRERO J. (1997), caracterizan a la vinaza como un líquido que contiene alta carga orgánica con presencias de sales de potasio, Nitrógeno, Fósforo, Cobre, Hierro, Magnesio que aportan nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, y por lo tanto pueden ser utilizados como fertilizante orgánico.

Este residuo de la destilería alcohólica, es de color café claro, está compuesta en un 90% de agua y, según Arana (2010), contiene una composición nutricional, química y biológica que la convierten en un residuo con un inmenso potencial fertilizante agrícola, pues presenta niveles importantes de potasio, nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, además de un alto contenido de materia orgánica. (Arana, 2010)

La destilación separa mediante calor los diferentes componentes líquidos, aprovechando las diferencias de volatilidad de los compuestos. Este proceso genera un residuo, la vinaza, que se caracteriza por su elevada carga orgánica. Durante la destilación, se tiene un rendimiento del 10 al 15 % de producto, quedando un 85 al 90 % como vinaza, por lo que se considera un problema ambiental. (CPL, 2006)

Debido a las grandes cantidades generadas de vinaza, se comenzó a estudiar su posible uso para aprovechar sus propiedades fisicoquímicas, convirtiéndose en un producto de gran interés agrícola, como potencial alternativo a los fertilizantes inorgánicos, debido a su alto contenido de materia orgánica, N y K. (ÁLVARO SAMUEL SILVA PÉREZ, 2013)

La elaboración del fertilizante orgánico a partir de vinaza, se realizó con el propósito de aprovechar los sólidos disueltos y la cantidad considerable de nutrientes que contiene la vinaza, necesarios para el desarrollo vegetal.

1.2.1.1 Composición químicas

Las vinazas, en general, contienen un gran contenido de materia orgánica y nutrientes como nitrógeno, azufre y fósforo. También contienen una gran cantidad de potasio. Entre los compuestos orgánicos más importantes están los ácidos orgánicos y

aldehídos. Además, también contiene compuestos fenólicos recalcitrantes, como las melanoidinas. Son ácidas (pH entre 3 y 4).

Tabla I-2. Composición química de las vinazas de uva.

Nº	Parámetros	Mínimo	Medio	Máximo
1	pH	3.1	3.5	3.9
2	O ₂ disuelto (mg O ₂ /l)	0.3	0.5	0.6
3	DQO (mg O ₂ /l)	26140	29385	32630
4	Residuo a 110 °C (g/l)	14.67	15.44	16.22
5	Materia total en suspensión g/l	0.12	0.15	0.18
6	Materia orgánico total (g/l)	11.22	11.35	11.44
7	Materia orgánica total (%)	76.48	73.66	70.84
8	Materia inorgánica total (%)	23.52	26.34	29.16
9	N (mg N/ l)	80	235	390
10	K (g K ₂ O/l)	0.63	1.95	3.17
11	P (mg P ₂ O ₅ /l)	0.22	0.32	0.43
12	Temperatura de vertido (°C)	93	95	97

Fuente: I.G.M.E: 1981. Elaboración propia

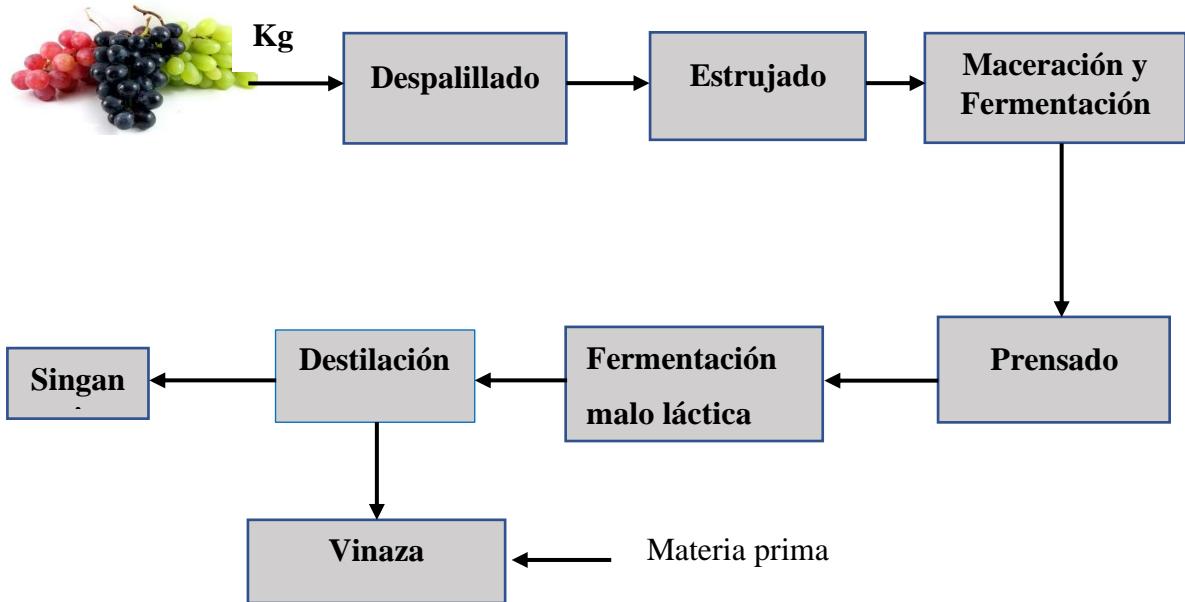
Como se puede observar en la Tabla I-2, la vinaza contiene los nutrientes primarios necesarios para la elaboración del biofertilizante. Si bien las concentraciones de algunos elementos pueden ser bajas, el objetivo principal de este proceso fue

aprovechar los sólidos y minerales presentes en la vinaza de uva, maximizando su potencial como insumo para la producción de un biofertilizante orgánico.

1.2.1.2 Proceso de obtención de la vinaza

La vinaza es un residuo industrial generado durante el proceso de destilación del singani obtenido a partir del mosto de la uva. Una vez extraído el mosto, este se somete a un proceso de fermentación, y posteriormente, mediante destilación, se separa el singani. Como subproducto de este proceso, se obtiene la vinaza, un residuo con alto contenido orgánico que fue aprovechado como materia prima para la elaboración de biofertilizantes orgánicos.

Figura I-2 Diagrama de bloque de la obtención de la vinaza a partir de la uva.



Fuente: Elaboración propia

Uva: La uva es la materia prima utilizada en la elaboración de vinos y singani, y como residuo del proceso de destilación se obtiene la vinaza, la cual constituyó la base para el desarrollo de este proyecto. Generalmente, la uva se recolecta durante la temporada de vendimia, seleccionando los granos adecuados que luego son almacenados y procesados. Es fundamental que la uva se encuentre en un estado óptimo de maduración al momento de la cosecha, con el fin de garantizar la máxima calidad en la extracción de sus compuestos.

Despalillado: Este proceso consiste en separar las uvas del resto del racimo, conocido como raspón. El objetivo de esta etapa es eliminar ramas y hojas, ya que estos componentes pueden aportar sabores y aromas indeseables (principalmente amargos) al mosto durante la maceración, afectando negativamente la calidad del producto final.

Estrujado: Una vez separado el raspón, las uvas pasan por una pisadora con el objetivo de romper suavemente la piel del fruto, conocida como hollejo. Este proceso permite la liberación del jugo o mosto, facilitando así las etapas posteriores de fermentación. Es importante evitar un estrujado excesivo, ya que la rotura de las semillas podría liberar compuestos amargos y taninos no deseados que afectarían negativamente el sabor.

Maceración y fermentación: El jugo de uva extraído se mantiene a una temperatura controlada durante varios días para permitir el proceso de fermentación, durante el cual se desarrolla el color característico del producto. En los depósitos de fermentación, y mediante la acción de las levaduras presentes de forma natural en la uva, se inicia la fermentación alcohólica: un proceso biológico en el que los azúcares contenidos en el mosto se transforman en alcohol etílico. Este proceso debe llevarse a cabo a temperaturas inferiores a 29 °C, ya que temperaturas más elevadas pueden inhibir la actividad de las levaduras o alterar negativamente la calidad del producto final.

Prensado: Una vez finalizada la fermentación y realizado el descube, el producto sólido restante aún contiene una cantidad considerable de vino. Por esta razón, se somete a un proceso de prensado con el fin de extraer el líquido residual. Los residuos sólidos obtenidos tras el prensado, compuestos principalmente por hollejos, semillas y restos de pulpa, son comúnmente utilizados en la elaboración de orujos y otros subproductos con valor económico y agroindustrial.

Fermentación maloláctica: El jugo obtenido en las etapas anteriores se somete a una segunda fermentación en barricas, durante un periodo determinado, con el objetivo de favorecer su evolución y el desarrollo de sus características organolépticas. En esta etapa, conocida como fermentación maloláctica, se produce la transformación del ácido málico en ácido láctico, lo que reduce la acidez del producto y permite la aparición de

aromas más suaves y agradables, mejorando así su calidad sensorial y su aceptabilidad para el consumo.

Destilación: Una vez fermentado, pasa al proceso de destilación por alambique separándose el singani y quedando el residuo (vinaza), que fue la materia prima para la realización de mi proyecto de obtención de biofertilizante.

1.2.1.3 Aplicación de vinazas a suelos

Las vinazas tienen un contenido alto de materia orgánica y de compuestos que no están presentes en aguas residuales domésticas o municipales, por lo que no se pueden tratar como aguas residuales convencionales (López-López y Contreras-Ramos, 2015). Como consecuencia, los productores pequeños y medianos de tequila no tienen la solvencia económica para llevar a cabo un adecuado proceso de tratamiento que permita cumplir con los límites permisibles de concentración de contaminantes establecidos en la normatividad de descarga de aguas residuales a cuerpos de agua o a la red de alcantarillado. (López- López y Rams, 20215)

El límite máximo permisible de DBO5 es de 150 mg/L para descarga en ríos (para uso agrícola el parámetro no está definido para descarga en suelos), lo cual requeriría una reducción de hasta el 99% con respecto a la concentración media de DBO en las vinazas. Sin embargo, algunos de los compuestos presentes en las vinazas son recalcitrantes a los procesos biológicos convencionales de tratamiento de aguas residuales como los lodos activados y no permiten una descomposición adecuada de la materia orgánica. (Íñiguez-Covarrubias, 2007)

Como resultado, aproximadamente el 80% de estas vinazas se descargan directamente a cuerpos de agua, a la red de alcantarillado municipal, o al suelo. (Íñiguez *et al.*, 2005; López-López *et al.*, 2010).

La aplicación de vinaza a suelos agrícolas es una práctica común porque se piensa que debido a la alta carga orgánica que contiene, podría ser utilizada como fertilizante en el suelo para optimizar la producción agrícola. En Brasil, algunos autores reportan que las vinazas de la industria alcoholera de caña de azúcar se disponían en ríos u otros

cuerpos de agua inicialmente y, posteriormente, se comenzaron a utilizar para “fertiirrigación”, es decir, en campos agrícolas como fertilizante por su alto contenido de nutrientes.

En el sur de Bolivia, inicialmente las vinazas de la industria vitivinícolas se disponían en ríos u otros cuerpos de aguas, posteriormente, se comenzaron a utilizar en cultivos de campos agrícolas en viñedos como fertilizante por su alto contenido de nutrientes (Dematté, 2004; Fuess y Garcia, 2014).

Sin embargo, se ha comprobado que su descarga en suelos agrícolas sin un tratamiento previo puede tener un efecto negativo en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, las plantas y los microorganismos del suelo. Además, puede tener un impacto ambiental significativo como la eutrofización de cuerpos de agua o la pérdida de la fertilidad del suelo. (Íñiguez-Covarrubias, 2007)

1.2.2 Descripción de la Vid

La vid, es una planta de hoja caediza (caduca), como una adaptación a una determinada situación, en el otoño antes del frío extremo invernal. De constitución leñosa con tronco y ramas de cierta rigidez por formación de madera, pero sus ramas o vástagos son largos y flexibles. Posee capacidad para aferrarse a arboles u otras estructuras para su sostenimiento y trepar en ellos para alcanzar la luz solar, considerándose entonces como enredaderas. Pertenece a la familia Vitáceae, que incluye todas las especies de vidas conocidas. Entre las características principales de esta familia está una consistencia leñosa, trepadoras, con hojas lobuladas, flores hermafroditas o unisexuales, generalmente pentámeras o tetrámeras. (Cárdenas, M y Tordoya, F., 2000 : 2008)

1.2.2.1 Taxonomía de la vid

Tabla I-3. Taxonomía de la Vid

Nº	Reino	Vegetal
1	Phylum	Teleophytæ
2	División	Tracheophytæ
3	Sub División	Angiospermae
4	Clase	Dicotiledónea
5	Orden	Ramnales
6	Familia	Vitaceae
7	Género	Vitis
8	Especie	Vinífera
9	Nombre Científico	Vitis vinífera L.

Fuente: Acosta, 2017.

1.2.2.2 Morfología de la vid

Tabla I-4: Distribución del Peso de los Componentes del Racimo de Uva

Nº	Componentes	Peso en %
1	Raspón	2 - 8%
2	Hollejo o Piel	5 - 20%
3	Pulpa	83 - 92%
4	Pepitas	0 - 6%

Fuente: Rankine, 2007.

Tarija es una de las regiones ecológicamente aptas para el desarrollo de la vitivinicultura contando para ello con tecnología avanzada y tradicional, además de poseer en su territorio viñedos cultivos a alturas superiores a los 1600 m.s.n.m.

La producción de vino en Bolivia tiene varios siglos de historia, todo comenzó con la llegada de españoles y portugueses a América, a finales del siglo XV. Las primeras

plantaciones de vid en Bolivia se hicieron en Mizque departamento de Cochabamba, de ahí se extiende a Camargo en el Departamento de Chuquisaca. El año 1584, el cultivo de la vid llegó a Tarija actualmente el mayor productor de uva de Bolivia.

El primer registro de una viña tarijeña data de 1606 en la localidad de Entre Ríos. Según los escritos del sacerdote católico Alejandro Corrado, en 1755 Tarija exportaba vinos a Tucumán y Potosí, pero no llegó a ser un importante productor como lo era el valle de Cinti en Chuquisaca.

Los viñedos se encuentran en los valles de las provincias Méndez (San Lorenzo, El Puente), Cercado (Tolomosa, Yesera, San Luis y Tarija), O'Connor (Santa Ana), Avilés (Concepción, Calamuchita, Chocloca y Las Juntas) y Arce (Chaguaya, Camacho). (sistema Guyot cuádruple). (Cárdenas, 2000 y Corrado, A. 1755).

Tabla I-5. Variedades cultivadas en Tarija, utilizadas para vinificación.

Nº	Vino tinto	Vino blanco
1	Cabernet- Sauvignon	Moscatel de Alejandría
2	Merlot	Chenin
3	Syrah	Franc Colombard
4	Malbec	Riesling
5	Barbera	Sauvignon Blanc
6	Cabernet Franc	Semillon
7	Tempranillo	Pinot Blanc
8	Ganacha	Chardonnay
9	Cariñena	Ugni Blanc
10	Petit Vert	Parrellada, Xarello
11	Petit Noir	Pedro Ximenez, Torrontés.

Fuente: FAUTAPO, 2009; El Pequeño Larousse de los Vinos, 2007

1.2.3 Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz es el recubrimiento externo del grano de arroz, un subproducto generado durante el proceso de molienda. Tiene una textura ligera, áspera y fibrosa, y

su color varía del beige al marrón claro. Es abundante, económica y biodegradable, lo que la convierte en un recurso ideal para diversas aplicaciones.

La cascarilla de arroz es un subproducto generado del proceso de molienda del grano de arroz, tiene varias aplicaciones, entre las principales están la conversión de biomasa y la elaboración de abonos. La cascarilla se encuentra en la parte exterior del grano de arroz maduro, y no es apta para el consumo humano debido a su elevado contenido de sílice (Vargas Vegas, Alvarado Porras, 2013).

La cáscara de arroz representa del 20% al 25% del peso total del arroz, su amplia disponibilidad y bajo costo la vuelve una materia prima potencial para diversas aplicaciones (Yu, Zhang, He, Liu y Yu, 2008).

La cascarilla de arroz es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm (según la especie considerada), es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular.

1.2.3.1 Composición química

La cascarilla de arroz contiene componentes que la hacen valiosa en diferentes campos, especialmente en la agricultura.

Tabla I-6. Composición química de la cascarilla de arroz.

Nº	Componentes	Porcentajes o PPM
1	Sílice (SiO_2)	10 – 12 %
2	Cenizas	12 – 13 %
3	Boro	4 – 10 ppm
4	Cobre	3 – 5 ppm
5	Manganoso	200 – 800 ppm
6	Hierro	200 – 400 ppm
7	Azufre	0,12 – 0,14 ppm
8	Magnesio	0,10 – 0,12 %
9	Calcio	0,10 – 0,15 %
10	Potasio	0,20 – 0,40 %
11	Fósforo	0,08 – 0,10 %
12	Retención de Humedad	0,10 – 0,12 L/L
13	Nitrógeno	0,50 – 1,5 %
14	Zinc	15 – 30 ppm
15	Carbono	39.1 %

Fuente: Aguilar, 2009.

1.2.3.2 Utilidad y aporte en la agricultura

Apunte de materia orgánica: Al descomponerse, la cascarilla de arroz enriquece el suelo con carbono y mejora su fertilidad. Mejora de la estructura del suelo: Su porosidad mejora la aireación y la capacidad de retención de agua, beneficiando a las raíces de las plantas. Actúa como material estructurante en la compostación, regulando la humedad y aireación. Apunte de silicio: Favorece el fortalecimiento de las paredes celulares de las plantas, mejorando su resistencia a plagas, enfermedades y condiciones adversas. Control de erosión y compactación: Reduce la compactación del suelo, facilitando el crecimiento radicular y reduciendo la escorrentía del agua. (González, H., & Cáceres, R., 2011).

1.2.3.3 Ceniza de cascarilla de arroz

La ceniza de cascarilla de arroz es el residuo que se obtiene al quemar la cáscara del arroz, un subproducto agrícola abundante. Es de color gris claro o negro (dependiendo del método de combustión) y tiene una textura fina y polvorienta. Su composición química y propiedades la convierten en un material muy útil para la agricultura y otros usos industriales. (Bielemann, M., & Kaufmann, M., 2017)

Composición química de ceniza de cascarilla de arroz

En el proceso de combustión, se genera una variedad de óxidos, dentro de los que se destaca el dióxido de silicio en una proporción del 98%. Adicionalmente la cascarilla tiene unas propiedades que le confieren su capacidad de adsorción como lo es su área superficial y el tamaño de partícula. (Álvarez, L. 2014)

Tabla I-7. Composición química de la ceniza de cascarilla de arroz

Cenizas de cascarilla de arroz	
Componentes	%
SiO ₂	98
Al ₂ O ₃	0,52
Fe ₂ O ₃	0,11
Mn O	0,01
Mg O	0,11
Ca O	0,23
Na ₂ O	0,10
K ₂ O	0,38
TiO ₂	0,02
P ₂ O ₅	0,08
Otros	0,42

Fuente: Álvarez, L. (2014).

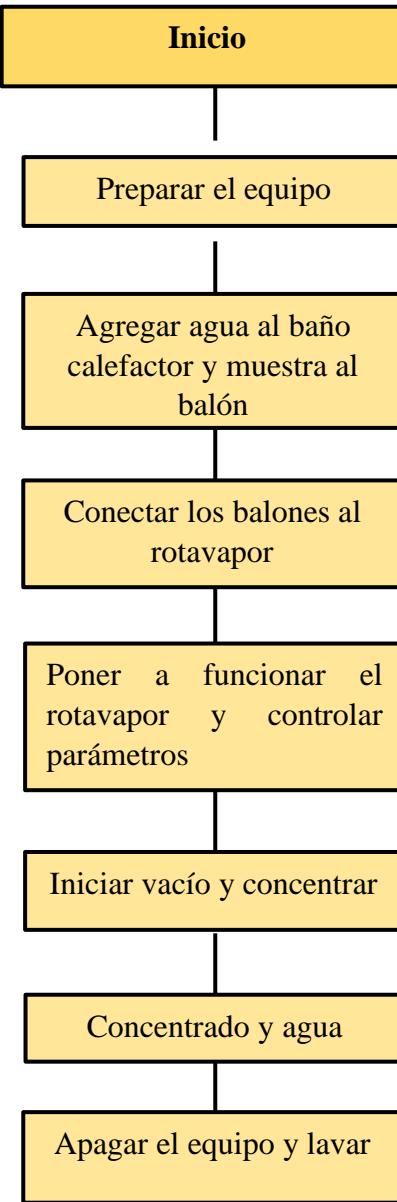
1.3 Métodos empleados para la concentración de la vinaza

1.3.1 Evaporación por rotavapor

En este método, el agua se elimina a través de la evaporación. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las temperaturas elevadas deterioran el proceso, las mismas varían en función a la materia prima a concentrar, por lo cual se debe evitar trabajar con presiones a vacío cada vez mayores, para así tener las características orgánicas deseadas en el concentrado.

El Rotavapor permite la evaporación rápida del disolvente de una disolución debido a que dispone de una bomba de vacío. Es importante conocer el punto de ebullición del disolvente, para no sobrecalentar el baño de agua y trabajar con presiones al vacío aceptables. El gas evaporado sale del matraz de evaporación y entra al condensador, donde es condensado al contactar con el líquido refrigerante (normalmente agua) que circula a través de este. Una vez terminada la evaporación, el matraz de evaporación contiene solamente el sólido y el disolvente queda recogido en el matraz colector y puede ser reutilizado o eliminado posteriormente como residuo orgánico.
(- [blog - laboratorio y ciencia - evaporador rotativo: todo lo que debe saber](#))

1.3.1.1 Diagrama de bloque de concentración de la vinaza de uva



Fuente: Elaboracion propia

Descripción de cada proceso:

Preparar el equipo: El rotavapor, es un equipo ampliamente usado en laboratorios químicos, permitiendo separar de forma eficiente el disolvente de una muestra sin dañarla.

Para empezar a utilizarlo se debe verificar las conexiones del rotavapor, de la bomba (ver la cantidad de aceite que siempre este a la mitad), realizar la limpieza de todo el equipo y ver que todo este adecuado para empezar con su funcionamiento.

Agregar agua al baño calefactor y muestra al balón: Una vez que todo está en condiciones de funcionamiento, se alimentó muestra (vinaza) al balón y agua al baño calefactor según lo indicado en el manual de funcionamiento.

Conectar los balones al rotavapor: Luego de llenar el balón con muestra de vinaza hasta unos 500 ml, se conectó el balón con la muestra y el balón de resepción.

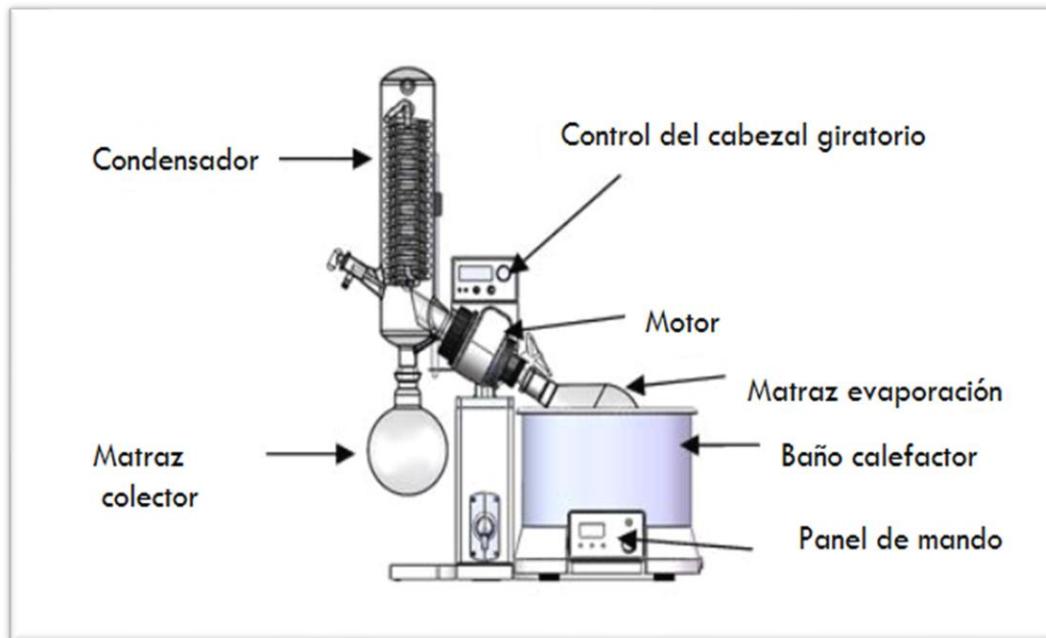
Poner a funcionar el rotavapor y controlar parámetros: Se puso en funcionamiento el rotavapor y se controló los parámetros de temperaturas y las revoluciones. Según el manual de funcionamiento, se debe calentar hasta los 40 °C el agua del calefactor para luego iniciar vacío. Las revoluciones varián según la muestra a concentrar.

Iniciar vacío y concentrar: Luego de cumplir las condiciones de temperaturas en el baño calefactor, se prendió la bomba e inició vacío para empezar a conectar y esperar el tiempo requerido.

Concentrado y agua: Despues de cierto tiempo requerido, se obtiene la separación del agua y el concentrado, los mismos que deben ser retirados del rotavapor.

Apagar el equipo y lavar: Una vez terminado el procedimiento de concentración, se apaga la bomba y luego el rotavapor, se desintala y se debe lavar los balones.

Figura I- 5: Rotavapor



Fuente: - [blog - laboratorio y ciencia](#) - evaporador rotativo: todo lo que debe saber

1.3.1.2 Ventajas y desventajas del Rotavapor

TABLA I-8. Ventajas y desventajas del rotavapor

Rotavapor		
Nº	Ventajas	Desventajas
1	Alta eficacia de concentración, especialmente para soluciones de bajo volumen y sustancias termosensibles.	Su uso no es eficiente para grandes cantidades de solución, ya que está diseñado para pequeñas y medianas cantidades.
2	Permite trabajar con una amplia variedad de compuestos debido a su capacidad de ajustar la temperatura y presión.	Necesita un sistema de vacío eficiente y constante; de lo contrario, la eficiencia disminuye.
3	La temperatura, la presión y la velocidad de rotación se pueden ajustar con precisión, lo que facilita la optimización para diferentes compuestos.	Mayor consumo energético
4	Baja degradación de compuestos porque minimiza el riesgo de desnaturalización de compuestos orgánicos.	Generación de residuos líquidos: Requiere manejo y disposición de los solventes evaporados.

Fuente: Büchi Labortechnik AG. (2020). Rotary Evaporation Technique

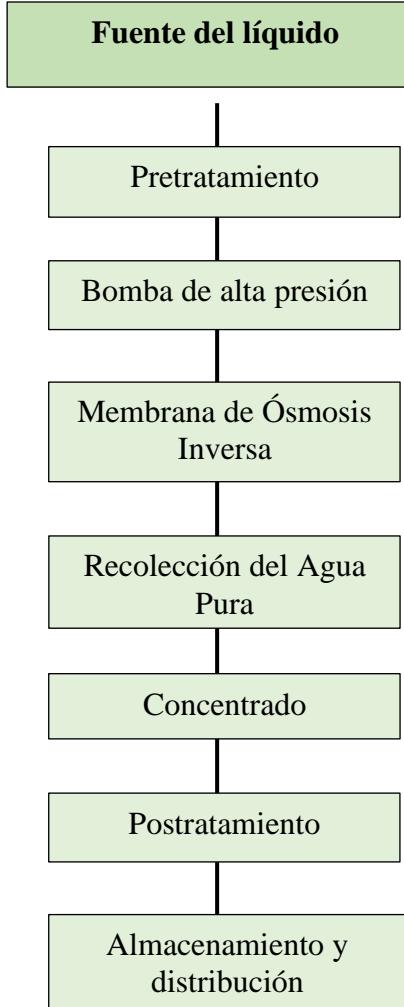
Los rotavapores son adecuados para concentraciones de bajo volumen, especialmente en el uso en laboratorio, cuando los compuestos son sensibles al calor. Método adecuado para concentrar la vinaza de uva, según las ventajas mencionadas y más que todo por contar con el equipo en el LOU de Ingeniería Química.

1.3.2 Ósmosis Inversa

La ósmosis es un proceso de difusión en el que dos fluidos con diferentes concentraciones se ponen en contacto a través de una membrana semipermeable. El fluido menos concentrado irá pasando al que tiene una mayor cantidad de sólidos disueltos hasta que se llegue a un equilibrio entre las dos soluciones. A este fenómeno lo conocemos como presión osmótica.

Como indica su nombre, la ósmosis inversa conlleva que invirtamos el proceso de forma artificial. Para ello es necesario aplicar una presión exterior superior a la presión osmótica. De este modo, el agua que tiene mayor cantidad de sólidos disueltos va fluyendo hacia la solución menos concentrada. Como resultado, obtenemos dos fluidos bien diferenciados: uno muy concentrado, en el que se han quedado todos los residuos, y otro de agua desmineralizada. (FERNANDO RUIZ RUIZ. 2010)

1.3.2.1 Diagrama de bloque de la ósmosis inversa



Fuente: FERNANDO RUIZ RUIZ (2010). Elaboración propia, 2025.

Fuente del líquido: El proceso se inicia con la captación del agua bruta. Normalmente se lleva a cabo mediante un sistema de bombeo que impulsa el agua hasta la planta de tratamiento de agua potable. La calidad del agua de entrada, así como los parámetros de operación de la planta y la polarización de la concentración, influirá en los resultados obtenidos.

Estos factores pueden provocar problemas en la membrana de ósmosis, como que se ensucie, se incrusten sales o que llegue incluso a degradarse.

Pretratamiento: Además de someterse a diferentes procesos físicos, el agua se prepara con los aditivos químicos necesarios para que tenga las propiedades óptimas.

Filtración: Eliminación de sólidos en suspensión. Desinfección: Uso de productos químicos como el cloro y coagulantes que ayudan a eliminar las sustancias contaminantes, con el objetivo de eliminar la carga biológica.

Bomba de Alta Presión: Aumento de la presión del agua para forzar el flujo a través de la membrana.

Membrana de Ósmosis Inversa: El agua pura pasa a través de la membrana, mientras que los contaminantes quedan retenidos.

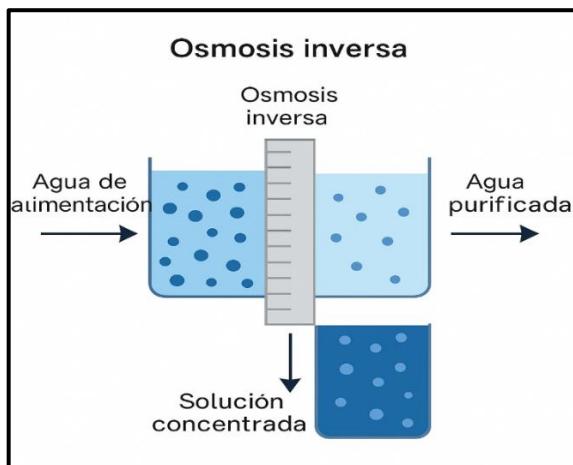
Recolección del Agua Pura: El agua tratada se recoge para su uso.

Concentrado: Los contaminantes se concentran en una corriente de rechazo que se desecha.

Postratamiento: Mineralización: Adición de minerales al agua pura, si es necesario. Desinfección: Verificación final para asegurar la calidad del agua.

Almacenamiento y Distribución: El agua tratada se almacena y se distribuye para su consumo.

Figura I- 3. Osmosis Iversa



Fuente: Metcalf & Eddy. (2003).

1.3.2.2 Ventajas y desventadas de la Ósmosis Inversa

TABLA-9. Ventajas y desventajas

Ósmosis Inversa		
Nº	Ventajas	Desventajas
1	Adecuado para concentraciones de soluciones en gran escala, común en tratamiento de aguas y ciertos concentrados alimenticios.	La ósmosis inversa es menos eficiente si la solución tiene partículas o sólidos en suspensión que puedan obstruir la membrana.
2	Menor consumo energético , no requiere calor, por lo que el consumo energético es menor comparado con métodos que dependen de evaporación térmica.	Alto costo de funcionamiento y mantenimiento de membranas.
3	Al no depender de calor, reduce el riesgo de alterar o degradar componentes termosensibles en la solución.	No alcanza concentraciones tan altas como el rotavapor; suele ser una etapa previa a métodos de concentración por evaporación.
4	Utilizada en el tratamiento de aguas, desalación, y recuperación de solutos en diversas industrias.	Requiere bombas para generar la presión necesaria, lo que implica un costo energético inicial y un sistema de filtrado para proteger la membrana.

Fuente: (Mulder, M, 2003) y Díaz, J. M., & González, L. (2012)

Ósmosis Inversa es más eficiente para grandes volúmenes y soluciones con alta salinidad, aunque requiere mayor inversión y costos de operación. La mayor dificultad para este proceso, es que no se cuentan con equipos aquí en la LOU (Laboratorio de Operaciones Unitarias) de la carrera de Ingeniería Química.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

2.1 Proceso de concentración de la vinaza

La vinaza de uva utilizada como materia prima para la obtención del biofertilizante orgánico, fue sometida a un proceso de concentración en rotavapor, incrementando su contenido de sólidos totales hasta alcanzar valores de 50 y 60 °Bx según López Mejía Ulises y Aguilar José Miguel (2016), la DIECA N°21,1985 y El Agricultor Costarricense, 1985. La operación se realizó mediante calentamiento controlado en baño térmico y un vacío que disminuye la presión dentro del equipo, lo que reduce el punto de ebullición del agua en la vinaza, pero es necesario mantener la temperatura por debajo de los límites que pudieran inducir la degradación de compuestos orgánicos sensibles, tales como el nitrógeno. En ese caso, según las pruebas preliminares realizadas, la temperatura ideal fue de 70 °C en el baño térmico con una presión de vacío 60.9548 Kpas. Por lo tanto, la selección de 70 °C como temperatura en el baño térmico y la presión de vacío mencionada, equilibró la eficiencia de evaporación sin comprometer significativamente la estabilidad de los compuestos químicos en la vinaza como ser el nitrógeno, asegurando así una concentración de sólidos totales para la formulación del biofertilizante.

El principal objetivo de concentrar la vinaza mediante rotavapor fue incrementar el contenido de sólidos totales (materia orgánica, minerales y compuestos bioactivos) y reducir el contenido de agua, con el propósito de optimizar el valor agronómico del biofertilizante. Este procedimiento permitió obtener un insumo más estable, nutritivo y fácil de manejar para su posterior formulación. En la siguiente imagen se presenta la instalación utilizada para el proceso de concentración de sólidos de la vinaza hasta alcanzar los 60 °Bx.

Figura II-1. Instalación del rotavapor concentrando a 60 °Bx



Fuente: Elaboracion propia, 2025.

Según Normey-Rico, J. E., Americano da Costa, M. (2011). Tratamiento de vinazas. En Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Ed.), *Tratamiento de vinazas* (pp. 313–326). CYTED, la concentración de los sólidos se realiza mediante evaporación por calefacción a vapor de parte del agua contenida en la vinaza. El porcentaje de sólidos se eleva desde 5-8% hasta 60%. También es posible deshidratarlo completamente, mediante secado por aspersión, hasta obtener un polvo fino que conserva sus características de material orgánico.

El porcentaje de materia orgánica y nutrientes en NPK para vinaza concentrada pueden observarse en la Tabla II-1, presentando, además, en forma comparativa los valores para vinaza seca.

TABLA II-1 Porcentaje de materia orgánica y nutrientes NKP para la vinaza concentrada a 60 °Bx y vinaza seca.

Vinaza	Materia orgánica (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Otros (%)
Concentrada 60°Bx	49,2	0,90	0,13	3,03	3,67
Seca	82,0	1,53	0,19	6,13	6,11

Fuente: Sarria, P y R. P., Thomas, (1992). Livestock Research for Rural Development, Vol 4, 1. Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con los resultados reportados en la bibliografía consultada, la vinaza presenta un contenido de materia orgánica y de macronutrientes esenciales (N, P y K) que resulta insuficiente para cumplir, por sí sola, con los requerimientos necesarios de un fertilizante orgánico de calidad. Dado que un biofertilizante de calidad debe cumplir con un contenido mínimo de macronutrientes esenciales (N+P+K) equivalente al 5 %, carbono organico mayor al 27,50 % y otros minerales (Ca, Mg,Si, Fe, Cu, Zn, etc.), así como tambien mantener una relación C/N óptima en el rango de 25–35, según los criterios establecidos por Kilmelgran (*Fertilizante de suelos granos solubles*). La vinaza en su estado natural no alcanza por sí sola estos parámetros ni contienen la cantidad de minerales necesarios. En consecuencia, resultó necesario adicionar aditivos como la cascarilla de arroz y su ceniza para el enriquecimiento complementarios de estos minerales para un buen biofertilizante, con el fin de potenciar su valor agronómico y garantizar un producto final con propiedades fertilizantes adecuadas.

2.2 Proceso de homogenización con el aditivo

Posteriormente, a la vinaza concentrada se le adicionaron aditivos orgánicos, específicamente cascarilla de arroz y su ceniza. La cascarilla de arroz actuó como material estructurante, mejorando la porosidad y la retención de humedad del biofertilizante, además de aportar materia orgánica rica en carbono y pequeñas fracciones de nitrógeno y otros minerales especificados en el marco teorico TABLA I-

8, lo que favorece el equilibrio de la relación C/N. La ceniza, por su parte, aportó minerales esenciales (principalmente potasio, calcio y sílice) especificados en la TABLA I-9 y contribuyó a elevar ligeramente el pH, favoreciendo la estabilidad del biofertilizante. Según López Mejía Ulises y Aguilar José Miguel (2016) en la patente, “Producción de Fertilizante Orgánico a partir de la vinaza”, trabaja con un porcentaje de 45 a 55 % de aditivos, para notar diferencia significativa en mi trabajo desarrollado, se adicionó un porcentaje de 40 y 45 % de cascarilla de arroz y su ceniza con una relación 70/30 según López Mejía Ulises y Aguilar José Miguel (2016) y Reyna Díaz, Andy Maicol (Lima, 17 setiembre de 2020).

Con estas combinaciones de estos aditivos y vinaza concentrada de sólidos totales a 50 y 60 °Bx, permitió obtener un producto de mayor valor nutritivo, con mejor textura y facilidad de aplicación, además de potenciar sus beneficios agronómicos.

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Descripción y análisis de la materia prima

La vinaza de uva es el subproducto líquido que queda tras la destilación del mostos de uva en la producción de alcohol y bebidas. Se considera una materia prima porque contiene compuestos orgánicos y minerales que pueden ser aprovechados en diversas aplicaciones industriales y agrícolas.

En este caso para la producción de biofertilizante orgánico, la misma fue recolectada de la Bodega Daroca de la ciudad de Tarija en la época de la vendimia.

Figura III-1. Vinaza de uva



Fuente: Elaboración propia, 2024

La vinaza recolectada, se tomó un muestreo para luego hacer un análisis físico - químico y determinar si el contenido de sólidos totales tienen las características para realizar el biofertilizante, el análisis se realizó en CEANID (Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo) dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Los compuestos fisico – químicos analisados de la vinza de uva en el CEANID fueron:

- Determinación de Humedad
- Determinación de Conductividad eléctrica (23.7°C)
- Determinación de Cobre
- Determinación de Fósforo total
- Determinación de Nitrógeno
- Determinación de potasio total

3.1.1 Resultados de los compuestos fisico – químico de la materia prima

TABLA III- 1 Análisis físico - químico de la vinaza producida en la bodega Daroca.

Nº	Paramétros	Unidad	Resultado
1	Humedad	%	90,6
2	Conductividad eléctrica (23.7°C)	us/cm	46,7
3	Cobre	mg/l	34,1
4	Fósforo total	mg/l	137
5	Nitrógeno	mg/l	14,72
6	Potasio	Mg/l	29,60

Fuente: Laboratorio de CEANID, elaboración propia, 2025.

Los valores iniciales de la vinaza (humedad 90,6 %; CE 46,7 µS/cm; N = 14,72 mg/L; P = 137 mg/L; K = 29,60 mg/L; Cu = 34,1 mg/L) muestran un exceso de agua, baja fracción de sólidos, condiciones que por sí solas no garantizan estabilidad ni eficiencia agronómica. La adición de cascarilla de arroz y su ceniza se justifica porque corrige, de manera complementaria, las limitaciones fisicoquímicas de la vinaza. Con esta adicción fue posible la producción del biofertilizante orgánico que cumplió con los

aporte y balance de nutrientes clave como el C, N+P+K, aunque la ceniza prácticamente no aporta N, pero sí contribuye con K, Ca, Mg, P y Si, mejorando el valor nutritivo del producto final y la resistencia de las plantas.

3.1.2 Aportes de los compuestos analizados al biofertilizante orgánico

3.1.2.1 Determinación de humedad

Permite conocer el contenido de agua en el fertilizante, influye en la estabilidad del producto durante el almacenamiento y transporte, ya que una humedad excesiva puede favorecer el crecimiento de microorganismos indeseados, ayuda a calcular el contenido real de nutrientes en base seca.

Un fertilizante con demasiada humedad puede ser menos eficiente, ya que el agua diluye los nutrientes. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.)

3.1.2.2 Determinación de conductividad eléctrica (CE)

Mide la concentración de sales solubles en el fertilizante, que se traduce en su capacidad para suministrar nutrientes esenciales, ayuda a identificar posibles riesgos de salinidad que podrían afectar las raíces de las plantas.

Una CE alta puede ser perjudicial para las plantas, causando toxicidad por salinidad y una CE moderada asegura que el fertilizante libere nutrientes de manera gradual y eficiente. (Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic, and Inorganic Methods.)

3.1.2.3 Determinación de cobre (Cu)

Evalúa la concentración de cobre, un micronutriente esencial para las plantas, involucrado en procesos enzimáticos y de fotosíntesis. Permite identificar si el fertilizante contiene niveles tóxicos de este elemento, lo que podría afectar negativamente al suelo o a los cultivos, y ayuda a mantener un equilibrio adecuado de micronutrientes en el suelo. (Principles of Instrumental Analysis.)

3.1.2.4 Determinación de fósforo total

Determina la cantidad total de fósforo, un macronutriente esencial para el desarrollo de raíces, la floración y la fructificación, en este caso se analizó una buena cantidad de fósforo presente en la vinaza, 137 mg/L.

Un contenido adecuado de fósforo asegura un crecimiento saludable de las plantas y es crucial para optimizar las aplicaciones del fertilizante y evitar deficiencias que puedan limitar el rendimiento del cultivo. (Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods.)

3.1.2.5 Determinación de nitrógeno

El nitrógeno es fundamental para el crecimiento vegetal y la formación de proteínas, clorofila y ADN. Evalúa la cantidad total de nitrógeno disponible en el fertilizante, esencial para un desarrollo vigoroso de las plantas. Asegura que el fertilizante contiene suficiente nitrógeno para satisfacer las necesidades del cultivo y ayuda a prevenir deficiencias o excesos que puedan causar un crecimiento desbalanceado o contaminación ambiental por lixiviación de nitratos. (Analysis of Soils and Fertilizers.)

3.1.2.6 Determinación de potasio

Ayuda a regular el uso del agua, activas enzimas, fortalece las paredes celulares, mejora la fotosíntesis y la absorción de nutrientes, y aumenta la resistencia a enfermedades y estrés. Marschner, H. (2012).

3.2 Selección del método a utilizar para la concentración los sólidos de la vinaza

Para la selección del método de concentración mediante rotavapor y ósmosis inversa, es importante evaluar ambos métodos de acuerdo con criterios clave. A continuación, se comparan los dos métodos en función de factores importantes con ventajas y desventajas.

TABLA III- 2 Análisis de ambos métodos con factores, ventajas y desventajas.

Nº	Factor evaluado	Ventajas y desventajas	
		Ósmosis Inversa	Rotavapor
1	Principio de Funcionamiento	Utiliza una membrana semipermeable y alta presión (55 y 70 bares) para separar el agua de los solutos, concentrando la solución en un lado de la membrana.	Utiliza evaporación al vacío para reducir el punto de ebullición de los líquidos y así concentrar el producto. Es útil para concentrar soluciones con compuestos termosensibles y mantener su composición, ya que el proceso se realiza a baja presión y temperatura.
2	Eficiencia y Capacidad de Concentración	Es efectiva para concentrar grandes volúmenes de líquidos con alto contenido de sales o sólidos disueltos. Puede ser menos eficiente para muestras pequeñas o muy diluidas.	Concentra eficientemente muestras pequeñas a medianas, pero su capacidad es limitada, y es más adecuado para laboratorios o procesos a pequeña escala.
3	Disponibilidad del equipo	Difícil de conseguir y costos muy elevados de instalación, y el LOU (Laboratorio de Operaciones Unitarias) de Ingeniería Química no lo posee.	Facil de manipular y muy eficiente al momento de concentrar, y se encuentra disponible en el LOU de Ingeniería Química.

4	Consumo Energético	Consumo más energía debido a que trabaja con presiones muy elevadas.	Requiere menos energía porque trabaja a baja presión.
5	Costo de Operación y Mantenimiento	Involucra costos continuos más altos, especialmente en reemplazo de membranas y consumo energético.	Los costos de operación y mantenimiento son relativamente bajos, ya que no requiere componentes de alta presión.
6	Calidad del Producto Final	Produce agua muy pura en el lado permeado, pero no es ideal para retener ciertos compuestos orgánicos volátiles.	Permite mantener la calidad de compuestos volátiles, ya que trabaja a temperaturas bajas en un ambiente de vacío.

Fuente: Elaboración propia, 2024

Para seleccionar el método adecuado, se realizará una calificación de acuerdo a una escala predeterminada de uno al diez, siendo el método adecuado aquel que obtenga el mayor puntaje al ser calificado.

TABLA III- 3 Escala de calificación por puntuación del 1 al 10

Nº	Escala de Puntuación	Puntuación
1	Excelente	10
2	Muy Buena	8
3	Buena	6
4	Regular	3
5	Mala	1

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para poder realizar la evaluación de los factores mencionados, realizaremos una tabla que permita evaluar mediante una calificación dada.

TABLA III- 4 Calificación de los métodos seleccionados

Nº	Factor a evaluar	Calificación	
		Ósmosis Inversa	Rotavapor
1	Principio de Funcionamiento	5	9
2	Eficiencia y Capacidad de Concentración	7	8
3	Disponibilidad del equipo	2	10
4	Consumo Energético	4	6
5	Costo de Operación y Mantenimiento	3	8
6	Calidad del Producto Final	4	9

Fuente: Elaboración propia, 2025.

TABLA III- 5 Matriz de decisión para la selección del método de concentración de la vinaza.

Nº	Factores	Selección del método para la concentración de la vinaza					
		Valoración porcentual %	Ósmosis Inversa		Rotavapor		
			Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	
1	Principio de Funcionamiento	20	5	10	9	18	
2	Eficiencia y Capacidad de Concentración	15	7	10.5	8	12	
3	Disponibilidad del equipo	25	2	5	10	25	
4	Consumo Energético	10	4	4	6	6	
5	Costo de Operación y Mantenimiento	15	3	3	8	12	
6	Calidad del Producto Final	15	4	6	9	13.5	
7	Total	100		38.5			86.5

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Realizando un análisis de ambos métodos, se pudo verificar sus resultados de la matriz de decisión, el método más conveniente para la concentración de sólidos en la vinaza de uva, fue la concentración mediante el rotavapor, debido que trabaja con bajas temperatura, presión, fácil de manipulación, no elimina los componentes volátiles porque trabaja a presión y temperatura bajas, y más que todo, porque contamos con el

equipo en el LOU (Laboratorio de Operaciones Unitarias) de la carrera de Ingeniería Química.

3.3 Diseño factorial

Un diseño factorial es una herramienta estadística que se utiliza para el estudio simultáneo de dos o más factores (variables independientes) para analizar sus efectos sobre una o más variables dependientes. Los diseños factoriales permiten investigar no solo los efectos principales de cada factor por separado, sino también las interacciones entre ellos.

El **diseño factorial** 2^k es uno de los diseños experimentales más básicos y ampliamente utilizados en el análisis de experimentos. Es un diseño que permite evaluar el efecto de k factores, cada uno con **dos niveles** (generalmente denominados como "alto" y "bajo", o +1 y -1) en un experimento. **Número de factores (k):** Es la cantidad de factores que se desea estudiar. **Niveles por factor:** Cada factor tiene exactamente dos niveles: uno bajo (-) y uno alto (+). **Combinaciones de tratamientos:** Se prueban todas las combinaciones posibles de los niveles de los k factores. Esto genera un total de 2^k tratamientos. La ecuación del diseño 2^k , es la siguiente:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon \quad \text{Ecuación 2-1}$$

El diseño experimental seleccionado para la presente investigación, es de tipo 2^2 , es decir, que hay dos factores o variables, cada uno con dos niveles, más su repetición serían 8 experimentos para obtener resultados significativos.

$$\text{N.º experimentos} = (2^2) \times 3 = 12$$

3.3.1 Factores

En este caso los factores son los siguientes:

3.3.1.1 Concentración de sólidos totales en °Bx

La vinaza se concentró en el rotavapor, definiendo como vinaza concentrada cuando posee más de 50 % de sólidos totales, es decir existen un aumento significativo de sólidos totales implicando una reducción en su contenido de agua, e incrementando la

densidad de la vinaza. López Mejía Ulises y Aguilar José Miguel (2016), en su patente trabaja con una concentración de sólidos totales de 55 a 75 °Bx.

Según DIECA N°21,1985 y El Agricultor Costarricense, 1985, cuando la vinaza posee entre 55 y 60 °Bx, es apta para la realización de fertilizante orgánico porque asegura una buena concentración de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.

Normey-Rico, J. E., Americano da Costa, M. (2011). Tratamiento de vinazas. En Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Ed.), *Tratamiento de vinazas* (pp. 313–326). CYTED, recomienda una concentración del 60 °Bx para realizar un buen fertilizante orgánico.

Por consiguiente, con el fin de evaluar la influencia del nivel de concentración en la obtención del biofertilizante orgánico, se estableció un rango de 50 a 60 °Brix para la concentración de sólidos totales de la vinaza, considerando que este intervalo permitió alcanzar propiedades físico-químicas adecuadas para su formulación y manejo, de acuerdo con lo señalado por DIECA (1985) y *El Agricultor Costarricense* (1985).

3.3.1.2 Porcentaje de aditivos

La concentración de sólidos totales de la vinaza, ajustada a 50 y 60 °Bx, según el análisis realizado por el Prof. Julio Elías Normey Rico y el Ing. Marcus V. de la Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil, 2018), presenta un contenido de minerales y materia orgánica insuficiente para el óptimo desarrollo de un biofertilizante. Por ello, se incorporan cascarilla de arroz y su ceniza, con el fin de complementar la materia orgánica, el carbono y los minerales deficientes, asegurando así un producto final equilibrado y de alta calidad nutritiva.

Según López Mejía Ulises y Aguilar José Miguel (2016) en la patente, “Producción de Fertilizante Orgánico a partir de la vinaza”, trabaja con un porcentaje de 45 a 55 % de aditivos para obtener la relación C/N dentro de los límites de aceptación.

Para realizar mi trabajo de grado y notar diferencia significativa, se trabajó con un porcentaje de 40 y 45 % para obtener la variable de respuesta dentro de los límites recomendado.

Según López Mejía Ulises y Aguilar José Miguel (2016) y Reyna Díaz, Andy Maicol (Lima, 17 setiembre de 2020), tomaron una relación de 70/30 % para obtener un biofertilizante dentro de los límites de aceptación.

Las cenizas de cascarilla de arroz aportan silicio que fortalece las paredes celulares de las plantas, mejorando su resistencia a plagas y enfermedades, también mejora la fertilidad del suelo. La ceniza de cascarilla de arroz es rica en potasio y silicio, además de otros minerales como calcio y magnesio. Ayuda a regular el pH del suelo y aporta nutrientes esenciales al biofertilizante. (Rodríguez, C., y Pérez, D. 2018)

3.3.2 Niveles

Como cada factor tiene su nivel, entonces presentamos dos niveles los cuales se describen en la siguiente tabla:

TABLA III- 6 Niveles de los factores

Niveles	°Bx	% de aditivos
1	50	40
2	60	45

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.3.3 Variables

TABLA III- 7 Variables

Nº	Variables independientes	Unidad de medida	Variable dependiente	Niveles Bajo (-)	Niveles Alto (+)
1	Concentración de sólidos totales en °Bx	°Bx	Relación C/N	50	60
2	% de aditivos	Porcentaje (%)		40	45

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.3.4 Variable respuesta

Para obtener el Biofertilizante Orgánico, la variable respuesta es la relación Carbono/Nitrógeno.

3.3.5 Número de combinaciones

Para un diseño de $k=2^k$ (dos factores, A y B), el diseño tendría $2^2=4$ combinaciones de tratamientos:

- $(-, -)$: Nivel bajo en A y B.
- $(-, +)$: Nivel bajo en A y alto en B.
- $(+, -)$: Nivel alto en A y bajo en B.
- $(+, +)$: Nivel alto en A y B.

Se utiliza para estimar los efectos principales de A y B, así como su interacción $A \times B$.

Número de experimentos: $2^2 * 3 = 12$ interacciones a realizar.

TABLA III- 8 Matriz de experimento

N.º de Experimento	Nombre del experimento	Variable 1	Variable 2	R C/N
1	1-M ₁ -A	-	-	R ₁
2	1-M ₂ -B	-	-	R ₂
3	2-M ₃ -A	-	+	R ₃
4	2-M ₄ -B	-	+	R ₄
5	3-M ₁ -A	+	-	R ₅
6	3-M ₂ -B	+	-	R ₆
7	4-M ₃ -A	+	+	R ₇
8	4-M ₄ -B	+	+	R ₈
9	5-M ₁ -A	-	-	R ₉
10	5-M ₂ -B	-	-	R ₁₀
11	6-M ₃ -A	-	+	R ₁₁
12	6-M ₄ -B	-	+	R ₁₂

Fuente: Elaboración propia, 2025.

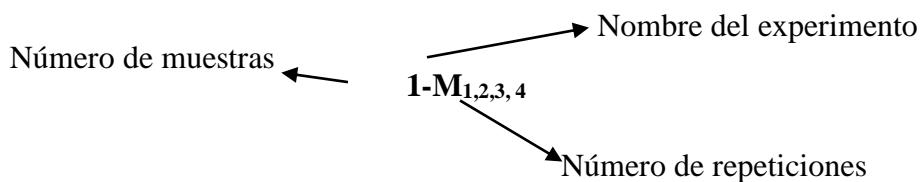
Tabla III-9. Codificación de los experimentos del Biofertilizante Orgánico

Números de experimentos	Experimentos	Plan de Experimentación	
		Concentración de sólidos a 50 y 60 °Bx	% de aditivos
1	1-M ₁ A	60	40
2	1-M ₂ B	60	45
3	2-M ₃ A	55	40
4	2-M ₄ B	55	45
5	3-M ₁ A	60	40
6	3-M ₂ B	60	45
7	4-M ₃ A	55	40
8	4-M ₄ B	55	45
9	5-M ₁ A	60	40
10	5-M ₂ B	60	45
11	6-M ₃ A	55	40
12	6-M ₄ B	55	45

Réplica 1 Réplica 2 Réplica 3

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Descripción de la formulación de la muestra.

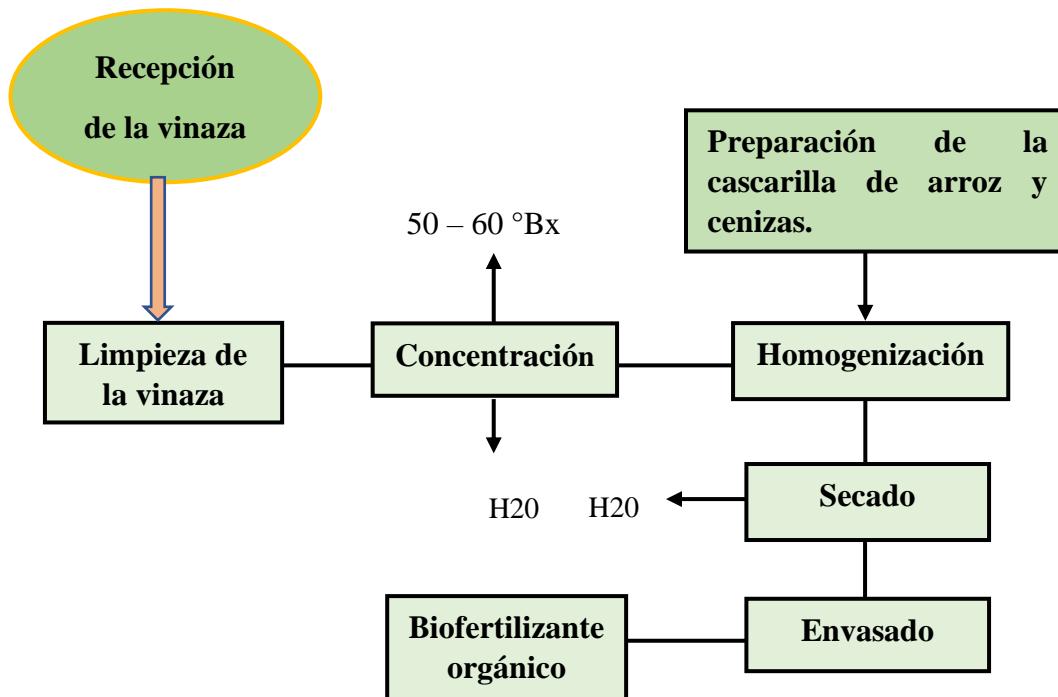


3.4 Proceso empleado para la obtención de Biofertilizante Orgánico a partir de la vinaza de uva

En la búsqueda de alternativas sostenibles para la agricultura, los fertilizantes orgánicos han cobrado gran relevancia como una solución eficiente y ecológica para mejorar la calidad del suelo y promover el crecimiento de los cultivos. La vinaza de uva es un subproducto de gran cantidad de las destilerías del mosto fermentado proveniente de la uva. Esta investigación busca la alternativa para el aprovechamiento de la misma.

Para la concentración de sólidos totales de la vinaza, se escogió el método adecuado según la matriz de desiciones presente en la TABLA III-5, siendo el método más adecuado concentración mediante Rotavapor, al cual posteriormente se le adiciona una mezcla de cascarilla de arroz y su ceniza, porque la vinaza por sí sola no cumple con todos los nutrientes necesarios para un biofertilizante, por esta razón se le adicionó aditivos para mejorar la estructura física y química del biofertilizante orgánico.

Figura 3-2. Diagrama de bloques del proceso de obtención del Biofertilizante



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5 Descripción del proceso

El proceso de obtención de Biofertilizante Orgánico, se describe a continuación:

3.5.1 Recepción de la vinaza de uva

La vinaza, un subproducto líquido de la destilación del mosto fermentado, es una fuente rica en nutrientes que se convirtió en un excelente biofertilizante orgánico. Sin embargo, es esencial recolectarla y manejarla de manera adecuada para aprovechar al máximo sus beneficios y minimizar cualquier impacto negativo.

La vinaza se adquirió de la Bodega Daroca, de la ciudad de Tarija, se utilizó contenedores de plástico, pero sería mucho mejor en recipientes de vidrio para evitar cualquier reacción con el material.

3.5.2 Vinaza diluida

La vinaza recepcionada, se realizó el control de materia en suspensión y se realizó el análisis físico - químico respectivo: Humedad, pH, conductividad eléctrica, potasio, nitrógeno, cobre y fósforo total, el análisis de la vinaza de uva es fundamental para evaluar su potencial como fertilizante orgánico.

Se almacenó la vinaza en un lugar fresco y sombreado, evitando la exposición directa a la luz solar, y así conservar su composición.

3.5.3 Concentración de vinaza en el Rotavapor

Inicialmente la vinaza estuvo a 4,9 ° Bx, luego se utilizó un rotavapor para evaporar el agua y concentrar los sólidos totales de la vinaza de uva. La vinaza adquirida de la Bodega Daroca de la ciudad de Tarija, se concentró los sólidos a 50 y 60 °Bx, que es la concentración recomendada para la realización de Biofertilizante Orgánico según las bibliografías antes mencionadas.

Tras el análisis de diferentes temperaturas en las pruebas preliminares, se determinó que la temperatura óptima para la concentración de la vinaza de uva es de 70 °C en el baño de calentamiento. Este valor permite una evaporación rápida y eficiente, evitando el uso de temperaturas excesivas que podrían degradar nutrientes orgánicos sensibles,

como el nitrógeno, así como compuestos bioactivos esenciales para la calidad del biofertilizante.

3.5.3.1 Concentración de la vinaza a 50°Bx en el Rotavapor

Para concentrar los sólidos totales de la vinaza a 50 °Bx, se trabajó bajo las siguientes condiciones de temperatura y presión de vacío en el equipo rotavapor:

Tabla II-10 Parámetros y variables para la concentración de la vinaza de uva

Nº	Variables	Nombres	Parametros
1	T	Temperatura	70 °C
2	°Bx _i	Grados Brix inicial	4,9°Bx
3	°Bx _f	Grados Brix final	50°Bx
4	P	Presión de vacío	60,9548 Kpas
5	t	Tiempo	140 min

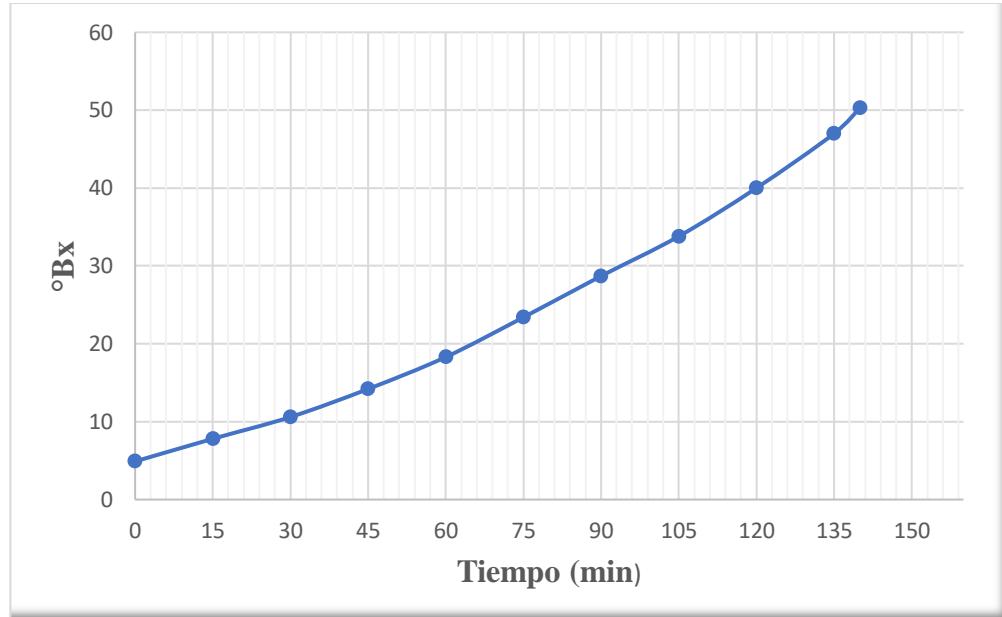
Fuente: Elaboración propia, 2025.

TABLA III- 11: Datos de elaboración de la curva de concentración a 50 °Bx

Nº	Tiempo(min)	°Bx
1	0	4.9
2	15	7.8
3	30	10.6
4	45	14.2
5	60	18.3
6	75	23.4
7	90	28.7
8	105	33.8
9	120	40
10	135	47
11	140	50.3

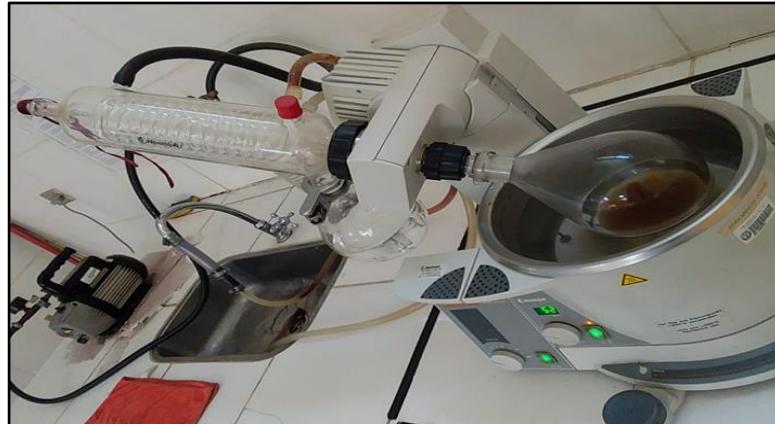
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura III- 3 Curva de concentración de la vinaza de uva a 50°Bx



Fuente: Elaboración Propia, 2025.

Figura III- 4 Rotavapor al vacío



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.3.2 Concentración de la vinaza a 60°Bx en el Rotavapor

Para concentrar los sólidos totales de la vinaza a 60 °Bx, también se trabajó bajo las siguientes condiciones de temperatura y presión de vacío:

Tabla III-12 Parámetros y variables para la concentración de la vinaza de uva

Nº	Variables	Nombres	Parametros
1	T	Temperatura	70 °C
2	°Bx _i	Grados Brix inicial	4.9 °Bx
3	°Bx _f	Grados Brix final	60°Bx
4	P	Presión de vacío	60.9548 Kpas
5	t	Tiempo	150 min

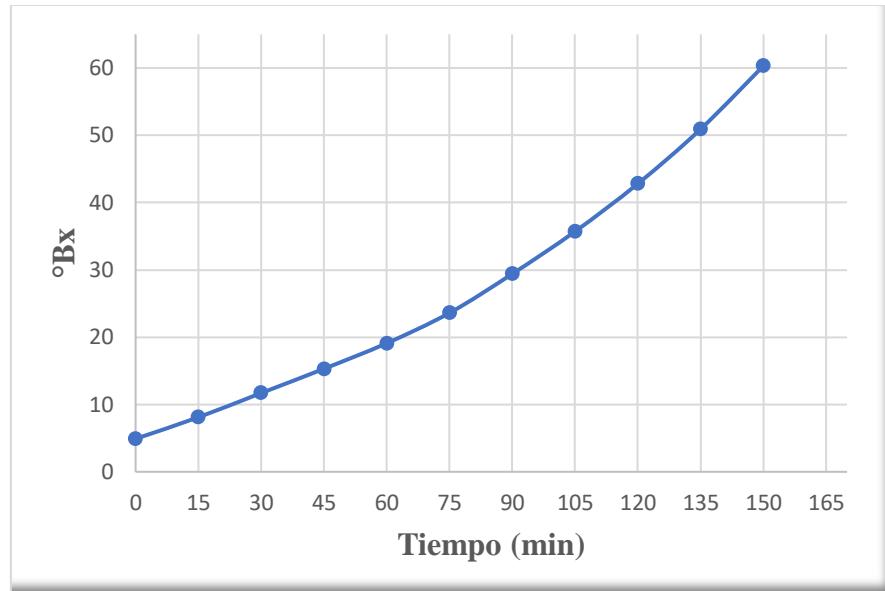
Fuente: Elaboración Propia, 2025.

TABLA III- 13: Datos de elaboración de la curva de concentración a 60 °Bx

Nº	°Bx	Tiempo(min)
1	4.9	0
2	8.1	15
3	11.7	30
4	15.3	45
5	19.1	60
6	23.6	75
7	29.4	90
8	35.7	105
9	42.8	120
10	50.9	135
11	60.3	150

Fuente: Elaboración Propia, 2025

Figura III- 5. Curva de concentración de la vinaza de uva a 60°Bx



Fuente: Elaboración Propia, 2025.

Figura III- 6. Concentración en el Rotavapor



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.4 Preparación de la cascarilla de arroz y cenizas.

Se incorporaron aditivos en una mezcla de cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla, en proporciones totales de 40 % y 45 %, respectivamente, manteniendo una relación de 70/30 entre cascarilla y ceniza. Estos aportan nutrientes y mejoran la estructura del producto final, la cascarilla de arroz mejora la estructura del biofertilizante enriqueciendo la materia orgánica de minerales y carbono y la ceniza de cascarilla aporta nutrientes, minerales esenciales como ser fósforo, potasio y sílice, y al mismo tiempo ayuda a corregir la acidez de los suelos y confieren a los vegetales mayor resistencia contra el ataque de plagas insectiles y enfermedades y regula el pH.

3.5.4.1 Molienda de la cascarilla de arroz en molino de Martillo

La molienda de cascarilla de arroz, se realizó en un molino de martillo con una potencia de un kw y un tamiz de 0.5 milímetro.

La cascarilla de arroz mejora tanto las propiedades físicas como químicas del suelo. Sus beneficios son resultado de su composición rica en carbono y sílice, y su estructura ligera. Rica en carbono, lo que ayuda a equilibrar la relación C/N en la mezcla del Biofertilizante Orgánico. Franco Galán, M. M., & Hernández Velásquez, M. C. (2004).

Figura III- 7. Molino de Martillo



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.4.2 Obtención de ceniza de la cascarilla de arroz

La obtención de ceniza de cascarilla de arroz, lo realicé en una mufla a 500 °C, es necesario trabajar con temperaturas moderadas para evitar la pérdida de los compuestos volátiles.

Figura II- 8. Mufla



Fuente: Elaboracion propia, 2025.

Es fundamental minimizar la exposición de las muestras calientes al aire ambiente previo a su pesado, ya que la absorción de humedad atmosférica podría comprometer la exactitud de los resultados. Para el procedimiento, se estableció un tiempo de calcinación de 9 horas a 500 °C. Posteriormente, los crisoles con la muestra de cenizas fueron transferidas a un desecador, a fin de garantizar su enfriamiento en condiciones controladas y libres de humedad. Finalmente, las muestras se almacenaron en bolsas hermético, asegurando así la conservación de sus características fisicoquímicas y evitando variaciones debidas a la reabsorción de humedad ambiental.

Figura III-9. Desecador



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.5 Homogenización

Se llevó a cabo un proceso de homogeneización de la vinaza concentrada junto con los aditivos de cascarilla de arroz molida y su ceniza, con el propósito de garantizar una mezcla completamente uniforme. Este procedimiento tuvo como finalidad dotar al biofertilizante orgánico de las propiedades físicas adecuadas, tales como una textura más estable, una mejor retención de humedad, una adecuada porosidad. Asimismo, la homogenización favoreció la distribución equilibrada de nutrientes y materia orgánica, lo que contribuye a optimizar su calidad agronómica y eficiencia en la aplicación al suelo.

Figura III- 10 Vinaza concentrada, ceniza y cascarilla de arroz molida



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La homogenización con los aditivos, garantiza que los nutrientes estén distribuidos uniformemente y que el biofertilizante orgánico resultante sea eficaz. Los aditivos tienen una relación del 70 % de cascarilla de arroz molida y un 30 % de ceniza de cascarilla de arroz del 40 y 45 % de aditivos.

TABLA III- 14 Formulación para la elaboración del biofertilizante orgánico

Nº	Componentes de la mezcla	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
1	Vinaza C. al 50°Bx	55	60		
2	Aditivos	45	40	45	40
3	Vinaza C. al 60°Bx			55	60
4	Total %	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.6 Secado del biofertilizante orgánico

El secado del biofertilizante orgánico se llevó a cabo en una estufa Conterm. De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167, aplicable a productos orgánicos utilizados como fertilizantes, el contenido de humedad no debe superar el 35 %. Este límite garantizó la estabilidad del producto, evitando procesos indeseables de descomposición y la proliferación de microorganismos no deseados. Asimismo, un nivel de humedad controlado facilita su almacenamiento, conservación y aplicación.

Figura III- 11 Secado del Biofertilizante Orgánico



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Aunque no se establece un límite fijo de secado, los valores generalmente aceptados para abonos orgánicos oscilan entre el 10 al 30%, dependiendo de su composición y procesamiento.

Figura III- 12 Secado del Biofertilizante Orgánico



Fuente: Elaboración propia, 2025

Para la obtención del Biofertilizante Orgánico, según las pruebas preliminares, establecí una temperatura de secado a 50 °C, conservando las propiedades químicas del biofertilizante.

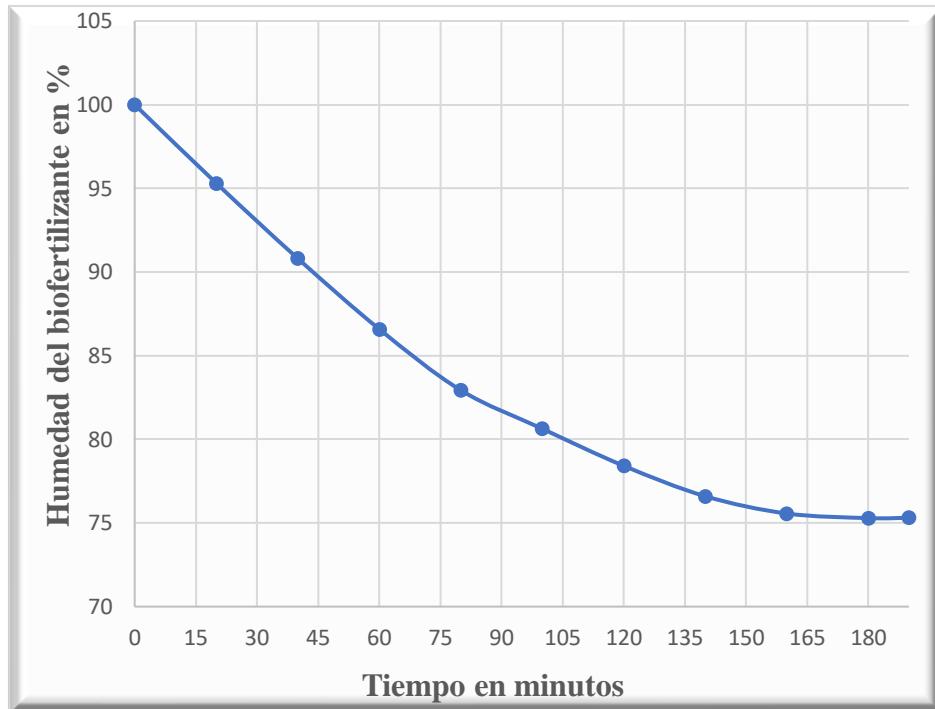
3.5.6.1 Muestra 1

TABLA III- 15 Datos de elaboración de curva del secado con 50 °Bx

Nº	Tiempo (minutos)	Masa de muestra en gramos	Humedad del biofertilizante en (%)
1	0	47,39	100
2	20	45,13	95,31
3	40	43	90,81
4	60	41	86,59
5	80	39,27	82,94
6	100	38,18	80,63
7	120	37,13	78,42
8	140	36,27	76,60
9	160	35,78	75,56
10	180	35,65	75,29
11	190	35,66	75,31

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura III- 13. Curva de secado a 50 °Bx



Fuente: Elaboración propia, 2025

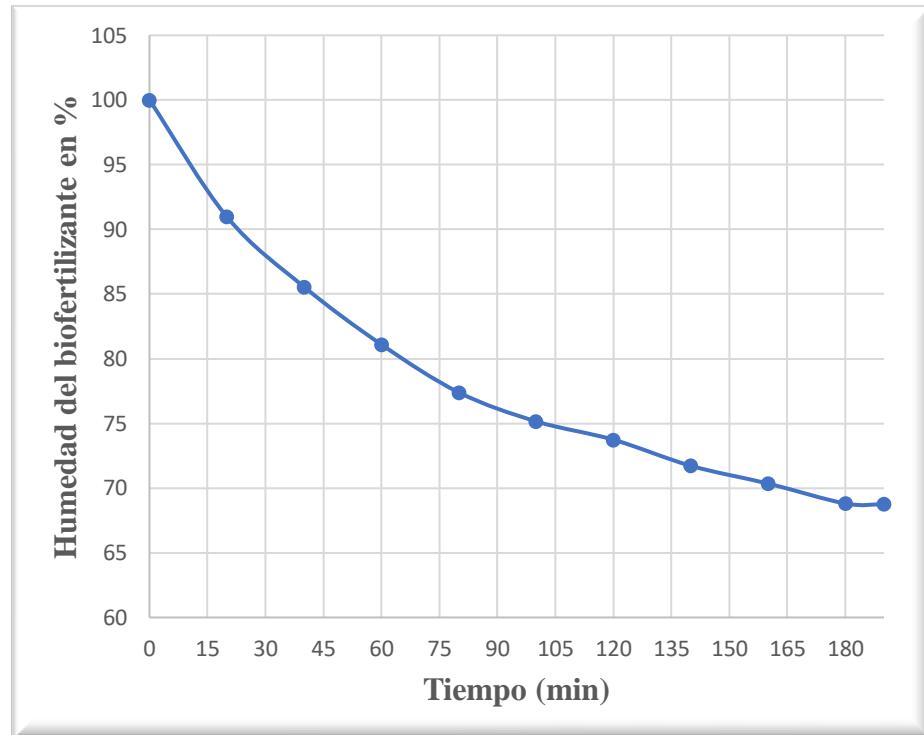
3.5.6.2 Muestra 2

TABLA III- 16 Datos de elaboración de curva del secado con 60 °Bx

Nº	Tiempo (min)	Masa de muestra en gramos	Humedad del biofertilizante en %
1	0	48,67	100
2	20	44,28	90,98
3	40	41,64	85,56
4	60	39,47	81,10
5	80	37,67	77,40
6	100	36,58	75,16
7	120	35,89	73,74
8	140	34,91	71,73
9	160	34,24	70,35
10	180	33,49	68,81
11	190	33,46	68,75

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura III- 14. Curva de secado a 60 °Bx



Fuente: Elaboración propia, 2025.

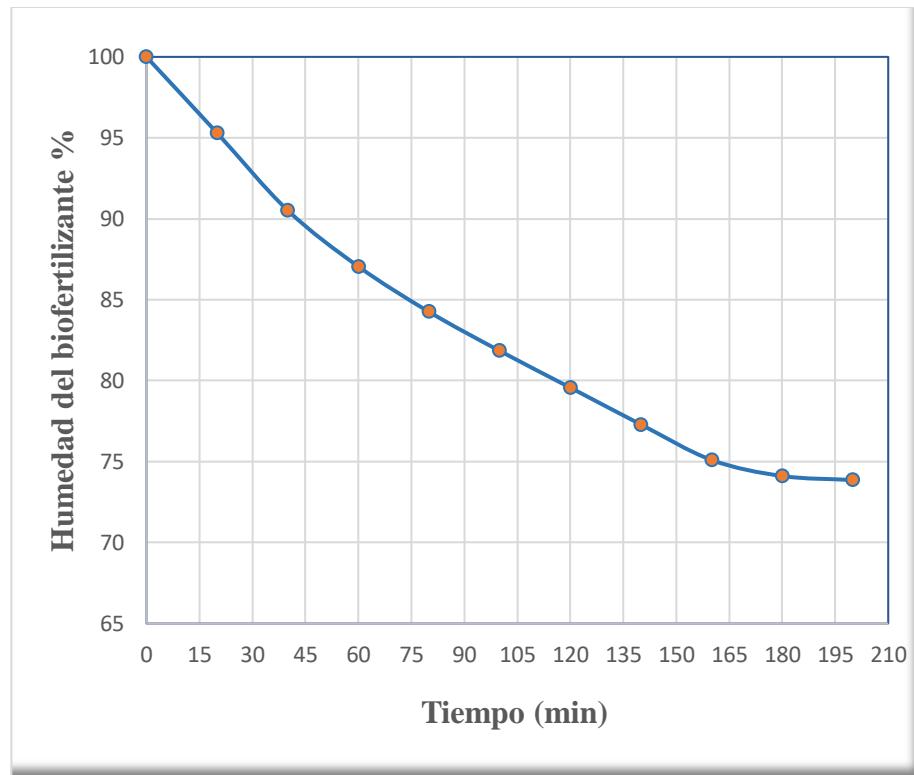
3.5.6.3 Muestra 3

TABLA III- 17 Datos de elaboración de curva del secado con 50 °Bx

Nº	Tiempo (min)	Masa de muestra en gramos	Humedad del biofertilizante en %
1	0	48,12	100
2	20	45,86	95,30
3	40	43,56	90,52
4	60	41,89	87,05
5	80	40,54	84,25
6	100	39,38	81,84
7	120	38,29	79,57
8	140	37,19	77,29
9	160	36,14	75,10
10	180	35,66	74,11
11	200	35,54	73,86

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura III- 15. Curva de secado a 50 °Bx



Fuente: Elaboración propia, 2025.

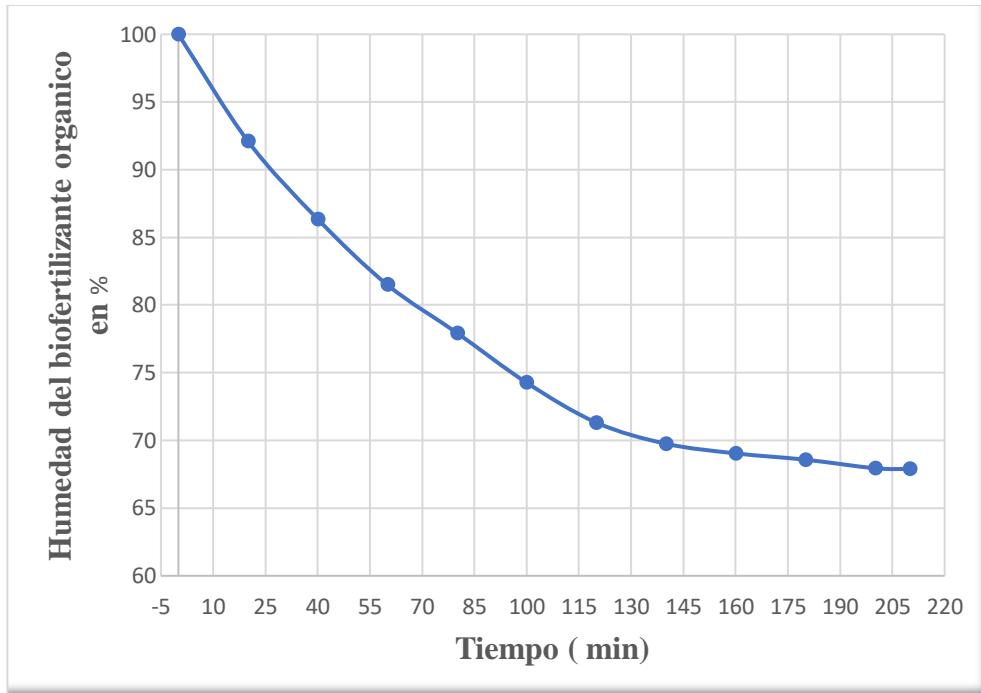
3.5.6.4 Muestra 4

TABLA III- 18 Datos de elaboración de curva del secado con 60 °Bx

Nº	Tiempo (min)	Masa de muestra en gramos	Humedad del biofertilizante en %
1	0	49,71	100
2	20	45,34	92,10
3	40	42,51	86,35
4	60	40,12	81,50
5	80	38,37	77,94
6	100	36,56	74,26
7	120	35,11	71,32
8	140	34,34	69,75
9	160	33,99	69,04
10	180	33,76	68,58
11	200	33,45	67,95
12	210	33,42	67,89

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura III- 16. Curva de secado a 60 °Bx



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.7 Envasado

Una vez realizado el proceso de secado del biofertilizante orgánico, se prosiguió a envasar en bolsas herméticas. Para eso, primero se deja enfriar el biofertilizante en el secador para evitar la absorción de humedad hasta una temperatura ambiente, para recién poder envasarlos en la bolsa hermética asegurando que el biofertilizante tenga la humedad y textura adecuadas.

Este proceso asegura que el biofertilizante conserve su humedad, calidad y nutrientes hasta el momento de su aplicación.

Figura III-17. Envasado del biofertilizante orgánico



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.8 Biofertilizante orgánico

Tras la ejecución de los procesos experimentales, se obtuvo un biofertilizante orgánico formulado a partir de distintas combinaciones de vinaza concentrada a 50 y 60 °Bx, junto con la cascarilla de arroz molida y su ceniza. Como resultado del análisis, se identificó una formulación óptima que cumplió con los parámetros establecidos en relación con la variable de respuesta. Las combinaciones fueron de 60 °Bx y 45 % de aditivos que actúan como mejoradores físicos y fuentes adicionales de nutrientes. La formulación desarrollada fue diseñada para garantizar un biofertilizante de alta calidad agronómica, el cual alcanzó los parámetros recomendados. Los resultados evidenciaron una relación C/N de 31,36, dentro del rango óptimo establecido; un contenido total de NPK del 5,4 %, como componentes primarios en un fertilizante; carbono orgánico de 44,85 %, indicador de una alta capacidad de aporte energético y estructural al suelo; pH neutro de 7,42, apropiado para la mayoría de los cultivos; y una materia orgánica de 77,33 %, que contribuye significativamente a la mejora de la fertilidad y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Estos valores cumplen con los criterios establecidos en el *Manual de Fertilizante Orgánico* y con las recomendaciones de Kilmelgran (*Fertilizante de suelos granos solubles*), confirmando la viabilidad de la formulación como un biofertilizante eficiente.

Figura III-18. Biofertilizante Orgánico



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.8.1 Análisis físico y químico del biofertilizante orgánico

El objetivo principal del diseño experimental fue evaluar la influencia de estas combinaciones en la relación carbono/nitrógeno (C/N), parámetro clave para realizar un buen biofertilizante orgánico.

Se realizó un análisis físico-químico de las muestras para evaluar el porcentaje de vinaza y la cantidad de aditivos adecuados, analizando cual es la más eficiente que cumple con el parámetro de la relación carbono/nitrógeno.

TABLA III- 19 Análisis físico y químico del producto final

Nº Muestras	Producto final	Descripción de las muestras
1-M ₁ A		Vinaza concentrada a 55°Bx, y 45 % de aditivos. Como se puede observar un biofertilizante de color café pardo, la formulación balanceada se mantuvo dentro del rango de la variable de respuesta, pero no es la más adecuada.

Nº Muestras	Producto final	Descripción de las muestras
1-M ₂ B		Con 60°Bx y 40 % de aditivos. Se observa un biofertilizante orgánico de color café oscuro, debido a una mayor concentración de sólidos disueltos y mayor proporción de vinaza. Está dentro del rango de la variable de respuesta, pero está en el límite, por eso no se considera la mejor.

Nº Muestras	Producto final	Descripción de las muestras
2-M ₃ A		A 55°Bx y 40 % de aditivos. Producto de color café oscuro por la cantidad de vinaza aplicada. La mezcla realizada no se encuentra dentro del rango de la variable respuesta por diferentes inconvenientes que afectaron como ser: la cantidad aplicada de vinaza y de aditivos, como también al concentrar se perdió mayor cantidad de los compuestos volátiles como ser el nitrógeno o al momento de realizar la homogenización.

Nº Muestras	Producto final	Descripción de las muestras
2-M ₄ B		Con 60°Bx y 45 de aditivos. Esta muestra presentó una relación C/N de 31,36 posicionándose en el rango ideal (25–35), lo que indica una mezcla balanceada entre carbono y nitrógeno. La alta concentración de sólidos en la vinaza (60°Bx) y la proporción adecuada de aditivos contribuyeron a una formulación equilibrada y eficiente para realizar un buen biofertilizante orgánico.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

TABLA III-20 Resultados del análisis de la relación carbono/nitrógeno

N.º Muestras	Materia orgánica (%)	% C	% N	Relación C/N
1-M ₁ - A	76,68	44,48	1,19	37,38
1-M ₂ - B	77,50	44,95	2,26	19,89
2-M ₃ - A	76,88	44,59	1,23	36,25
2-M ₄ - B	77,33	44,85	1,43	31,36

Fuentes: LABORATORIO DE SUELOS. Elaboración propia, 2025.

Realizado el análisis de variables de respuesta (C/N) de los cuatro combinación del biofertilizante orgánico, la muestra número cuatro, caracterizada por una relación carbono/nitrógeno de 31,36, se destaca como la formulación más equilibrada y eficiente entre los parámetros recomendados entre 25-35. Esta relación es ideal para favorecer la actividad microbiana en el suelo, y promover el rendimiento de los cultivos.

En resumen, la muestra cuatro representó la combinación óptima de vinaza, cascarilla de arroz y ceniza, logrando un equilibrio entre materia orgánica y nutrientes minerales que puede contribuir significativamente a la mejora del suelo.

3.6 Especificación de equipos y materiales utilizados

Nº	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
1	Estufa 	Modelo: Conterm 2000201 Marca: J.P Selecta S.A. Rango de temperatura: 30-250 °C Potencia: 2000 W Voltaje: 230 V Frecuencia: 50/60 Hz

	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
2	Secador de infrarrojos 	Modelo: Eurotherm Marca: Sartorius Voltaje: 220 V Frecuencia: 50 Hz

	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
3	Molino de martillo 	Marca: Weber Bross & White Metal Potencia: 1 kW Voltaje: 240 V Frecuencia: 50/60 Hz

	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
4	Mufla 	Modelo: VEN MKH Marca: VEB elektro bad frankenhausen Rango de temperatura: 10 – 1200 °C Potencia: 3,2 kW Voltaje: 220 V Frecuencia: 50 Hz

	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
5	Bomba de vacío 	Modelo: TOP 3 Marca: Telstar Potencia: 0,4 kW Voltaje: 230 V Amper: 1,8 A Frecuencia: 50/60 Hz RPM: 2800/3300

	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
6	Rotavapor	<p>Marca: Heidolph Laborota4000</p> <p>Potencia: 1320 W</p> <p>Temperatura de baño: 0-180°C</p> <p>Velocidad: 0- 270 rpm</p> <p>Voltaje: 230/240 V</p> <p>Frecuencia: 50/60 Hz</p>

	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
7	Balanza digital	<p>Modelo: EUROPE 500</p> <p>Marca: Gibertini</p> <p>Rango de temperatura: 15-30 °C</p> <p>Peso máximo: 510 g</p> <p>Peso mínimo: 1 g</p> <p>Error de precisión: 0,01 g</p> <p>Voltaje: 220 V</p> <p>Frecuencia: 50 Hz</p>

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

	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
9	Desecador 	El desecador es un recipiente cerrado que se usa en laboratorios para mantener sustancias secas o para enfriar muestras sin que absorban humedad del ambiente. Está fabricado con un vidrio muy grueso y en él se distinguen dos cavidades, la primera cavidad más grande y superior, permite poner a secar la sustancia, y la otra cavidad inferior se usa para poner el desecante, más comúnmente gel de sílice.

	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
10	<p>Materiales de vidrio</p> 	<p>Los materiales de vidrio se utilizan ampliamente en laboratorio debido a su resistencia química, transparencia y facilidad de limpieza. Algunos de estos instrumentos no están granulados y otros si, que permite medir con precisión volúmenes de líquidos.</p> <p>En el presente proyecto se utilizaron: probetas, vasos precipitados, matraces Erlenmeyer y varilla de vidrio.</p>

	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
11	<p>pH metro</p> 	<p>Rango: 0,00-14,00 pH</p> <p>Precisión: +/- 0,05 pH</p> <p>Temperatura de operación: 0°C - 50°C</p>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7 Balance de materia y energía del proceso

El balance de materia y energía es conveniente realizar a la muestra cuatro por ser la más adecuada entre las formulaciones evaluadas, con base en sus propiedades físico-químicas, y en particular, por presentar una relación carbono/nitrógeno (C/N) de 31,36, valor ideal para el equilibrio nutricional y el aprovechamiento eficiente de los nutrientes por las plantas.

3.7.1 Balance de materia

TABLA III- 21 Especificaciones de las corrientes del proceso de limpieza de la vinaza

Nº	Corrientes	Especificaciones	Unidades
1	A	Masa de vinaza de alimentación	gr
2	B	Masa de partículas en suspensión	gr
3	C	Masa de vinaza limpia	gr
4	C*	Masa de alimentación al rotavapor	gr
5	D	Masa del agua condensada en el rotavapor	gr
6	E	Masa de vinaza concentrada a 60 °Bx	gr
7	F	Cantidad de aditivos	gr
8	G	Cantidad de mezcla	gr
9	CA	Cascarilla de arroz	gr
10	CCA	Cenizas de cascarilla de arroz	gr
11	H	Masa de agua evaporada en el proceso de secado	gr
12	I	Biofertilizante seco	gr

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 3. 19- Diagrama de flujo de proceso de obtención del biofertilizante orgánico

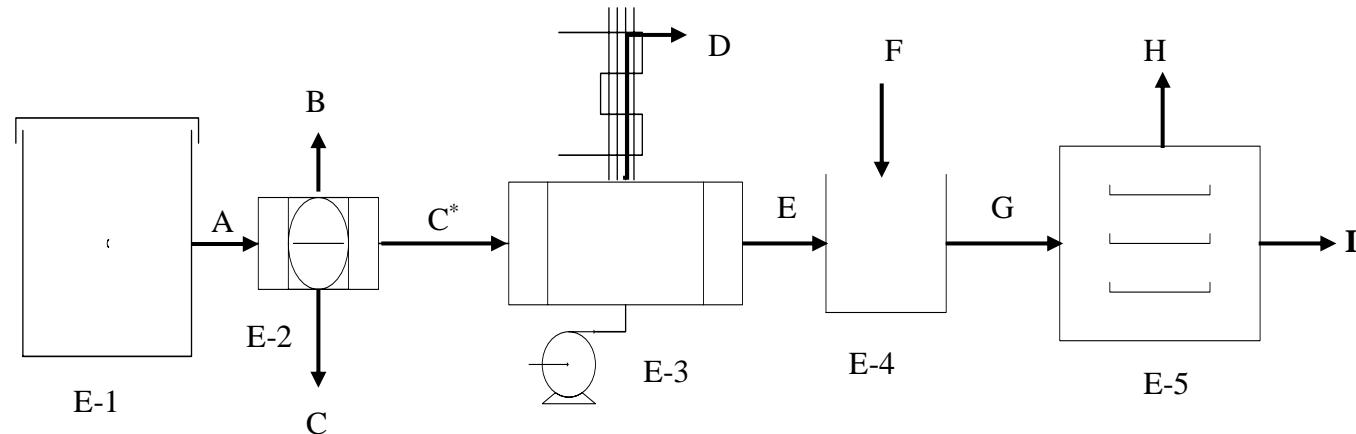


TABLA III-22. Equipos de obtención del biofertilizante orgánico

Equipos	Descripción
E-1	Equipo de almacenamiento de la vinaza
E-2	Equipo de filtración
E-3	Rotavapor
E-4	Mezclador
E-5	Secador (estufa)

Fuente: Elaboración propia, 2025.

TABLA III-23 Datos del proceso de concentración y secado en el balance de materia.

En el proceso de concentración	
${}^{\circ}\text{Bx}_i$	4.9
${}^{\circ}\text{Bx}_f$	60
En el proceso de secado	
H (masa inicial)	49,71 gr
J (masa final)	33,42 gr
X ₂ (humedad final del biofertilizante)	12 %

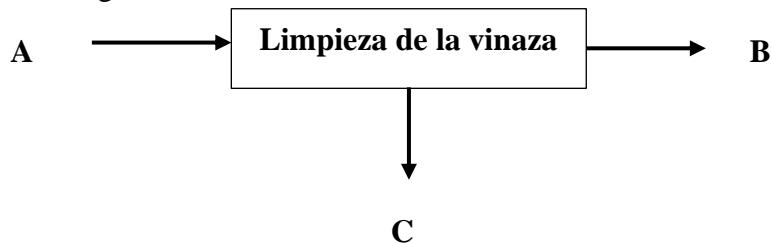
Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.1.1 Limpieza de la vinaza

Para realizar la limpieza de la vinaza de la uva, recepcionamos 10 litros de vinaza con densidad de 1.01 gr/ml (ver Anexo D-1), entonces la masa de la vinaza recepcionada es:

$$A = 10000 \cancel{\text{ml}} * 1,01 \frac{\text{gr}}{\cancel{\text{ml}}}$$

$$A = 10100 \text{ gr}$$



B, es la masa de partículas en suspensión, y es igual a 19.7 gr.

Balance general:

$$A = B + C$$

Ec. 2.1

Despejando C de Ec. 2.1 tenemos:

$$C = A - B \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$C = 10100 \text{ gr} - 19,7 \text{ gr}$$

$$C = 10080,3 \text{ gr de}$$

Se calcula el % de pérdidas de partículas en suspensión

$$P = \frac{19,7 \cancel{\text{gr}} * 100 \%}{10080,3 \cancel{\text{gr}}}$$

$$P = 0,2 \%$$

3.7.1.2 Concentración de la vinaza de uva a 60 °Bx

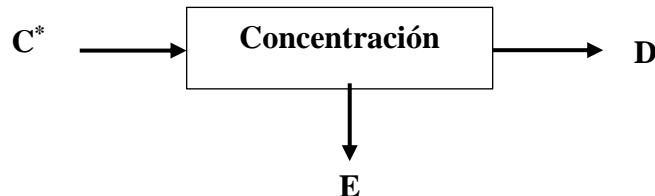
Para realizar la concentración de la vinaza, tomaremos 331 ml, solo para una muestra.

Calculando la masa de 331 ml, se tiene:

Si en 10000 ml hay 10100 gr, entonces:

$$C^* = \frac{331 \cancel{\text{ml}} * 10100 \text{ gr}}{10000 \cancel{\text{ml}}}$$

$$C^* = 334,31 \text{ gr}$$



Balance general:

$$C^* = D + E \quad \text{Ec. 2.3}$$

Balance de sólido:

$$C^* X_{c^*} = D X_d + E X_e \quad \text{Ec. 2.4}$$

Como D es del agua, entonces X = 0

Despejamos E de la Ec. 3.4, calculamos la masa de vinaza concentrada:

$$E = \frac{C^* X_{c^*}}{X_e} \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$E = \frac{334,31 \text{ gr} * 0,049}{0,6}$$

$E = 27,30 \text{ gr}$ de vinaza concentrada

Calculamos D, de la Ec. 3.3 y tenemos la masa de agua:

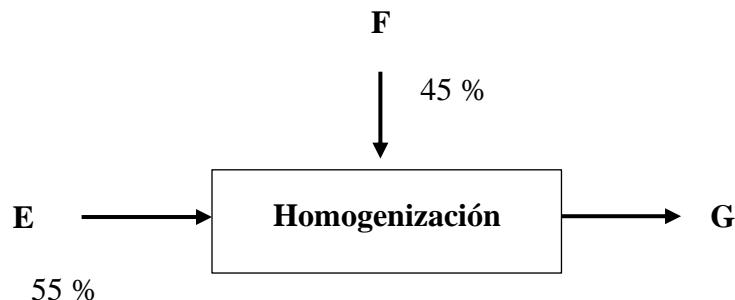
$$D = C^* - E$$

$$D = 334,31 \text{ gr} - 27,30 \text{ gr}$$

$$D = 307,01 \text{ gr}$$
 de agua

3.7.1.3 Homogenización de la vinaza y los aditivos

Se realizó la homogenización de vinaza concentrada a 60 °Bx, con la cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de arroz.



Para homogenización, se realizará tomando la siguiente formulación:

- 55% de vinaza concentrada a 60 °Bx
- 45% de aditivo (70% cascarilla de arroz y 30% de ceniza de cascarilla de arroz)

Balance general:

$$E + F = G \quad \text{Ec. 2.6}$$

Como la cantidad de vinaza está al 55 %, entonces: $E = 27,30 \text{ gr}$ es el 55 %

La mezcla obtenida es el 100% de E, entonces se tiene:

Calculamos G, con la formulación del porcentaje de vinaza.

$$G = \frac{27,35 \text{ gr} * 100 \%}{55 \%}$$

$$G = 49,63 \text{ gr de mezcla}$$

De la Ec. 3.6, despejamos F, es la cantidad de aditivos que se debe añadir:

$$F = G - E \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$F = 49,63 \text{ gr} - 27,30 \text{ gr}$$

$$F = 22,33 \text{ gr de aditivos}$$

Calculamos para la cantidad de cascarilla de arroz:

$$\text{CA} = \frac{22,33 \text{ gr} * 70 \%}{100 \%}$$

$$\text{CA} = 15,63 \text{ gr}$$

Para la ceniza de cascarilla de arroz:

$$\text{CCA} = \frac{22,37 \text{ gr} * 30 \%}{100 \%}$$

$$\text{CCA} = 6,70 \text{ gr}$$

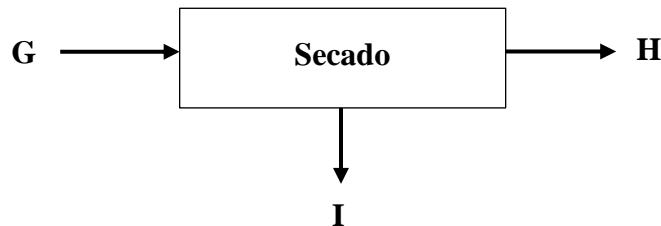
Cantidad de biofertilizante orgánico húmedo:

$$G = E + F \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$G = 27,30 \text{ gr} + 22,33 \text{ gr}$$

$$G = 49,63 \text{ gr}$$

3.7.1.4 Secado del biofertilizante orgánico



Cálculo de la masa de agua evaporada en la estufa.

Balance general:

$$G = H + I \quad \text{Ec. 2.9}$$

De la Ec. 3.9, despejamos H, masa de agua evaporada.

$$H = G - I \quad \text{Ec. 2.10}$$

$$H = 49,63 - 33,42$$

$$H = 16,21 \text{ gr}$$

La humedad del producto final es: $X = 0.12$

Realizamos un balance por componente de agua:

$$G * X_G = H * X_H + I * X_I \quad \text{Ec. 2.11}$$

H es la masa de agua evaporada, entonces $X_H = 1$

De la Ec. 3.11 despejamos X_G , y se tiene:

$$X_G = \frac{H X_H + I X_I}{G}$$

$$X_G = \frac{16,21 \cancel{\text{gr}} + (33,42 \cancel{\text{gr}} * 0,12)}{49,63 \cancel{\text{gr}}}$$

$$X_G = 0,41$$

3.7.1.5 Resultados del balance de materia

TABLA II- 24 Resultados del balance de materia

Corrientes	Definición	Gramos (gr)
A	Masa de vinaza de alimentación	10010
B	Masa de partículas en suspensión	19,7
C	Masa de vinaza limpia	10080,3
C*	Masa de alimentación al rotavapor	334,31
D	Masa del agua condensada en el rotavapor	307,01
E	Masa de vinaza concentrada a 60 °Bx	27,30
F	Cantidad de aditivos	22,33
G	Cantidad de mezcla	49,63
CA	Cascarilla de arroz	15,63
CCA	Cenizas de cascarilla de arroz	6,70
H	Masa de agua evaporada en el proceso de secado	16,21
I	Biofertilizante orgánico seco	33,42

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.2 Balance de energía

El balance de energía se realizará para el proceso de concentración y del secado.

3.7.2.1 Balance de energía en la etapa de concentración

Primero calculamos la presión del sistema:

$$P_{vc} = 18 \text{ PlgHg} = 60,955 \text{ Kpa}$$

$$P_{sist} = P_{atm} - P_{vc}$$

Ec. 2.12

Los datos son:

$P_{atm.}$	Presión atmosférica de Tarija	101.56 Kpa
$P_{vc.}$	Presión de vacío	60,955 Kpa
$P_{sist.}$	Incógnita	Kpa

Reemplazamos los datos en la Ec.2.12, y tenemos:

$$P_{sist} = 101,56 \text{ Kpa} - 60.955 \text{ Kpa}$$

$$P_{sist} = 40,605 \text{ Kpa}$$

Siendo la presión del sistema de 40.605 Kpa, entonces la temperatura de ebullición del agua es:

$$T_{ebull} = 76,244 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{Anexo C-1})$$

Calculamos en calor entregado:

$$Q_{entregado} = Q_1 = m_{agua b.} * Cp_{agua b} (t_{baño} - t_{ambiente}) \quad \text{Ec.2.13}$$

Calor absorbido:

$$Q_{absorbido} = Q_2 = m_{vs} * Cp_{vs} (t_{vinaza} - t_{ambiente}) + m_{agua} * Cp_{agua} (t_{eb agua} - t_{ambiente}) + D * \Delta h_{vapor agua} \quad \text{Ec.2.14}$$

Donde:

Variables	Definición	Valores
T_{eb} agua	Temperatura de ebullición del agua a 40.605 Kpa	76 °C
t_{amb}	Temperatura de ambiente	20 °C
t_{vinaza}	Temperatura final de la vinaza	68 °C
Cp_{agua}	Capacidad calorífica del agua a 76.244 °C	4,194 KJ/ Kg °K
Cp_{vs}	Capacidad calorífica de la vinaza sólida (ver Anexo B)	1,737 KJ/Kg °K
D	Masa de agua evaporada en el rotavapor	0,307 kg
$\Delta h_{vapor\ agua}$	Entalpia de vaporización del agua a 40.605 kPa	2318,779 $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
m_{agua}	Masa de agua en la corriente C*	0,318 kg
m_{vs}	Masa de vinaza sólida en la corriente C*	0,016 kg
$Q_{calor\ absorbido}$	Calor absorbido	Incógnita

Reemplazando los datos en la Ec. 2.14, se tiene:

$$Q_{absorbido} = Q_2 = 0,016 \text{ kg} * 1,737 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{K}} (71 \text{ } ^\circ\text{K} - 20 \text{ } ^\circ\text{K}) + 0,318 \text{ kg} * 4,19 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{K}} (76 - 20) + 0,307 \text{ kg} * 2318,779 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{absorbido} = Q_2 = 787,90 \text{ KJ}$$

Como el calor entregado es igual al calor absorbido:

$$Q_{entregado} = Q_{absorbido} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Entonces calculamos la $m_{\text{agua b}}$, despejando de la Ec. 2.13

$$m_{\text{agua b}} = \frac{Q_{\text{entregado}}}{Cp_{\text{agua}} (t_{\text{baño}} - t_{\text{ambiente}})} \quad \text{Ec. 2.15}$$

Variables	Definición	Valores
$Q_{\text{entregado}}$	Calor entregado	787,90 KJ
$t_{\text{baño}}$	Temperatura de baño	70 °C
t_{ambiente}	Temperatura ambiente	20 °C
Cp_{agua}	Capacidad calorífica del agua	4,186 KJ/Kg °K
$m_{\text{agua bañ}}$	Masa de necesaria para el baño	Incógnita

Reemplazando los datos en la Ec. 2.15:

$$m_{\text{agua b}} = \frac{787,90 \text{ KJ}}{4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \text{ °K}} (343,15 - 293,15) \text{ °K}}$$

$$m_{\text{agua bañ.}} = 3,76 \text{ Kg}$$

Realizamos el balance en el condensador

Calculamos la masa de agua en el condensador, para eso se tiene:

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

$$Q_3 = Q_4$$

$$D * \Delta h_{\text{vap agua}} + m_{\text{agua}} * Cp_{\text{agua}} (t_{\text{eb agua}} - t_{\text{cond}}) = m_{\text{agua cond}} *$$

$$Cp_{\text{agua cond}} (t_{\text{salida}} - t_{\text{entrada}}) \quad \text{Ec. 2.16}$$

Despejando la masa de agua en el condensador, tenemos:

$$m_{\text{agua cond}} = \frac{D * \Delta h_{\text{vap. Agua}} + m_{\text{agua}} * Cp_{\text{agua}} (t_{\text{eb agua}} - t_{\text{cond}})}{Cp_{\text{agua}} (t_{\text{salida}} - t_{\text{entrada}})} \quad \text{Ec. 2.17}$$

Datos:

Variables	Definición	Valores
D	Masa de agua condensada	0,307 kg
m_{agua}	Masa de agua en la corriente C*	0,318 kg (Anexo B.2)
$\Delta h_{\text{vap agua}}$	Entalpia de vaporización del agua a 40. 605 Kpas	2318,779 KJ/Kg °K (Anexo C.1)
Cp_{agua}	Capacidad calorífica del agua a 76.244 °C	4,194 KJ/ Kg °K
$t_{\text{eb agua}}$	Temperatura de ebullición del agua a 40.605 kp	76,244°C
$t_{\text{cond.}}$	Temperatura del condensado	24 °C
$Cp_{\text{agua cond.}}$	Capacidad calorífica del agua a condiciones normales	4,186 KJ/Kg °K
t_{salida}	Temperatura de salida agua refrigerante	21°C
t_{entrada}	Temperatura de entrada del agua refrigerante	19°C
$m_{\text{agua cond.}}$	Masa de agua necesaria para condensar el agua de la vinaza	Incógnita

Sustituimos los datos en la Ec. 2.17, tenemos:

$$m_{\text{agua cond.}} = \frac{0,307 \text{ kg} * 2318,779 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} + 0,318 \text{ kg} * 4,194 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (76,244 - 24)}{4,1836 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (21 - 19)}$$

$$m_{\text{agua cond.}} = 93,41 \text{ kg}$$

Se necesita 93,41 kg de agua necesaria para condensar el agua de la vinaza, en un tiempo de 210 minutos.

Por tanto, el calor entregado en el condensador es:

$$Q_{\text{entregado}} = Q_3 = m_{\text{agua cond.}} * C_{\text{p agua cond.}} (t_{\text{salida}} - t_{\text{entrada}}) \quad \text{Ec. 2.18}$$

$$Q_{\text{entregado}} = 93,41 \text{ kg} * 4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (21 - 19) \text{ K}$$

$$Q_{\text{entregado}} = Q_3 = 782,03 \text{ KJ}$$

El calor entregado en el condensador corresponde al calor que el vapor cede cuando se convierte nuevamente en líquido (es decir, cuando condensa).

Calculamos el caudal:

$$\text{Caudal} = \frac{V_{\text{agua cond.}}}{t} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Primero calculamos el volumen necesario:

Si:

$$\rho_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{agua cond.}}}{V_{\text{agua cond.}}} \quad \text{Ec. 2.20}$$

De la Ec. 2.20, despejamos el volumen de agua condensada:

$$V_{\text{agua cond.}} = \frac{m_{\text{agua cond.}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad \text{Ec. 2.21}$$

$$V_{\text{agua cond.}} = \frac{93,41 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{\text{agua cond.}} = 0,09341 \text{ m}^3 = 93,41 \text{ L}$$

Si en tiempo de concentración es de 210 min, entonces el caudal es:

$$\text{Caudal} = \frac{93,41 \text{ L}}{150 \text{ min}}$$

$$\text{Caudal} = 0,62 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Energía consumida:

$$E_{\text{rotavapor}} = P * t \quad \text{Ec. 2.22}$$

Donde:

Variables	Definición	Valores
P	Potencia	1320 W
t	Tiempo	150 min
E	Energía	Incógnita

Remplazando valores en la Ec.2.22, tenemos:

$$E_{\text{rotavapor}} = 1,32 \text{ KW} * 2,5 \text{ h}$$

$$E_{\text{rotavapor}} = 3,3 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{rotavapor}} = 11880 \text{ KJ}$$

3.7.2.2 Balance de energía en el secado

El secado del biofertilizante orgánico, se realizó en la estufa, teniendo un factor de consumo de 0,5.

La energía de consumo en la estufa es igual:

$$E_{\text{estufa}} = P * t * f \quad \text{Ec. 2.23}$$

Donde:

Variables	Definición	Valores
P	Potencia de la estufa	2000 W
t	Tiempo de secado	210 min
f	Factor de la estufa	0,5
E	energía consumida	Incógnita

Reemplazando valores en la Ec. 2.23, se tiene:

$$E_{\text{estufa}} = 2 \text{ KW} * 3,5 \text{ h} * 0,5$$

$$E_{\text{estufa}} = 3,5 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{estufa}} = 12600 \text{ KJ}$$

La energía para calentar el agua es:

$$Q_{\text{calentar agua}} = m_{\text{agua evap.}} * C_{\text{p agua}} (\Delta T) \quad \text{Ec. 2.24}$$

Donde:

Variables	Definición	Valores
$m_{\text{agua evap.}}$	Masa de agua evaporada en la estufa	16,21 gr
$C_{\text{p agua}}$	Capacidad calorífica del agua	4,186 J/ gr °C
t_{ambiente}	Temperatura ambiente	20 °C
t_{secado}	Temperatura de secado	50 °C
$Q_{\text{calentar agua}}$	Energía que se necesita para calentar el agua	Incógnita

Reemplazando valores en la Ec. 2.24, tenemos:

$$Q_{\text{calen. Agua.}} = Q_1 = 16,21 \cancel{\text{gr}} * 4,186 \frac{\text{J}}{\cancel{\text{gr}^{\circ}\text{C}}} * (50-20) \cancel{\text{C}}$$

$$Q_{\text{calen. agua.}} = Q_1 = 2035,65 \text{ J}$$

Calculamos la energía para evaporar el agua:

$$Q_{\text{evaporación}} = m_{\text{agua evap.}} \lambda \quad \text{Ec. 2.25}$$

Donde:

Variables	Definición	Valores
$m_{\text{agua evap.}}$	Masa de agua evaporada	0,0612 gr
λ	Calor latente del agua	2260 kJ/kg.
$Q_{\text{vaporación}}$	Energía que se necesita para evaporar el agua	Incógnita

Reemplazando tenemos:

$$Q_{\text{evaporación}} = Q_2 = 0,0162 \cancel{\text{kg}} * 2260 \frac{\text{KJ}}{\cancel{\text{kg}}}$$

$$Q_{\text{evaporación}} = Q_2 = 36,612 \text{ KJ}$$

3.7.1.3 Resultados del balance de energía

Equipos	Descripción	Resultados (KJ)
Rotavapor	Q1 evaporador Q1 = Q2	787.90 KJ
	Q3 calor de condensación Q3 = Q4	782,03 KJ
Secador	E (energía consumida)	12600 KJ
	La energía para calentar el agua Q1	2035,65 J
	La energía para evaporar el agua Q2	36,612 KJ

Fuente: Elaboración propia, 2025

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de la vinaza

En este capítulo se presentaron los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo experimental del proyecto, desde el análisis de la materia prima hasta la caracterización final del biofertilizante orgánico.

Para garantizar la viabilidad del proceso y la calidad del biofertilizante, se realizó un análisis fisicoquímico de la vinaza utilizada como materia prima, evaluando parámetros clave como la cantidad de cobre, fósforo, nitrógeno, potasio, conductividad eléctrica y humedad.

TABLA IV-1 Análisis físico - químico de la vinaza

Nº	Paramétros	Unidad	Resultado
1	Humedad	%	90,6
2	Conductividad electrica (23.7°C)	us/cm	46,7
3	Cobre	mg/l	34,1
4	Fósforo total	mg/l	137
5	Nitrógeno	mg/l	14,72
6	Potasio	Mg/l	29,60

Fuente: Laboratorio de CEANID, elaboración propia, 2025.

Los resultados del análisis fisicoquímico de la vinaza indican que posee un alto contenido de sólidos totales nutrientes y una conductividad adecuada, lo cual la convirtió en una materia prima viable para la elaboración del biofertilizante.

4.2 Resultados de la concentración de sólidos de la vinaza

La vinaza utilizada como materia prima fue previamente concentrada mediante evaporación por rotavapor hasta alcanzar los 50 y 60 °Bx, con el fin de aumentar su contenido de sólidos totales, reducir su volumen y potenciar su valor nutritivo como base para la elaboración del biofertilizante orgánico.

TABLA IV- 2 Resultados de concentración a 50 °Bx

Nº	Tiempo(min)	°Bx
1	0	4.9
2	15	7.8
3	30	10.6
4	45	14.2
5	60	18.3
6	75	23.4
7	90	28.7
8	105	33.8
9	120	40
10	135	47
11	140	50.3

Fuente: Elaboración propia, 2025.

TABLA IV- 3 Resultados de la concentración a 60 °Bx

Nº	°Bx	Tiempo(min)
1	4.9	0
2	8.1	15
3	11.7	30
4	15.3	45
5	19.1	60
6	23.6	75
7	29.4	90
8	35.7	105
9	42.8	120
10	50.9	135
11	60.3	150

Fuente: Elaboración Propia, 2025

La concentración de la vinaza a **50 °Bx en 140 minutos y a 60 °Bx en 150 minutos** demuestra un aumento progresivo del contenido de sólidos totales mediante evaporación controlada en el rotavapor. Este incremento de °Bx indica una mayor concentración de nutrientes disponibles, lo que favorece la eficiencia del biofertilizante final.

4.3 Resultados físico-químico del producto final

Se mostraron los resultados de los análisis físico-químicos del producto final, de la mejor muestra obtenida, con las mejores características físicas que se realizó (ver tabla III-19), con relación carbono/nitrógeno de 31,36 (Muestra 2-M4-B).

En el análisis físico-químico se determinaron la cantidad de nitrógeno total, fósforo total, potasio total, pH, sales solubles, materia orgánica, carbono orgánico y relación de C/N. En la siguiente tabla, se muestran los resultados físico-químico de la mejor muestra del biofertilizante orgánico, muestra 2-M4-B.

TABLA IV-4. Resultados físico-químico del biofertilizante orgánico.

Nº	Parámetros	Unidades	Resultados
1	Nitrógeno total	%	1,43
2	Fósforos totales	%	1,12
3	Potasio total	%	2,89
4	pH	pH	7,42
5	Sales solubles (EC)	mS/cm	1,42
6	Materia orgánica	%	77,33
7	Carbono orgánico	%	44,85
8	Relación C/N	-	31,36
9	Humedad	%	12
10	N+P+K	%	5,44

Fuente: LABORATORIO DE SUELOS - Elaboración propia, 2025.

Los análisis fisicoquímicos realizados al biofertilizante obtenido, se muestran en la TABLA IV-4, se evidencian que el producto cumple con los parámetros de calidad requeridos para un fertilizante orgánico. El contenido de nutrientes primarios (NPK: 5,44 %) se encuentra dentro del rango recomendado. La relación C/N de 31,36 es adecuada para garantizar la liberación progresiva de nutrientes en el suelo y está dentro del rango establecido de la variable de respuesta (25-35).

Asimismo, el alto contenido de materia orgánica (77,33 %) y carbono orgánico (44,85 %) reflejan un producto con un valor agronómico, capaz de mejorar la estructura, fertilidad y retención de humedad del suelo. El pH neutro (7,42) y la baja conductividad eléctrica (1,42 mS/cm) aseguran la ausencia de riesgos de salinización. Finalmente, el bajo contenido de humedad (12 %) garantiza la estabilidad del biofertilizante durante el almacenamiento.

4.4 Análisis estadístico del diseño experimental

Para el análisis estadístico de los datos experimentales obtenidos, se utilizó el software SPSS Statistics versión 18.0 (Statistical Package for the Social Sciences), una herramienta ampliamente reconocida en la investigación científica por su capacidad para manejar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos de manera eficiente y confiable.

Mediante el Análisis de Varianza Univariante (ANOVA), se determinó la influencia de los factores Grados Brix y porcentaje de vinaz sobre la variable respuesta relación carbono/nitrógeno (C/N). Este análisis permitió evaluar no solo los efectos principales de cada factor de forma individual, sino también la posible interacción entre ambos.

Figura IV-1. Ejecución del análisis de las variables en SPSS, considerando su relación con la variable de respuesta.

Nº	Concentración de Sólidos en Brix	Porcentaje de Aditivos	RELACIÓN C/N
1	-1	-1	36.65
2	1	-1	20.71
3	-1	1	32.25
4	1	1	38.8
5	-1	-1	34.7
6	1	-1	23.61
7	-1	1	33.93
8	1	1	34.72
9	-1	-1	37.38
10	1	-1	19.89
11	-1	1	36.25
12	1	1	31.36

Fuente: Programa informático SPSS, 2025

Figura IV-2. Análisis de varianza (Relación C/N)

Factores inter-sujetos		
	N	
ConcentraciónDeSólidos EnBrix	-1,00	6
	1,00	6
PorcentajeDeAditivos	-1,00	6
	1,00	6

Fuente: Programa informático SPSS, 2025

La imagen muestra las variables de concentración de sólidos en grados brix y el porcentaje de aditivos, cada una con dos niveles (-1 +1), cada nivel tiene 6 unidades experimentales, por lo que hay 12 datos en total.

Figura IV-3. Pruebas de efectos Inter sujeto para la Relación C/N

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	429,780 ^a	3	143,260	24,224	,000
Intersección	12049,172	1	12049,172	2037,441	,000
ConcentraciónDeSólidos EnBrix	147,490	1	147,490	24,940	,001
PorcentajeDeAditivos	98,441	1	98,441	16,646	,004
ConcentraciónDeSólidos EnBrix *	183,848	1	183,848	31,088	,001
PorcentajeDeAditivos					
Error	47,311	8	5,914		
Total	12526,263	12			
Total corregido	477,091	11			

a. R al cuadrado = ,901 (R al cuadrado ajustada = ,864)

Fuente: Programa informático SPSS, 2025

A partir de este análisis, es posible identificar las variables más significativas con un nivel de confianza del 90,1%, es decir, aquellas cuya significancia estadística es menor a 0,05. En el presente caso, las variables que cumplen con este criterio es la concentración de sólidos en °Bx (0.001) y el porcentaje de aditivos (0.004), lo que indica que ambos factores tienen un efecto significativo sobre la variable de respuesta, relación C/N.

Además, la interacción entre estos dos factores también resulta significativa (0.001), esto significa que el impacto de uno de los factores sobre la relación C/N depende del nivel del otro factor, y se demuestra que los factores no actúan de forma independiente, sino que su combinación influye de manera conjunta en la respuesta final.

4.4.1 Análisis de Regresión (relación C/N)

El modelo de regresión es una herramienta estadística que sirve para analizar y predecir la relación entre una variable dependiente (respuesta) y una o más variables independientes. También 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 de concentración en °Bx y porcentaje de aditivos y su interacción.

Figura IV-4. Regresión lineal, variables de entradas

Variables entradas/eliminadas^a			
Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	Concentració nDeSólidosE nBrix_Porcent ajeDeAditivos , PorcentajeDe Aditivos, Concentració nDeSólidosE nBrix ^b	.	Introducir

^a. Variable dependiente: Relación_CN
^b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Fuente: Programa informático SPSS, 2025

Figura IV-5. Regresión lineal, resumen del modelo

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,949 ^a	,901	,864	2,43185

a. Predictores: (Constante), ConcentraciónDeSólidosEnBrix_PorcentajeDeAditivos, PorcentajeDeAditivos, ConcentraciónDeSólidosEnBrix
b. Variable dependiente: Relación_CN

Figura IV-6. Regresión lineal, ANOVA

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	429,780	3	143,260	24,224	,000 ^b
	Residuo	47,311	8	5,914		
	Total	477,091	11			

a. Variable dependiente: Relación_CN
b. Predictores: (Constante), ConcentraciónDeSólidosEnBrix_PorcentajeDeAditivos, PorcentajeDeAditivos, ConcentraciónDeSólidosEnBrix

Figura VI-7. Coeficientes del modelo de regresión lineal para la relación C/N

Modelo	Coeficientes ^a							
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	31,688	,702		45,138	,000	30,069	33,306
	ConcentraciónDeSólidos EnBrix	-3,506	,702	-,556	-4,994	,001	-5,125	-1,887
	PorcentajeDeAditivos	2,864	,702	,454	4,080	,004	1,245	4,483
	ConcentraciónDeSólidos EnBrix_PorcentajeDeAditi vos	3,914	,702	,621	5,576	,001	2,295	5,533

a. Variable dependiente: Relación_CN

Fuente: Programa informático SPSS, 2025

La ecuación matemática es la siguiente:

$$R\ C/N = 31,429 + (-3,506 * {}^{\circ}Bx) + (2,864 * \% \ Vinz.) + (3,914 * {}^{\circ}Bx * \% \ Vinz.)$$

Ec. 3.1

Como se puede observar en la Imagen IV-7, 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 90,1%. Este ajuste se respalda estadísticamente con un coeficiente de determinación R^2 de 0,901, lo que indica que el 90,1 % de la variabilidad en la relación C/N es explicada por el modelo a partir de las variables de concentración de sólidos en ${}^{\circ}Bx$, porcentaje de aditivos y su interacción.

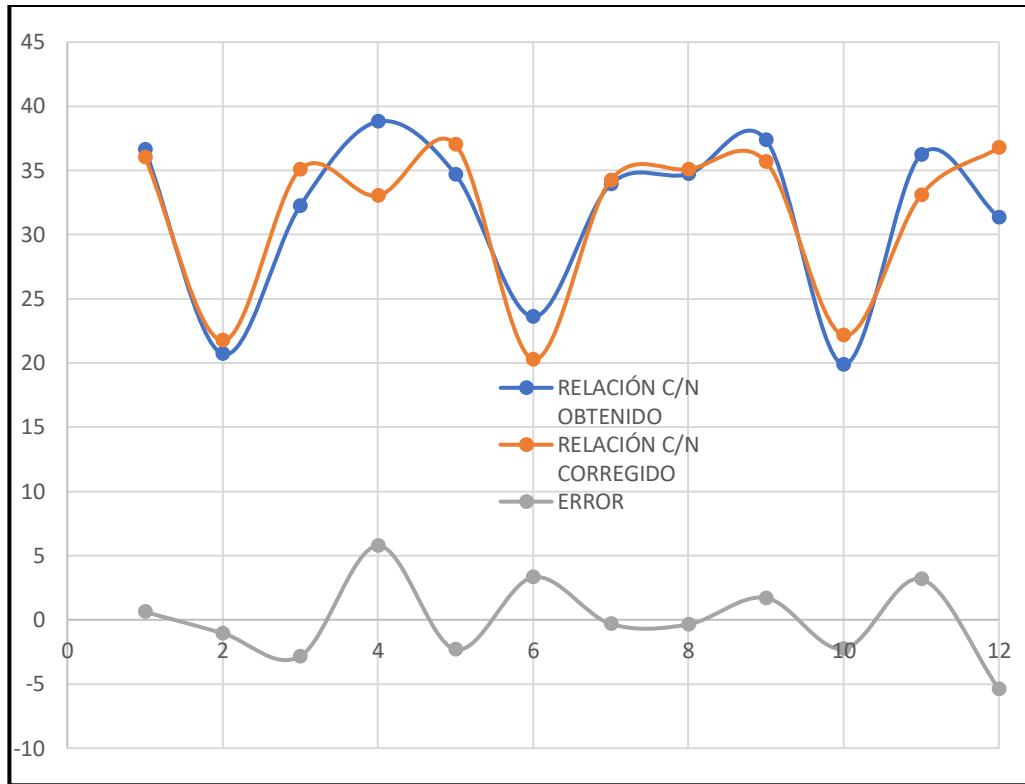
Tabla IV-5. Valores obtenidos y corregido por el programa SPSS, de la relación

C/N

Nº	RELACIÓN C/N OBTENIDO	RELACIÓN C/N CORREGIDO	ERROR
1	36.65	36.04	0.61
2	20.71	21.75	-1.04
3	32.25	35.09	-2.84
4	38.8	33.04	5.76
5	34.7	37.02	-2.32
6	23.61	20.30	3.31
7	33.93	34.25	-0.32
8	34.72	35.08	-0.36
9	37.38	35.68	1.71
10	19.89	22.16	-2.27
11	36.25	33.09	3.16
12	31.36	36.76	-5.40

Fuente: Programa informático SPSS. Elaboración propia, 2025.

Figura IV-8. Relación de C/N calculado con referencia al corregido



Fuente: Programa informático SPSS. Elaboración propia, 2025.

Como se observar en la Figura IV-8, la curva azul representa la **Relación C/N obtenida experimentalmente**. La curva naranja muestra la **Relación C/N corregida**. La curva gris corresponde al **error (diferencia entre la obtenida y la corregida)**.

La relación C/N obtenida y corregida son consistentes y el proceso de corrección mejoró la estabilidad de los valores. El error es bajo y no afecta la validez de los resultados, por lo que se puede concluir que los ensayos y la metodología aplicada son confiables y adecuados para la formulación del biofertilizante.

CAPÍTULO V

COSTOS DEL PROYECTO

CAPÍTULO V

COSTOS DEL PROYECTO

5. COSTOS DEL PROYECTO

5.1. Evaluación de Costos

La estimación de los costos asociados a la producción del biofertilizante orgánico se realizó tomando en cuenta la materia prima, los materiales utilizados, los procesos involucrados y el tiempo empleado. En las siguientes tablas se muestran los detalles de los costos directos e indirectos del proyecto.

TABLA V-1. Costos de la materia prima y materiales de laboratorio adquiridos para desarrollar la parte experimental del proyecto.

Nº	Materia prima	Precio unitario (Bs)	Unidad	Cantidad	Costos (Bs)
1	Cascarilla de arroz	6	kg	10	60
2	Frascos de vidrio de 250 ml	9	Frascos	5	45
3	Fuentes de aluminio	12	Fuentes	2	24
4	Bolsas herméticas	25	Paquetes	1	25
5	Crisoles de 100 ml	80	Crisol	2	160
6	Galón de 10 litros	50	Galón	1	50
7	Una jarra de 1000 ml	15	Jarra	1	15
Total					379

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Estos son los materiales que se compró durante el proceso de obtención del biofertilizante orgánico; los demás materiales, fueron proporcionados por el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

En esta misma tabla se observa que no se puso el costo de la materia prima (vinaza), porque fue adquirida gratis de la Bodega Daroca de la ciudad de Tarija, por ser un residuo descartado que en pocas ocasiones se la trata y se lo utiliza para fertilizar los viñedos.

Costos de los análisis fisicoquímicos realizados de la materia prima (vinaza) en CEANID, con un descuento del 60 %.

TABLA V- 2. Costos de análisis fisicoquímicos de la vinaza de uva realizado en laboratorio de CEANID y Suelos.

Nº	Parámetros	Precio unitario	Cantidad	Costos (Bs)
1	Humedad	40	1	40
2	Cobre	150	1	150
3	Nitrógenos totales	100	1	100
4	Fósforos totales	180	1	180
5	Conductividad eléctrica	20	1	20
Total				490
Descuento del 60 %				196

El análisis del potasio, se realizó en LABORATORIO DE SUELOS.

6	Potasio	45	1	45
Costos totales del análisis de la materia prima				241

Fuente: Laboratorio de CEANID y Suelos. Elaboración propia, 2025.

TABLA V- 3. Análisis de densidad de la vinaza de uva

Nº	Parámetros	Costo unitario	Cantidad	Costo (Bs)
1	Densidad	20	1	20
Total				20

Fuente: Laboratorio de Suelos. Elaboración propia, 2025.

Costos del análisis fisicoquímico realizados de las pruebas de obtención de biofertilizante orgánico, realizados en CEANID con un descuento del 60 %.

TABLA V- 4. Detalles de los costos de análisis fisicoquímicos de las pruebas de obtención del biofertilizante en laboratorio de CEANID y Suelos.

Nº	Parámetros	Precios unitarios	Cantidad	Costos (Bs)
1	Cenizas	70	6	420
2	Humedad	40	6	240
3	Nitrógeno total	90	6	540
4	Materia orgánica	20	6	120
Total				1320
Costos totales con un descuento del 60 %				528

Fuente: Laboratorio de CEANID. Elaboración propia, 2025.

TABLA V- 5. Detalles de los costos de análisis fisicoquímicos de las pruebas de obtención del biofertilizante en Laboratorio de Suelos

Nº	Parámetros	Precio unitario	Cantidad	Costos (Bs)
1	Nitrógeno total	59	6	354
2	Materia orgánica	48	6	288
3	Carbono orgánico	48	6	288
Total				930

Fuente: Laboratorio de Suelos. Elaboración propia, 2025.

Tabla V-6. Detalle de costos de servicios y materiales directos e indirectos

Nº	Actividad	Precio unitario (Bs)	Unidad	Cantidad	Costo (Bs)
1	Transporte diario	4	Días	150	600
2	Investigación en internet	80	Mes	7	560
3	Transporte materia prima	30	Pasaje	2	60
4	Anillados	5	Anillado	9	45
5	Impresión	0,2	Hojas	1800	360
6	Empastados	60	Empastado	3	180
7	Mano de obra	15	h	650	9750
Total					11555

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la siguiente tabla IV-7, se observan los valores de costos de energía consumida durante todo el proceso de obtención del biofertilizante orgánico, que se encuentran en el CAPÍTULO II y en el ANEXO D.

Tabla V-7. Detalles de costos energéticos consumidos durante el proceso

Nº	Etapa	Energía consumida (KW h)	Costos por KW h	Muestras	Costos (Bs)
1	Molienda	0,33	0,9	12	3,56
2	Cenizas	16	0,9	12	187,2
3	Concentrado	3.3	0,9	12	35,64
4	Secado	3.5	0,9	12	37,8
Total					264,2

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla V-8. Costos totales en general

Nº	Descripción	Costo (Bs)
1	Costos de la materia prima y materiales de laboratorio	379
2	Costo del investigador	1000
3	Costos de análisis fisicoquímicos de la vinaza de uva realizado en CEANID.	241
4	Análisis de densidad de la vinaza de uva	20
5	Detalles de los costos de análisis fisicoquímicos de las pruebas de obtención del biofertilizante en CEANID.	528
6	Detalles de los costos de análisis fisicoquímicos de las pruebas de obtención del biofertilizante en LABORATORIO DE SUELOS	930
7	Detalle de costos de servicios y materiales directos e indirectos	11555
8	Detalles de costos energéticos consumidos durante el proceso	264.2
Costos totales del proyecto		14917,2

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El costo total de obtención del biofertilizante orgánico desarrollado en el laboratorio de operaciones unitaria de la carrera de ingeniería química, es de 14917,2 Bs.

5.2 Costos de elaboración del biofertilizante orgánico

Se realizó un análisis de costos a partir de la mejor muestra obtenida (2-M₄ – B), considerando el consumo de materia prima, aditivos, energía, con el fin de estimar el costo total de producción del biofertilizante. En las muestras se utilizó 327,6 gramos de vinaza concentrada a 50 y 60 °Bx, 187,63 gr de cascarilla de arroz molida y 80,4 gramos de cenizas de cascarilla de arroz.

Tabla V-9 Costos de elaboración del biofertilizante orgánico

Nº	Descripción	Precio Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
1	Vinaza de uva	0	0,3276 gr	0
2	Cascarilla de arroz molida	50	0,18759 kg	9,389
	Cenizas de cascarilla de arroz	300	0,08004 kg	24,012
3	Energía eléctrica	0,9	264.2 kWh	237,78
Total				271,181

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El costo para producir 401,04 gramos de biofertilizante orgánico, es de 271,181 Bs siendo lo más caro la energía eléctrica utilizada en la mufla, estufa, rotavapor y molino. No se tomó en cuenta la mano de obra ya que se trabajó de manera discontinua, y si fuera incluida elevaría el precio del biofertilizante de manera significativa.

Entonces estimando el precio unitario de 22,6 Bs por cada 33,42 gramos de biofertilizante orgánico.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se logró obtener un biofertilizante orgánico sólido a partir de vinaza de uva proveniente de la bodega Daroca del departamento de Tarija, mediante un proceso de concentración de sólido totales y formulación con aditivos como cascarilla de arroz y su ceniza. El producto final presentó una composición química y propiedades físicas adecuadas para mejorar la fertilidad del suelo, al aportar nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, así como una elevada cantidad de materia orgánica y una relación C/N dentro de los límites establecidos (25-35).

En función de los objetivos específicos establecidos, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El análisis fisicoquímico de la vinaza de uva reveló un alto contenido de humedad con 90,6 %, esto significa que solo el 9,4 % correspondió a los sólidos totales; fósforo 137 mg/l, representó un potencial positivo para la formulación del biofertilizante; conductividad eléctrica 46,7 us/cm, reflejó baja concentración de sales solubles; cobre 34,1 mg/l, relativamente alto, por lo que fue necesario regular con aditivos para evitar fitotoxicidad; nitrógeno 14,72 mg/l, contenido bajo que limita su valor fertilizante directo, por lo que requirió aditivos como la cascarilla de arroz para equilibrar la relación C/N; potasio 29,60 mg/l, aunque el valor no es elevado, sí aportó de manera positiva al perfil nutritivo del biofertilizante.
- La concentración de sólidos de la vinaza mediante el uso de rotavapor permitió reducir significativamente el volumen del residuo líquido e incrementar la proporción de sólidos disueltos hasta 50 °Bx y 60 °Bx. Este proceso facilitó su integración con los aditivos formulados, logrando así alcanzar los valores recomendados en la variable de respuesta.

- Se desarrolló experimentalmente una formulación de biofertilizante sólido a partir de vinaza concentrada a 60 °Bx, complementada con 45 % de aditivos compuestos por cascarilla de arroz y su ceniza. Esta combinación permitió obtener un producto con parámetros dentro del rangos establecidos para un biofertilizante, alcanzando valores de NPK de 5,44 %, una relación carbono/nitrógeno 31,36, materia orgánica 77,33 %, carbono orgánico 44,85 % y un pH de 7,42.
- Se aplicaron balances de materia y energía para controlar el proceso de elaboración, lo que permitió cuantificar de manera precisa los resultados de cada etapa y el consumo energético principalmente en la estufa y rotavapor.
- Se analizó las propiedades fisicoquímicas del biofertilizante final, dando como resultado los siguientes valores: Potasio total: 2,89 %, Fósforo total: 1,12 %, Nitrógeno total: 1,43 %, ph: 7,42, sales solubles: 1,42 mS/cm, materia orgánica: 77,33 %, carbono orgánico: 44,85 % y relación carbono/nitrógeno: 31, 36.

Valores que fueron compatibles con estándares aceptados para un biofertilizante orgánico según el *manual de fertilizante orgánico* y por Kilmelgran (*Fertilizante de suelos granos solubles*), lo que valida su potencial como insumo para la elaboración de biofertilizante.

- Finalmente, se demostró que es posible transformar un residuo contaminante como la vinaza de uva en un biofertilizante orgánico de valor agregado, con un costo de producción del biofertilizante de 271,181 bs, y 22,6 bs por cada 33,42 gramos de biofertilizante.

6.2 Recomendaciones

En función de los resultados obtenidos, se presentan las siguientes recomendaciones:

- ❖ Explorar diferentes proporciones y tipos de residuos orgánicos disponibles en la región, bagazo de caña seca, cáscara de maní y otros residuos que abundan en la región.
- ❖ Promover la transferencia tecnológica del proceso a comunidades agrícolas, asociaciones de productores vitivinícolas y centros de innovación local, con el fin de incentivar el uso de prácticas sostenibles y el aprovechamiento de residuos.
- ❖ Se recomienda la implementación del presente proyecto, para el aprovechamiento de la vinaza en función a las grandes cantidades generadas en las bodegas.
- ❖ Se recomienda realizar proyectos de análisis de suelos, para elaborar biofertilizantes adecuados a cada tipo de suelos.
- ❖ Se debe tener cuidado al momento de envasar el producto, debido a que absorbe humedad del ambiente y afectaría en sus propiedades químicas, por esa razón tiene que estar totalmente hermético.
- ❖ Se recomienda el uso de vinaza fresca para la formulación del producto, dado que, si pasa tiempo en almacén, podría dañarse.