

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La producción nacional de uva asciende aproximadamente 60 mil toneladas por año que son utilizadas como insumo para la producción de vino y singani, o comercialización como uva de mesa. la producción nacional de singani asciende a 6 millones de litros anuales, constituyendo a éstas como las bebidas nacionales industriales de mayor producción. (MRE, 2020)

La zona productora de uva en Bolivia se encuentra fuera de esa franja entre los 21 y 23 grados del hemisferio sur, la vid en Bolivia se cultiva entre 1700 y 2400 metros sobre el nivel del mar, a esta altura las uvas ganan riqueza aromática debido a una exposición más intensa a los rayos ultravioletas que en otras regiones del planeta. Esta característica hace que los derivados de la uva producidos en nuestro territorio sean distintos y tengan identidad propia. (CEVITA, 2018)

Tarija es la zona más apta de Bolivia para el cultivo de vid teniendo un rendimiento de 6,80 TM/Ha (Toneladas / hectárea), seguido por Chuquisaca con 5,81TM/Ha. Tarija y Chuquisaca son los mayores productores de uva en el país de la producción total de uva del departamento de Tarija un 15% de la producción corresponde a la uva negra varietal y el resto a la uva blanca moscatel y moscatel de Alejandría. (CEVITA, 2018).

El Singani se produce a partir de la uva moscatel de Alejandría y cuenta con un origen que limita las zonas donde puede producirse este producto, encontrándose éstas en los departamentos de Tarija, Chuquisaca, La Paz y Potosí, pues la altura a la que se cultiva la uva le da sus características organolépticas y hace que preserve mejor su aroma. (MRE, 2020).

1.2 Justificación

- ✓ El presente trabajo de investigación tiene como finalidad obtener un singani por el método de bidespilación al vacío de uva moscatel de Alejandría, debido a que existe bastante producción de uva en el valle central del departamento de Tarija, los productores no tienden a terminar su uva en el tiempo de vendimia.

- ✓ El problema de los productores de singani artesanal, no realizan un control riguroso en el proceso de fermentación alcohólica debido a escasa información, por lo tanto, surge el interés de obtener singani con los controles respectivos
- ✓ Aplicando el método de bidestilación en el presente trabajo, se pretende disminuir el contenido de metanol en el singani por su gran toxicidad que es dañino para la salud ocasionando hasta cegueras en e consumo excesivo.
- ✓ El presente trabajo establecera los parámetros adecuados del proceso con el fin de obtener un singani con aromas suaves característicos de la uva Moscatel de Alejandría.

1.3 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo se detallan a continuación:

1.3.1 Objetivo general

- Aplicar una metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica, que permita obtener un singani por el método de bidestilación al vacío de calidad para la provincia Cercado.

1.3.2 Objetivo específicos

- Determinar las características físicas, fisicoquímicas y microbiológicas de la uva Moscatel de Alejandría, con el propósito de establecer sus características.
- Determinar variables del proceso en la fermentación alcohólica para la obtención de singani.
- Realizar el análisis sensorial de las muestras preliminares establecidas durante la práctica para determinar la muestra ideal del singani.

- Realizar el control de los parámetros en las pruebas preliminares, con la finalidad de obtener una buena fermentación alcohólica.
- Aplicar el diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica en la obtención de singani, con la finalidad de encontrar las variables en el proceso.
- Elaborar el análisis sensorial de las muestras experimentales, con la finalidad de determinar la muestra final del singani.
- Realizar un análisis fisicoquímico del singani, con el fin de analizar si este producto cuenta con las características deseadas.
- Realizar un balance de materia y energía a nivel experimental, con el propósito de conocer las entradas, salidas de cada proceso y el rendimiento

1.4 Objeto de estudio

Aplicación de la metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío de calidad para la provincia Cercado.

1.5 Campo de acción

Para realizar el trabajo de investigación propuesto, se determinó los siguientes campos de acción:

➤ Espacial

El campo espacial donde se desarrolló el presente trabajo de investigación fue en Tarija la provincia Cercado

➤ Temporal

El campo temporal donde se desarrolló el presente trabajo de investigación fue en la gestión 2022

➤ **Institución**

Fue realizado en el Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA) perteneciente la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.6 Planteamiento del problema

En el valle central del departamento de Tarija existe bastante producción de uva, por esta razón se desea obtener singani aprovechando la gran cantidad que se produce en temporada de vendimia. Así mismo, los productores de singani artesanal no realizan los controles respectivos en la etapa de fermentación alcohólica.

El presente trabajo de investigación busca una alternativa obteniendo singani que contribuya al sector productivo de vid, aplicando el método de bidespilación se pretende disminuir el contenido de metanol y obtener un singani con aromas suaves característicos de la uva Moscatel de Alejandría.

1.7 Formulación del problema

¿Cuál será la metodología experimental a ser aplicada en el proceso de fermentación alcohólica, que permitirá obtener singani por el método de bidespilación al vacío de calidad para la provincia Cercado?

1.8 Formulación de la hipótesis

La metodología experimental del proceso fermentación alcohólica a ser empleada permitirá obtener singani por el método de bidespilación al vacío de calidad, para la provincia cercado

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del singani en Bolivia

Es una bebida de la familia del aguardiente de uvas, cuyo origen data de la época colonial, luego de la expansión de explotación minera de plata en el Cerro Rico de Potosí. Uno de los propósitos del cultivo era la elaboración de vinos. Sin embargo, esta resultó ser muy difícil en aquel entonces debido a las condiciones geográficas, climáticas (durante las temporadas de lluvias) y, por supuesto, en temas de conservación. Como solución, se optó por un proceso distinto, una destilación de vino, desde entonces nació esta nueva bebida llamada “Singani” (Azafrán, 2021).

El Singani es una bebida alcohólica originaria de Bolivia, específicamente de la zona de los valles de Tarija, Chuquisaca y Potosí. Debe su origen a los españoles quienes comenzaron el cultivo de las uvas en el valle del sur del Potosí. Se dice que ciertos monjes españoles cultivaron la vid y dieron origen a esta bebida en una finca de nombre Singani o Sinkani. Debido a que Bolivia es una nación con condiciones climáticas y geográficas características, la elaboración de vino se convirtió en una tarea muy compleja, por lo que optaron por realizar la destilación del vino. Esto llevó a la creación de una bebida espirituosa que sería conocida como Singani (Aygsha, 2016).

La Ley N° 1334 del 4 de mayo de 1992 fija las normas sobre la producción, elaboración y comercialización del singani y establece el reglamento de la Denominación de Origen de la bebida nacional; en ella se indica el área de producción permitida que comprende valles de los departamentos de Tarija, Chuquisaca, La Paz y Potosí (Malbec, 2021)

2.2 Definición del singani

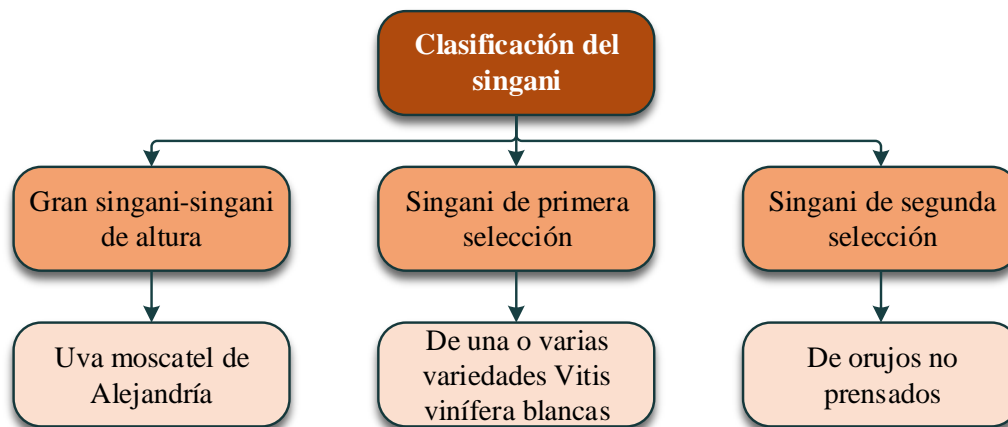
Se define al singani como "Aguardiente obtenido por la destilación de vinos naturales de uva fresca producida, destilada y embotellada en las zonas de producción de origen". También señala que el singani elaborado con materias primas diferentes a la uva Moscatel de Alejandría, inclusive utilizando las prácticas enológicas (Malbec, 2021).

El singani tiene como materia prima la uva Moscatel de Alejandría. Tras la cosecha de uvas, se pasa un proceso de estrujado (mecánico o bien artesanal), cuyo producto es

llevado a las cubas de fermentación, para conseguir un vino base, que entonces va a pasar a una etapa de destilación en los alambiques (Vinoteca, 2018).

2.3 Clasificación del singani

En la figura 2.1, se muestra la clasificación del singani a partir de la uva según su selección.



Fuente: Arancibia, 2015

Figura 2.1: Clasificación del singani

2.3.1 Descripción de la clasificación del singani

La clasificación del singani se detalla a continuación:

➤ Gran singani- singani de altura

Es el producto obtenido por destilación simple o doble de vinos provenientes exclusivamente de la fermentación alcohólica de la uva Moscatel de Alejandría, producidos en una altura mínima de 1600 metros de acuerdo al decreto supremo 25569, elaborados, destilados embotellados y/o añejados en las zonas de denominación de origen (Arancibia, 2015).

➤ Singani de primera selección

Según Arancibia (2015), define que es “la bebida alcohólica de vinos proveniente de la fermentación alcohólica, de una o varias variedades *Vitis vinífera* blancas de acuerdo a prácticas enológicas, producidos, destilados y embotellados en las zonas de denominación de origen” (Pág. 1)

➤ Singani de segunda selección

Según Arancibia (2015), define que es “la bebida alcohólica de vinos proveniente de la fermentación alcohólica de orujos no prensados, de una o varias variedades *Vitis vinífera*, producidos, destilados y embotellados en las zonas de denominación de origen” (Pág. 1)

2.4 Propiedades fisicoquímicas de los destilados de vino base

En la tabla 2.1 se muestra las propiedades fisicoquímicas de los destilados procedentes de vinos base, obtenidos con orujo y sin orujo.

Tabla 2.1

Propiedades fisicoquímicas de los destilados procedentes de vinos base, obtenidos con orujo y sin orujo

| Parámetro fisicoquímico | Destilado de vino con orujo | Destilado de vino sin orujo |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Grado alcohólico % | 48,87 | 39,480 |
| Metanol mg/100ml | 73,94 | 33,370 |
| Acido acético mg/100ml | 7,45 | 7,620 |
| Alcoholes superiores mg/100ml | 344,71 | 374,970 |
| Furfural mg/100ml | 0,23 | 0,074 |
| Esteres mg/100ml | 30,01 | 3,470 |
| Acetaldehidos mg/100ml | 7,86 | 11,010 |

Fuente: Hatta, 2004

2.4.2 Grado alcohólico

El grado alcohólico de una bebida es el contenido de alcohol etílico expresado en volumen de alcohol por 100 ml de bebida, o en gramos de alcohol por 100 ml de bebida si se expresa como grado alcohólico en peso. Los métodos de determinación se basan

en la destilación del alcohol etílico y otros componentes volátiles (metanol, alcohol isopropílico, aldehídos, ésteres) el enrase a un volumen determinado y la medida de la densidad o el índice de refracción El Grado alcohólico se encuentra entre 38 - 46 °GL (ASSAL, 2010)

2.4.2 Metanol

La contaminación con metanol, se produce en el momento de la fermentación de jugos azucarados implementada para la obtención de bebidas alcohólicas, en la cual, además del etanol, se produce también cantidades de metanol y otros compuestos volátiles (Sánchez, 2005).

2.4.3 Acidez total

Según Agrovín (2021), menciona que la acidez total de un vino se compone de acidez Fija y acidez volátil. En cuanto a los vinos la acidez oscila entre (4 y 7) g/l de tartárico, aunque es preferible que nunca se llegue a ambos extremos (pag.1).

La acidez total (AT) es la suma de los ácidos valorables del vino y mosto cuando se lleva el pH a 7 añadiendo una solución de hidróxido de sodio. Los ácidos más frecuentes del vino son el tartárico, el málico y el láctico, todos ellos desempeñan un papel importante en las características organolépticas del vino. Los ácidos tartárico y málico proceden de la uva, y el láctico proviene de la fermentación maloláctica del vino. Otros ácidos presentes en el vino, aunque de formas minoritarias son el cítrico, el acético, el glucónico, el ascórbico, el succínico (García & Xirau, 2000).

2.4.4 Alcoholes superiores

Se producen mayoritariamente a partir de aminoácidos aromáticos y de cadena ramificada a través de dos vías metabólicas. Vía catabólica o vía de Ehrlich: los aminoácidos son primeramente transaminados a 2-oxoácidos, después descarboxilados a aldehídos y finalmente reducidos a los correspondientes alcoholes superiores. Vía anabólica o del piruvato: a través de intermediarios 2- oxoácidos que están a su vez involucrados en la biosíntesis de estos aminoácidos ramificados. Las proporciones

Relativas atribuidas a estas dos vías son del 25 % y 75 %, respectivamente. Para una cantidad fija de nitrógeno amoniacal, las concentraciones de alcoholes superiores se incrementan al aumentar el contenido en azúcares (ICIDCA, 2017)

2.4.5 Furfural

El furfural (2-furaldehído, $C_5H_4O_2$) es un compuesto químico que es material de partida para la síntesis industrial de diversos productos químicos, generalmente a través de la formación de alcohol furfurílico. A temperatura ambiente, el furfural es un líquido con punto de ebullición de $161,7\text{ }^\circ\text{C}$ que es miscible con muchos disolventes exceptuando los compuestos alifáticos saturados. Recién destilado, es un líquido incoloro, estable a temperatura ambiente y bajo condiciones anaeróbicas. Es además un extractante selectivo en el refinado de aceites lubricantes, combustibles diésel y aceites vegetales. (Campos, 2015)

2.4.6 Esteres

Los ésteres son compuestos que se forman por la unión de ácidos con alcoholes, generando agua como subproducto. Nomenclatura: se nombran como si fuera una sal, con la terminación “ato” luego del nombre del ácido seguido por el nombre del radical alcohólico con el que reacciona dicho ácido. El contenido de esterés en las bebidas alcohólicas se encuentran en un rango de (218,54 - 9260,58) mg/l (Cornejo, 2013)

2.5 Caracterización de las materias primas

La materia prima para la obtención de singani, se describe a continuación:

2.5.1 Uva Moscatel de Alejandría

Es una uva blanca que forma parte de la familia moscatel de *Vitis vinífera* y que se caracteriza por tener una de las recolecciones más tempranas del país debido a que las elevadas temperaturas de sus zonas de cultivo la hacen madurar de forma gradual y constante. Se caracteriza por su gran poder aromático y elevado contenido en azúcar y

suele utilizarse como uva de mesa y para la elaboración de pasas y de vinos blancos secos y dulces naturales con aromas potentes, elegantes y florales. (Cutanda, 2016).

2.5.1.1 Origen de la uva Moscatel de Alejandría

Esta variedad es posiblemente una de las más antiguas conocidas por el ser humano, y cuenta actualmente con más de 200 tipos de derivaciones. Pese a que su origen es incierto, como hemos señalado, los expertos apuntan a que nació por primera vez en tierras bañadas por el Mar Mediterráneo. Posiblemente, dentro de los tipos de uva, sea la uva Moscatel de Alejandría, la más conocida, remontándose su origen al periodo de los faraones en las zonas próximas al norte de Egipto (Davalillo, 2018).

2.5.1.2 Taxonomía de la uva Moscatel de Alejandría

En la tabla 2.2, se detalla la taxonomía de la uva Moscatel de Alejandría:

Tabla 2.2

Taxonomía de la uva Moscatel de Alejandría

| Propiedad taxonómica | |
|----------------------|---------------------------|
| Familia | Vitáceas |
| Genero | Vitis |
| Sub- genero | Euvitis |
| Grupo | Europeo |
| Especie | Vitis-vinífera |
| Sub-especie | Vitis vinífera nativa |
| Variedad | Moscatel de Alejandría |

Fuente: Cutanda, 2016

2.5.1.3 Descripción botánica de la uva Moscatel de Alejandría

La descripción botánica de la uva Moscatel de Alejandría se describe a continuación según Barber (2020)

➤ **Racimos**

Los racimos de este tipo de uva son grandes, poco compactos, poco uniformes, tanto en tamaño de baya como el color del hollejo.

➤ **Bayas**

Las bayas de este tipo son grandes de forma circular, pero con tendencia a sección longitudinal elíptica y, hollejo grueso consistente pulpa blanda, muy jugoso con sabor característico amoscotelado.

➤ **Cepas**

Reducido vigor y porte erguido, maduración muy correlacionado con la localización y altimetría de la parcela, suele ser de maduración precoz pero muchos racimos retrasan esta maduración, especialmente si la producción es elevada.

2.5.1.4 Composición química de la uva Moscatel de Alejandría

Se trata de una fruta bastante compleja químicamente. A continuación pasaremos a describir sus principales componentes.

➤ **Agua**

Martínez (2014) indica, que el agua “es el constituyente más abundante del mosto, oscilando entre 650 y 900 g/l. Vehículo de sales minerales y sustancias elaboradas en las hojas camino a los granos y otros centros de acumulación” (Pág. 1)

➤ **Azúcares**

La uva contiene mayormente dos tipos de azúcares en cantidades equilibradas: glucosa y fructosa. La fructosa, es más, dulce y se encuentra en un ligero porcentaje excediendo a la glucosa. En el mosto, existen pentosas en pequeñas cantidades. Contienen en sus moléculas una función aldehídica que las hace reductoras como las hexosas, pero no fermentables; son principalmente la arabinosa y la xilosa. Disacáridos como la sacarosa (glucosa combinada con fructosa) o la maltosa (combinación entre dos moléculas de glucosa) (Martínez, 2014).

➤ **Ácidos**

Mendoza (2007), menciona “los ácidos presentes en la uva y los que se forman durante la fermentación” (Pág. 2)

Ácidos provenientes de la uva son: ácido tartárico, ácido málico y ácido cítrico.

Ácidos de origen fermentativo son: ácido láctico, ácido succínico y ácido acético

➤ **Mucílagos**

Según Álvarez & González (2006) indican que “los mucílagos son un tipo de fibra soluble que podemos encontrar desde plantas como el agar-agar, la borraja, presentes en los higos, limones y uvas, pasando por legumbres como las vainitas y frutos secos como las almendras” (Pág. 5).

➤ **Materia colorante**

Los pigmentos proceden de las uvas, y se localizan de forma exclusiva en los hollejos y ocasionalmente también en la pulpa de las variedades denominadas tintoreras. Estos pigmentos rojos son unos compuestos fenólicos que se denominan antocianos y, en la uva, se encuentran únicamente como antocianos monómeros, no ligados a otras moléculas (Gutiérrez, 2007).

➤ **Compuestos aromáticos**

Los compuestos responsables del agradable aroma floral-frutoso propio de estas variedades son esencialmente linalol, nerol, geraniol y en menor grado citronelol, α -terpineol, óxidos de linalol, alcoholes (feniletanol, hexanol, etc.). Estos compuestos están presentes en parte en forma libre y en parte unida a azúcares, principalmente disacáridos (Agosín, 2013).

➤ **Sustancias nitrogenadas**

Localizadas especialmente en el hollejo. Las sustancias nitrogenadas representan un papel muy importante en la fermentación de los mostos pues las levaduras necesitan de

dichos compuestos para reproducirse y crecer. Tecnológicamente asumen importancia en la estabilidad de color y limpidez del producto final. El nitrógeno proteico es responsable de enturbiamientos y depósitos en mostos y vinos embotellados. (Martínez, 2014)

➤ **Enzimas**

Durante la fermentación, los polifenoles y aromas varietales presentes en la uva son extraídos por la acción de actividades enzimáticas, la acción del SO₂, acciones mecánicas de remontados y bazuqueos y, una vez iniciada la fermentación alcohólica, por la acción del alcohol. Pero entre todos estos factores, son las actividades enzimáticas las máximas responsables de la degradación de las paredes celulares se mencionan las siguientes: Pectinasas, Hemicelulasas, Celulasas, Galactosidasas y Proteasas (Agostini, 2018).

➤ **Minerales**

Esencialmente, se tienen: P, S, K, Na, Ca, Mg, Si, Fe, Mn, Zn; además de otros metales y metaloides como el F, Cl, Br, I, Al, etc. Conforman los oligoelementos en enzimas, vitaminas y hormonas, además de mantener el equilibrio osmótico comportándose como iones. Están localizados principalmente en partes sólidas de los granos de uva: pepitas, películas y paredes celulopécticas de las células de la pulpa. Más de la mitad de las materias minerales del mosto está formada por sales potásicas. (Martínez, 2014)

2.5.1.5 Valor nutricional de la uva Moscatel de Alejandría

En la tabla 2.3, se muestran los valores nutricionales de la uva Moscatel de Alejandría.

Tabla 2.3*Cantidad nutricional de la uva Moscatel de Alejandría por cada ración*

| Valor nutricional | Por ración | Unidad |
|-------------------------|------------|--------|
| Valor Calórico | 3 | Kcal |
| Grasas | <0.1 | g |
| Grasas saturadas | 0,0 | g |
| Grasas mono insaturadas | 0,0 | g |
| Grasas poliinsaturadas | 0,0 | g |
| carbohidratos | 0,8 | g |
| Azúcares | 0,0 | g |
| Proteínas | <0,1 | g |
| Fibra alimentaria | 0,2 | g |
| Colesterol | 0,0 | g |
| Sodio | <0,1 | g |
| Agua | 5,1 | g |

Fuente: Yazio, 2018

En la tabla 2.4, se muestran la cantidad de minerales contenido en la uva Moscatel de Alejandría.

Tabla 2.4.*Cantidad de minerales contenido en una ración de uva moscatel*

| Minerales | Por porción | Unidad |
|-----------|-------------|--------|
| Calcio | 2,2 | mg |
| Cobre | <0,1 | mg |
| Hierro | <0,1 | mg |
| Magnesio | 0,8 | mg |
| Manganeso | 0,1 | mg |
| Fosforo | 1,4 | mg |
| Potasio | 12,2 | mg |
| Selenio | 0,0 | mg |
| Zinc | <0,1 | mg |

Fuente: Yazio, 2018

2.6 Caracterización de los insumos utilizados en la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío

El insumo utilizado en la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío se describe a continuación:

2.6.1 Levadura de vinificación (*Saccharomyces cerevisiae*)

González & Ramón (2008) indican que “la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es la especie microbiana más importante en la transformación del mosto de uva en vino. Es la misma especie responsable de la producción del pan, la cerveza, los destilados alcohólicos, múltiples procesos fermentativos de productos naturales” (Pág. 1)

2.6.2 Nutriente para la levadura (fosfato de amonio con tiamina)

Se utilizan como cofactores en las reacciones enzimáticas. La importancia de las vitaminas y los nutrientes es particularmente evidente al comienzo de la fermentación y, por esta razón, también se denominan “factores de crecimiento”. Si consideramos el caso de la tiamina, se ha observado que la suplementación en el momento de la inoculación aumenta el número de células activas y la velocidad de fermentación. Las vitaminas y los nutrientes deben adicionarse justo después de la inoculación de la levadura. El requerimiento de estas sustancias es directamente proporcional al contenido de nitrógeno del mosto: cuanto mayor es el NFA (Nitrógeno Fácilmente Asimilable por la levadura), mayor es el número de células que se forman y mayor es la necesidad de vitaminas y micronutrientes. Para asegurar una absorción y utilización óptimas, es mejor añadir estos factores de crecimiento durante la rehidratación de la levadura. (Enartis, 2021)

2.6.3 Azúcar

Es una parte importante del proceso de fermentación en bebidas alcohólicas. Cuando las levaduras consumen el azúcar, comienza el proceso de fermentación, las levaduras "excretan" dióxido de carbono y alcohol como subproductos. Esta reacción genera gas, que es el responsable del crecimiento de la masa del pan, una acción necesaria para lograr productos panificados más aireados. También es responsable del contenido alcohólico del vino, ya que los azúcares de las uvas se utilizan para crear alcohol. (Ehow, 2021)

2.6.4 Agua Mía

El agua es una sustancia líquida desprovista de olor, sabor y color, que existe en estado más o menos puro en la naturaleza y cubre un porcentaje importante (71 %) de la superficie del planeta Tierra. Además, es una sustancia considerada como el solvente universal, pues la mayoría de las sustancias pueden disolverse en ella. Estas sustancias son polares y llamadas hidrófilas. (Dianelys et al; 2021)

El proceso de elaboración de agua purificada de mesa en “Agua Mia” se describe a continuación: Recepción de la materia prima, Pre-filtrado, filtrado, tanque alcalino, Lámpara UV, envasado y distribución (Agua Mía, 2021).

2.7 Tipo de proceso tecnológico utilizado para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío

A continuación, se describe los procesos tecnológicos utilizados para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío:

2.7.1 Proceso de fermentación

La fermentación responde a cualquier proceso donde sustancias orgánicas sufren cambios químicos con la finalidad de producir energía, generados exclusivamente en condiciones anaerobias (sin participación del oxígeno), ya que algunos microorganismos sólo viven en ausencia de oxígeno. La fermentación es un proceso catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbico, siendo el producto final un compuesto orgánico. Estos productos finales son los que caracterizan los diversos tipos de fermentaciones. (CEUPE, 2021).

Por su parte, desde una perspectiva microbiológica la fermentación responde a aquel proceso en el que microorganismos producen metabolitos (enzimas, etanol, butanol, acetona, ácidos orgánicos, entre otros) o biomasa (células microbianas), a partir de la utilización de sustancias orgánicas, en ausencia (anaerobia) o presencia de oxígeno (aerobia). (CEUPE, 2021).

2.7.2.1 Fermentación alcohólica

Este tipo de fermentación es un proceso biológico que se ejecuta mediante las levaduras y algunas clases de bacterias sin oxígeno. Algunos microorganismos actúan con la finalidad de procesar los hidratos de carbono, tales como la glucosa, la fructosa, la sacarosa y el almidón, entre otros y el resultado de esto es el alcohol etílico y dióxido de carbono. En la fermentación alcohólica las levaduras son las principales responsables de este proceso, en concreto las del género *Saccharomy Cescereviciae* (CEUPE, 2021)

La fermentación alcohólica, comienza después de que la glucosa entra en la celda. La glucosa se degrada en un ácido pyruvic. Este ácido pyruvic se convierte luego en CO₂ y etanol CH₃-CH₂-OH. Desde hace miles de años, la humanidad aprovechó este proceso para hacer pan, cerveza y vino. En estos tres productos se emplea el mismo microorganismo. (GARZÓN, 2018)

2.7.3 Proceso de destilación

La destilación es un proceso natural que consiste en variar la temperatura para separar de un líquido uno o más componentes que se encuentran juntos. La destilación se utiliza mucho en las industrias que refinan petróleo, para desalinizar agua, para producir licor, cerveza o vino, y producir muchos productos químicos que se utilizan en los hogares y fábricas (Rodríguez, 2015).

2.7.3.1 Tipo de destilación

A continuación se describe el tipo de destilación que se utilizó para la obtención del singani.

➤ Destilación al vacío

El proceso de ebullición comienza cuando la presión de vapor de un líquido o solución es igual a la presión externa o aplicada (a menudo la presión atmosférica). Así, si se reduce la presión aplicada, el punto de ebullición del líquido disminuye. Este

comportamiento ocurre porque para hervir se necesita una presión de vapor más baja, la cual se puede lograr a una temperatura más baja (Química, 2020)

Una destilación al vacío se realiza aplicando una fuente de vacío al adaptador de vacío de una destilación simple o fraccionada. Cuando la presión desciende dentro del aparato, las soluciones hierven a una temperatura más baja. El punto de ebullición de un líquido o de una solución disminuye cuando se reduce la presión en un aparato de destilación. Es útil poder predecir el punto de ebullición alterado dependiendo de la presión dentro del aparato (Química, 2020)

2.7.4 Equipo de destilación rota vapor

El Evaporador Rotatorio es un equipo de laboratorio que, como su nombre lo indica, evapora sustancias mediante el proceso de la destilación, para luego ser condensadas y posteriormente separados sus componentes uno a uno. La estructura básica de un Rota vapor se compone de una unidad de movimiento de rotación y elevación, un equipo de destilación, generalmente hecho de vidrio y una unidad de calefacción que normalmente es un baño termorregulador o baño María (Cromtek, 2018).

Por otro lado, los componentes de un Rota vapor son: Un matraz redondo para la recolección del material destilado, un equipo de vacío para reducir la presión interna del equipo, una columna de altura regulable, una columna de condensación en forma de espiral, una plancha de calefacción regulable, un segundo matraz redondo para la evaporación y un pedestal para el motor de rotación variable (Cromtek, 2018).

Al momento de utilizar el Rota vapor, se debe conocer de antemano los puntos de destilación y fusión de los analitos, para así no sobrecalentar el equipo. La muestra que se desea procesar se inserta en el matraz de evaporación, el cual está sumergido en agua, y se enciende el baño termorregulador y el sistema de rotación. Posterior a esto y mediante la bomba de vacío, se reduce la presión atmosférica, lo que permite que los solventes se separen del soluto y luego sean destilados en el tubo de condensación a baja temperatura y recolectados en el matraz correspondiente (Cromtek, 2018).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA
EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación “obtención de singani por el método de bidestilación al vacío”, se realizó en las instalaciones del Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA.); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.2 Tipo de intervención experimental del trabajo de investigación

El presente trabajo de investigación cuenta con una metodología para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío, utilizando una metodología experimental de laboratorio con el fin de desarrollar un producto en base de los siguientes métodos:

- Análisis físico de la uva Moscatel de Alejandría
- Análisis fisicoquímico y microbiológicos de la uva Moscatel de Alejandría
- Análisis de evaluación sensorial del singani
- Análisis del diseño factorial 2^3 de las variables en el proceso de fermentación
- Análisis fisicoquímicos del singani
- Operacionalización de las variables dependiente e independiente, en la obtención de singani.

3.3 Estructura epistemológica – metodológica

En la metodología se exponen las normas que hacen del proceder científico un proceder racional. En la epistemología se trata de encontrar el fundamento que dotara de valor a tales normas. Cuando estos dos aspectos de la investigación no están suficientemente claros se produce una pérdida de conciencia del investigador sobre las razones de su propio proceder (Moya, 2003)

3.3.1 Paradigma investigativo

Según Kuhn (1962) afirma que un paradigma “es un conjunto de suposiciones que mantienen interrelación respecto a la interpretación del mundo, además, el paradigma

sirve como una guía base para los profesionales dentro de su disciplina (Pág.10).Según Flores (2004) indica que un paradigma “engloba un sistema de creencias sobre la realidad, la visión del mundo, el lugar que el individuo ocupa en él y las diversas relaciones que esa postura permitiría con lo que se considera existente” (Pág.10)

3.3.2 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es un proceso sistemático, disciplinado y controlado y esta directamente relacionada a los métodos de investigación que son dos: método inductivo generalmente asociado con la investigación cualitativa que consiste en ir de los casos particulares a la generalización; mientras que el método deductivo, es asociado habitualmente con la investigación cuantitativa cuya característica es ir de lo general a lo particular. Considerando que la investigación educativa actual transita por dos enfoques generales: el cualitativo, cuantitativo y dando origen al enfoque mixto debido a su combinación (Panta, 2017).

3.3.3 Enfoque cuantitativo

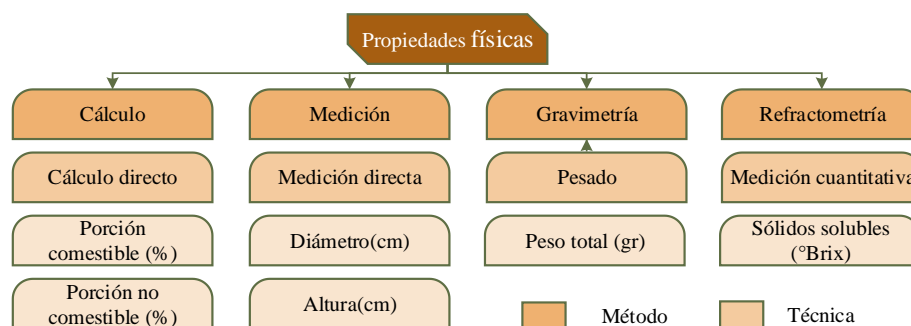
Se encarga de la abstracción que propone las matemáticas y el empirismo de la física y tiene como objetivo dar resultado. El enfoque cuantitativo tiene como finalidad representar la realidad como verdad, hallando claridad entre los elementos que conforman el problema (Revelles, 2016).

3.4 Métodos, Técnicas e instrumentos

Métodos y técnicas de investigación son fundamentales e indispensables para el desarrollo de un estudio de cualquier índole. Los métodos indican el camino que se seguirá y son flexibles, mientras que las técnicas muestran cómo se recorrerá ese camino y son rígidas. (Ramos, 2000)

3.4.1 Análisis físico de la uva Moscatel de Alejandría

En la figura 3.1, se muestran los análisis físicos de la uva Moscatel de Alejandría que se realizaron en el Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA).

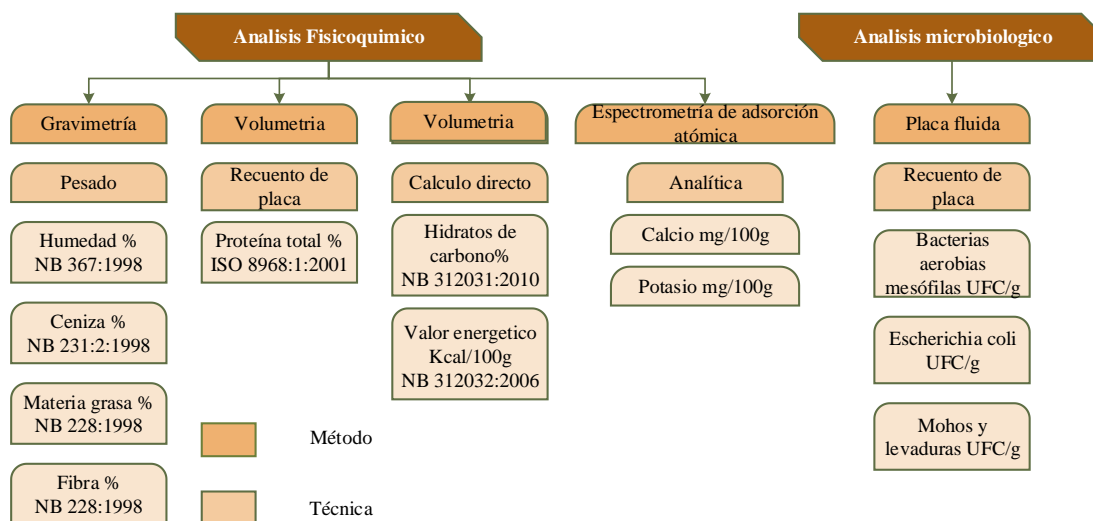


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1: Propiedades físicas de la uva Moscatel de Alejandría

3.4.2 Análisis fisicoquímico y microbiológico de la uva Moscatel de Alejandría

En la figura 3.2 se muestra los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la uva Moscatel de Alejandría que se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

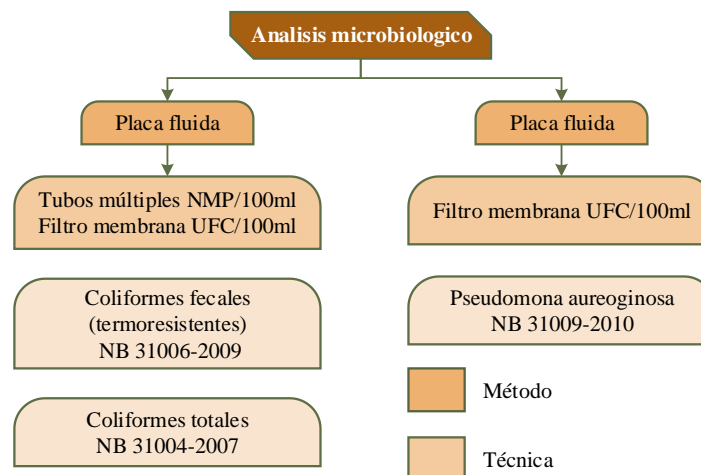


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.2: Análisis fisicoquímico y microbiológico de la uva Moscatel de Alejandría

3.4.3 Análisis microbiológico del Agua Mía

En la figura 3.3, se muestran los análisis microbiológicos del agua Mía que se utiliza para disminuir el grado alcohólico del singani, que se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

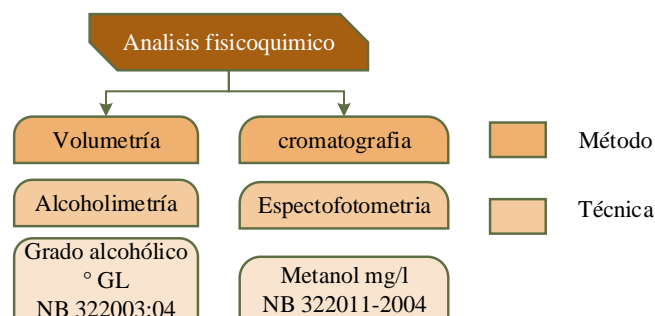


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.3: Análisis microbiológico del agua Mía

3.4.4 Análisis fisicoquímicos del singani

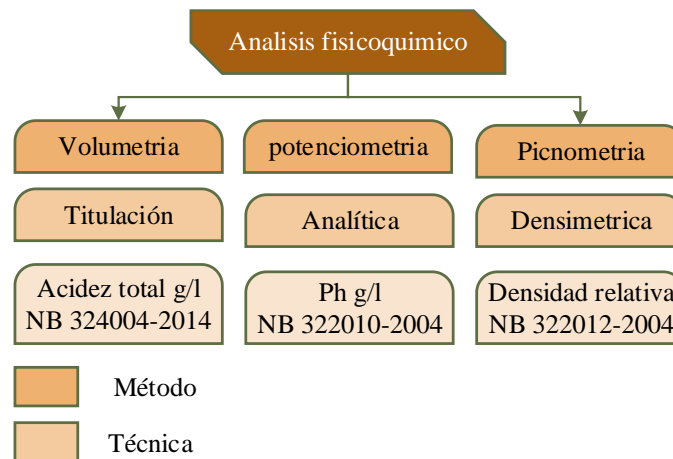
En la figura 3.4, se muestran los análisis fisicoquímicos del singani que se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.4: Análisis fisicoquímico del singani

En la figura 3.5, se muestran los análisis fisicoquímicos del singani que se realizaron en el Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



Fuente: LACIA, 2022

Figura 3.5: *Análisis fisicoquímico del singani*

3.4.5 Descripción de equipos, instrumentos y material de laboratorio y utensilios de cocina

Para el desarrollo de la parte experimental del trabajo de investigación, se utilizaron los distintos equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina que se detallan a continuación.

3.4.5.1 Descripción de equipos

Los equipos que se utilizaron en el presente trabajo de investigación obtención de singani por el método de bidestillación al vacío, se detallan en la figura 3.6

| Equipos | Freezer | Rota Vapor | Estrujadora y despalilladora | Cocina industrial | Balanza industrial de plataforma |
|---------------------------|--|--|---|---|--|
| Especificaciones Técnicas | Marca: Electro lux Modelo: H550 Consumo de energía mensual: 60,6 KW/h Potencia : 0,17 KW Voltaje : 220V Industria: Brasileria | Marca: Bucchi Modelo: R-100 Medidas: 617x698x502mm Consumo eléctrico: 30-1700 W Operación: Semiautomático Industria: Alemania | Marca: Machine Modelo: 80/4 Consumo eléctrico: 110-1400RPM Industria: Italia Opera a una temperatura: 5-45°C | Marca: Todo Inox.S.R. L Modelo: cocina de dos ornallas Material: Acero inoxidable Operación: Manual Industria: Boliviana | Marca: Cablematic Modelo: PN 23111618200129892 Material: Acero inoxidable Peso Max: 200kg Medidas: 70x33x20cm |

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.6: Descripción de equipos

3.4.5.2 Descripción de instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron para el desarrollo de la parte experimental en la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío, se detallan en la figura 3.7

| Equipos | Refractómetro | Balanza digital | Balanza analítica | Buretal Digital | pH-metro digital | Mostimetro |
|---------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Especificaciones Técnicas | Marca: atago Modelo: U-3503-80303 Medidas: 3,3x3,3x20,4 cm Precisión: 0,2 ^o Brix Rango: 0-33 ^o Brix Operación: manual Industria: Japón | Marca: RADWAG Modelo: PS 4500 R2 Precisión: 0,1g Rango: 4500g-0,5g Operación: Manual Industria: Poland | Marca: RADWAG Modelo: AS 310 R2 Operación: manual Precisión: 0,001g Industria : Polaca | Marca: JENCONS Modelo: Digitrate-PRO 50 Medidas: cm Precisión: 0.2 Rango: 0.01-50 ml Operación: Manual Industria: España | Marca: LAQUA Modelo: B08K0006 Rango: 0-14 Operación: Manual Industria: Japón | Marca: NAHITA Modelo: KLL001 Rango: 0-30 °Baume Longitud: 29cm Diametro: 1.7cm Operación: manual |

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.7: Instrumentos de laboratorio

3.4.5.3 Descripción de Materiales de laboratorio

En la tabla 3.1 se detalla el material de laboratorio, que se utilizaron en la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío

Tabla 3.1

Material de laboratorio

| Material | Capacidad | Unidad | Tipo de material | Cantidad |
|------------------------|-----------|---------|------------------|----------|
| Vasos de precipitación | 50 | ml | Vidrio | 4 |
| Probeta | 250 | ml | Plástico | 1 |
| Gotero | pequeño | pequeño | Plástico | 1 |
| Balón | 500 | ml | Vidrio | 2 |
| Termómetro | 100 | °C | Vidrio | 1 |
| Matraz Erlenmeyer | 250 | ml | Vidrio | 4 |
| Vernier | 200 | mm | Acero inoxidable | 1 |
| Pipetas | 10 | ml | Vidrio | 2 |
| Piceta | mediana | mediana | Plástico | 1 |
| Picnómetro | 50 | ml | Vidrio | 1 |
| Embudo | pequeño | pequeño | Plástico | 1 |

Fuente: Elaboración propia

3.4.5.4 Utensilios de cocina

En la tabla 3.2, se detalla los utensilios de cocina que se utilizaron en la que se utilizaron en la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío.

Tabla 3.2

Utensilios de cocina

| Material | Capacidad | Tipo de material | Unidad |
|-------------|-----------|------------------|--------|
| Cuchillos | mediano | Acero inoxidable | 2 |
| Cucharas | medianas | Acero inoxidable | 2 |
| Cucharillas | pequeñas | Acero inoxidable | 2 |
| Fuentes | medianos | Plástico | 5 |
| Baldes | medianos | Plástico | 4 |
| Colador | mediano | Acero plástico | 2 |
| Jarras | medianas | Plástico | 4 |
| Tacho | grande | Plástico | 1 |
| Frascos | medianos | Vidrio | 16 |
| Olla | mediana | Acero inoxidable | 1 |
| Cucharón | mediano | Plástico | 1 |
| Escobillo | mediano | Metal | 1 |

Fuente: Elaboración propia

3.5 Insumos alimenticios y reactivos químicos

La materia prima, insumos y reactivos que se utilizaron para el presente trabajo de investigación obtención de singani por el método de bidestilación al vacío se detalla a continuación:

3.5.1 Insumos alimenticios

En la tabla 3.3, se describen los insumos alimenticios utilizados para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío.

Tabla 3.3

Descripción de insumos alimenticios

| Insumos | Procedencia | Marca |
|---|-------------|---------|
| Azúcar | Bermejo | Bermejo |
| Agua embotellada | Tarija | Mía |
| Levadura(<i>Saccharomyces cerevisiae</i>) | Francia | Laffort |
| Nutriente(fosfato de amonio con tiamina) | Francia | Laffort |

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Reactivos químicos

En la tabla 3.4, se describe los reactivos químicos que fueron utilizados para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío.

Tabla 3.4

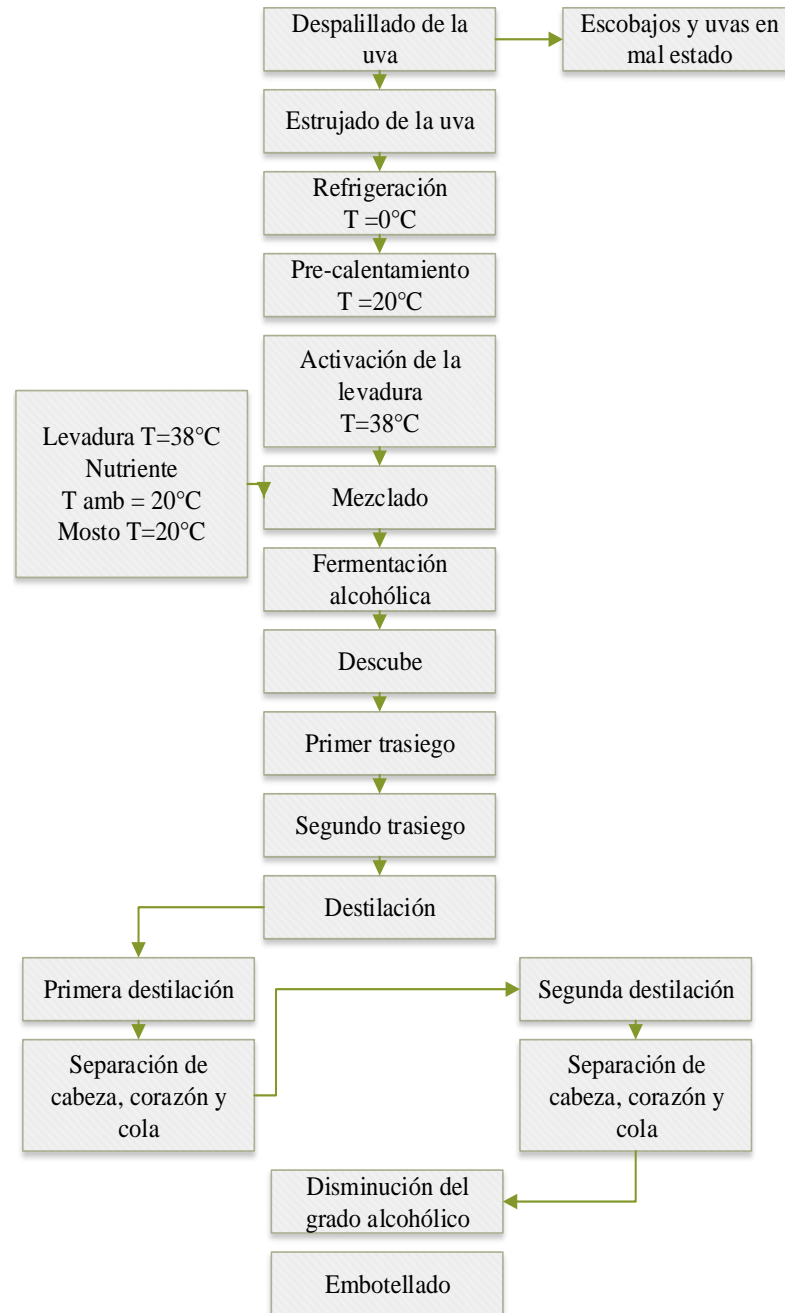
Descripción de reactivos químicos

| Reactivos | Procedencia | concentración |
|--------------------|-------------|---------------|
| Hidróxido de sodio | Boliviana | 0,1N |
| Azul de bromotimol | Boliviana | 4% |
| Alcohol etílico | Boliviana | 70% |

Fuente: Elaboración propia

3.6 Diagrama de flujo del proceso de obtención de singani por el método de bidespilación al vacío

En la figura 3.8, se muestra el proceso experimental de la obtención de singani por el método de bidespilación al vacío.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8: Diagrama del proceso de obtención de singani

3.6.1 Descripción del proceso de obtención de singani por el método de bidestilación al vacío

La descripción del proceso de obtención de singani por el método de bidestilación al vacío, se detalla a continuación según el diagrama de flujo de la figura 3.7

Despalillado de la uva

En la Figura 3.9, se muestra el proceso de despalillado de la uva, se realizó manualmente separando los escobajos de los granos de uva, con el fin de facilitar el proceso de molienda.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9: Despalillado

Estrujado de la uva

En la figura 3.10, se muestra el proceso de estrujado de la uva que se utilizó una estrujadora eléctrica que contiene un rodillo sin fin y cumple la función de destruir el grano fraccionándolo en pequeñas partes para facilitar el proceso de fermentación obteniendo así un mosto que luego fue refrigerado a una temperatura de 0°C en un equipo de refrigeración freezer.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.10: Estrujado

Refrigeración

En la figura 3.11, se muestra el proceso de refrigeración, se colocó la muestra a una temperatura de 0°C en un equipo de refrigeración freezer.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.11: Refrigeración

Pre- calentamiento

En la figura 3.12, se muestra el proceso de pre- calentamiento del mosto que se realizó a baño maría, lo cual el agua se calienta a una temperatura de 86°C y se transfiere calor al mosto, se efectuó en una fuente de plástico controlando la temperatura hasta que ascienda a los 20 ° C.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.12: Pre-calentamiento

Activación de la levadura

En la figura 3.13, se realizó la activación de la levadura pesando los insumos en una balanza digital levadura (8,62%), azúcar (5,17%) y agua (86,21%), luego se procedió a mezclar los insumos añadiendo agua a una temperatura de 38°C se dejó reposar durante 20 minutos hasta que las levaduras se activen.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.13: Activación de las levaduras

Mezclado

En la figura 3.14, se incorporó al mosto la levadura activada (0,47%) y el nutriente (0,23%), se procedió a mezclar los insumos con un cucharón de plástico para luego colocar en los frascos de 3 litros y proceder con el proceso de fermentación alcohólica.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.14: Mezclado

Fermentación Alcohólica

En la figura 3.15, se muestra el proceso de la fermentación alcohólica se llevó a cabo en un frasco de vidrio a una temperatura de 19 a 25° C por un tiempo de 8 días, se realizó la determinación de pH, °Brix, Densidad relativa, °Baume; hasta que el ° Baume llegue a su valor de 0. El recipiente contenía un conducto por el cual era liberado el CO₂ producido por el proceso de fermentación.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.15: Fermentación

Descube

En la figura 3.16, se muestra el proceso de descube se realizó la separación de la parte sólida (hollejo) a la parte líquida (jugo de uva fermentada) con la ayuda de un colador de plástico, la parte líquida fue colocada en botellas de vidrio tapada con corcho y la parte sólida fue desechada.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.16: Descube

Primer trasiego

En la figura 3.17, se procedió a dejar reposar el jugo de uva fermentado durante 2 días, para luego trasladarlo a otra botella de vidrio de 750ml, con la finalidad de separar la borra y que el vino este más claro.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.17: 1er trasiego

Segundo trasiego

En la figura 3.18, se procedió a dejar reposar el jugo de uva fermentado por 1 día, para luego trasladarlo en otra botella de vidrio de 750ml, con la finalidad de separar la borra que queda en la superficie de la botella con este segundo trasiego ya no contiene mucha borra.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.18: 2do trasiego

Primera destilación

En la figura 3.19, se muestra el proceso de la primera destilación que se llevó a cabo en el equipo al vacío rota vapor Bucchi R-100, por un tiempo de 1,32 a una presión de 100torr, la temperatura del refrigerante a 12°C y la temperatura del baño maría a 68°C este equipo realiza una destilación al vacío en menor tiempo, se procedió a separar la cabeza, cola y el cuerpo del singani.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.19: 1ra destilación

Segunda destilación

En la figura 3.20 se muestra el proceso de la segunda destilación, donde la parte extraída (corazón) de la primera destilación se vuelve a destilar y se llevó a cabo en el equipo al vacío rota vapor Bucchi R-100, por un tiempo de 0,37h a una presión de 80 torr, la temperatura del refrigerante a 12°C y la temperatura del baño maría a 68°C



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.20: 2da destilación

Disminución del grado alcohólico

En la figura 3.21 se muestra la disminución del grado alcohólico del singani se inició este proceso determinando el grado alcohólico del singani por el método de picnometría a 56 °GL, se elaboró una disminución del grado alcohólico añadiendo agua purificada (Mía) hasta llegar a los 38 °GL.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.21: *disminución del grado alcohólico*

Embotellado

En la figura 3.22 se muestra el tipo de botella de vidrio transparente para ver la limpidez del singani con un corcho tipo tapón

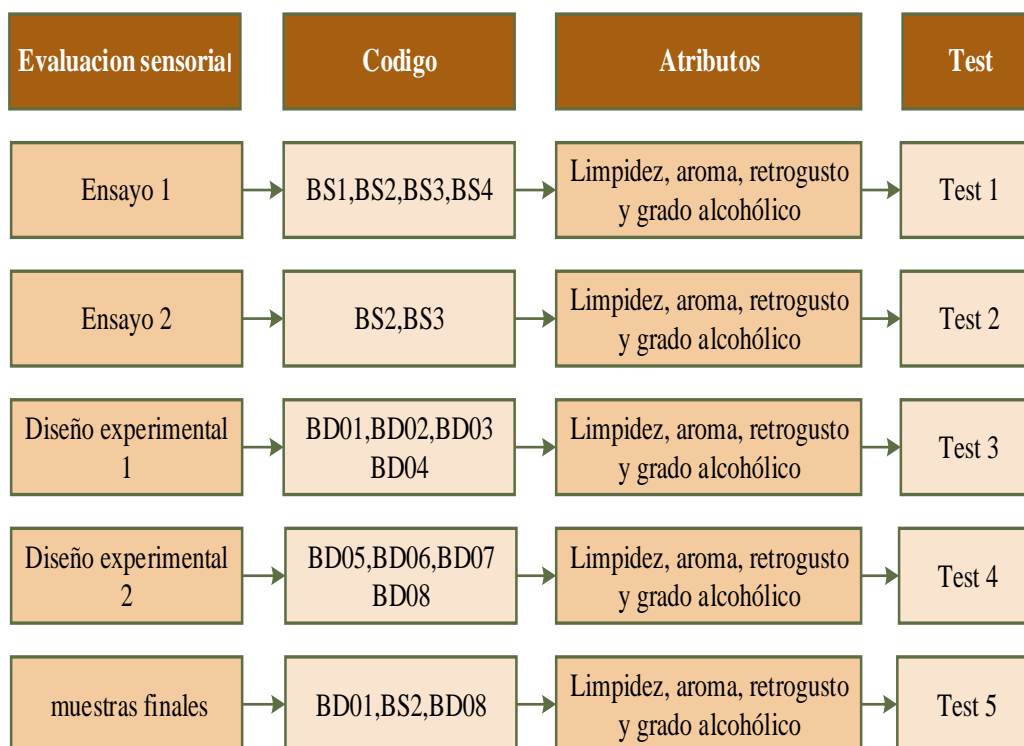


Fuente: Elaboración propia
Figura 3.22: *Embotellado*

3.7 Evaluación sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria del ser humano, acepta o rechaza los alimentos de acuerdo con la sensación que experimenta al observarlos y/o ingerirlos. De una forma general, el análisis sensorial puede definirse como el conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos por uno o más de los sentidos humanos. El propósito de la evaluación sensorial es medir las propiedades sensoriales y determinar la importancia de estas, con el fin de predecir la aceptabilidad del consumidor (INCAP, 2020).

En la figura 3.23, se detalla las evaluaciones sensoriales realizadas para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío con el fin de obtener propiedades organolépticas adecuadas para el producto final.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.23: Evaluación sensorial del singani

3.8 Diseño experimental

El diseño experimental es una técnica estadística. Esta consiste en manipular intencionalmente la variable independiente de un modelo para observar y medir sus efectos en la variable dependiente busca determinar el impacto en una variable como consecuencia de modificar otra variable. Esto, dentro de un proceso o estudio estadístico. (Westreicher, 2021)

3.9 Diseño factorial 2^3

Son denominados diseño factorial 2^k los diseños en los cuales cada uno de los factores cuenta con dos niveles, es decir cuando se realiza un experimento con un número de factores k en el que cada uno de estos solo puede adoptar dos niveles. Estos niveles podrían ser cuantitativos o cualitativos y una réplica completa de tal diseño requiere que realizar 2^k combinaciones. Este diseño describe como realizar los experimentos de la forma más adecuada para conocer simultáneamente qué efecto

tienen k factores sobre una respuesta y descubrir si interaccionan entre ellos. Además, estos diseños presentan diferentes ventajas en relación a otros tipos de diseños (Fernández, 2020).

El diseño aplicado para el presente trabajo se detalla en la ecuación 3.1

$$2^k \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

2 = número de niveles

K = número de variables

En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión a ser aplicado:

$$Y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C - \beta_{AB} X_A X_B - \beta_{AC} X_A X_C - \beta_{BC} X_B X_C + \beta_{ABC} X_A X_B X_C \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

Y = Variable respuesta

β = Coeficientes de regresión

$X_A X_B X_C$ = Variables independientes (factores del diseño)

3.9.1 Diseño experimental para el proceso de fermentación en la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el diseño factorial de 3 factores durante el proceso de fermentación, como se muestra en la ecuación 3.3

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos/pruebas} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

En donde las variables propuestas y sus niveles de variación son los siguientes:

A= Cantidad de levadura (g) (A)=2 niveles

B= Cantidad de nutriente (g) (B)=2 niveles

C=Tiempo de fermentación (días) (C)=2 niveles

La matriz del diseño factorial aplicado en la etapa de fermentación alcohólica para la obtención de singani por el método de bidespilación al vacío conformada por tres variables reflejada en la tabla 3.5

Tabla 3.5

Matriz experimental en el proceso de fermentación alcohólica

| Combinaciones | Variables | | | Interacción | | | | Respuesta | |
|-----------------|-----------|---|---|-------------|----|----|-----|-----------------|-----------------|
| De tratamientos | A | B | C | AB | AC | BC | ABC | Y _{i1} | Y _{i2} |
| (1) | - | - | - | + | + | + | - | Y ₁ | Y ₁ |
| A | + | - | - | - | - | + | + | Y ₂ | Y ₂ |
| B | - | + | - | - | + | - | + | Y ₃ | Y ₃ |
| Ab | + | + | - | + | - | - | - | Y ₄ | Y ₄ |
| C | - | - | + | + | - | - | + | Y ₅ | Y ₅ |
| Ac | + | - | + | - | + | - | - | Y ₆ | Y ₆ |
| Bc | - | + | + | - | - | + | - | Y ₇ | Y ₇ |
| Abc | + | + | + | + | + | + | + | Y ₈ | Y ₈ |

Fuente: Elaboración propia

En donde:

Y_i= variable respuesta (Grado alcohólico)

Y_i= variable respuesta (pH)

Y_i= variable respuesta (Acidez volátil)

En la tabla 3.6, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel superior y nivel inferior), aplicado en la etapa de fermentación alcohólica conformado por tres variables: Cantidad de levadura (A), Cantidad de nutriente (B) y Tiempo de fermentación (C).

Tabla 3.6

Niveles de variación en el proceso de fermentación alcohólica

| Variables | Unidad | Nivel_superior | Nivel_inferior |
|----------------------------|--------|----------------|----------------|
| Cantidad de levadura (A) | gramos | 1,20 | 0,80 |
| Cantidad de nutriente (B) | gramos | 0,86 | 0,46 |
| Tiempo de fermentación (C) | días | 12 | 8 |

Fuente: Elaboración propia

3.10 Operacionalización de variables para la obtención de singani

En la tabla 3.8, se muestran la operacionalización de las variables dependientes e independientes para el desarrollo del presente trabajo obtención de singani por el método de bidestilación al vacío.

Tabla 3.8
Operacionalización de variables para la obtención de singani

| Hipótesis | Variable | | Definición de la variable | Indicadores | Unidad |
|---|------------------------|--|---|--|--------|
| La metodología experimental propuesta de fermentación alcohólica a ser empleada permitirá obtener singani por el método de bidestilación al vacío de calidad, para la provincia cercado | Variable independiente | Proceso de fermentación para la obtención del Bidestilado de singani | Fermentación alcohólica es una bioreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono. Las principales responsables de esta transformación son las levaduras (Vásquez, 2007) | Tiempo de fermentación | días |
| | | | | Cantidad de levadura y nutriente | g |
| | | | | Temperatura del ambiente al que fermenta | °C |
| | Variable dependiente | singani por el método de bidestilación al vacío | Destilado de uva que pasa por un proceso de fermentación alcohólica para luego aplicar un proceso de destilación que consiste en variar la temperatura para separar de un líquido uno o más componentes que se encuentran juntos (Rodríguez, 2015). | Acidez total | g/l |
| | | | | pH | g/l |
| | | | | Densidad relativa | – |
| | | | | Grado alcohólico | °GL |
| | | | | Metanol | mg/l |

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la uva Moscatel de Alejandría

Para la caracterización de la Uva Moscatel de Alejandría, se tomaron en cuenta los parámetros físicos, fisicoquímicos y microbiológicos, que se detallan a continuación:

4.1.1 Análisis físico de la uva Moscatel de Alejandría

En la figura 4.1, se observan las muestras de uva Moscatel de Alejandría utilizados para la obtención de singani, se realizó los siguientes análisis físicos: altura, diámetro, porción comestible, porción no comestible y sólidos solubles (° Brix)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Uva Moscatel de Alejandría

En la siguiente tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos de los análisis físicos de la uva Moscatel de Alejandría, que se determinaron aplicando las ecuaciones del cuadro G.1 (Anexo G) realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Tabla 4.1

Parámetros físicos de la uva Moscatel de Alejandría

| Muestras | Altura (cm) | Diámetro (cm) | Peso (g) | Porción comestible (%) | Porción no comestible (%) | Grados Brix |
|-----------|-------------|---------------|----------|------------------------|---------------------------|-------------|
| 1 | 2,6 | 2,0 | 6,93 | 89,32 | 10,68 | 21,0 |
| 2 | 2,0 | 1,8 | 4,61 | 87,42 | 12,58 | 24,0 |
| 3 | 2,3 | 1,7 | 5,70 | 88,77 | 11,23 | 21,0 |
| 4 | 2,5 | 2,1 | 7,00 | 88,86 | 11,14 | 19,0 |
| 5 | 2,2 | 1,9 | 4,94 | 89,68 | 10,32 | 21,5 |
| 6 | 2,4 | 2,0 | 6,30 | 89,84 | 10,16 | 21,0 |
| 7 | 2,4 | 1,9 | 5,44 | 92,83 | 7,17 | 18,0 |
| 8 | 2,1 | 1,7 | 4,67 | 88,65 | 11,35 | 20,0 |
| 9 | 1,8 | 1,6 | 3,69 | 86,72 | 13,28 | 23,0 |
| 10 | 1,8 | 1,7 | 4,16 | 87,98 | 12,02 | 21,8 |
| 11 | 1,7 | 1,6 | 3,72 | 87,9 | 12,1 | 20,0 |
| 12 | 2,4 | 1,9 | 6,71 | 84,65 | 15,35 | 21,5 |
| 13 | 2,2 | 1,8 | 5,76 | 89,58 | 10,42 | 22,0 |
| 14 | 1,9 | 1,7 | 4,37 | 90,39 | 9,61 | 22,0 |
| 15 | 2,1 | 2,0 | 4,54 | 61,67 | 38,33 | 22,0 |
| 16 | 2,3 | 1,8 | 5,44 | 88,6 | 11,4 | 21,0 |
| 17 | 2,0 | 1,8 | 5,28 | 89,77 | 10,23 | 21,0 |
| 18 | 2,1 | 1,9 | 6,00 | 85,00 | 15,00 | 20,8 |
| 19 | 2,4 | 1,9 | 6,76 | 87,27 | 12,73 | 21,0 |
| 20 | 1,8 | 1,5 | 3,28 | 87,80 | 12,20 | 23,0 |
| Σ | 43,0 | 36,3 | 105,3 | 1742,7 | 257,3 | 424,6 |
| \bar{x} | 2,15 | 1,81 | 5,27 | 87,13 | 12,86 | 21,23 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis físicos de la uva Moscatel de Alejandría y se determinó el promedio de los datos como ser: altura 2,15 cm; diámetro 1,81cm; peso 5,27 g; porción comestible (PC) 87,13%; porción no comestible (PNC) 12,86% y sólidos solubles (°Brix) 21,23.

4.1.2 Análisis fisicoquímico de la uva Moscatel de Alejandría

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímicos de la uva Moscatel de Alejandría que fueron extraídos del Anexo A.

Tabla 4.2

Parámetros fisicoquímicos de la uva Moscatel de Alejandría

| Parámetros | Unidad | Resultados |
|---------------------|-----------|------------|
| Calcio | mg/100g | 15,30 |
| Potasio | mg/100g | 190 |
| Humedad | % | 74,32 |
| Ceniza | % | 0,51 |
| Materia grasa | % | 0,02 |
| Proteína total | % | 0,81 |
| Fibra | % | 0,17 |
| Hidratos de carbono | % | 24,17 |
| Valor energético | Kcal/100g | 100,1 |

Fuente: CEANID, 2022

4.1.3 Análisis microbiológico de la uva Moscatel de Alejandría

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la uva moscatel de Alejandría que fueron extraídos del Anexo A.

Tabla 4.3

Análisis microbiológico de la uva Moscatel de Alejandría

| Microorganismos | Unidad | Resultados |
|------------------------------|--------|------------------------|
| Bacterias aerobias mesófilas | UFC/g | $1,7 \times 10^5$ |
| Escherichia coli | UFC/g | $<1,0 \times 10^1$ (*) |
| Mohos y levaduras | UFC/g | $4,4 \times 10^4$ |

Fuente: CEANID, 2022 (*) No se observa el desarrollo de colonias

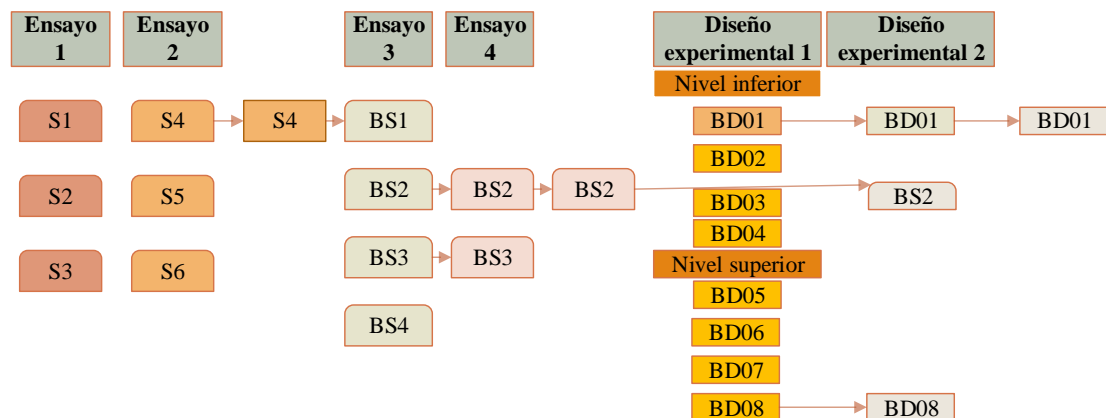
En la tabla 4.3, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la uva Moscatel de Alejandría que presenta: Bacterias aerobias mesófilas $1,7 \times 10^5$ UFC/g, Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y levaduras $4,4 \times 10^4$ UFC/g.

4.2 Caracterización de las variables del proceso de fermentación alcohólica para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío

Para la caracterización de las variables del proceso de fermentación alcohólica en la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío. Se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

4.2.1 Ensayos de muestras para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío

Para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación obtención de singani por el método de bidestilación al vacío, se procedió a desarrollar distintos ensayos con el fin obtener una metodología experimental para lo cual, se tomó en cuenta las cantidades de insumos y tiempo de fermentación en base a (Bodega Juan Diablo, 2021). Para tal efecto, se procedió a desarrollar varios ensayos como ser: ensayo 1 (variación de presión y temperatura del equipo rota vapor), ensayo 2 (variación de cantidad de levadura vínifera), ensayo 3 (variación de cantidad de levadura, cantidad de nutriente y tiempo de fermentación), ensayo 4 (variación de cantidad de levadura, cantidad de nutriente y tiempo de fermentación), como se detalla en la figura 4.2



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Ensayos de muestra para la obtención de singani

4.2.2 Ensayo 1, variación de presión y temperatura del equipo rota vapor para la obtención de singani

Para realizar el ensayo 1, se desarrollaron cuatro muestras de singani (S1,S2,S3), con la finalidad de determinar la presión del destilado, presión del bidestilado, la temperatura del baño maría del equipo rota vapor en base a (Ruiz, H. 2010), lo cual se trabajará con los ensayos de (Figura 4.2), donde se procedió a variar la presión del destilado S1 (80torr), S2 (90torr), S3 (100torr), presión del bidestilado S1 (80torr), S2 (90torr), S3 (100torr) y la temperatura del baño maría S1(68°C), S2 (60°C), S3(70°C).

Tabla 4.4

Variación de presión y temperatura del baño maría del equipo rota vapor

| Código | Presión del destilado | Presión del Bidestilado | Temperatura del baño maría | Adición de levadura | Tiempo de fermentación |
|--------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|
| S1 | 80 torr | 80torr | 68 °C | 0.03% | 15 días |
| S2 | 90 torr | 90torr | 60 °C | 0.03% | 15 días |
| S3 | 100 torr | 100torr | 70 °C | 0.03% | 15 días |

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Ensayo 2, variación de cantidad de levadura, para la obtención de singani

Para elaborar el ensayo 2, se tomaron en cuenta los datos obtenidos de presión del destilado S3 (100torr), presión del bidestilado S1 (80torr) y temperatura del baño maría S1 (68°C) del ensayo 1 (Tabla 4.4), donde se hizo variar la cantidad de levadura añadida para el proceso de fermentación alcohólica S4 (0.030%, 0.040% y 0.060%) como se muestra en la tabla 4.5

Tabla 4.5

Variación de cantidad de levadura Enyaso 2

| Código | Presión del destilado | Presión del Bidestilado | Temperatura del baño maría | Adición de levadura | Tiempo de fermentación |
|--------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|
| S4 | 100 torr | 80torr | 68 °C | 0,030% | 15 días |
| S5 | 100 torr | 80torr | 68 °C | 0,040% | 15 días |
| S6 | 100 torr | 80torr | 68 °C | 0,060% | 15 días |

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Ensayo 3, variaciones de insumos y tiempo de fermentación, de pruebas preliminares en la obtención de singani

Para realizar el ensayo 3, se procedió a preparar cuatro muestras con diferentes cantidades de levadura BS1 (0,030%), BS2 (0,050%), BS3 (0,066%) y BS4 (0,043%); cantidad de nutriente BS1 (0,030%), BS2 (0,033%), BS3 (0,075%) y BS4 (0,059%) y tiempo de fermentación BS1 (15 días), BS2 (10 días), BS3 (13 días) y BS4 (12 días), tomando en cuenta los datos de presión, temperatura del baño maría de los ensayos 1 (Tabla 4.5). La temperatura a la que se trabajó es ambiente en un intervalo de (19 a 28°C). En la figura 4.6 se muestra la variación de las distintas variables de las muestras preliminares.

Tabla 4.6

Variaciones de insumos y tiempo de fermentación Ensayo 3

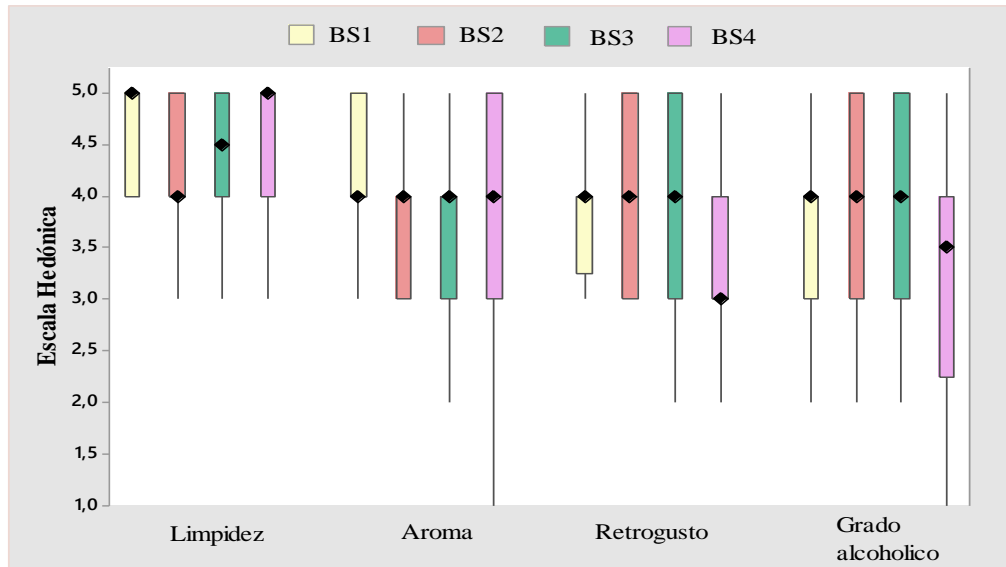
| Código | Adición de levadura | Adición de nutriente | Tiempo de fermentación |
|--------|---------------------|----------------------|------------------------|
| BS1 | 0,030% | 0,030% | 15 días |
| BS2 | 0,050% | 0,033% | 10 días |
| BS3 | 0,066% | 0,075% | 13 días |
| BS4 | 0,043% | 0,059% | 12 días |

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 4.6, las muestras BS1, BS2, BS3 y BS4 de las pruebas preliminares fueron evaluadas sensorialmente por 20 jueces con una escala hedónica de cinco puntos en donde se evaluaron los atributos limpidez, aroma, retrogusto y grado alcohólico para determinar la muestra final del singani.

4.2.4.1 Estadístico caja y bigote en la Variación de insumos y tiempo de fermentación de las pruebas preliminares de la obtención de singani

En la figura 4.3 se muestran los datos estadísticos de caja y bigote para las pruebas preliminares del Bidestilado de singani



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Caja y bigote para las pruebas preliminares del singani por el método de bidestilación al vacío

En la figura 4.4, se puede observar los resultados obtenidos de la caja y bigote de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas, para los atributos retrogusto 4(BS2 y BS3) y grado alcohólico 4(BS2 y BS3), las muestras más relevantes fueron BS2 y BS3 porque presentan una mediana de puntuaciones mayor a la relación de las demás muestras que dieron una puntuación menores a 4.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza extraídos de las tablas, tabla C.2.1, tabla C.2.3, tabla C.2.8 de los atributos (limpidez, aroma y grado alcohólico), se observó que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo cual se acepta la hipótesis planteada y no existe diferencia significativa entre los tratamientos para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.2.4.1.1 Cuadro estadístico de Tukey para el atributo retrogusto de las pruebas preliminares de la obtención de singani

En la tabla 4.7, Se muestran los resultados obtenidos del análisis estadístico de Tukey, datos que fueron extraídos de la tabla (C.2.7) Anexo (C.2) para el atributo retrogusto

Tabla 4.7

Estadístico Tukey para el atributo retrogusto

| Tratamientos | Diferencias | DMS | Significancia |
|--------------|-------------|------|------------------|
| BS2-BS3 | 0,0 | 0,68 | No significativo |
| BS2-BS1 | 0,2 | 0,68 | No significativo |
| BS2-BS4 | 0,8 | 0,68 | Significancia |
| BS3-BS1 | 0,2 | 0,68 | No significativo |
| BS3-BS4 | 0,8 | 0,68 | Significancia |
| BS1-BS4 | 0,6 | 0,68 | No significativo |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.7, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras BS2-BS4, BS3-BS4, sin embargo, para las muestras BS2-BS3, BS2-BS1, BS3-BS1, BS1-BS4, no existen diferencias significativas para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.2.5 Ensayo 4, variaciones de insumos y tiempo de fermentación, de pruebas preliminares

Para realizar el ensayo 4, se procedió a preparar dos muestras BS2 y BS3 que fueron evaluadas y elegidas por los jueces, para determinar la muestra final de las pruebas preliminares con diferentes cantidades de levadura BS2 (0,57%), BS3 (0,74%); cantidad de nutriente BS2 (0,35%), BS3 (0,81%) y tiempo de fermentación BS2 (10 días), BS3 (13 días), como se detalla en la tabla 4.8

Tabla 4.8

Variaciones de insumos y tiempo de fermentación, Ensayo 4

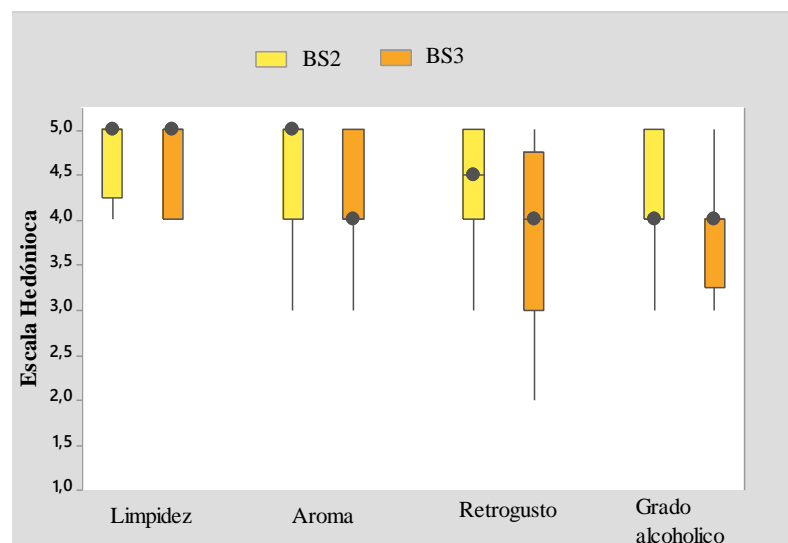
| Código | Adición de levadura | Adición de nutriente | Tiempo de fermentación |
|--------|---------------------|----------------------|------------------------|
| BS2 | 0,050% | 0,033% | 10 días |
| BS3 | 0,066% | 0,075% | 13 días |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.8, las muestras BS2 y BS3 que fueron evaluadas por 20 jueces en una escala de cinco puntos donde se evaluaron los atributos limpidez, aroma, retrogusto y grado alcohólico para elegir la muestra ideal de las pruebas preliminares.

4.2.5.1 Estadístico caja y bigote en la variación de insumos y tiempo de fermentación del ensayo 4 de la obtención de singani

En la figura 4.4, se muestran los datos estadísticos de caja y bigote para las pruebas preliminares del singani.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Caja y bigote para las pruebas preliminares ensayo 4

En la figura 4.4, se puede observar los resultados obtenidos de la caja y bigote de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas, para los atributos limpidez (5), aroma (5), la muestra más relevante fue BS2 por presentar una mediana de puntuación mayor a la relación de la muestra BS3.

4.2.6 Control de ° Brix, pH, densidad relativa y °Baume en el proceso de fermentación alcohólica en las pruebas preliminares del singani

Se realizó el control de los parámetros °Brix, pH, densidad relativa y °Baume en las pruebas preliminares, con la finalidad de controlar el proceso de fermentación

alcohólica de las muestras preliminares BS01, BS02, BSO3 y BS04 realizada durante 10 a 15 días de fermentación alcohólica.

4.2.6.1 Control de °Brix en la fermentación alcohólica del singani

En la tabla 4.9, Se muestran los resultados obtenidos de °Brix durante el tiempo de fermentación alcohólica, datos extraídos de (Tabla D.1) del (Anexo D), para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío utilizando el método de determinación de sólidos solubles detallada en el Anexo G.2.

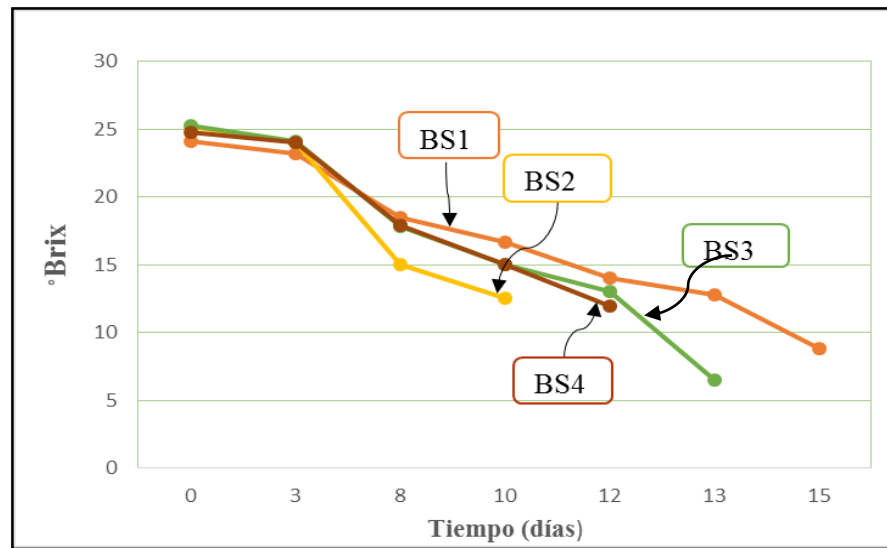
Tabla 4.9

Control de °Brix de las pruebas preliminares en la fermentación alcohólica

| Días de fermentación | °Brix | | | |
|----------------------|----------|------|------|------|
| | Muestras | | | |
| | BS1 | BS2 | BS3 | BS4 |
| 0 | 24,1 | 25,2 | 25,3 | 24,8 |
| 3 | 23,2 | 24,0 | 24,1 | 24,0 |
| 8 | 18,5 | 15,0 | 17,8 | 17,9 |
| 10 | 16,7 | 12,5 | 15,0 | 15,0 |
| 12 | 14,0 | - | 13,0 | 12,0 |
| 13 | 12,8 | - | 8,50 | - |
| 15 | 8,80 | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5, se muestra el control (°Brix) en el proceso de fermentación alcohólica para la obtención de singani, en base a los datos de la tabla 4.9.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Control °Brix en el proceso de fermentación alcohólica

En la figura 4.5, se puede observar que las pruebas preliminares (BS1, BS2, BS3, BS4) presentan un valor inicial de BS1 (24,1), BS2 (25,2), BS3 (25,3) y BS4 (24,8)°Brix, al transcurrir los 3 días de fermentación alcohólica los °Brix presentan un descenso, finalizando el tiempo de fermentación alcohólica las muestras presentan los valores de °Brix siguientes: en un tiempo de 10 días para la muestra BS2 (12,5), 12 días para la muestra BS4 (12), 13 días para la muestra BS3 (8,50) y 15 días para la muestra BS1 (8,80).

4.2.6.2 Control de pH en la fermentación alcohólica del singani

En la tabla 4.10, Se muestran los resultados obtenidos de pH durante el tiempo de fermentación alcohólica, datos extraídos de (Tabla D.2) del (Anexo D), para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío utilizando el método de potenciómetro detallada en el Anexo G.3.

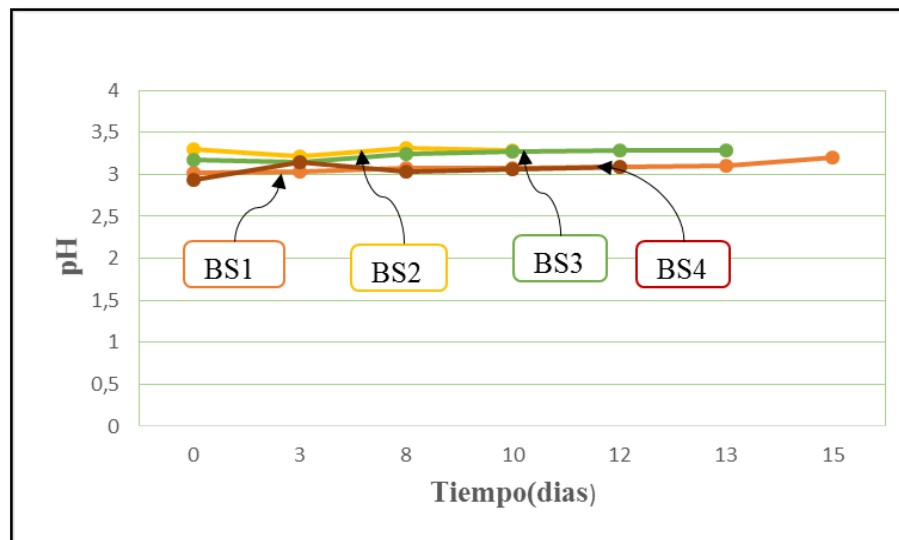
Tabla 4.10

Control de pH de las pruebas preliminares en la fermentación alcohólica

| Días de fermentación | pH | | | |
|----------------------|----------|------|------|------|
| | Muestras | | | |
| | BS1 | BS2 | BS3 | BS4 |
| 0 | 3,02 | 3,30 | 3,18 | 2,94 |
| 3 | 3,03 | 3,21 | 3,14 | 3,15 |
| 8 | 3,08 | 3,30 | 3,25 | 3,03 |
| 10 | 3,07 | 3,28 | 3,27 | 3,06 |
| 12 | 3,09 | - | 3,28 | 3,09 |
| 13 | 3,10 | - | 3,29 | - |
| 15 | 3,20 | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.6, se muestra el control de pH en el proceso de fermentación alcohólica para la obtención de singani, en base a los datos de la tabla 4.10.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Control de pH en el proceso de fermentación alcohólica

En la figura 4.6, se puede observar que las pruebas preliminares (BS1, BS2, BS3, BS4) presentan un valor inicial de BS1 (3,02), BS2 (3,30), BS3 (3,18) y BS4 (2,94) pH, al transcurrir los 3 días de fermentación alcohólica el pH presenta una fluctuación de valores, finalizando el proceso de fermentación alcohólica las muestras presentan los siguientes valores de pH: en un tiempo de 10 días para la muestra BS2 (3,28), 12 días para la muestra BS4 (3,09), 13 días para la muestra BS3 (3,29) y 15 días para la muestra BS1 (3,20).

4.2.6.3 Control de densidad relativa en la fermentación alcohólica del singani

En la tabla 4.11, Se muestran los resultados obtenidos de densidad relativa durante el tiempo de fermentación alcohólica, datos extraídos de (Tabla D.3) del (Anexo D), para la obtención de singani por el método de bidespilación al vacío utilizando el método de picnometría detallada en el Anexo G.4

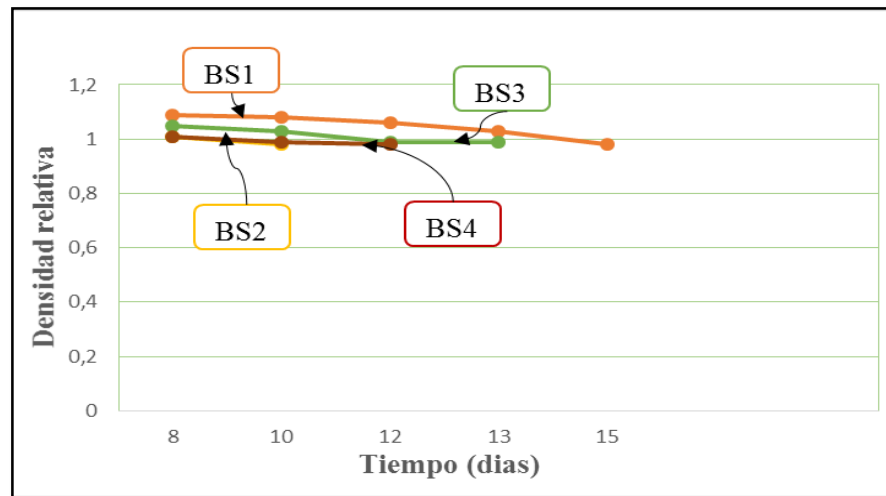
Tabla 4.11

Control de densidad relativa de las pruebas preliminares en la fermentación alcohólica

| Días de fermentación | Densidad relativa | | | |
|----------------------|-------------------|------|------|------|
| | Muestras | | | |
| | BS1 | BS2 | BS3 | BS4 |
| 0 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 3 | 1,10 | 1,03 | 1,08 | 1,08 |
| 8 | 1,09 | 1,01 | 1,05 | 1,01 |
| 10 | 1,08 | 0,98 | 1,03 | 0,99 |
| 12 | 1,06 | - | 0,99 | 0,98 |
| 13 | 1,03 | - | 0,99 | - |
| 15 | 0,98 | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.7, se muestra el control de densidad relativa en el proceso de fermentación alcohólica del singani en base a los datos de la tabla 4.11



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Control de densidad relativa en el proceso de fermentación

En la figura 4.7, se puede observar que las pruebas preliminares (BS1, BS2, BS3, BS4) presentan un valor inicial de BS1 (3,02), BS2 (3,30), BS3 (3,18) y BS4 (2,94) de densidad relativa, al transcurrir los 3 días de fermentación alcohólica la densidad relativa presenta un descenso de valores, finalizando el proceso de fermentación alcohólica las muestras presentan los siguientes valores de densidad relativa: en un tiempo de 10 días para la muestra BS2 (0,98), 12 días para la muestra BS4 (0,98), 13 días para la muestra BS3 (0,99) y 15 días para la muestra BS1 (0,98).

4.2.6.4 Control de °Baume en la fermentación alcohólica del singani

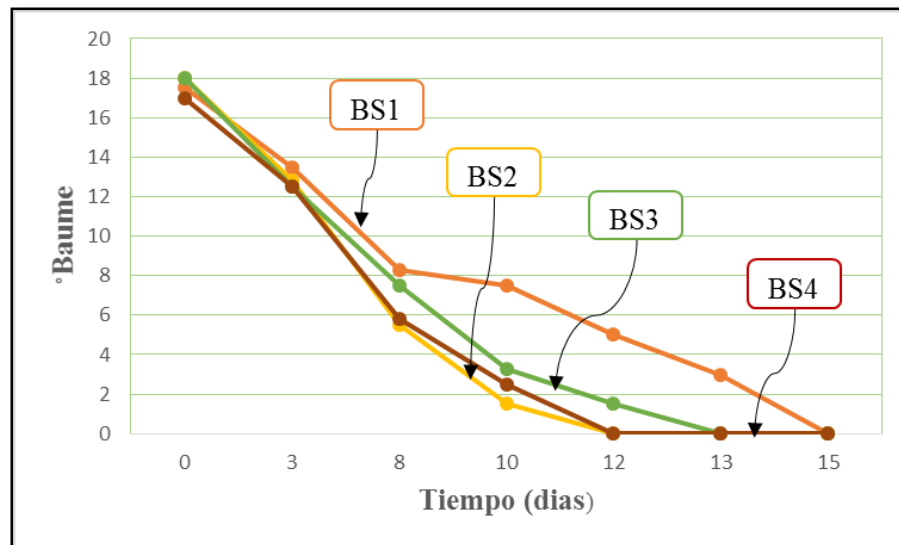
En la tabla 4.12, Se muestran los resultados obtenidos de °Baume durante el tiempo de fermentación alcohólica, datos extraídos de (Tabla D.4) del (Anexo D), para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío utilizando el mostímetro detallada en el Anexo G.7

Tabla 4.12**Control del °Baume de las pruebas preliminares en la fermentación alcohólica**

| Días de fermentación | °Baume | | | |
|----------------------|----------|------|------|------|
| | Muestras | | | |
| | BS1 | BS2 | BS3 | BS4 |
| 0 | 17,5 | 18,0 | 18,0 | 17,0 |
| 3 | 13,5 | 12,8 | 12,5 | 12,5 |
| 8 | 8,3 | 5,5 | 7,5 | 5,8 |
| 10 | 7,5 | 1,5 | 3,3 | 2,5 |
| 12 | 5,0 | - | 1,5 | 0,0 |
| 13 | 3,0 | - | 0,0 | - |
| 15 | 0,0 | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.8, se muestra el control de °Baume en el proceso de fermentación alcohólica del Bidestilado de singani en base a los datos de la tabla 4.12

**Fuente:** Elaboración propia**Figura 4.8: Control de °Baume en el proceso de fermentación alcohólica**

En la figura 4.8, se puede observar que las pruebas preliminares (BS1, BS2, BS3, BS4) presentan un valor inicial de BS1 (17,5), BS2 (18,0), BS3 (18,0) y BS4 (17,0) de °Baume, al transcurrir los 3 días de fermentación alcohólica los °Baume presenta un descenso de valores, finalizando con un valor de 0 el proceso de fermentación alcohólica.

4.2.7 Control de ° Brix, pH, densidad relativa y °Baume en el proceso de fermentación alcohólica para determinar la muestra ideal del singani

Se realizó un control de °Brix, pH, Densidad relativa y °Baume con la finalidad de controlar el proceso de fermentación alcohólica para determinar la muestra ideal de las muestras preliminares (BS2 y BS3).

4.2.7.1 Control de °Brix en la fermentación alcohólica para determinar la muestra ideal del singani

En la tabla 4.13, Se muestran los resultados obtenidos de °Brix durante el tiempo de fermentación alcohólica, datos extraídos de (Tabla D.5) del (Anexo D), para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío utilizando el método de potenciómetro detallada en el Anexo G.3

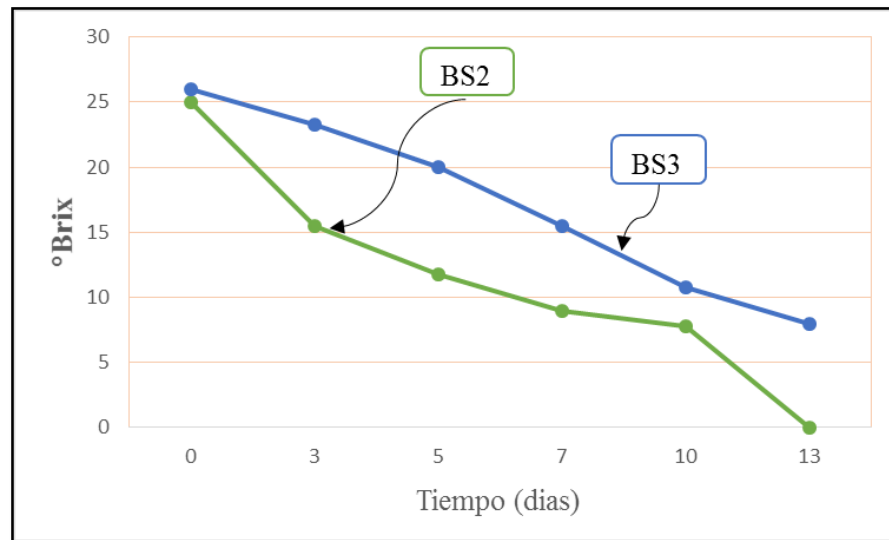
Tabla 4.13

Control de °Brix en la fermentación alcohólica

| Días de fermentación | °Brix | |
|----------------------|----------|------|
| | Muestras | |
| | BS2 | BS3 |
| 0 | 25,0 | 26,0 |
| 3 | 15,5 | 23,3 |
| 5 | 11,8 | 20,0 |
| 7 | 9,0 | 15,5 |
| 10 | 7,8 | 10,8 |
| 13 | - | 8,0 |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.9, se muestra el control °Brix de la muestra ideal en el proceso de fermentación alcohólica del singani en base a los datos de la tabla 4.13



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Control de °Brix para determinar la muestra ideal del singani

En la figura 4.9, se puede observar que las muestras (BS2, BS3) presentan un valor inicial de BS2 (25,0), BS3 (26,0) de °Brix, al transcurrir los 3 días de fermentación alcohólica los °Baume presenta un descenso de valores, finalizando con un valor de BS2 (7,8), BS3 (8,0) °Brix del proceso de fermentación alcohólica.

4.2.7.2 Control de pH en la fermentación alcohólica para determinar la muestra ideal del singani

En la tabla 4.14, Se muestran los resultados obtenidos de °Brix durante el tiempo de fermentación alcohólica, datos extraídos de (Tabla D.6) del (Anexo D), para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío utilizando el método de potenciómetro detallada en el Anexo G.3

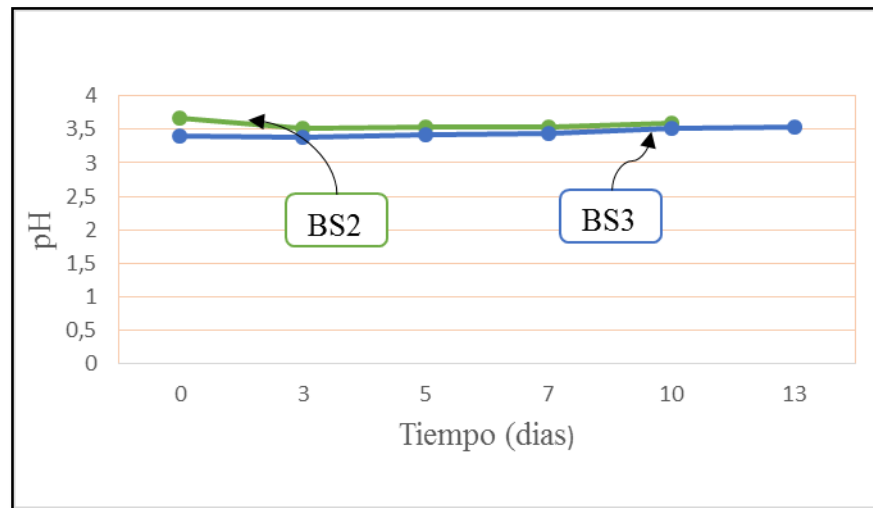
Tabla 4.14

Control de pH en la fermentación alcohólica

| Días de fermentación | pH | |
|----------------------|----------|------|
| | Muestras | |
| | BS2 | BS3 |
| 0 | 3,67 | 3,41 |
| 3 | 3,52 | 3,38 |
| 5 | 3,53 | 3,43 |
| 7 | 3,54 | 3,45 |
| 10 | 3,59 | 3,51 |
| 13 | - | 3,53 |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.10, se muestra el control de pH de la muestra ideal en el proceso de fermentación alcohólica del singani en base a los datos de la tabla 4.14



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Control de pH para determinar la muestra ideal del singani

En la figura 4.10, se puede observar que las muestras (BS2, BS3) presentan un valor inicial de BS2 (3,67), BS3 (3,41) de pH, al transcurrir los 3 días de fermentación alcohólica los valores de pH presenta una fluctuación, finalizando con un valor de BS2 (3,59), BS3 (3,53) en el proceso de fermentación alcohólica.

4.2.7.3 Control de densidad relativa en la fermentación alcohólica para determinar la muestra ideal del singani

En la tabla 4.15, Se muestran los resultados obtenidos de densidad relativa durante el proceso de fermentación alcohólica, datos extraídos de (Tabla D.7) del (Anexo D), para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío utilizando el método de picnometría detallada en el Anexo G.3

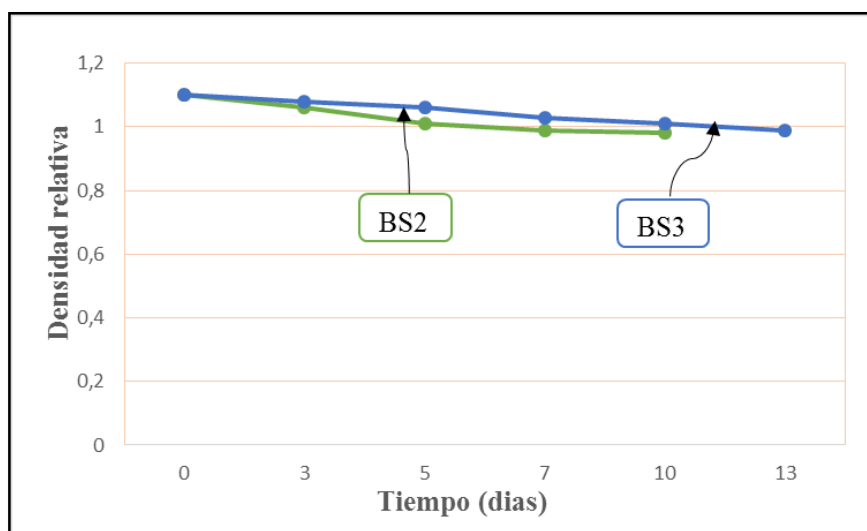
Tabla 4.15

Control de densidad relativa en la fermentación alcohólica

| Días de fermentación | Densidad relativa | |
|----------------------|-------------------|------|
| | Muestras | |
| | BS2 | BS3 |
| 0 | 1,10 | 1,10 |
| 3 | 1,06 | 1,08 |
| 5 | 1,01 | 1,06 |
| 7 | 0,99 | 1,03 |
| 10 | 0,98 | 1,01 |
| 13 | - | 0,99 |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.11, se muestra el control de la densidad relativa de la muestra ideal en el proceso de fermentación alcohólica del singani en base a los datos de la tabla 4.15



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Control de densidad relativa para determinar la muestra ideal del singani

En la figura 4.11, se puede observar que las muestras (BS2, BS3) presentan un valor inicial de (1,10) de densidad relativa, al transcurrir los 3 días de fermentación alcohólica la densidad relativa presenta un descenso de valores, finalizando con un valor de BS2 (0,98), BS3 (0,99) °Brix del proceso de fermentación alcohólica.

4.2.7.4 Control de °Baume en la fermentación alcohólica para determinar la muestra ideal del singani

En la tabla 4.16, Se muestran los resultados obtenidos de °Baume durante el proceso de fermentación alcohólica, datos extraídos de (Tabla D.8) del (Anexo D), para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío utilizando el mostímetro detallada en el Anexo G.7

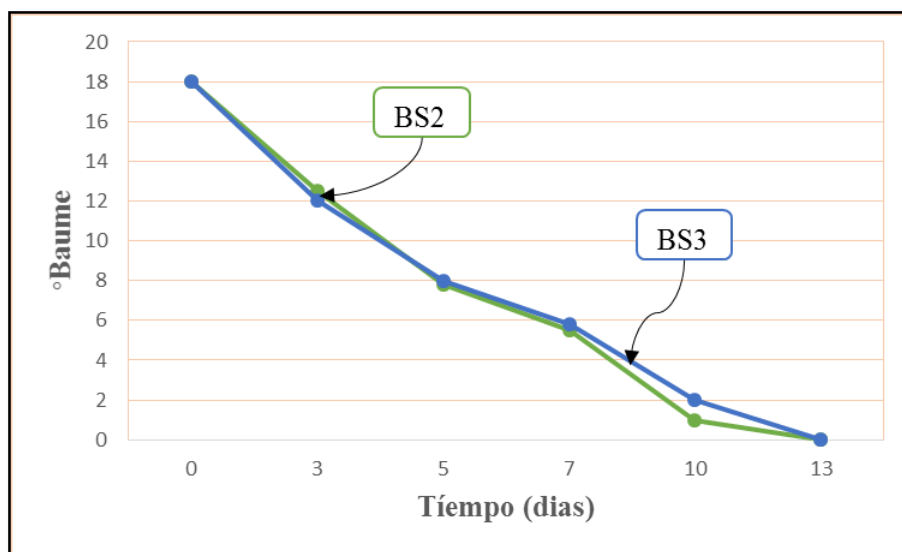
Tabla 4.16

Control de °Baume en la fermentación alcohólica

| Días de fermentación | °Baume | |
|----------------------|----------|------|
| | Muestras | |
| | BS2 | BS3 |
| 0 | 18,0 | 18,0 |
| 3 | 12,5 | 12,0 |
| 5 | 7,8 | 8,0 |
| 7 | 5,5 | 5,8 |
| 10 | 1,0 | 2,0 |
| 13 | - | 0,0 |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.12, se muestra el control de °Baume de la muestra ideal en el proceso de fermentación alcohólica de la obtención de singani en base a los datos de la tabla 4.16



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Control de °Baume para determinar la muestra ideal del Singani

En la figura 4.12, se puede observar que las muestras (BS2, BS3) presentan un valor inicial de BS2 (18,0), BS3 (18,0) de °Baume, al transcurrir los 3 días de fermentación alcohólica los valores de °Baume presenta un descenso, finalizando con un valor de BS2 (1,0), BS3 (0,0) en el proceso de fermentación alcohólica.

4.3 Diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica en la obtención de singani

En base a la formulación de la muestra BS2, se procedió experimentalmente a realizar el diseño factorial 2^3 , en la etapa de fermentación alcohólica para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío, en el cual se tomó como variables respuestas; grado alcohólico, pH y acidez volátil.

4.3.1 Variable respuesta del grado de alcohol del singani

En la tabla 4.17, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2^3 del programa StatGraphics (Centurión XVI) para Windows, donde la variable respuesta es el grado alcohólico datos extraídos de la (Tabla F.1) del (Anexo F). Para

la determinación del grado alcohólico se utilizó el método de picnometría datos extraídos (Anexo G.5) del (Anexo G).

Tabla 4.17

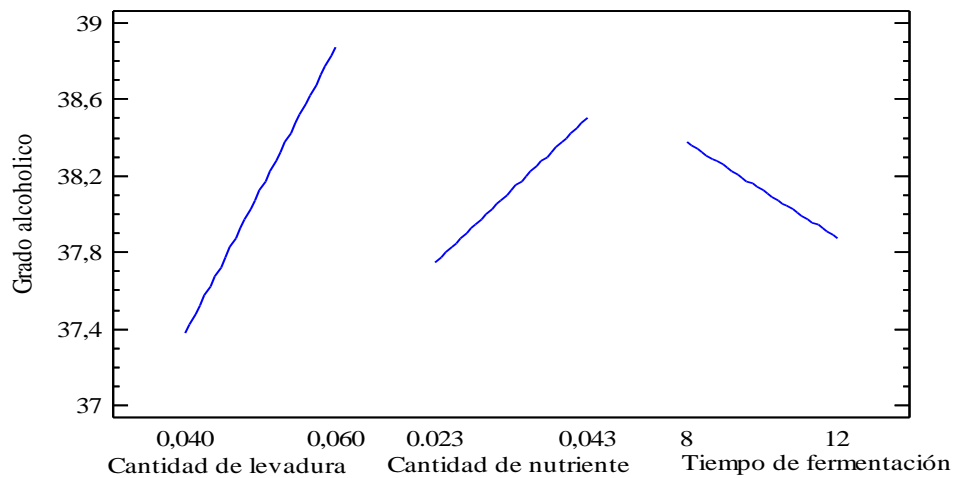
Análisis de varianza de la variable respuesta Grado alcohólico

| Fuente de variación (FV) | Suma de Cuadrados (SC) | Grados de libertad (GL) | Media de cuadrados (CM) | F cal | F tab |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|--------|
| A:Cantidad de levadura | 9,00 | 1 | 9,00 | 22,91 | 0,0020 |
| B:Cantidad de nutriente | 2,25 | 1 | 2,25 | 5,73 | 0,0479 |
| C:Tiempo de fermentación | 1,00 | 1 | 1,00 | 2,55 | 0,1546 |
| AB | 1,00 | 1 | 1,00 | 2,55 | 0,1546 |
| AC | 12,25 | 1 | 12,25 | 31,18 | 0,0008 |
| BC | 9,00 | 1 | 9,00 | 22,91 | 0,0020 |
| ABC | 0,25 | 1 | 0,25 | 0,64 | 0,4512 |
| Error total | 2,75 | 7 | 0,39 | - | - |
| Total | 37,75 | 15 | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis detallado en la tabla 4.17, se puede observar que para los factores A (cantidad de levadura), B (cantidad de nutriente), C (tiempo de fermentación), AB (cantidad de levadura-cantidad de nutriente), AC (cantidad de levadura-tiempo de fermentación), BC (cantidad de nutriente-tiempo de fermentación) y interacción ABC (cantidad de levadura-cantidad de nutriente- tiempo de fermentación), si existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada en el proceso de fermentación alcohólica para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

En la figura 4.13, se puede observar los efectos principales con relación al grado alcohólico.

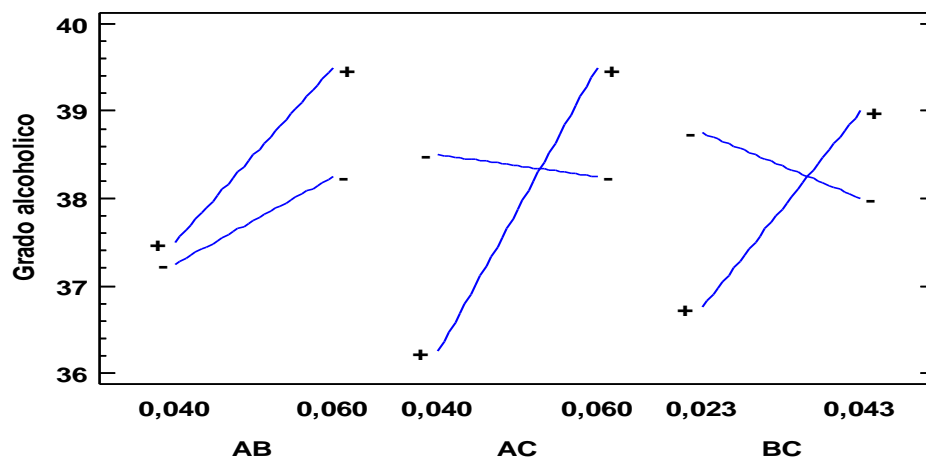


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Efectos principales con relación al grado alcohólico

Según la figura 4,13, se observa que los factores cantidad de levadura (0,80-1,20) g y cantidad de nutriente (0,46-0,86)g, influyen significativamente en la variable respuesta del grado alcohólico (GL); en comparación con el factor tiempo de fermentación (8-12) días no influyen significativamente en un nivel alto y bajo en la variable respuesta del grado alcohólico.

En la figura 4.14, se muestra la gráfica de interacciones con relación al grado alcohólico

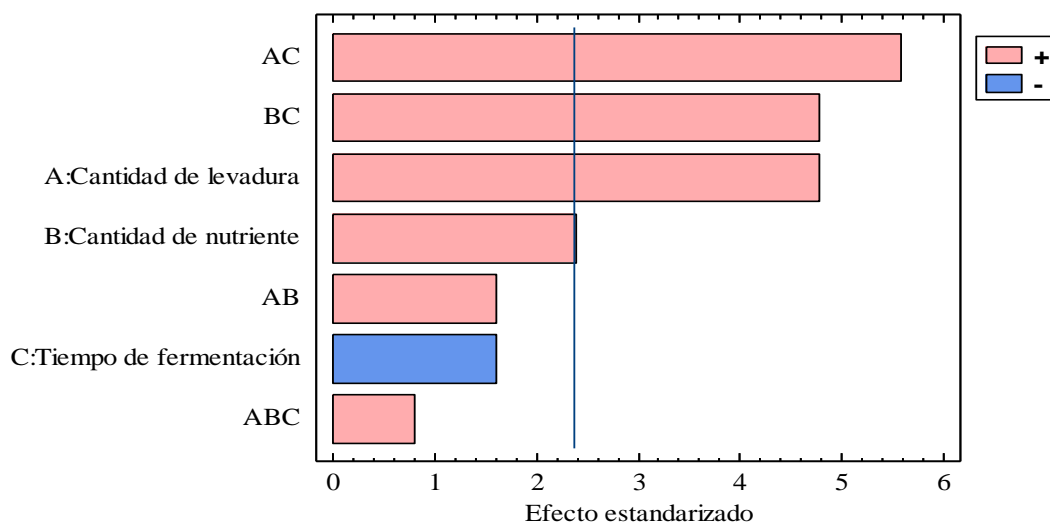


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Interacción de factores para el grado alcohólico

Según la figura 4.14, se puede observar que la interacción AB(cantidad de levadura – cantidad de nutriente) , para un factor A de (0,80)g la cantidad de nutriente no afecta significativamente debido a que el grado alcohólico no cambia en su nivel alto y bajo ;sin embargo, cuando aumenta la cantidad de levadura (1,20)g se ve afectado significativamente cuando la cantidad de nutriente se encuentra en su nivel bajo y alto. Por otro lado la interacción AC(cantidad de levadura-tiempo de fermentación) es significativa debido a que los factores se relacionan entre si, para una cantidad de levadura de (1,20) el grado alcohólico es mínimo cuando el factor B(cantidad de nutriente) se encuentra en su nivel bajo y alto, sin embargo a una cantidad de levadura de (0,80)g su grado alcohólico se ve afectado .Así mismo la interacción BC(cantidad de nutriente-tiempo de fermentación) son significativas ya que los factores de las variables se interaccionan entre si.

En la figura 4.15, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores analizados para el grado alcohólico, en consecuencia, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia indican que son significativos para un nivel de confianza de $\alpha=0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Diagrama de Pareto estandarizado para el grado alcohólico

En la figura 4,15, se observa los factores: cantidad de levadura(A), cantidad de nutriente (B) Y las interacciones cantidad de levadura- tiempo de fermentación (AC), cantidad de levadura- tiempo de fermentación (BC), son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.; en comparación con el factor cantidad de nutriente(C) y las interacciones cantidad de levadura-cantidad de nutriente(AB), cantidad de levadura-cantidad de nutriente-tiempo de fermentación (ABC), que no son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores no sobrepasan la línea vertical de referencia.

4.3.2 Variable respuesta pH del singani

En la tabla 4.18, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2³del programa StatGraphics (Centurión XVI) para Windows, donde la variable respuesta es el pH extraídos de la (Tabla F.2) del (Anexo F). Para la determinación del pH, se utilizó el método de determinación por potenciometria.

Tabla 4.18

Análisis de Varianza para la variable respuesta pH

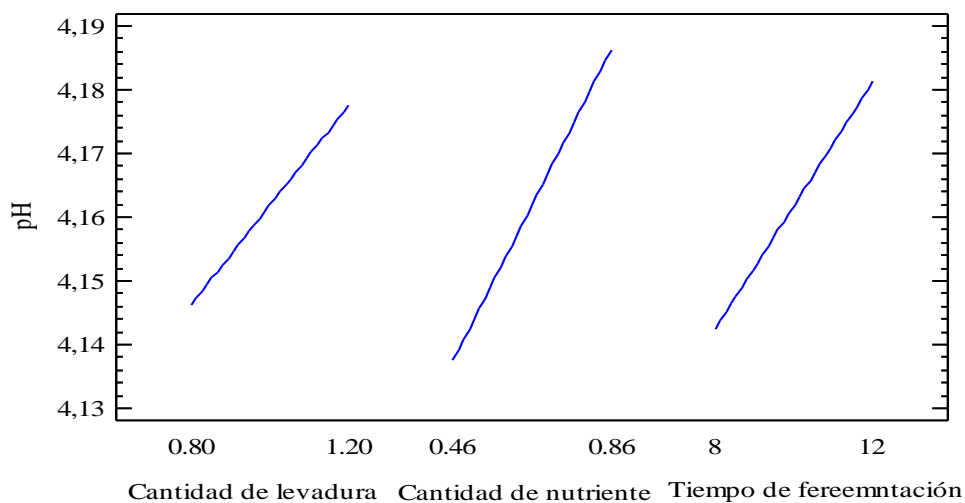
| Fuente de variación (FV) | Suma de Cuadrados (SC) | Grados de libertad (Gl) | Cuadrado Medio (MC) | F cal | F tab |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|-------|--------|
| A:Cantidad de levadura | 0,00390625 | 1 | 0,00390625 | 15,24 | 0,0059 |
| B:Cantidad de nutriente | 0,00950625 | 1 | 0,00950625 | 37,10 | 0,0005 |
| C:Tiempo de fermentación | 0,00600625 | 1 | 0,00600625 | 23,44 | 0,0019 |
| AB | 0,00050625 | 1 | 0,00050625 | 1,98 | 0,2027 |
| AC | 0,00075625 | 1 | 0,00075625 | 2,95 | 0,1295 |
| BC | 0,00000625 | 1 | 0,00000625 | 0,02 | 0,8803 |
| ABC | 0,0203062 | 1 | 0,0203062 | 79,24 | 0,0000 |
| Error total | 0,00179375 | 7 | 0,00025625 | | |
| Total (corr.) | 0,0428437 | 15 | | | |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.18, se puede observar que para los factores A (cantidad de levadura), B (cantidad de nutriente), C (tiempo de fermentación), AB (cantidad de levadura-cantidad de nutriente), AC (cantidad de levadura-tiempo de fermentación y interacción

ABC (cantidad de levadura-cantidad de nutriente- tiempo de fermentación), si existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} > F_{tab}$ por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada; en comparación con la interacción BC(cantidad de nutriente-tiempo de fermentación), no existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} < F_{tab}$ en el proceso de fermentación alcohólica para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

En la figura 4.16, se puede observar la gráfica de efectos principales con relación al pH

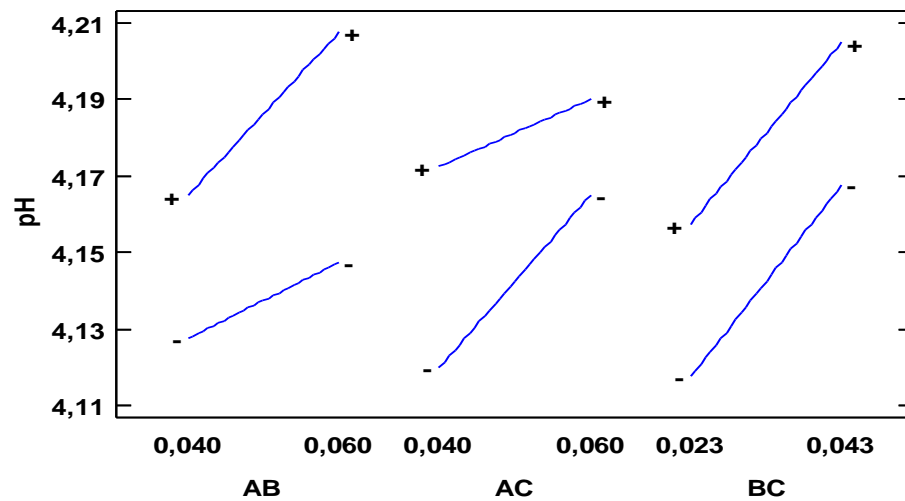


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Efectos principales con relación al pH

Según la figura 4.16, se observa que los factores: cantidad de levadura (0,80-1,20)g cantidad de nutriente (0,46-0,86)g y tiempo de fermentación(8-12) días, influyen significativamente en la variable respuesta del grado alcohólico (GL) en un nivel alto y bajo en la variable respuesta del grado alcohólico.

En la figura 4.17, se muestra la gráfica de interacciones con relación al pH

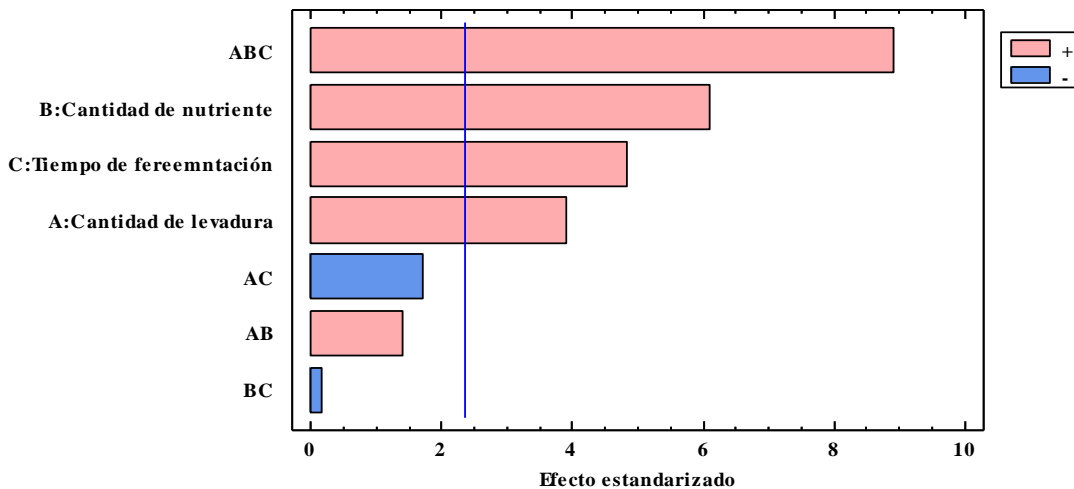


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: *Interacciones con relación al pH*

Según la figura 4.17, se puede observar que las interacciones AB (cantidad de levadura-cantidad de nutriente), AC (cantidad de levadura-tiempo de fermentación) y BC (cantidad de nutriente-tiempo de fermentación) no interaccionan entre sí, pero, AB (cantidad de levadura-cantidad de nutriente) influyen significativamente en un nivel bajo y alto para A (cantidad de levadura) es de (1,20)g; AC(cantidad de levadura-tiempo de fermentación) influyen significativamente en un nivel bajo y alto para A (cantidad de levadura) es de (0,80) g y para la interacción BC (cantidad de nutriente-tiempo de fermentación) influyen significativamente en un nivel bajo y alto para B(cantidad de nutriente) es de (0,86)g.

En la figura 4.18, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores analizados para el pH, en consecuencia, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Diagrama de Pareto estandarizado para el pH

En la figura 4,18, se observa a las interacciones: AC (cantidad de levadura-tiempo de fermentación), AB (cantidad de levadura-cantidad de nutriente) y BC (cantidad de nutriente-tiempo de fermentación) que no son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores no sobrepasan la línea vertical de referencia; en comparación con los factores A(cantidad de levadura), B(cantidad de nutriente), (C) (tiempo de fermentación) y la interacción ABC(cantidad de levadura-cantidad de nutriente- tiempo de fermentación) son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha=0,05$

4.3.3 Variable respuesta Acidez volátil del singani

En la tabla 4.19, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2^3 del programa StatGraphics (Centurión XVI) para Windows, donde la variable respuesta es la acidez volátil extraídos de la (Tabla F.3) del (Anexo F). Para la

determinación de la acidez volátil expresada en ácido acético, se utilizó el método de determinación por volumetría, que se expresa en el anexo

Tabla 4.19

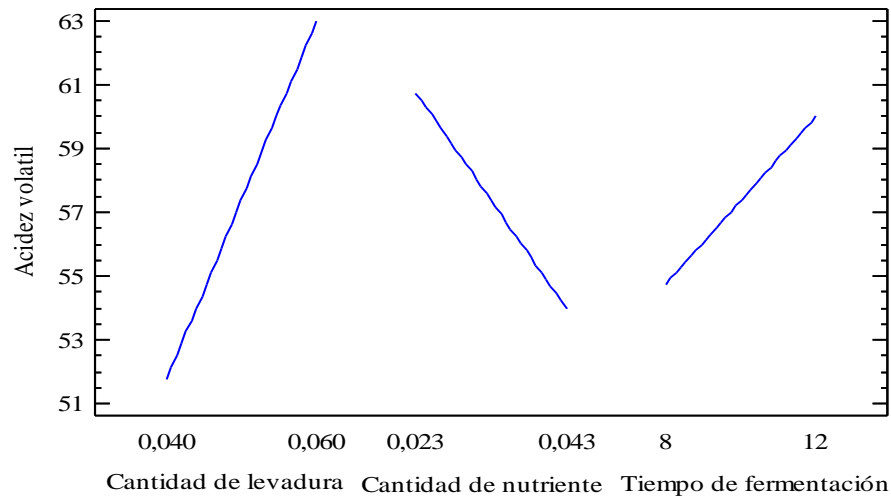
Análisis de varianza de la variable respuesta acidez volátil

| Fuente de variación (FV) | Suma de Cuadrados (SC) | Grados de libertad (GL) | Cuadrado Medio (MC) | Fcal | Ftab |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|-------|--------|
| A:Cantidad de levadura | 506,25 | 1 | 506,25 | 33,51 | 0,0007 |
| B:Cantidad de nutriente | 182,25 | 1 | 182,25 | 12,06 | 0,0104 |
| C:Tiempo de fermentación | 110,25 | 1 | 110,25 | 7,30 | 0,0306 |
| AB | 110,25 | 1 | 110,25 | 7,30 | 0,0306 |
| AC | 110,25 | 1 | 110,25 | 7,30 | 0,0306 |
| BC | 110,25 | 1 | 110,25 | 7,30 | 0,0306 |
| ABC | 182,25 | 1 | 182,25 | 12,06 | 0,0104 |
| Error total | 105,75 | 7 | 15,1071 | | |
| Total (corr.) | 1437,75 | 15 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis detallado en la tabla 4.19, se puede observar que para los factores A (cantidad de levadura), B (cantidad de nutriente), C (tiempo de fermentación), AB (cantidad de levadura-cantidad de nutriente), AC (cantidad de levadura-tiempo de fermentación), BC (cantidad de nutriente-tiempo de fermentación) y interacción ABC (cantidad de levadura-cantidad de nutriente- tiempo de fermentación), si existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} > F_{tab}$ por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada en el proceso de fermentación alcohólica para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

En la figura 4.19, se puede observar la gráfica de efectos principales con relación a la acidez volátil.

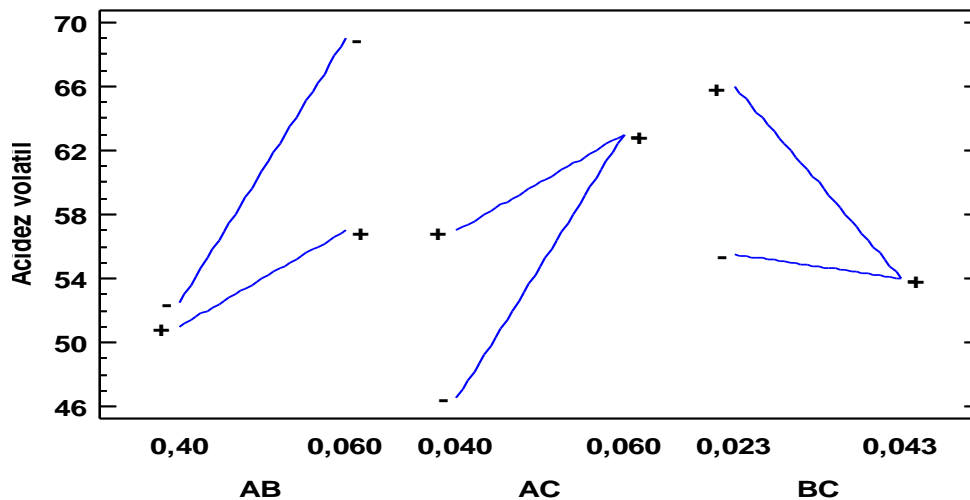


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Efectos principales con relación a la acidez volátil

Según la figura 4.19, se observa que los factores: cantidad de levadura (0,80-1,20) cantidad de nutriente (0,46-0,86)g y tiempo de fermentación(8-12) días, influyen significativamente en la variable respuesta del grado alcohólico (GL) en un nivel alto y bajo en la variable respuesta del grado alcohólico.

En la figura 4.20, se muestra la gráfica de interacciones con relación a la acidez volátil

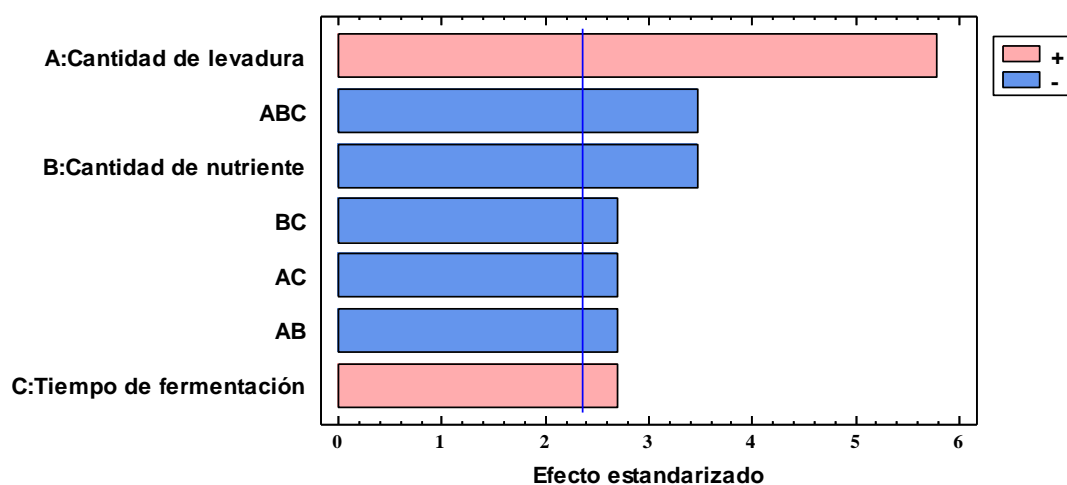


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Interacciones con relación a la acidez volátil

Según la figura 4.20, se puede observar que la interacción AB(cantidad de levadura – cantidad de nutriente) , para un factor A de (0,80)g la cantidad de nutriente no afecta significativamente debido a que la acidez volátil no cambia;sin embargo, cuando aumenta la cantidad de levadura (1,20)g se ve afectado significativamente cuando la cantidad de nutriente se encuentra en su nivel bajo y alto. Por otro lado la interacción AC(cantidad de levadura-tiempo de fermentación) para un factor a de (1,20)g el tiempo de fermentación no afecta ;sin embargo cuando disminuye la cantidad de levadura a (0,80)g se ve afectado significativamente en su nivel alto y bajo; así mismo, para la interacción BC(cantidad de nutriente-tiempo de fermentación), para una cantidad de nutriente de (0,86)g el tiempo de fermentación no afecta significativamente debido a que la acidez volátil no cambia cuando se encuentra en su nivel bajo y alto; sin embargo, cuando disminuye la cantidad de nutriente a(0,46) se ve afectada la acidez volátil cuando el corte se encuentra en su nivel bajo y alto.

En la figura 4.21, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores analizados para la acidez volátil, en consecuencia, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Diagrama de Pareto estandarizado para acidez volátil

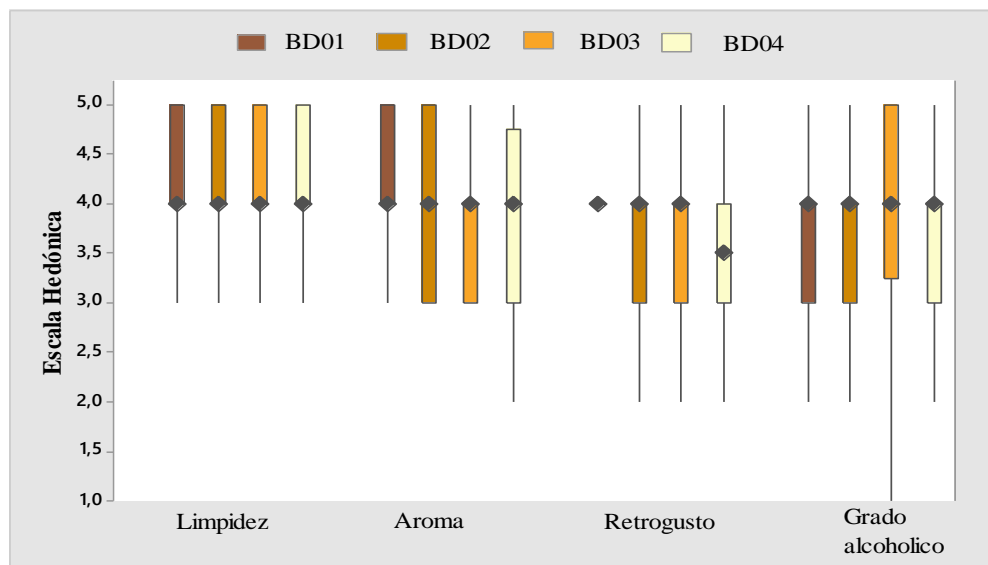
En la figura 4,21, se observa los factores: factores A(cantidad de levadura), B(cantidad de nutriente), (C) (tiempo de fermentación) y las interacciones AB (cantidad de levadura-cantidad de nutriente), BC(cantidad de nutriente-tiempo de fermentación), AC (cantidad de levadura-tiempo de fermentación) y ABC(cantidad de levadura-cantidad de nutriente- tiempo de fermentación) son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores no sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.3.4 Evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental en la obtención de singani

Para efectuar la evaluación sensorial de las ocho muestras experimentales de la obtención de singani, se procedió a evaluar las muestras en función de la variable tiempo de fermentación (C) de su nivel alto y bajo. Con la finalidad de complementar el diseño experimental y corroborar los efectos de los factores tomados en cuenta; así mismo, obtener la muestra final de la obtención del singani.

4.3.4.1 Estadístico de caja y bigote de muestras experimentales de la obtención de singani nivel bajo

En la figura 4.22, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función a los atributos limpidez, aroma, retrogusto y grado alcohólico de las muestras del diseño experimental nivel bajo en la obtención del singani.



Fuente: Elaboración propia

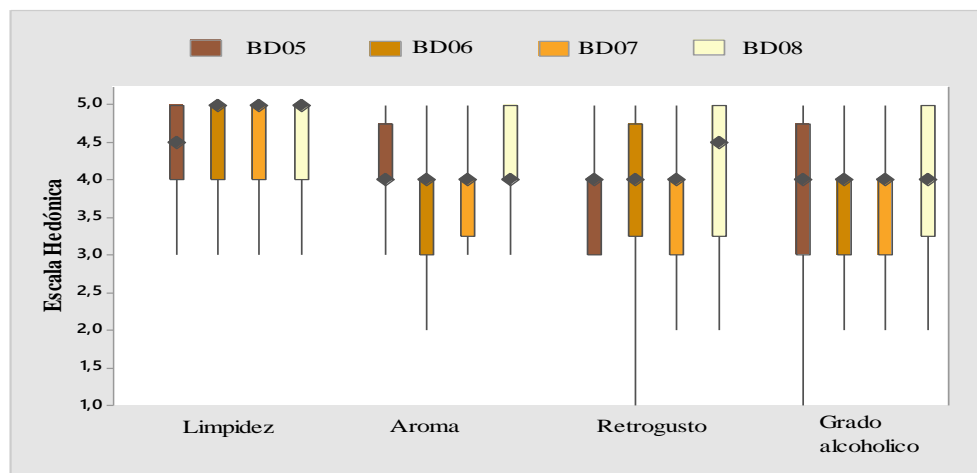
Figura 4.22: Estadístico de caja y bigote de muestras experimentales nivel bajo en la obtención de singani

En la figura 4.22, se puede observar los resultados obtenidos de la caja y bigote de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas, para los atributos limpieza 4(BD01); aroma 4(BD01) y retrogusto 4(BD01), las muestra más relevante fue BD01 porque presenta una mediana de puntuaciones de 4 o más, en comparación de las demás muestras que dieron una puntuación de 4 o menos.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza extraídos de las tablas, tabla C.2.14, tabla C.2.16, tabla C.2.18 y tabla C.2.20 de los atributos (limpieza, aroma, retrogusto y grado alcohólico), se observó que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo cual se acepta la hipótesis planteada y no existe diferencia significativa entre los tratamientos para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.3.4.2 Estadístico caja y bigote nivel alto de muestras experimentales en la obtención de singani

En la figura 4.23, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función a los atributos limpieza, aroma, retrogusto y grado alcohólico de las muestras del diseño experimental nivel alto en la obtención del singani.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Estadístico de caja y bigote de muestras experimentales nivel alto en la obtención de singani

En la figura 4.23, se puede observar los resultados obtenidos de la caja y bigote de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas, para los atributos limpidez 5(BD08); aroma 4(BD08); retrogusto 4,5(BD08) y grado alcohólico 4(BD08), la muestra más relevante fue BD08 porque presentan una mediana de puntuaciones mayor a la relación de las demás muestras que dieron una puntuación de 4 o menos.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza extraídos de las tablas, tabla C.2.22, tabla C.2.27, tabla C.2.29 de los atributos (limpidez, retrogusto y grado alcohólico), se observó que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo cual se acepta la hipótesis planteada y no existe diferencia significativa entre los tratamientos para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.3.4.2.1 Estadístico de Tukey para el atributo aroma de muestras experimentales nivel alto en la obtención de singani

En la tabla 4.20, se muestran los resultados del análisis estadístico Tukey datos que fueron extraídos del Anexo C (tabla C.2.26) para el atributo aroma.

Tabla 4.20

Estadístico Tukey para el atributo aroma

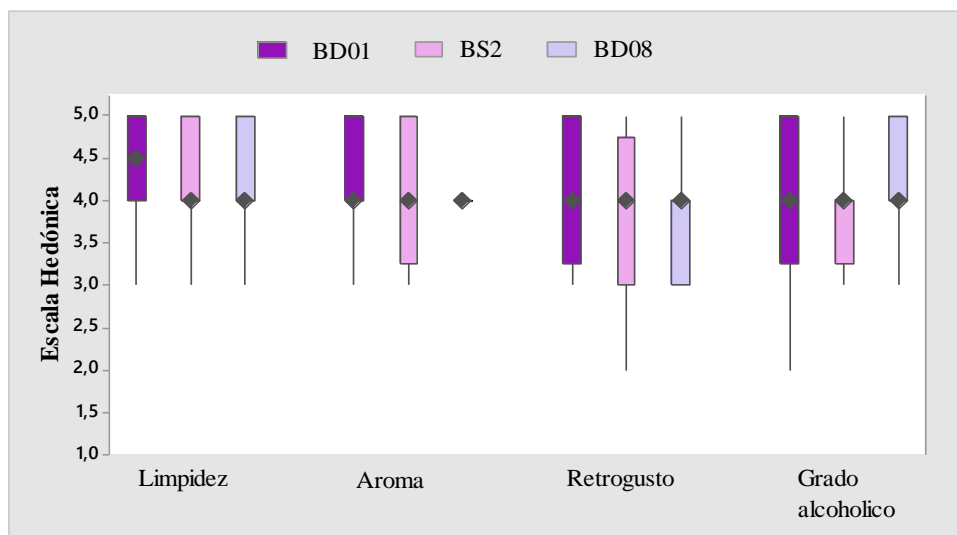
| Tratamientos | Diferencias | DMS | Significancia |
|--------------|-------------|------|------------------|
| BD08-BD05 | 0,1 | 0,49 | No significativo |
| BD08-BD07 | 0,35 | 0,49 | No significativo |
| BD08-BD06 | 0,55 | 0,49 | Significativo |
| BD05-BD07 | 0,25 | 0,49 | No significativo |
| BD05-BD06 | 0,45 | 0,49 | No significativo |
| BD07-BD06 | 0,2 | 0,49 | No significativo |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.20, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos BDO8-BD06. Sin embargo, para los tratamientos BD08-BD05, BD08-BD07, BD05-BD07, BD05-BD06, BD07-BD06, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.3.4.3 Estadístico de caja y bigote para determinar la muestra final en la obtención de singani

Se realizó una última evaluación sensorial a las muestras del diseño factorial (BD01, BD08) y a la muestra ideal (BS2), con la cual se realizó el diseño, para seleccionar la muestra final en la obtención de singani.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Estadístico de caja y bigote de muestras finales

En la figura 4.24, se puede observar los resultados obtenidos de la caja y bigote de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas, para los atributos limpieza 4,5(BD01); aroma 4(BD01) y retrogusto 4(BD01), la muestra más relevante fue BD01 porque presentan una mediana de puntuaciones mayor a la relación de las demás muestras que dieron una puntuación de 4 o menos.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza extraídos de las tablas, tabla C.2.31, tabla C.2.33, tabla C.2.35 y tabla C.2.37, de los atributos (limpieza, aroma, retrogusto y grado alcohólico), se observó que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo cual se acepta la hipótesis planteada y no existe diferencia significativa entre los tratamientos para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.4 Caracterización de la obtención de singani

Para la caracterización del producto final, se tomaron en cuenta los parámetros físicos y fisicoquímicos del singani, así mismo en la caracterización del agua de mesa Mía se tomaron en cuenta los parámetros microbiológicos, los cuales se detallan a continuación:

4.4.1 Análisis microbiológico del agua Mía

En la tabla 4.21, se muestran los resultados microbiológicos del agua de mesa utilizado para disminuir el grado alcohólico del singani.

Tabla 4.21

Parámetros microbiológicos del agua Mía

| Parámetros | Unidad | Resultado |
|------------------------------|-----------|-------------------------|
| Bacterias aerobias mesófilas | UFC/ml | $< 1,0 \times 10^1 (*)$ |
| Coliformes totales | UFC/100ml | $< 1 (*)$ |
| Pseudomonas aeruginosas | UFC/100ml | $< 1 (*)$ |

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.21, se puede observar los resultados del análisis microbiológico del agua de mesa que presenta: Bacterias aerobias mesófilas $< 1,0 \times 10^1 (*)$ UFC/ml; Coliformes totales $< 1 (*)$ UFC/100ml y Pseudomonas aeruginosas $< 1 (*)$ UFC/100ml. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.

4.4.2 Análisis físicoquímicos del singani

En la tabla 4.22, se muestran los resultados obtenidos del análisis físicoquímicos del singani.

Tabla 4.22

Parámetros físicos del singani

| Parámetro | Unidad | Resultado |
|-------------------|--------|-----------|
| Densidad relativa | - | 0,95 |
| Acidez volátil | g/l | 0,34 |
| pH | - | 4,06 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.22, se puede observar los resultados de los análisis físicos del singani en donde presentan: densidad relativa 0,95, acidez volátil 0,34 g/l y pH 4,06.

Tabla 4.23

Parámetros físicoquímicos del singani

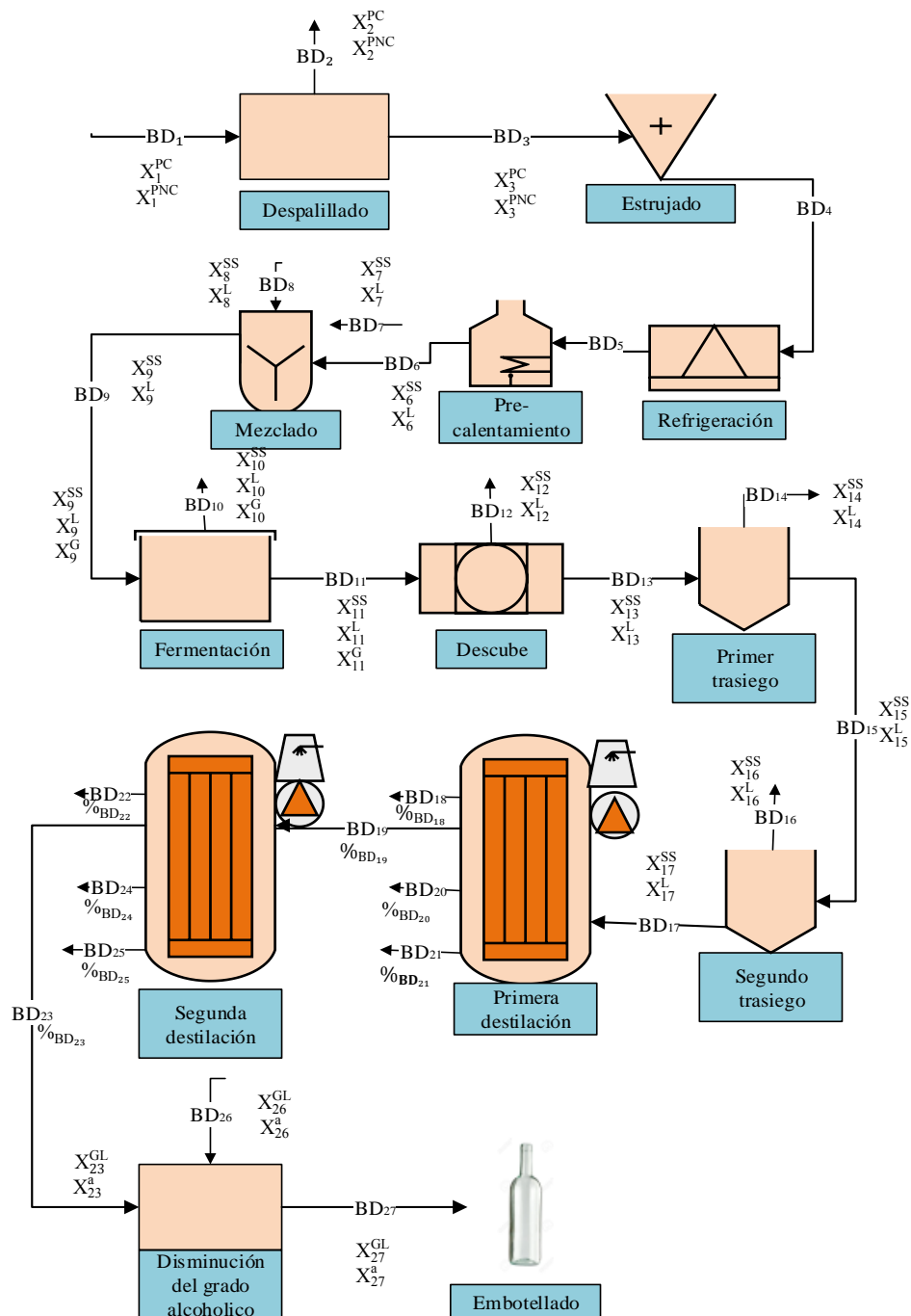
| Parámetro | Unidad | Resultado |
|------------------|--------|-----------|
| Grado alcohólico | %(v/V) | 0,95 |
| Metanol | mg/l | 313 |

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.22, se puede observar los resultados obtenidos del análisis físicoquímico del singani en donde presentan: Grado alcohólico 36 GL; Metanol 313mg/l.

4.5 Balance general para la obtención de singani por el método de bidestilación al vacío

En la figura 4.25, se muestra el balance general de materia durante el proceso para la obtención del singani



Fuente: Elaboración propia

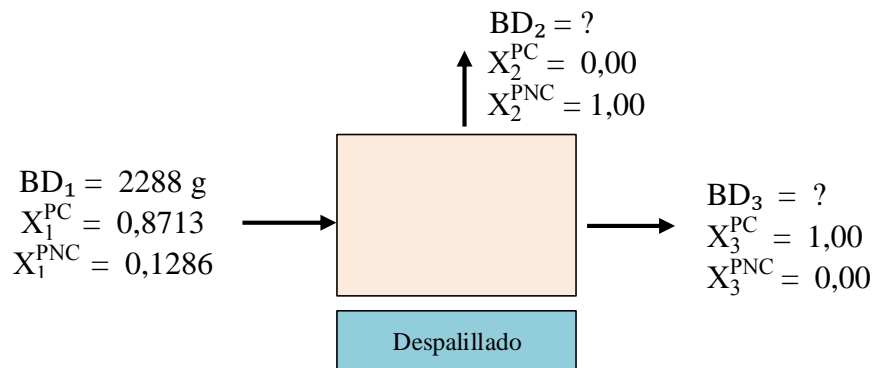
Figura 4.25: Balance general de materia para la obtención de singani

Donde:

| | |
|--|---|
| BD ₁ = Uva seleccionada (g) | BD ₁₇ = vino base (g) |
| BD ₂ = Escobajos y descarte de uva (g) | BD ₁₈ = Cabeza o metanol del singani primera destilación (g) |
| BD ₃ = Uva despalillada (g) | BD ₁₉ = Corazón del singani primera destilación (g) |
| BD ₄ = Mosto sin fermentar (g) | BD ₂₀ = Cola del singani primera destilación (g) |
| BD ₅ = Mosto refrigerado (g) | BD ₂₁ = Vinaza del singani primera destilación (g) |
| BD ₆ = Mosto calentado (g) | BD ₂₂ = Cabeza del singani segunda destilación (g) |
| BD ₇ = Levadura activada (g) | BD ₂₃ = Corazón del singani segunda destilación (g) |
| BD ₈ = Nutriente diluido (g) | BD ₂₄ = Cola del singani segunda destilación (g) |
| BD ₉ = Mosto para fermentar (g) | BD ₂₅ = Vinaza del singani segunda destilación (g) |
| BD ₁₀ = CO ₂ producido en la fermentación alcohólica | BD ₂₆ = Agua de mesa (g) |
| BD ₁₁ = Mosto fermentado (g) | BD ₂₇ = singani (g) |
| BD ₁₂ = Hollejo de la uva (g) | |
| BD ₁₃ = jugo de uva fermentado (g) | |
| BD ₁₄ = Borra del jugo de la uva fermentado (g) | |
| BD ₁₅ = vino base (g) | |
| BD ₁₆ = Borra del vino base (g) | |

4.5.1 Balance de materia en la etapa de despalillado de la uva

En la figura 4.26, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de despalillado de la uva. Los datos de porción comestible (PC) 87,13% y porción no comestible (PNC) 12,86%, datos que se extrajeron de la Tabla 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Etapa de despalillado

Donde :

X_1^{PC} = Fracción porcentual de la porción comestible de la uva

X_1^{PNC} = Fracción porcentual de la porción no comestible de la uva

X_2^{PC} = Fracción porcentual de la porción comestible del raspón de la uva

X_2^{PNC} = Fracción porcentual de la porción no comestible del raspón de la uva

X_3^{PC} = Fracción porcentual de la porción comestible de la uva despalillada

X_3^{PNC} = Fracción porcentual de la porción no comestible de la uva despalillada

Balance general de materia en la etapa de despalillado de la uva:

$$BD_1 = BD_2 + BD_3 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Balance parcial para la porción comestible en la etapa de despalillado de uva:

$$BD_1 * X_1^{PC} = BD_2 * X_2^{PC} + BD_3 * X_3^{PC} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Balance parcial para la porción no comestible en la etapa de despalillado de uva:

$$BD_1 * X_1^{PNC} = BD_2 * X_2^{PNC} + BD_3 * X_3^{PNC} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Se despejo BD_3 tomando en cuenta la ecuación 4.2 y se reemplazó los datos

$$BD_3 = \frac{BD_1 * X_1^{PC}}{X_3^{PC}}$$

$$BD_3 = \frac{2288 \text{ g} * 0,8713}{1}$$

$BD_3 = 1993,53$ g de uva despalillada.

Se despejo BD_2 de la ecuación 4.3 y se reemplazó los datos

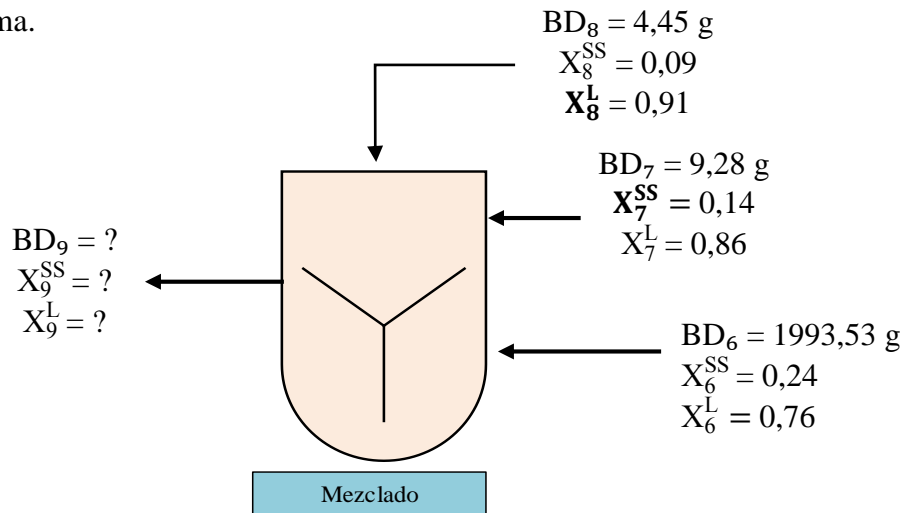
$$BD_2 = \frac{BD_1 * X_1^{PNC}}{X_2^{PNC}}$$

$$BD_2 = \frac{2288 \text{ g} * 0,1287}{1}$$

$BD_2 = 294,24$ g de escobajos y descarte de uva

4.5.2 Balance de materia en la etapa de mezclado

En la figura 4.27, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de mezclado de la levadura y el nutriente en el mosto. Datos que se obtuvo pesando los insumos y la materia prima.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Etapa de mezclado

Donde:

X_7^{SS} = Fracción porcentual de los sólidos solubles del mosto

X_7^L = Fracción porcentual de líquido del mosto

X_8^{SS} = Fracción porcentual de sólidos solubles de la levadura activada

X_8^L = Fracción porcentual de líquido de la levadura activada

X_9^{SS} = Fracción porcentual de sólidos solubles del nutriente diluido

X_9^L = Fracción porcentual de líquido del nutriente diluido

X_{10}^{SS} = Fracción porcentual de sólido soluble mosto para fermentar

X_{10}^L = Fracción porcentual de líquido del mosto para fermentar

Balance general de materia en la etapa de mezclado

$$BD_6 + BD_7 + BD_8 = BD_9 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Balance parcial para sólidos solubles en la etapa de mezclado

$$BD_6 * X_6^{SS} + BD_7 * X_7^{SS} + BD_8 * X_8^{SS} = BD_9 * X_9^{SS} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Balance parcial para líquido en la etapa de mezclado

$$BD_6 * X_6^L + BD_7 * X_7^L + BD_8 * X_8^L = BD_9 * X_9^L \quad \text{Ecuación 4.6}$$

De la ecuación 4.4 se despejó BD_9 y se reemplazó los datos

$$BD_9 = BD_6 + BD_7 + BD_8$$

$$BD_9 = 1993,53 \text{ g} + 9,28 \text{ g} + 4,45 \text{ g}$$

$$BD_9 = 2007,26 \text{ g mosto para fermentar}$$

Se despejó X_9^{SS} de la ecuación 4.5 y se reemplazó los datos

$$X_9^{SS} = \frac{BD_6 * X_6^{SS} + BD_7 * X_7^{SS} + BD_8 * X_8^{SS}}{BD_9}$$

$$X_9^{SS} = \frac{1993,53 \text{ g} * 0,24 + 9,28 \text{ g} * 0,14 + 4,45 \text{ g} * 0,09}{2007,26 \text{ g}}$$

$X_9^{SS} = 0,24$ Fracción porcentual de los sólidos solubles del mosto para fermentar

Se halló la fracción porcentual de líquido mediante la ecuación 4.7

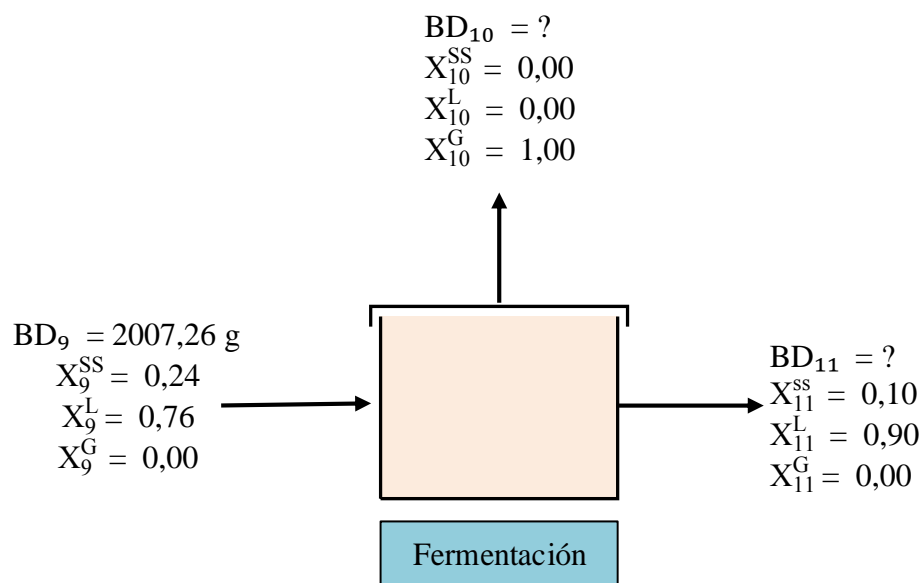
$$X_9^{SS} + X_9^L = 1,00 \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$X_9^L = 1,00 - 0,24$$

$X_9^L = 0,76$ Fracción porcentual de líquido del mosto para fermentar

4.5.3 Balance de materia en la etapa de fermentación alcohólica del mosto

En la figura 4.28, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de fermentación alcohólica.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Etapa de fermentación alcohólica

Donde:

X_9^G = Fracción porcentual de gas carbónico del mosto para fermentar

X_{10}^{SS} = Fracción porcentual de solidos solubles del CO_2

X_{10}^L = Fracción porcentual de líquido del CO_2

X_{10}^G = Fracción porcentual de gas carbónico del CO_2

X_{11}^{SS} = Fracción porcentual de solidos solubles del mosto fermentado

X_{11}^L = Fracción porcentual de líquido del mosto para fermentar

X_{11}^G = Fracción porcentual de gas carbónico del mosto para fermentar

Balance general de materia en la etapa de fermentación alcohólica del mosto:

$$BD_9 = BD_{10} + BD_{11} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Balance parcial para líquido en la etapa de fermentación alcohólica del mosto:

$$BD_9 * X_9^L = \cancel{BD_{10} * X_{10}^L} + BD_{11} * X_{11}^L \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Balance parcial para sólidos solubles en la etapa de fermentación alcohólica del mosto:

Se despejo BD_{11} y se reemplazó los datos de la ecuación 4.9

$$BD_{11} = \frac{BD_9 * X_9^L}{X_{11}^L}$$

$$BD_{11} = \frac{2007,26 \text{ g} * 0,76}{0,90}$$

$$BD_{11} = 1695,02 \text{ g de mosto fermentado}$$

Se despejo BD_{10} y se reemplazó los datos de la ecuación 4.8

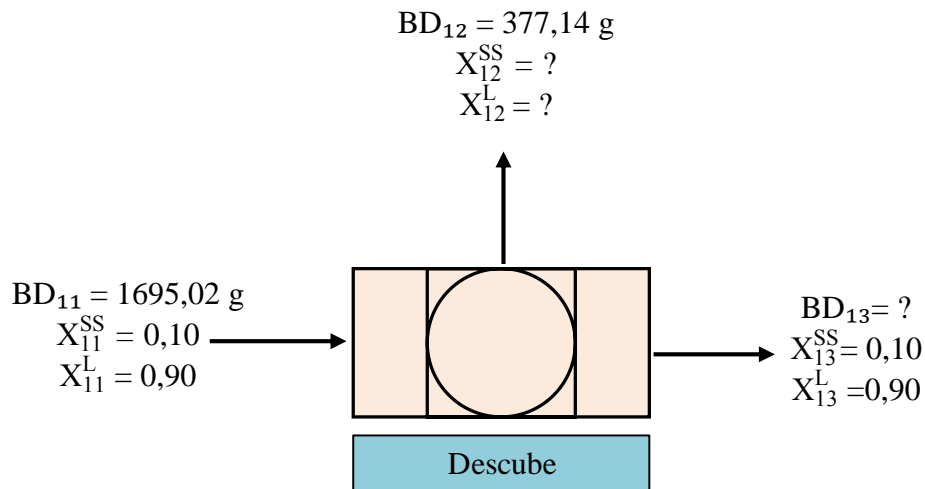
$$BD_{10} = BD_9 - BD_{11}$$

$$BD_{10} = 2007,26 \text{ g} - 1695,02 \text{ g}$$

$$BD_{10} = 312,24 \text{ g } CO_2 \text{ producido en la fermentación alcohólica}$$

4.5.4 Balance de materia en la etapa de descube

En la figura 4.29, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de descube, datos que se obtuvo separando la parte sólida de la líquida, se pesó la parte sólida.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Etapa de descube

Donde:

X_{12}^{SS} = Fracción porcentual de sólidos solubles del hollejo de la uva

X_{12}^L = Fracción porcentual de líquido del hollejo de la uva

X_{13}^{SS} = Fracción porcentual de sólidos solubles del jugo de uva fermentado

X_{13}^L = Fracción porcentual de líquido del jugo de uva fermentado

Balance general de materia en la etapa de descube:

$$BD_{11} = BD_{12} + BD_{13} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Balance parcial para sólidos solubles en la etapa de descube:

$$BD_{11} * X_{11}^{SS} = BD_{12} * X_{12}^{SS} + BD_{13} * X_{13}^{SS} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Se despeja BD_{13} y se reemplazó los datos, de la ecuación 4.10

$$BD_{13} = BD_{11} - BD_{12}$$

$$BD_{13} = 1695,02 \text{ g} - 377,14 \text{ g}$$

$$BD_{13} = 1317,88 \text{ g de jugo fermentado}$$

Se despejo X_{12}^{SS} y se reemplazó los datos, de la ecuación 4.11

$$X_{12}^{SS} = \frac{BD_{11} * X_{11}^{SS} - BD_{13} * X_{13}^{SS}}{BD_{12}}$$

$$X_{12}^{SS} = \frac{1695,02 \text{ g} * 0,10 - 1317,88 \text{ g} * 0,10}{377,14 \text{ g}}$$

$$X_{12}^{SS} = 0,10 \text{ Fracción porcentual de sólidos solubles del hollejo de la uva}$$

Se halló la fracción porcentual de líquido mediante la ecuación:

$$X_{12}^{SS} + X_{12}^L = 1,00$$

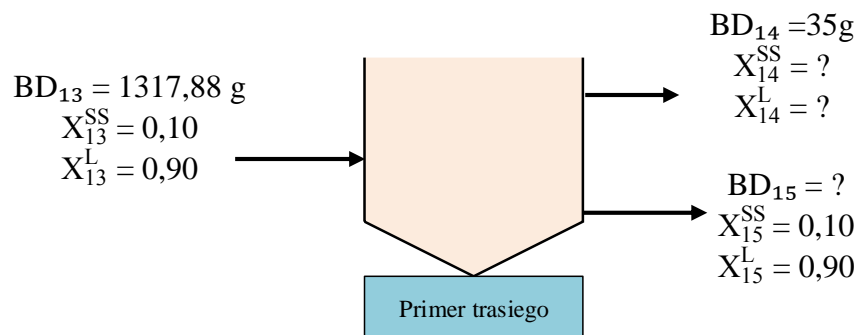
Ecuación 4.12

$$X_{12}^L = 1,00 - 0,10$$

$$X_{12}^L = 0,90 \text{ Fracción porcentual de líquido del hollejo de la uva}$$

4.5.5 Balance de materia en la etapa de primer trasiego

En la figura 4.30, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de primer trasiego:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30: Etapa de primer trasiego

Donde:

X_{14}^{SS} = Fracción porcentual de sólidos solubles de la borra

X_{14}^L = Fracción porcentual de líquido de la borra

X_{15}^{SS} = Fracción porcentual de sólidos solubles del vino base

X_{13}^L = Fracción porcentual de líquido del vino base

Balance general en la etapa de primer trasiego del vino:

$$BD_{13} = BD_{14} + BD_{15} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Se despeja BD_{15} y se reemplazó los datos, de la ecuación 4.13

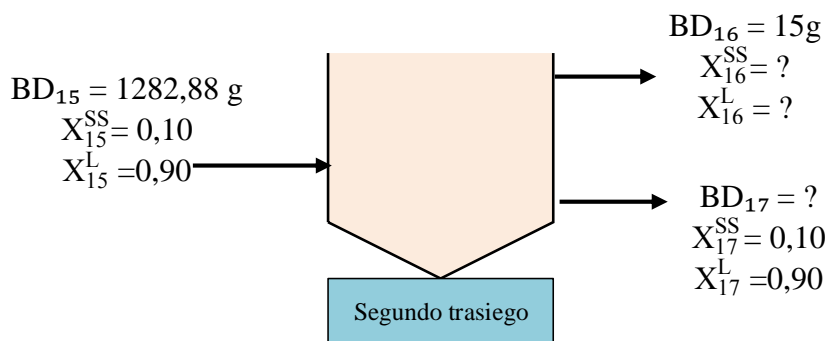
$$BD_{15} = BD_{13} - BD_{14}$$

$$BD_{15} = 1317,88 \text{ g} - 35 \text{ g}$$

$$BD_{15} = 1282,88 \text{ g de vino base}$$

4.5.6 Balance de materia en la etapa del segundo trasiego

En la figura 4.31, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa del segundo trasiego:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Etapa de segundo trasiego

Donde:

X_{16}^{SS} = Fracción porcentual de sólidos solubles de la borra

X_{16}^L = Fracción porcentual de líquido de la borra

X_{17}^{SS} = Fracción porcentual de sólidos solubles del vino base

X_{17}^L = Fracción porcentual de líquido del vino base

Balance general en la etapa de primer trasiego del vino:

$$BD_{15} = BD_{16} + BD_{17} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Se despeja BD_{17} y se reemplazó los datos, de la ecuación 4.14

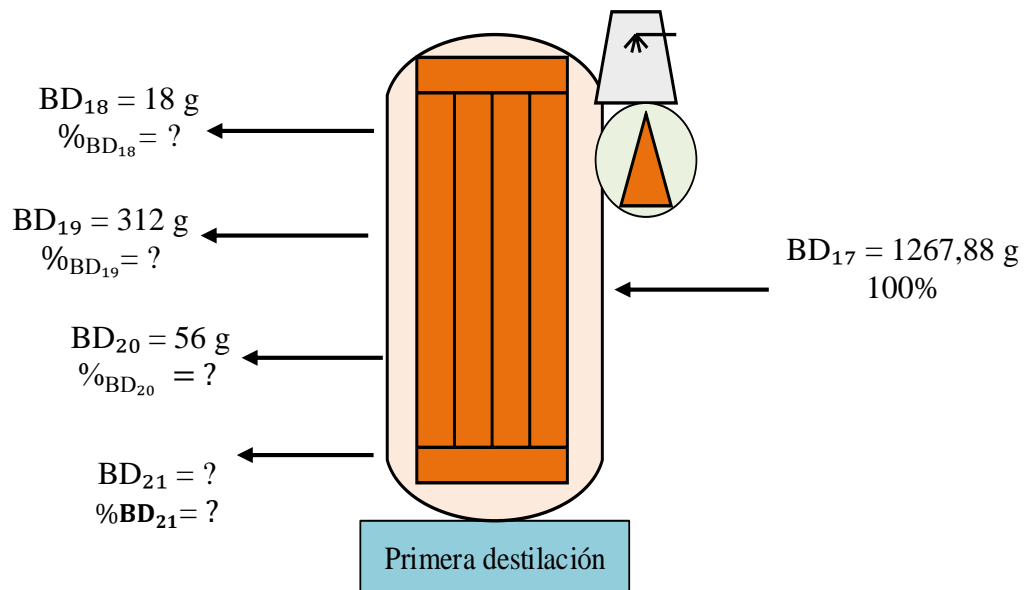
$$BD_{17} = BD_{15} - BD_{16}$$

$$BD_{17} = 1282,88 \text{ g} - 15 \text{ g}$$

$$BD_{17} = 1267,88 \text{ g de vino base}$$

4.5.7 Balance de materia en la etapa de primera destilación

En la figura 4.32, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de la primera destilación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Etapa de la primera destilación

Donde:

$\%_{BD_{18}}$ = Porcentaje de rendimiento de la cabeza del singani primera destilación

$\%_{BD_{19}}$ = Porcentaje de rendimiento del corazón del singani primera destilación

$\%_{BD_{20}}$ = Porcentaje de rendimiento de la cola del singani primera destilación

$\%_{BD_{21}}$ = Porcentaje de rendimiento de la vinaza primera destilación

Balance general en la etapa de primera destilación:

$$BD_{17} = BD_{18} + BD_{19} + BD_{20} + BD_{21} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Se despejó BD_{21} y se reemplazó los datos, de la ecuación 4.15

$$BD_{21} = BD_{17} - BD_{18} - BD_{19} - BD_{20}$$

$$BD_{21} = 1267,88 \text{ g} - 18 \text{ g} - 312 \text{ g} - 56 \text{ g}$$

$$BD_{21} = 881,88 \text{ g de vinaza del singani primera destilación}$$

Para calcular el porcentaje de rendimiento de la cabeza del singani primera destilación se tiene la siguiente ecuación:

$$\%_{BD_{18}} = \frac{BD_{18}}{BD_{17}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.16}$$

$$\%_{BD_{18}} = \frac{18 \text{ g}}{1267,88 \text{ g}} * 100 = 1,42\% \text{ porcentaje de rendimiento de la cabeza del singani}$$

Para calcular el porcentaje de rendimiento del corazón del singani primera destilación se tiene la siguiente ecuación:

$$\%_{BD_{19}} = \frac{BD_{19}}{BD_{17}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.17}$$

$$\%_{BD_{19}} = \frac{312 \text{ g}}{1267,88 \text{ g}} * 100 = 24,61 \% \text{ porcentaje de rendimiento del corazón}$$

Para calcular el porcentaje de rendimiento de la cola del singani primera destilación se tiene la siguiente ecuación:

$$\%_{BD_{20}} = \frac{BD_{20}}{BD_{17}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.18}$$

$$\%_{BD_{20}} = \frac{56 \text{ g}}{1267,88 \text{ g}} * 100 = 4,42\% \text{ porcentaje de rendimiento de la cola del singani}$$

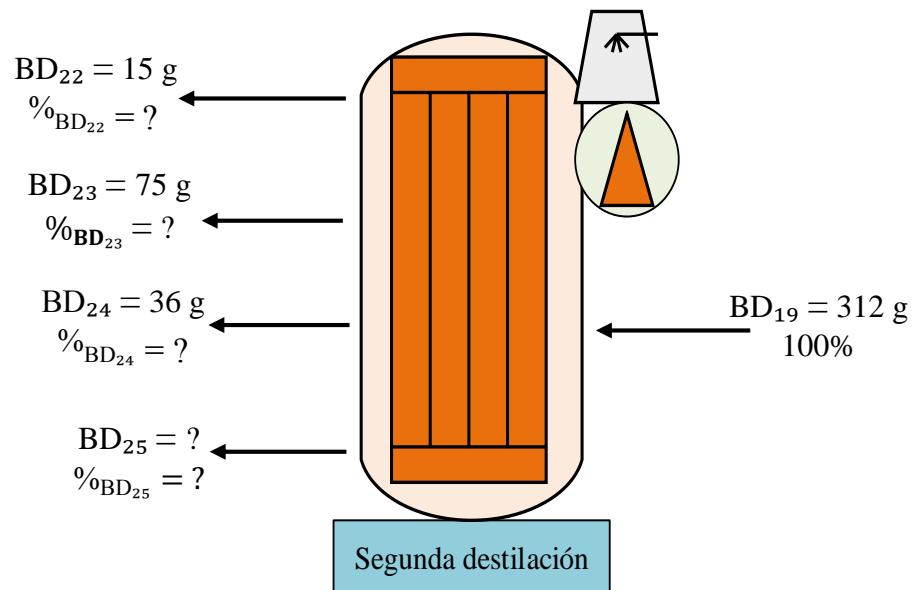
Para calcular el porcentaje de rendimiento de la vinaza del singani primera destilación se tiene la siguiente ecuación:

$$\%_{BD_{21}} = \frac{BD_{21}}{BD_{17}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.19}$$

$$\%_{BD_{21}} = \frac{881,88 \text{ g}}{1267,88 \text{ g}} * 100 = 69,55\% \text{ porcentaje de rendimiento de la vinaza.}$$

4.5.8 Balance de materia en la etapa de segunda destilación

En la figura 4.33, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de la segunda destilación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33: Etapa de la segunda destilación

Donde:

$\%_{BD_{22}}$ = Porcentaje de rendimiento de la cabeza del singani segunda destilación

$\%_{BD_{23}}$ = Porcentaje de rendimiento del corazón del singani segunda destilación

$\%_{BD_{24}}$ = Porcentaje de rendimiento de la cola del singani segunda destilación

$\%_{BD_{25}}$ = Porcentaje de rendimiento de la vinaza segunda destilación

Balance general en la etapa de la segunda destilación:

$$BD_{19} = BD_{22} + BD_{23} + BD_{24} + BD_{25} \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Se despejó BD_{25} y se reemplazó los datos, de la ecuación 4.20

$$BD_{25} = BD_{19} - BD_{22} - BD_{23} - BD_{24}$$

$$BD_{25} = 312 \text{ g} - 15 \text{ g} - 75 \text{ g} - 36 \text{ g}$$

$$BD_{25} = 186 \text{ g de vinaza del singani segunda destilación}$$

Para calcular el porcentaje de rendimiento de la cabeza del singani segunda destilación se tiene la siguiente ecuación:

$$\%_{BD_{22}} = \frac{BD_{22}}{BD_{19}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.21}$$

$$\%_{BD_{22}} = \frac{15 \text{ g}}{312 \text{ g}} * 100 = 4,81 \% \text{ porcentaje de rendimiento de la cabeza del singani}$$

Para calcular el porcentaje de rendimiento del corazón del singani segunda destilación se tiene la siguiente ecuación:

$$\%_{BD_{23}} = \frac{BD_{23}}{BD_{19}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.22}$$

$$\%_{BD_{23}} = \frac{75 \text{ g}}{312 \text{ g}} * 100 = 24,04 \% \text{ porcentaje de rendimiento del corazón}$$

Para calcular el porcentaje de rendimiento de la cola del singani primera destilación se tiene la siguiente ecuación:

$$\%_{BD_{24}} = \frac{BD_{24}}{BD_{19}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.23}$$

$$\%_{BD_{24}} = \frac{36 \text{ g}}{312 \text{ g}} * 100 = 11,54 \% \text{ porcentaje de rendimiento de la cola del singani}$$

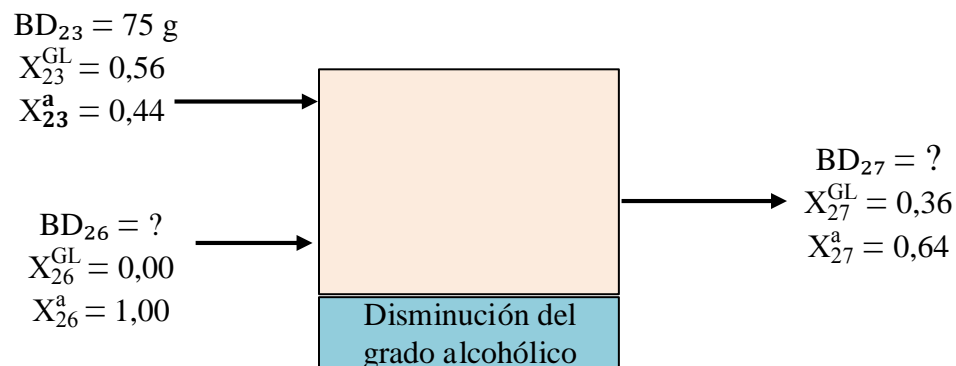
Para calcular el porcentaje de rendimiento de la vinaza del singani primera destilación se tiene la siguiente ecuación:

$$\%_{BD_{25}} = \frac{BD_{25}}{BD_{19}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.24}$$

$$\%_{BD_{25}} = \frac{186 \text{ g}}{312 \text{ g}} * 100 = 59,61 \% \text{ porcentaje de rendimiento de la vinaza del singani}$$

4.5.9 Balance de materia en la etapa de la disminución del grado alcohólico

En la figura 4.34, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de la disminución del grado alcohólico, datos que se obtuvieron según el grado alcohólico



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34: Etapa de disminución del grado alcohólico

Donde:

X_{23}^{GL} = Fracción porcentual de alcohol del corazón del singani

X_{23}^a = Fracción porcentual de agua del corazón del singani

X_{26}^{GL} = Fracción porcentual de alcohol del agua de mesa

X_{26}^a = Fracción porcentual de agua del agua de mesa

X_{27}^{GL} = Fracción porcentual de alcohol del singani

X_{27}^a = Fracción porcentual de agua del singani

Balance global en la etapa de disminución del grado alcohólico

$$BD_{23} + BD_{26} = BD_{27} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Balance parcial del grado alcohólico

$$BD_{23} * X_{23}^{GL} + \cancel{BD_{26} * X_{26}^{GL}} = BD_{27} * X_{27}^{GL} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Se despejo BD_{27} de la ecuación 4.26 y se reemplaza los datos

$$BD_{27} = \frac{BD_{23} * X_{23}^{GL}}{X_{27}^{GL}}$$

$$BD_{27} = \frac{75 \text{ g} * 0,56}{0,36}$$

$$BD_{27} = 116,67 \text{ g de singani}$$

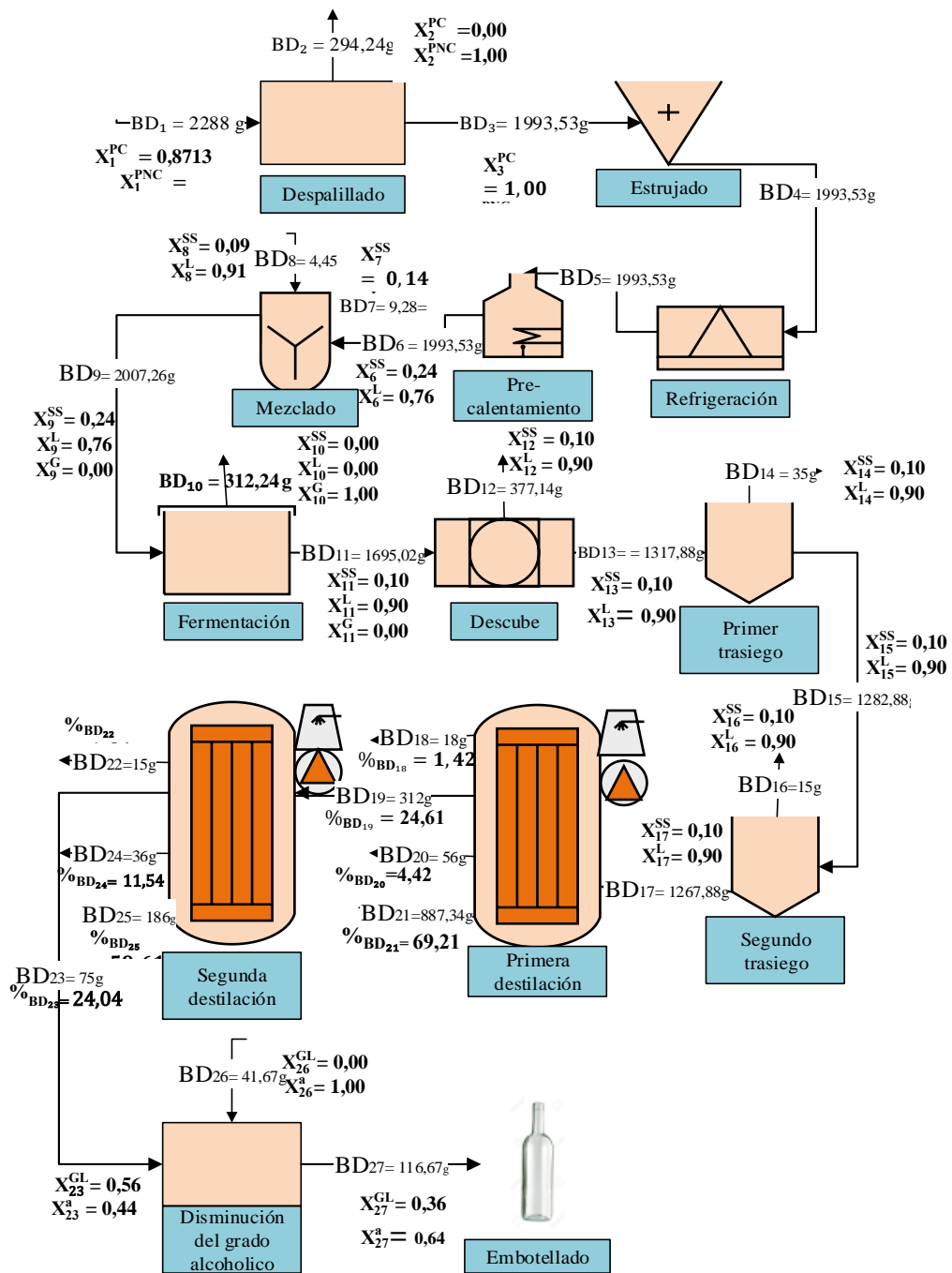
Se despejo BD_{26} de la ecuación 4.25 y se reemplaza los datos

$$BD_{26} = BD_{27} - BD_{23}$$

$$BD_{26} = 116,67 \text{ g} - 75 \text{ g}$$

$$BD_{26} = 41,67 \text{ g de agua de mesa}$$

4.6 Resumen general del balance de materia para la obtención de singani



Fuente: Elaboración propia
 Figura 4.35: Resumen de Balance general de materia para la obtención de singani

4.7 Balance de energía para la obtención de singani por el método de bidestilación

Según (Valiente, 2013) el calor sensible es aquella forma de energía que recibe un cuerpo sin cambiar su estado físico, mientras cambia su temperatura y se puede calcular por:

$$Q_s = (\Delta H) L = LC_p (T_1 - T_2) \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Se dice que un cuerpo recibe calor latente cuando al hacerlo cambia de estado físico. Este cambio se hace a temperatura constante. El calor latente se puede calcular por:

$$Q_L = (\Delta H) L = L\lambda \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Al sumarse calores latentes y calores sensibles, se obtiene la energía que se requiere para llevar a una sustancia de una temperatura a otra. Según la ecuación 4.29:

$$Q_T = LC_{p_{\text{sólido}}}(T_2 - T_1) + L\lambda_{\text{ebullición}} + LC_{p_{\text{muestra}}}(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación 4.29}$$

Según (Lewis, 1993) manifiesta que para calcular la capacidad calorífica de un alimento se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$C_p = X_c * C_{p_c} + X_p * C_{p_p} + X_g * C_{p_g} + X_a * C_{p_a} + X_w * C_{p_w} \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Donde:

X_c = Fracción másica de los carbohidratos

X_p = Fracción másica de la proteína

X_g = Fracción másica de las grasas

X_a = Fracción másica de las cenizas

X_w = Fracción másica del agua

C_{p_c} = Calor específico de los carbohidratos

C_{p_p} = Calor específico de la proteína

C_{p_g} = Calor específico de las grasas

Cp_a = Calor específico de las cenizas

Cp_w = Calor específico del agua

Las capacidades caloríficas en función a la composición química de los alimentos se detallan en la tabla 4.23

Tabla 4.23

Capacidades caloríficas en función a la composición química de los alimentos

| Calor específico | kJ/kg °C |
|------------------|----------|
| Carbohidratos | 1,42 |
| Proteína | 1,55 |
| Grasas | 1,67 |
| Cenizas | 0,84 |
| Agua | 4,18 |

Fuente: Lewis, 1993

Para calcular el calor específico de la uva se tomó en cuenta los datos de la tabla 4.24 de los análisis fisicoquímicos que fueron extraídos del Anexo A.

Tabla 4.24

Composición fisicoquímica de la uva

| Componentes | Fracción másica |
|---------------|-----------------|
| Carbohidratos | 0,2417 |
| Proteína | 0,0081 |
| Grasas | 0,0002 |
| Cenizas | 0,0051 |
| Agua | 0,7432 |

Fuente: CEANID, 2022

Para la determinación del calor específico de la uva se tomó en cuenta la ecuación 4.30, reemplazando los datos de la tabla 4.23 y tabla 4.24.

$$Cp_{uva} = X_c * Cp_c + X_p * Cp_p + X_g * Cp_g + X_a * Cp_a + X_w * Cp_w$$

$$Cp_{uva} = 0,2417 * 1,42 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,0081 * 1,55 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,0002 * 1,67 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,0051 * 0,84 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,7432 * 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$Cp_{uva} = 3,47 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Según (Ayarde, 2017) el S.I (Sistema Internacional de unidades) $1\text{kJ} = 0,2390\text{ Kcal}$, se transformó el $C_{p_{\text{uva}}}$ según la siguiente ecuación:

$$3,47\text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * \frac{0,2390\text{ Kcal}}{1\text{kJ}} = 0,83\text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{\text{uva molida}}} = 0,83\text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

En la tabla 4.25, se muestra las capacidades caloríficas del agua y el acero inoxidable

Tabla 4.25

Capacidades caloríficas del agua y el acero inoxidable

| Capacidad calorífica | Unidad | Valor |
|----------------------|------------|-------|
| Agua | Kcal/kg °C | 1,000 |
| Acero inoxidable | Kcal/kg °C | 0,113 |

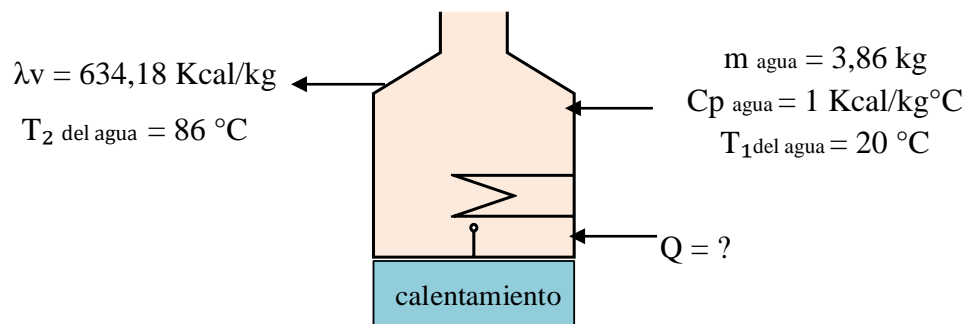
Fuente:

Miranda, 2021

Según (Moran. M, 2018) la propiedad de la entalpia de agua saturada a una temperatura de $86\text{ }^\circ\text{C}$ es de $\lambda_v = 634,18\text{ Kcal/kg}$

4.7.1 Balance de energía en la etapa pre-calentamiento del mosto

En la figura 4.36, se muestra el balance de energía del calentamiento del agua, en donde se calentó el agua para luego calentar el mosto



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36: Balance de energía en la etapa de calentamiento

El cálculo de calor requerido para calentar la olla de acero inoxidable, en donde se procedió a calentar el agua se tomó en cuenta la ecuación 4.31

Donde:

$$m_{\text{olla}} = 0,60 \text{ kg}$$

$$Cp_{\text{olla}} = 0,113 \text{ Kcal/kg}^\circ \text{C}$$

$$Q_{\text{olla}} = m_{\text{olla}} * Cp_{\text{olla}} * (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación 4.31}$$

$$Q_{\text{olla}} = 0,60 \text{ kg} * 0,113 \text{ Kcal/kg}^\circ \text{C} * (86-20)^\circ \text{C}$$

$$Q_{\text{olla}} = 4,48 \text{ Kcal}$$

El cálculo de calor requerido para calentar el agua, se tomó en cuenta la ecuación:

Donde:

$$m_{\text{agua}} = 3,86 \text{ kg}$$

$$Cp_{\text{agua}} = 1 \text{ Kcal/kg}^\circ \text{C}$$

$$\lambda_v = 634,18 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} * Cp_{\text{agua}} * (T_2 - T_1) + \lambda_v \quad \text{Ecuación 4.32}$$

$$Q_{\text{agua}} = 3,86 \text{ kg} * 1 \text{ Kcal/kg}^\circ \text{C} * (86 - 20)^\circ \text{C} + 634,18 \text{ Kcal/kg}$$

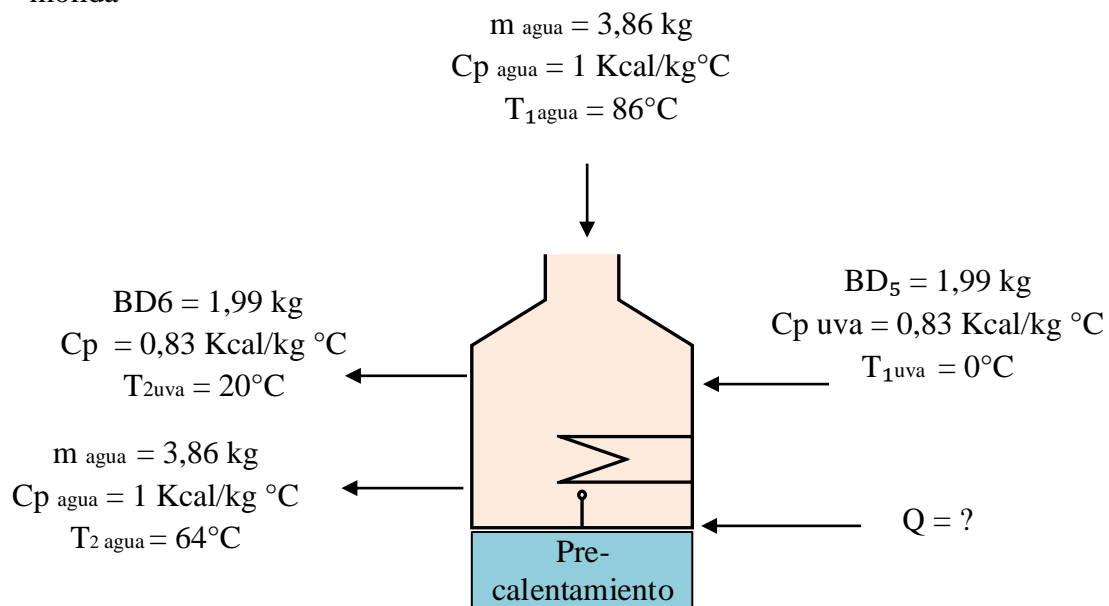
$$Q_{\text{agua}} = 889,27 \text{ Kcal}$$

$$Q_T = Q_{\text{olla}} + Q_{\text{agua}} \quad \text{Ecuación 4.33}$$

$$Q_T = 4,48 \text{ Kcal} + 889,27 \text{ Kcal}$$

$$Q_T = 893,75 \text{ Kcal}$$

En la figura 4.37, se muestra el balance de energía del pre-calentamiento de la uva molida



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37: Balance de energía en la etapa del precalentamiento de la uva molida

El cálculo de calor requerido para calentar la fuente de acero inoxidable, se tomó en cuenta la ecuación 4.34

Donde:

$$m_{\text{fuente}} = 0,48 \text{ kg}$$

$$Cp_{\text{fuente}} = 0,113 \text{ Kcal/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{fuente}} = m_{\text{fuente}} * Cp_{\text{fuente}} * (T_1 - T_2) \quad \text{Ecuación 4.34}$$

$$Q_{\text{fuente}} = 0,48 \text{ kg} * 0,113 \text{ Kcal/kg}^{\circ}\text{C} * (86 - 64) ^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{fuente}} = 1,20 \text{ Kcal},,$$

El cálculo de calor requerido para calentar la muestra en baño maría, se tomó en cuenta la ecuación 4.35

Donde:

$$m_{\text{agua}} = 3,86 \text{ kg}$$

$$Cp_{\text{agua}} = 1 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{BD}_5} = 1,99 \text{ kg}$$

$$Cp_{\text{uva}} = 0,83 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{agua + uva}} = m_{\text{agua}} * Cp_{\text{agua}} * (T_1 - T_2) + m_{\text{BD}_5} * Cp_{\text{uva}} * (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación 4.35}$$

$$Q_{\text{agua + uva}} = 3,86 \text{ kg} * 1 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C} * (86 - 64) ^\circ\text{C} + 1,99 \text{ kg} * 0,83 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C} * (20 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{agua + uva}} = 117,95 \text{ Kcal}$$

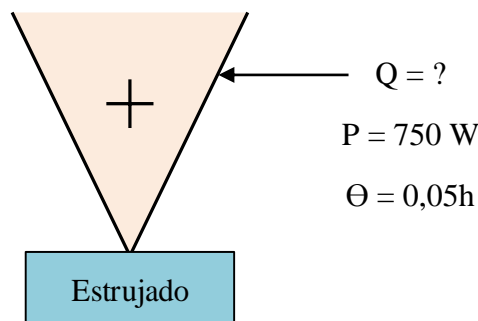
$$Q_T = Q_{\text{fuente}} + Q_m \quad \text{Ecuación 4.36}$$

$$Q_T = 1,20 \text{ Kcal} + 117,95 \text{ Kcal}$$

$$Q_T = 119,15 \text{ Kcal}$$

4.7.2 Balance de energía en la etapa de estrujado

En la figura 4.38, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de estrujado de la uva



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Balance de energía etapa de estrujado

Para la etapa de Estrujado de la uva se utilizó, marca: Machine Modelo: 80/4 figura (Anexo I.1), especificaciones técnicas figura 3.6 con una potencia de 750 W por un tiempo de (0,05 h), tiempo que se trituró 1993,53 g de uva.

$$P = \frac{E}{\Theta} \quad \text{Ecuación 4.37}$$

Despejando E, de la ecuación 4.37 Se tiene:

$$E = P * \Theta \quad \text{Ecuación 4.38}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 4. 38 Se tiene:

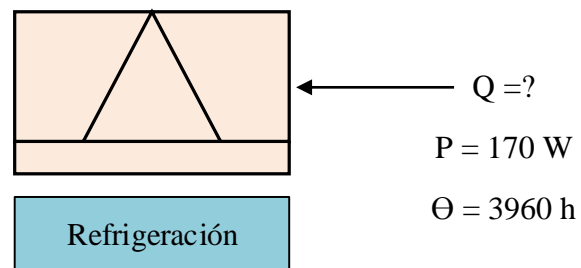
$$E = 750 \text{ W} * \frac{1 \frac{\text{Kcal}}{1\text{h}}}{1,163\text{w}} * 0,05\text{h}$$

$$E = 32,24 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía que se requirió para estrujar la uva fue de 32,24 Kcal.

4.7.3 Balance de energía en la etapa de refrigeración

En la figura 4.39, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de refrigeración del mosto



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.39: Balance de energía etapa de refrigeración

Para la etapa de refrigeración se utilizó un freezer marca Electrolux. (Anexo I.1), especificaciones técnicas figura 3.6 con una potencia de 170 W por un tiempo de 165 días (3960 h) tiempo que estuvo en frío el mosto.

$$P = \frac{E}{\Theta} \quad \text{Ecuación 4.39}$$

Despejando E, de la ecuación 4.39 Se tiene:

$$E = P * \Theta \quad \text{Ecuación 4.40}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 4.40 Se tiene:

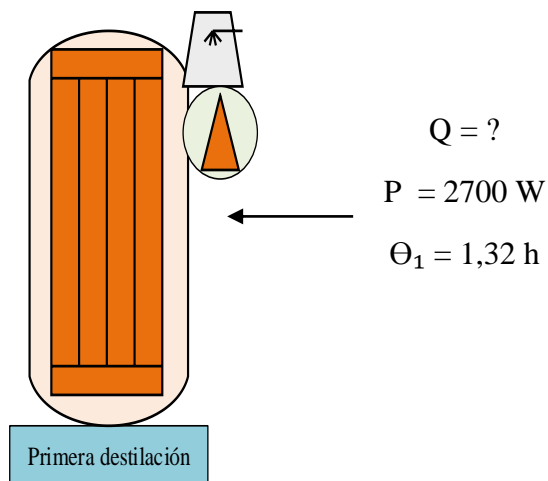
$$E = 170 \text{ W} * \frac{1 \frac{\text{kcal}}{1\text{h}}}{1,163\text{w}} * 3960\text{h}$$

$$E = 578847,80 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía que se requirió para mantener en frío el mosto durante los 165 días de refrigeración fue de 578847,80 Kcal.

4.7.4 Balance de energía en la etapa de primera destilación

En la figura 4.40, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de destilación del singani.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.40: Balance de energía etapa de la primera Destilación

Para la etapa de primera destilación se utilizó el rota vapor Bucchi R-100, figura (Anexo I.1), especificaciones técnicas figura 3.6, con una potencia de 2700 W por un tiempo de 1,32 h que dura la primera destilación.

$$P = \frac{E_1}{\Theta_1} \quad \text{Ecuación 4.41}$$

Despejando E, de la ecuación 4.30 Se tiene:

$$E_1 = P * \Theta_1 \quad \text{Ecuación 4.42}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 4.31 Se tiene:

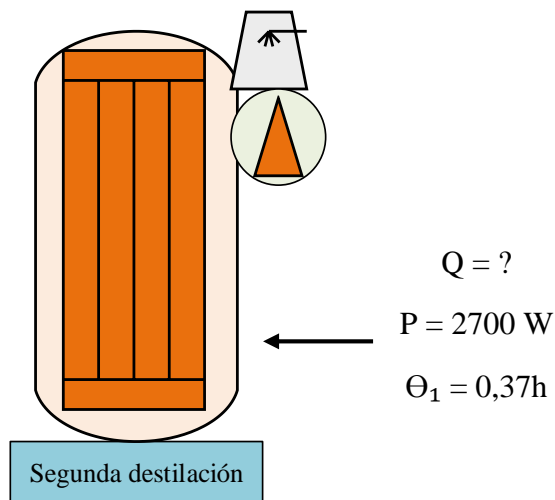
$$E_1 = 2700 \text{ W} * \frac{1 \frac{\text{Kcal}}{1\text{h}}}{1,163\text{w}} * 1,32 \text{ h}$$

$$E_1 = 3064,49 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía que se requirió para llevar acabo la primera destilación durante 1,32 h es de 3064,49 Kcal

4.7.5 Balance de energía en la etapa de segunda destilación

En la figura 4.41, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de destilación del singani.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.41: Balance de energía etapa de la segunda destilación

Para la etapa de la segunda destilación se utilizó el rota vapor Bucchi R-100, figura (Anexo I.1), especificaciones técnicas figura 3.6, con una potencia de 2700 W por un tiempo de 0,37 h que dura la segunda destilación.

$$P = \frac{E_2}{\Theta_2} \quad \text{Ecuación 4.43}$$

Despejando E, de la ecuación 4.43 Se tiene:

$$E_2 = P * \Theta_2 \quad \text{Ecuación 4.44}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 4.44 Se tiene:

$$E_2 = 2700 \text{ W} * \frac{1 \frac{\text{Kcal}}{1\text{h}}}{1,163\text{w}} * 0,37 \text{ h}$$

$$E_2 = 858,98 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía que se requirió para llevar acabo la segunda destilación durante 0,37 h es de 858,98 Kcal.

La energía total se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$E_T = E_1 + E_2 \quad \text{Ecuación 4.45}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 4.45 Se tiene:

$$E_T = E_1 = 3064,49 \text{ Kcal} + E_2 = 858,98 \text{ Kcal}$$

$$E_T = 3923,47 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía total que se requirió para llevar acabo la bidestilación durante 1,69 h es de 3923,47 Kcal.

CAPITULO V
CONSLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Para el presente trabajo experimental de obtención de singani por el método de bidestilación al vacío y según los datos obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- ✓ Realizado en análisis físico de la uva Moscatel de Alejandría presenta los promedios: peso 5,27; diámetro 1,81; altura 2,15; porción comestible 87,13 %; porción no comestible 12,86 % y sólidos solubles 21,23 °Brix.
- ✓ Realizado el análisis fisicoquímico y microbiológico de la uva Moscatel de Alejandría se obtuvo como resultados: calcio 15,30 mg/100 g; potasio 190 mg/100 g; humedad 74,32 %; ceniza 0,51 %; materia grasa 0,02 %; proteína total 0,81%; fibra 0,17 %; hidratos de carbón 24,17 %; valor energético 100,1 kcal/100g. Bacterias aerobias mesófilas $1,7 \times 10^5$ UFC/g; escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; mohos y levaduras $4,4 \times 10^4$ UFC/g. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.
- ✓ Realizado la evaluación sensorial para las muestras preliminares del singani con la variación de cantidad de levadura, cantidad de nutriente y tiempo de fermentación, según el análisis estadístico de varianza de los atributos (limpiez, aroma y grado alcohólico) de las muestras evaluadas indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$. Sin embargo, para el atributo retrogusto sí existe diferencia significativa. Así mismo, en función a las medianas de la evaluación sensorial se tomó en cuenta la muestra BS2 como ideal para el proceso.
- ✓ Aplicado el diseño factorial 2^3 en el proceso de fermentación alcohólica para la obtención de singani, se llegó a la conclusión que las variables cantidad de levadura (A), cantidad de nutriente (A) y tiempo de fermentación (C), existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada, se afirma que la variación de los factores son significativos en el proceso de fermentación.

- ✓ Realizado la evaluación sensorial del diseño experimental para un nivel inferior no existe una diferencia significativa en ninguno de sus atributos, debido a que, Así mismo en su nivel superior existe una diferencia significativa en unos de sus atributos (aroma), sin embargo, para sus atributos (limpidez, retrogusto y grado alcohólico) existe una diferencia significativa, en donde la muestra elegida por los jueces fue BD01.
- ✓ En base a los resultados fisicoquímicos obtenidos del singani este contiene: grado alcohólico 36 % (v/v), metanol 313 mg/l, pH 4.05, acidez volátil 336 mg/l.
- ✓ En base al balance de material se determinó que, apartir de 2288g de uva moscatel de Alejandría se obtiene 116,67g de singani, así mismo realizado el balance de energía se determinó la cantidad de energía que se requiere en las siguientes etapas de: refrigeración 578847,80 Kcal, estrujado 32,24 Kcal y bidestilación 3923,47 Kcal.

5.2 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda mantener la temperatura constante en una incubadora en el proceso de fermentación alcohólica para que no ocurra una fermentación violenta cuando incrementa la temperatura, con la finalidad de obtener un singani con buenos aromas y sabor.
- ✓ Se recomienda aplicar otro método de conservación de la uva adicionando algunos conservantes u otro método, con la finalidad de mantener sus propiedades organolépticas y fisicoquímicas de la uva.
- ✓ Se recomienda incrementar análisis de acidez volátil, azúcares reductores y totales, sulfuroso libre en el proceso de fermentación, analizados en los laboratorios académicos de la carrera ingeniería de alimentos (LACIA)

