

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Antecedentes

En el 2016, más de la mitad (57% o 3100 millones de personas) de la población mundial de 15 años o más se había abstenido de consumir alcohol en los 12 meses anteriores. Alrededor de 2300 millones de personas son consumidores actuales. Más de la mitad de la población consume alcohol en solo tres regiones de la OMS (Américas, Europa y Pacífico Occidental). En las regiones de África (AFR), las Américas (AMR), el Mediterráneo Oriental (EMR) y Europa (EUR), el porcentaje de bebedores ha disminuido desde el año 2000. Sin embargo, aumentó en la Región del Pacífico Occidental (WPR) de 51,5% en el 2000 a 53,8% en la actualidad, y se ha mantenido estable en la Región de Asia Sudoriental (SEAR). El consumo total de alcohol por habitante en la población mundial de más de 15 años aumentó de 5,5 litros de alcohol puro en el 2005 a 6,4 litros en el 2010, y se mantuvo en el nivel de 6,4 litros en el 2016. Los niveles más altos de consumo de alcohol por habitante se observan en países de la Región de Europa (OMS, 2018).

En Bolivia, se consumen anualmente 339 millones de litros de bebidas alcohólicas por un valor, a precios de mercado de 740 millones de dólares americanos. Esto es poco más del 3% del Producto Interno Bruto (PIB) que, según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2012). La cerveza representa el 69% de la facturación, el vino y el singani juntos el 9% (4,8% el vino y 4,2% el singani) y las otras 10 bebidas el 22%, es decir; un promedio de 2,2% por cada una (Sillo, 2016).

(Montes, 1994), menciona que las principales áreas de cultivo de Arroz en Bolivia se encuentran en los departamentos de Santa Cruz (Provincias Ichilo, Gutiérrez, Santiesteban, Warnes y Ibáñez); La Paz (Zonas de Alto Beni y Caranavi); Cochabamba (Provincias Carrasco y Chapare); y áreas con una producción menor el Beni y Pando. En la tabla 1.1, se muestra la producción de arroz en Bolivia por departamento.

Tabla 1.1

*Producción de arroz en Bolivia por departamento*

Departamento	Producción en (%)	Producción (Tm)
Santa Cruz	70,0	249,391
La Paz	8,5	30,283
Cochabamba	6,6	23,514
Beni	11,0	39,190
Pando	3,2	11,401
Tarija	0,4	1,425
Chuquisaca	0,3	1,069
Nacional	100,0	356,273

**Fuente:** (MDRyT, 2013)

**1.2 Justificación**

- ◆ En Tarija se destilan aguardientes de diferentes variedades de uva como ser la moscatel de Alejandría, Italia, moscatel, San Juanina, Sultanina, etc., pero no existen registros de que se realicen destilados de aguardiente de cereales específicamente de arroz, es por eso que el presente trabajo de investigación propone elaborar un aguardiente de arroz tipo soju como una nueva alternativa de consumo en bebidas alcohólicas destiladas para la población tarijeña.
- ◆ Si bien en el departamento de Tarija se cultivan cereales, el arroz variedad japónica no es uno de ellos, esta variedad de arroz es cultivada en la colonia japonesa de San Juan de Yapacaní en el departamento de Santa Cruz, y es este arroz el que se utilizara en el presente trabajo para elaborar el aguardiente de arroz tipo soju y de esta manera se coadyuvara al sector productor con el consumo de esta variedad arroz.
- ◆ Los problemas de contrabando del arroz en nuestro país y la falta de transformación de esta materia prima en productos terminados, hacen que el arroz producido en nuestro país se venda a precios bajos dejando pocas ganancias al sector productor, motivo por el cual se desarrolla el presente trabajo de investigación, en donde se utilizará el arroz variedad japónica para

la obtención de aguardiente de arroz tipo soju y así impulsar el consumo de esta variedad de arroz para que genere mayores ganancias al sector productor de la colonia japonesa de San Juan de Yapacaní.

### **1.3 Objetivos**

Los objetivos planteados para el siguiente trabajo de investigación se describen a continuación:

#### **1.3.1 Objetivo General**

Aplicar la metodología experimental de fermentación alcohólica del arroz variedad japónica, con el fin de obtener aguardiente de arroz tipo soju de calidad para el consumo de la población de la provincia Cercado.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- ◆ Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas del arroz variedad japónica cultivado en Santa Cruz-Bolivia y en Corea del Sur con el fin de establecer la calidad del mismo.
- ◆ Comparar la cantidad de almidón contenido en el arroz cultivado en Corea del Sur y el arroz cultivado en Santa-Cruz Bolivia.
- ◆ Realizar pruebas experimentales variando la dosificación de materia prima e insumos para obtener una formulación de agua ardiente de arroz tipo soju en la etapa de fermentación alcohólica del arroz y así obtener un buen destilado.
- ◆ Aplicar evaluación sensorial para definir la dosificación de los insumos en la obtención de aguardiente de arroz tipo soju con el fin de obtener una muestra ideal.

- ◆ Aplicar un control en el proceso de fermentación alcohólica del arroz, mediante la medición de parámetros: °Brix, pH y acidez.
- ◆ Realizar graficas de los parámetros medidos (°Brix, pH y acidez), durante el proceso de fermentación alcohólica.
- ◆ Aplicar el diseño experimental con el fin de establecer las variables que influyen en la fermentación alcohólica, para la obtención del aguardiente de arroz tipo soju.
- ◆ Realizar una evaluación sensorial de los atributos aroma, sabor y contenido alcohólico, en muestras finales para determinar la aceptabilidad del producto.
- ◆ Realizar el análisis estadístico de caja y bigote a los resultados obtenidos de las evaluaciones sensoriales, para obtener el producto final.
- ◆ Determinar las propiedades fisicoquímicas del aguardiente de arroz tipo soju, con la finalidad de establecer su calidad.
- ◆ Realizar un balance de materia y energía a nivel experimental, con la finalidad de conocer las entradas de materia prima e insumos, la salida del producto y el gasto de energía para determinar el rendimiento del proceso.

#### **1.4 Objeto de estudio**

El objeto de estudio del presente trabajo de investigación es la aplicación de la metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica del arroz variedad japónica para la obtención de aguardiente tipo soju.

## **1.5 Campo de acción**

Para la realización del siguiente trabajo de investigación, se delimitaron los siguientes campos de acción:

### **1.5.1 Espacial**

El campo de acción espacial en donde se realizó el presente trabajo de investigación, fue en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

### **1.5.2 Temporal**

El campo de acción temporal en que se desarrolló el presente trabajo de investigación fueron las gestiones 2020-2021.

### **1.5.3 Institución**

Los lugares de elaboración del presente trabajo de investigación fueron: el Laboratorio de Alimentos (L.T.A.) y Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.C.I.A.) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

## **1.6 Situación problema**

Si bien en nuestro país se cultivan muchas variedades de cereales que pueden ser transformados en bebidas alcohólicas por medio de la fermentación alcohólica de cereales, estas no son transformadas y son vendidas como materia prima a países extranjeros de Europa y Asia, que si realizan estos procesos de transformación y luego nos venden estos productos. Es por esto que se debe impulsar la transformación de materias primas en productos terminados.

En el mercado local no existe aguardiente de arroz variedad japónica producido en nuestro país, ya que no existen registros de que se realicen destilados de aguardiente de cereales, el presente trabajo de investigación pretende realizar un aguardiente de arroz tipo soju utilizando el proceso de fermentación alcohólica del arroz variedad japónica para que coadyuve al consumo de este arroz y así genere valor agregado al

mismo y también como una nueva alternativa de consumo en bebidas alcohólicas destiladas en la provincia Cercado.

### **1.8 Formulación del problema**

¿Se logrará obtener un aguardiente de arroz tipo Soju, aplicando la metodología experimental de fermentación alcohólica del arroz variedad japónica, para obtener un producto de calidad y apto para el consumo en la provincia Cercado?

### **1.9 Hipótesis**

La metodología experimental de fermentación alcohólica del arroz variedad japónica propuesta para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju permitirá obtener un producto de calidad y apto para el consumo de la provincia Cercado.

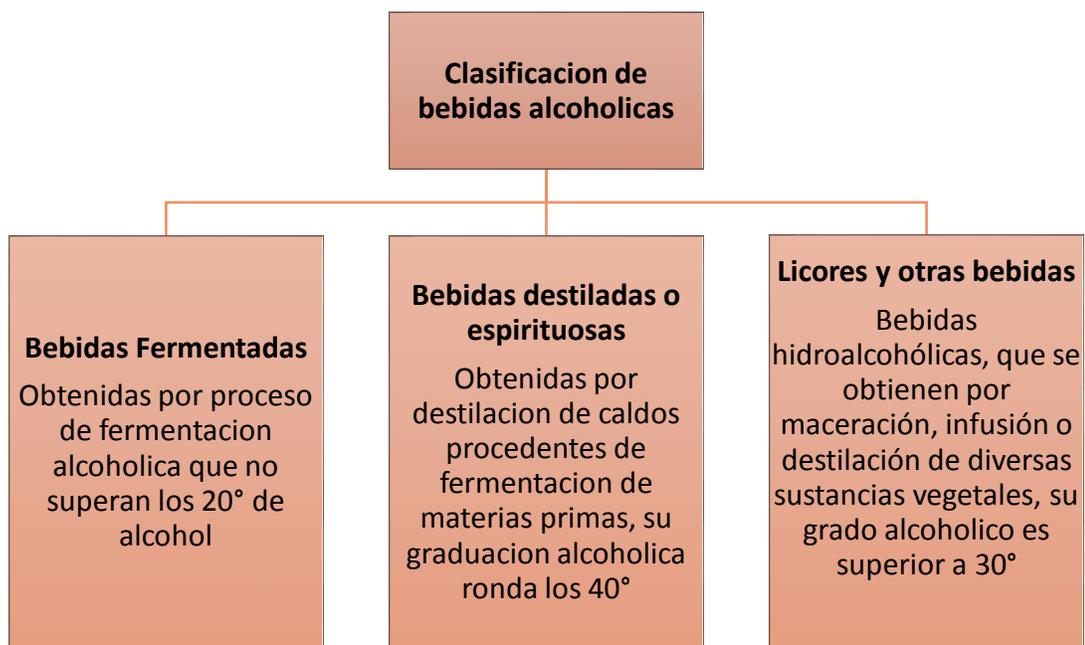
**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1 Bebidas Alcohólicas

Las bebidas alcohólicas son aquellas bebidas que contienen etanol (alcohol etílico) en su composición. Las bebidas alcohólicas juegan un papel social importante en muchas culturas del mundo. La mayoría de los países tienen leyes que regulan la producción, venta y consumo de estas bebidas; una de ellas es que por lo general se restringe su venta y consumo a menores de edad (Altamirano, 2011).

## 2.2 Clasificación de bebidas alcohólicas

En la figura 2.1, se muestra la clasificación de las bebidas alcohólicas



**Fuente:** (Altamirano, 2011)

**Figura 2.1** Clasificación de las bebidas alcohólicas

## 2.3 Definición de bebida alcohólica destilada

Según la norma IBNORCA 342 en el apartado 3.47 define como una bebida alcohólica destilada a aquellas cuyas propiedades organolépticas y alcohol provienen de la destilación especial o destilo-rectificación de mostos de origen vegetal, fermentados convenientemente.

## 2.4 Clasificación de los destilados

La clasificación de bebidas alcohólicas destiladas, de acuerdo a las materias primas empleadas y los sistemas de obtención, se puede distinguir varios tipos de bebidas alcohólicas destiladas.

En la figura 2.2, se muestra la clasificación de los destilados.



**Fuente:** (Hidalgo, 2011)

**Figura 2.2** Clasificación de los destilados

## 2.5 Origen del aguardiente

La historia del aguardiente comienza en el siglo XIII, no en Escandinavia sino, curiosamente, en Italia. En la búsqueda de un elixir que asegurara la vida eterna, los

científicos de aquel entonces dedujeron que aquel podría extraerse del espíritu mágico presente en el vino. Así empezó la destilación que dio origen al aqua vitae o agua de la vida. A medida que el arte de la destilación se difundía por toda Europa medieval, el *aqua vitae* pasó a ser el *eau de vie* en Francia y el *uisge beatha* (que en gaélico significa whisky) en las islas británicas. Cuando el aqua vitae llegó a Escandinavia a fines del siglo XV, se seguía produciendo, exclusivamente, del vino. Pero como la vid no crece en climas fríos, el vino tenía que importarse, lo que convertía a esta bebida en un producto exótico y costoso, utilizado principalmente como medicina. Al no lograr la inmortalidad, al aguardiente, o branvin (vino quemado) como también se lo conocía, se le atribuyeron maravillosos poderes curativos (Viteri, 2012).

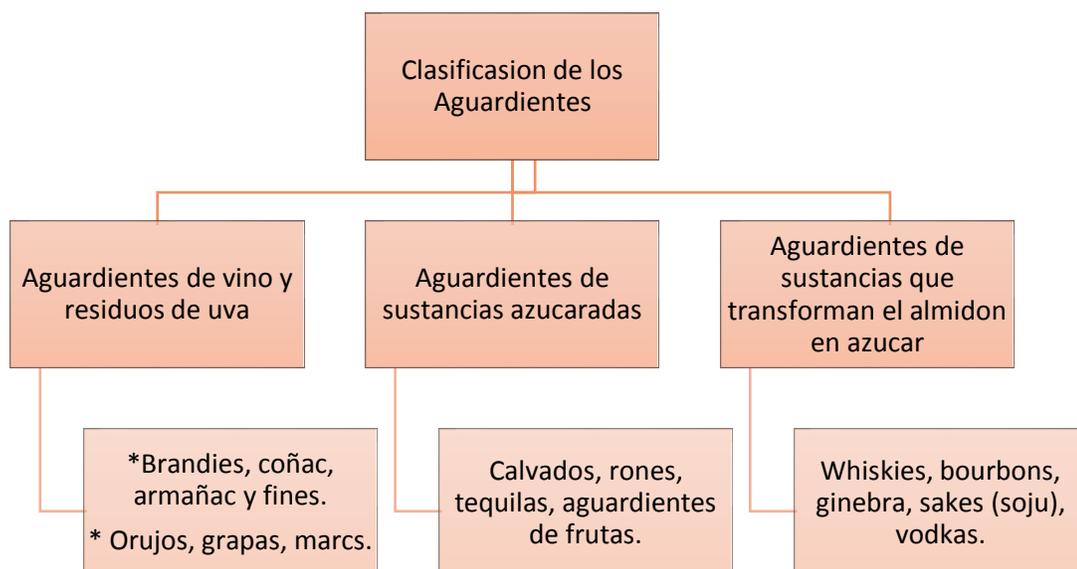
## **2.6 Definición de aguardiente**

Son todas las bebidas alcohólicas de alta graduación, secas o aromáticas obtenidas por destilación de mostos o pastas fermentadas, pueden ser de granos, caña, papa, etc. Esta palabra que deriva del término latín "agua ardens" con el que designaban al alcohol obtenido por medio de la destilación (Ramirez, 2010).

Según la norma IBNORCA 342 en el apartado 3.45 define como "Bebida alcohólica obtenida por la destilación especial de mostos de frutas, de zumos de materias amiláceas de origen vegetal, ordinariamente frescos y sanos, sometidos exclusivamente a fermentación alcohólica". Se denomina siempre seguido del nombre de la materia prima de procedencia.

## **2.7 Clasificación del aguardiente**

Teniendo en cuenta el producto que se utilice como base de la materia prima en la elaboración de los aguardientes podemos clasificarlos en tres grandes grupos. En la figura 2.3, se muestra la clasificación de los aguardientes.



**Fuente:** (Viteri, 2012)

**Figura 2.3** Clasificación de los aguardientes

## 2.8 Historia del soju

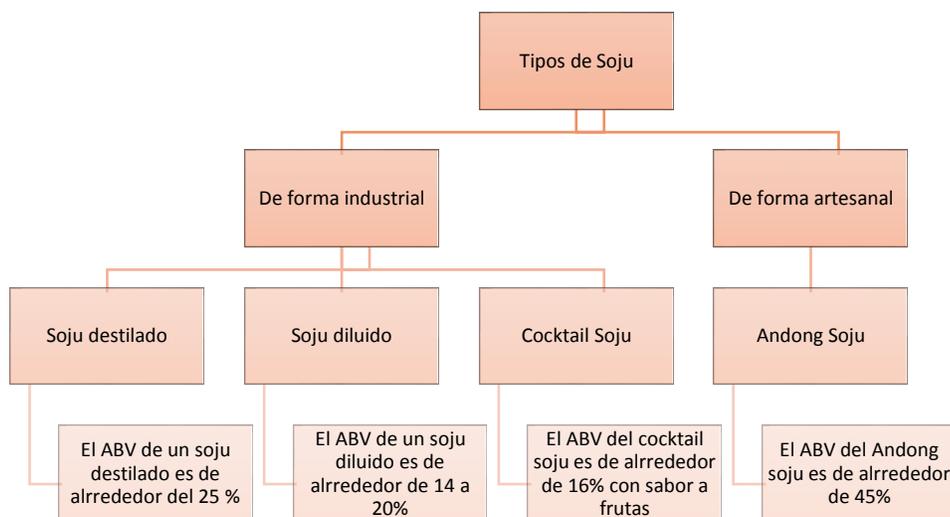
La historia del soju es una historia tumultuosa. Este licor no es originario de Corea, sino que fue traído al país por invasores foráneos. A principios del siglo VIII, cuando la dinastía Goryeo gobernaba la península, los mongoles perpetraron una invasión y trajeron con ellos el soju. Las tropas mongolas bebían un fuerte licor destilado de un tipo que nunca antes habían visto los coreanos y que posteriormente se convirtió en el licor llamado soju en Corea. Hasta aquel momento, los coreanos tomaban principalmente bebidas alcohólicas fermentadas como el cheongju (un vino de arroz refinado), el beopju (un vino de arroz también refinado, pero en este caso fermentado en un estricto proceso para su uso en rituales) y el makgeolli (un vino de arroz sin refinar). Se dice que el soju se expandió de la mano de la guerra. Una evidencia histórica que apoya esta tesis, es el hecho de que los lugares donde se ubicaban en aquellos tiempos los campamentos de los mongoles, como Gaeseong, Andong y la isla de Jeju, son famosos hoy en día por la producción de soju (Jong-suk, 2014).

### 2.8.1 Definición de soju

Según (SICE, 1998), El soju destilado es un producto artesanal, se suele fabricar a partir de cereales o arroz, el proceso de producción es bastante perfeccionado y no se utilizan aditivos. El soju destilado puede tener un proceso de envejecimiento de dos años como máximo antes de ponerlo a la venta, asimismo el contenido de alcohol del soju destilado es del 40-45 por ciento; tiene además un sabor característico, que es más suave que el del soju corriente. El soju diluido o corriente se produce a partir de materias primas baratas: joojung (alcohol etílico), que se obtiene del camote, la tapioca o el maíz fermentados y se destila para obtener un alcohol que sea lo más puro posible, ese alcohol (joojung) no se destila de nuevo, sino que se diluye con agua y se le añaden entre seis y siete aditivos, no está autorizado por ley ningún proceso ulterior de envejecimiento o coloración, esta bebida es un aguardiente que tiene un contenido alcohólico relativamente bajo del 25 por ciento.

### 2.8.2 Tipos de soju

Existen diferentes tipos de soju y se clasifican según el tipo de producción por el que son obtenidos: de forma Industrial y de forma Artesanal. En la figura 2.4, se muestra los tipos de soju según su tipo de producción.



**Fuente:** (Hwa, 2012)

**Figura 2.4** Tipos de soju

## **2.9 Materia prima e insumos utilizados en la obtención de aguardiente de arroz tipo soju**

La materia prima utilizada en el proceso de elaboración del soju se describe a continuación:

### **2.9.1 El arroz (*Oryza sativa* L.)**

El arroz (*Oryza sativa* L.) es una planta monocotiledónea, perteneciente a la familia de las Poáceas (gramíneas), su fruto es comestible y es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial. El componente mayoritario del arroz es el almidón y por ello supone una buena fuente de energía. Aporta unas 364 calorías por cada 100 gramos, aporta un 7 por ciento de proteínas y es rico en vitaminas del grupo B, si se consume integral. (Franquet, 2004).

La especie *Oryza sativa* presenta mayor diversidad genética encontrándose hasta tres sub-especies, las cuales son clasificadas basada en su ecología y morfología en: Índica, Japónica y Javánica; mientras que en *Oryza glaberrima*, tal tendencia no fue encontrada. Esto puede sugerir que diferencias en el sistema genético de las especies silvestres ancestrales pueden haber llevado a diferentes tipos de evolución de las formas cultivadas. La sub-especie Indica está distribuida en los trópicos y subtropicos, la Javánica se cultiva en Indonesia, siendo también conocida como Japónica tropical, mientras que la Japónica, se encuentra distribuida en zonas no tropicales (templadas), sin embargo, existe sobre posición de caracteres entre esos tipos (Chang, 2003).

#### **2.9.1.1 Arroz variedad japónica**

Los granos de arroz Japónica son más redondos, más gruesos y más duros comparados con los granos de arroz Índica que son más largos, más finos y más esponjosos. El arroz Japónica también es más pegajoso debido al mayor contenido de amilopectina, mientras que el almidón del arroz Índica contiene menos amilopectina y más amilosa. Esta característica le hace ideal para el sushi. Las plantas de arroz japónica también son

más cortas que las del arroz indico (Kim, 2016). En la figura 2.5 se muestra el arroz variedad japónica.



**Fuente:** (Constantino, 2020)

**Figura 2.5** Arroz variedad japónica

### 2.9.1.2 Clasificación Taxonómica del arroz variedad japónica

En la tabla 2.1, se describe la clasificación taxonómica del arroz variedad japónica

**Tabla 2.1**

**Clasificación taxonómica del arroz variedad japónica**

Taxonomía	
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>Clase:</b>	Liliopsida
<b>Sub clase:</b>	Commelinidae
<b>Orden:</b>	Poales
<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Género:</b>	<i>Oryza</i>
<b>Especie:</b>	<i>O. sativa</i>
<b>Subespecie:</b>	<i>Oryza sativa</i> variedad japónica

**Fuente:** (Silva, 2018)

### 2.9.1.3 Composición química del arroz variedad japónica

En la tabla 2,2 se indica la composición química del arroz variedad japónica.

**Tabla 2.2****Composición química del arroz variedad japónica**

Componente	Valor	Unidad
Agua	15,50	%
Proteína	6,20	g
Grasa	0,80	g
Carbohidratos	76,90	g
Fibra	0,30	g
Ceniza	0,60	g
Calcio	6,00	mg
Fósforo	150,00	mg
Hierro	0,40	mg
Sodio	2,00	g
Vitamina B1	0,09	mg
Vitamina B2	0,03	mg
Niacina	1,40	mg
Calorías	351,00	mg

**Fuente:** (Saint, 2008)

**2.9.1.4 Propiedades nutricionales del arroz japónica**

Nutricionalmente el arroz ya desprovisto de su salvado, suele tener menos fibra dietética que otros granos y es más digestivo, puede ser utilizado como un alimento de subsistencia, proporcionando mayor contenido calórico y más proteínas que el trigo y el maíz (Silva, 2018). En la tabla 2.3 se pueden observar la composición nutricional del arroz blanco y el arroz integral variedad japónica.

**Tabla 2.3****Composición Nutricional del arroz variedad japónica**

Tipo	Calorías	Carbohidratos	Fibra	Grasas	Omega 3	Proteínas
Arroz blanco	130 kcal	28,6 g	0,3 g	0,2 g	10 mg	2,4 g
Arroz integral	112 kcal	23,5 g	1,8 g	0,8 g	13 mg	2,3 g

**Fuente:** (Silva, 2018)

En la tabla 2.4 se pueden observar la composición nutricional de vitaminas y minerales que contiene el arroz blanco y el arroz integral variedad japónica.

**Tabla 2.4****Composición nutricional de vitaminas y minerales del arroz variedad japónica**

Tipo	Vitaminas			Ca	Fe	Mg	P	K	Zinc	Se
	B1	B3	B9							
Arroz blanco	0,2 mg	1,8 mg	58 mcg	10 mg	1,5 mg	13 mg	37 mg	29 mg	0,4 mg	7,5 mcg
Arroz integral	0,1 mg	1,3 mg	4 mcg	3 mg	0,5 mg	44 mg	77 mg	79 mg	0,6 mg	0,0 mcg

**Fuente:** (Silva, 2018)

### 2.10 Caracterización de los insumos para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

En este apartado se explica los insumos que forman parte del proceso de obtención de aguardiente tipo soju, detallados a continuación.

#### 2.10.1 Azúcar

(Weiner, 2005) afirma: “La sacarosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa, que se obtiene principalmente de la caña de azúcar o de la remolacha. El 27 % de la producción total mundial se realiza a partir de la remolacha y el 73 % a partir de la caña de azúcar”.

#### 2.10.2 Alfa amilasa

Kuhn, en el año 1925, fue el primero en acuñar el término “ $\alpha$ -amilasa” basándose en el hecho de que los productos de la hidrólisis que catalizan estas enzimas poseen configuración  $\alpha$ . Más tarde, en 1968 se determinó que estas actúan preferentemente sobre sustratos de configuración estructural lineal y no ramificada”.

Al igual que otras enzimas amilo líticas, la  $\alpha$ -amilasa se encarga de la hidrólisis del almidón y de otras moléculas relacionadas como el glucógeno, produciendo polímeros más pequeños compuestos por unidades repetidas de glucosa.

Las amilasas son enzimas que degradan el almidón y tienen numerosas aplicaciones biotecnológicas, un ejemplo claro de ellas la producción de jarabes, que contienen oligosacáridos como maltosa y glucosa, la composición precisa de los productos finales puede ser controlados en los procesos fermentativos (Silver, 2004).

### **2.10.3 Levadura vinifica (*Saccharomyces cerevisiae*)**

Según González S. (1978) “Esta especie es típica de fermentación alta de la industria cervecera, sus colonias son blandas, húmedas y color crema. Fermentan la galactosa, la sacarosa, la maltosa y la rafinosa y no utilizan nitritos”. (p. 4).

Tradicionalmente varias especies del género *Saccharomyces* han estado relacionados con la producción de bebidas alcohólicas, dentro de las que destacan: *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces uvarum*, *Saccharomyces carlsbergensis*, *Saccharomyces bayanus*, *Saccharomyces ellipsoideus*, *Saccharomyces chevalieri*, *Saccharomyces oviformis*, *Saccharomyces italicus*, *Saccharomyces capencis*, *Saccharomyces vini*. (García, et al, 2004).

### **2.10.4 Agua potable**

Según la Norma Boliviana 512 define como agua potable a aquella que, por sus características organolépticas, fisicoquímicas, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la NB-512. (IBNORCA N. B., 2016).

### **2.11 Fermentación alcohólica en cereales**

De acuerdo con la interpretación bioquímica hecha por Pasteur, la fermentación alcohólica se conoce como la desasimilación anaeróbica de compuestos orgánicos por la acción de microorganismos u otras células o de extractos celulares; además, es un conjunto de reacciones bioquímicas a través de las cuales una sustancia orgánica se transforma en otras por acción de ciertos microorganismos (bacilos, bacterias, células de levadura), que en general van acompañadas de un desprendimiento gaseoso y de un efecto calorífico.

La fermentación alcohólica (denominada también como fermentación del etanol o incluso fermentación etílica) es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno –  $O_2$ ), originado por la actividad de algunos microorganismos

que procesan los hidratos de carbono (por regla general azúcares: como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc.) para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol, cuya fórmula química es:  $CH_3-CH_2-OH$ , dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. El etanol resultante se emplea en la elaboración de algunas bebidas alcohólicas, tales como el vino, la cerveza, la sidra, el cava, etc. Aunque en la actualidad se empieza a sintetizar también etanol, mediante la fermentación a nivel industrial a gran escala para ser empleado como biocombustible (Vazquez, 2007).

La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras y algunas clases de bacterias. Estos microorganismos transforman el azúcar en alcohol etílico y dióxido de carbono. La fermentación alcohólica, comienza después de que la glucosa se degrada en un ácido pirúvico. Este ácido pirúvico se convierte luego en  $CO_2$  y etanol. Los seres humanos han aprovechado este proceso para hacer pan, cerveza, y vino. En estos tres productos se emplea el mismo microorganismo que es la levadura común o la *Saccharomyces cerevisiae* (Macek, 2012).

### **2.11.1 Factores que influyen en la fermentación alcohólica de cereales**

Existen factores físicos y químicos que inciden positiva o negativamente en la fermentación alcohólica, ya sea actuando sobre el desarrollo de la levadura o el proceso fermentativo.

#### **2.11.1.1 Concentración de azúcares**

Según (Betancourt, 2001) la concentración de azúcares debe mantenerse en niveles bajos para la multiplicación inicial de la levadura. De 10 °Brix a 18 °Brix de concentración de azúcar es satisfactoria, en ocasiones se emplean concentraciones demasiado altas que inhiben el crecimiento de las levaduras.

Fajardo y Sarmiento (2007). Mencionan que “el efecto de la adición de azúcar en la producción de alcohol, es favorable en un contenido de azúcar (18 a 20 °Brix) para la fermentación alcohólica”.

#### **2.11.1.2 pH**

Carpenter, 1988 indica que “el pH es un factor importante en la fermentación, debido a su importancia en el control de la contaminación bacteriana como también el efecto en el crecimiento de las levaduras, en la velocidad de la fermentación y en el rendimiento de etanol con *Sacharomyces cerevisiae*. La reacción óptima para un proceso fermentativo con levaduras se debe realizar a un pH de 4,5 y 5,0”.

Según Gonzales, 1978 indica que “La fermentación continúa satisfactoriamente cuando el pH del mosto ha sido ajustado entre 4 y 4.5. Este pH favorece a las levaduras y es lo suficientemente bajo para inhibir el desarrollo de muchos tipos de bacteria”.

#### **2.11.1.3 Temperatura**

Hidalgo, (2002) indica que “otro de los parámetros que habitualmente se mide en la fermentación alcohólica, es el control de temperatura siendo una determinación muy fácil de realizar, y que de manera indirecta determina la actividad de las levaduras, sirviendo además para predecir la posible parada de la fermentación por exceso de temperatura”.

Según Gonzales, (1978) indica que “la temperatura puede tener lugar en un rango de temperatura desde los 13°C- 35°C. Las levaduras son microorganismos mesófilos. Cuanto mayor sea la temperatura dentro del rango establecido mayor será la velocidad del proceso fermentativo siendo también mayor la proporción de productos secundarios. Sin embargo, a menor temperatura es más fácil conseguir un mayor grado alcohólico, ya que a altas temperaturas hacen fermentar más rápido a las levaduras llegando a agotarlas antes”.

#### **2.11.1.4 Agitación**

“Es un factor que actúa disminuyendo la sedimentación de células, propiciando un contacto eficiente con el sustrato. Una agitación moderada del mosto en la fermentación permite mantener las células en suspensión” (Hurtado, 2012).

#### **2.11.1.5 Almidón**

El almidón es uno de los mayores glucopolímeros, y su estructura básica es la de una cadena central compuesta de  $\alpha$ -D-glucosas unidas mediante enlaces  $\alpha$ -1,4, y cadenas ramificadas mediante enlaces  $\alpha$ -1,6. La cadena lineal no ramificada recibe el nombre de amilosa, mientras que las cadenas ramificadas se denominan amilopectinas. Estas cadenas difieren no solo en cuanto a sus propiedades físicas, sino también en cuanto a proporciones ya que la amilosa representa entre el 17 y el 25% del almidón, mientras que el resto son principalmente amilopectinas. Una molécula del almidón es una cadena muy larga que no se puede fermentar como tal, ya que las células de levadura no pueden procesarlas para formar alcohol y dióxido de carbono, (Stanier, 1992).

#### **2.11.1.6 Degradación del almidón**

La degradación del almidón, también llamado sacarificación, es llevado a cabo por dos enzimas: la  $\alpha$ -amilasa, la enzima liquefactora, y la glucoamilasa, la enzima sacarificadora. Estas se hallan entre las amilosacaridasas más estudiadas dadas su alta actividad y sus muchas aplicaciones industriales. En primer lugar, la glucoamilasa empieza atacando por los extremos y a las cadenas ramificadas, mientras que la  $\alpha$ -amilasa ataca a las cadenas por el medio, creando productos intermedios, que a su vez son atacados por la  $\alpha$ -amilasa. Al final, solo quedan maltosas que la  $\alpha$ -amilasa rompe, obteniendo así  $\alpha$ -D-glucosa. Finalmente, esta glucosa puede ser absorbida por *Aspergillus*, o permanecer en el arroz y participar en su sacarificación, (Stanier, 1992)

## **2.12 Operaciones de proceso para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju**

Las operaciones importantes para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju son las siguientes:

### **2.12.1 Fermentación**

El término fermentación se utiliza generalmente para designar los cambios químicos producidos en los compuestos orgánicos o inorgánicos (sustratos) por la acción de microorganismos. Estos, en un ambiente adecuado, crecen y se multiplican (producción de biomasa) al mismo tiempo que consumen sustratos y producen metabolitos como resultado de su metabolismo (Macek, 2012).

### **2.11.2 Destilación al vacío**

La destilación al vacío consiste en generar un vacío parcial por dentro del sistema de destilación para destilar sustancias por debajo de su punto de ebullición normal. Este tipo de destilación se utiliza para purificar sustancias inestables como son por ejemplo las vitaminas. Lo importante en esta destilación es que al crear un vacío en el sistema se puede reducir el punto de ebullición de la sustancia casi la mitad. (Equipos y laboratorios de Colombia, 2011).

En el caso de la destilación a vacío, se trata de una destilación sencilla o fraccionada realizada a presión reducida; donde este hace que las temperaturas de ebullición sean más bajas, lo que permite separa sustancias con puntos de ebullición elevados y/o que pueden descomponerse a temperaturas elevadas (Pantoja, 2005).

**CAPÍTULO III**  
**DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3.1 Desarrollo de la parte experimental**

La parte experimental del presente trabajo de investigación “Obtención de aguardiente de arroz tipo soju”, se lo realizó en las instalaciones de los laboratorios: Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A) y en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.C.I.A); de la Carrera de Ingeniería de Alimentos; dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

### **3.2 Equipos, instrumentos, material de laboratorio y utensilios**

Durante el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación, se utilizaron los equipos, instrumentos, materiales de laboratorios y utensilios, mismos que se encuentra en los laboratorios: Laboratorio Taller de Alimentos “L.T.A” y Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos “L.C.I.A” de la Carrera de Ingeniería de Alimentos; dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

#### **3.2.1 Equipos de proceso para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju**

Los equipos utilizados en el presente trabajo de investigación, se describen a continuación.

##### **3.2.1.1 Cocina industrial**

En la figura 3.1, se muestra la cocina de dos hornallas que se utilizó como fuente de suministro de calor para realizar la cocción al vapor del arroz y para esterilizar los frascos de vidrio.



**Fuente:** (L.C.I.A.,2021)

**Figura 3.1** Cocina industrial

### 3.2.1.2 Rotavapor Bucchi R-100

En la figura 3.2, se muestra el equipo Rota vapor con sus especificaciones técnicas, este equipo se utilizó para condensar y separar el alcohol etílico del vino de arroz por medio de una destilación al vacío.



**Fuente:** (L.C.I.A.,2021)

**Figura 3.2** Rotavapor Bucchi R-100

### 3.2.1.3 Baño María

En la figura 3.3, se muestra el equipo de baño María con sus especificaciones técnicas, este equipo se utilizó para realizar la hidrólisis del almidón presente en el arroz.



**Fuente:** (L.C.I.A., 2021)

**Figura 3.3** Baño María

### 3.2.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron en el presente trabajo de investigación, se describen a continuación:

#### 3.2.2.1 Balanza analítica digital

En la figura 3.4, se muestra la balanza analítica digital con sus especificaciones técnicas, este instrumento se utilizó para pesar los diferentes insumos que se utilizaron en la elaboración del vino de arroz para su posterior destilación.



**Fuente:** (L.C.I.A.,2021)

**Figura 3.4** Balanza analítica digital

### 3.2.2.2 pH-metro digital

En la figura 3.5, se muestra el pH-metro digital con sus especificaciones técnicas, este instrumento se utilizó para determinar el pH al inicio y durante la fermentación alcohólica del arroz. También se utilizó para determinar el pH del destilado que se obtuvo.

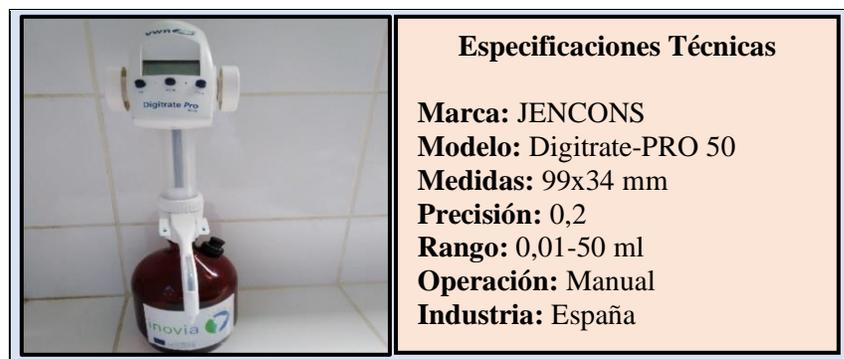


**Fuente:** (L.C.I.A., 2021)

**Figura 3.5** pH-metro digital

### 3.2.2.3 Bureta digital

En la figura 3.6, se muestra la bureta digital con sus especificaciones técnicas, este instrumento se utilizó para determinar el volumen de NaOH gastado en la determinación de acidez total mediante volumetría, durante la fermentación alcohólica del arroz y también del producto final.



**Fuente:** (L.C.I.A., 2021)

**Figura 3.6** Bureta digital

### 3.2.2.4 Balanza digital

En la figura 3.7, se muestra la balanza digital, que se utilizó para pesar el arroz, el agua, el azúcar, la maicena y el polvillo de arroz que se emplearon en el proceso de fermentación alcohólica del arroz para obtener el producto final.



**Fuente:** (L.C.I.A., 2021)

**Figura 3.7** Balanza digital

### 3.2.2.5 Refractómetro de mano

En la figura 3.8, se muestra el refractómetro de mano con sus especificaciones técnicas, este instrumento se utilizó para determinar los sólidos solubles °Brix desde el inicio de la fermentación alcohólica del arroz hasta la obtención del aguardiente.



**Fuente:** (L.C.I.A.,2021)

**Figura 3.8** Refractómetro

### 3.2.3 Material de laboratorio

En la tabla 3.1 se muestra los materiales de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación experimental para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

**Tabla 3.1**

*Material de laboratorio utilizado en la parte experimental*

Utensilios	Cantidad	Capacidad	Tipo
Olla	1	Mediana	Acero inoxidable
Vaporera para olla	1	Mediana	Acero inoxidable
Jarras	2	1 litro	Plástico
Jarra	1	2,5 litro	Plástico
Cucharas	2	Mediano	Madera
Repasadores	4	Mediano	Algodón
Fuentes	4	Mediano	Plástico
Colador	1	Grande	Plástico
Frasco de vidrio	16	4 litros	Vidrio

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4 Utensilios de cocina

En la tabla 3.2, se muestran los utensilios utilizados en el presente trabajo de investigación experimental para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

**Tabla 3.2**

*Utensilios de cocina utilizados durante la parte experimental*

Materiales	Cantidad	Capacidad	Tipo
Alcoholímetro	1	0-90 G.L.	Vidrio
Termómetro	1	(0-100) °C	Vidrio
Vaso precipitado	4	50ml	Vidrio
Vidrio reloj	2	Mediano	Vidrio
Probeta	1	250 ml	Vidrio
Picnómetro	1	50 ml	Vidrio
Varilla	1	-	Vidrio
Piseta	1	500 ml	Plástico
Matraz Erlenmeyer	2	250ml	Vidrio

Fuente: Elaboración propia

Los 16 frascos de vidrio se utilizaron para realizar el diseño experimental del trabajo de investigación, ya que se elaboraron ocho muestras más sus ocho replicas.

### 3.3 Materias primas e insumos alimentarios

En la tabla 3.3, se detallan la materia prima e insumos alimentarios utilizados en el presente trabajo de investigación experimental para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

**Tabla 3.3**

*Materia prima e insumos alimentarios*

Insumos	Procedencia	Marca
Arroz	Santa Cruz	Japónica
Azúcar	Bermejo	I.A.B.S.A.
Agua	Tarija	-
Levadura vinícola	Francia	Laffort
Alfa-amilasa	Francia	Laffort
Nutriente	Francia	Lamothe-Abiet
Ácido cítrico	Colombia	-

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Reactivos químicos de laboratorio

La tabla 3.4, muestra los reactivos químicos que se utilizaron para realizar el control de acidez desde el inicio de la fermentación alcohólica del arroz hasta la obtención del aguardiente de arroz.

**Tabla 3.4**

*Reactivos químicos*

Reactivos	Procedencia	Marca	Concentración
Solución de Hidróxido de sodio (NaOH)	Argentina	Biopack	0,1 N
Solución de Fenolftaleína	Argentina	Biopack	1%

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Diagrama de flujo del proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju

En la figura 3.9 se muestra el diagrama de flujo para el proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.9** Diagrama de flujo del proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju

### **3.5.1 Descripción del proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju**

Las operaciones implicadas en el proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju, se detallan a continuación:

#### **3.5.1.1 Materia prima**

La materia prima empleada para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju, es arroz variedad japónica adquirida de la colonia japonesa de San Juan de Yapacaní del Departamento de Santa Cruz.

#### **3.5.1.2 Lavado por inmersión**

Mediante un proceso de inmersión, se lavó la materia prima tres veces para eliminar residuos livianos y toxinas solubles que podría contener el arroz, que podrían afectar el producto final; para lo cual se utiliza agua potable.

#### **3.5.1.3 Hidratado**

Luego del lavado, se dejó el arroz en inmersión por espacio de una hora mínimamente, para que el arroz absorba la mayor cantidad de agua posible y así facilite su cocción.

#### **3.5.1.4 Colado**

Pasada la hora el arroz hidratado se debe colar muy bien, para eliminar el agua excedente con la ayuda de un colador.

#### **3.5.1.5 Cocción al vapor**

Luego del colado, el arroz hidratado se llevó a cocción por vapor en una olla vaporera por unos 45 minutos aproximadamente, el arroz se esparció en la bandeja de la vaporera que contenía un lienzo para evitar que el arroz se pase por los agujeros de la misma, se

cerró bien la olla y se dejó cocer por 45 minutos, pasado este tiempo se cortó la cocción y se retiró el arroz de la olla vaporera.

#### **3.5.1.6 Enfriado**

Una vez cocido el arroz, se extendió en una bandeja de acero inoxidable para enfriarlo por unos 15 minutos aproximadamente hasta que este a temperatura ambiente.

#### **3.5.1.7 Hidrolizado**

El proceso de hidrolizado se realizó en un baño María, a temperatura constante de 60°C por espacio de 5 horas para que se lleve a cabo la degradación del almidón en azúcares, se introdujo al baño María el frasco de vidrio que contenía el arroz cocido frío, el agua en proporción (1:4) y la alfa-amilasa.

#### **3.5.1.8 Mezclado**

Después de la hidrolización del arroz se procedió a agregar al frasco el azúcar, el polvillo de arroz, la maicena, el nutriente y el ácido cítrico y se mezcló muy bien con la ayuda de una cuchara de madera hasta obtener una mezcla homogénea. Se procedió a medir los °Brix y el pH para acondicionar el medio para que actúen las levaduras.

#### **3.5.1.9 Fermentado**

Una vez obtenido el mosto se agregó la levadura (0,04%), se dejó activar por unos 5 minutos aproximadamente y luego se cerró el frasco de vidrio que contiene una trampa de aire por donde se liberaba el  $CO_2$ , para que se lleve a cabo la fermentación alcohólica del arroz, el proceso de fermentación alcohólica fue de 21 días. Se realizó el control de los °Brix, pH y acidez durante todo el proceso de fermentación alcohólica del arroz.

#### **3.5.1.10 Filtrado**

Transcurrido el tiempo de fermentación se procedió a filtrar el vino base con la ayuda de un colador y un lienzo, el filtrado se realizó por un tiempo de 15 minutos hasta separar la borra del vino base.

#### **3.5.1.11 Vino base**

Se obtuvo el vino base de arroz luego del filtrado y se procedió a medir su porcentaje de alcohol con ayuda de un alcoholímetro.

#### **3.5.1.12 Destilación**

Se procedió a destilar el vino base de arroz con el equipo Rota vapor Bucchi R-100, a una presión de 80 Torr y a una temperatura de (55 – 60) °C, por un tiempo de 15 minutos, en el primer minuto se destiló la cabeza que contiene metanol y se separó del resto del destilado.

#### **3.5.1.13 Envasado**

El envasado fue realizado en botellas de vidrio tapa rosca de 360ml, previamente esterilizadas con agua y alcohol, para que el producto sea inocuo.

#### **3.5.1.14 Almacenado**

El aguardiente de arroz tipo soju se lo debe almacenar a temperatura ambiente fuera del alcance de la luz solar y de contaminantes extraños, para que no alteren su calidad.

### **3.6 Metodología para la obtención de resultados**

La metodología para la obtención de resultados del presente trabajo de investigación se detalla a continuación.

### 3.6.1 Caracterización de la materia prima arroz variedad japónica

Para caracterizar la materia prima (arroz) se consideran dos parámetros importantes:

- ✓ Físicoquímicos
- ✓ Microbiológicos

#### 3.6.1.1 Caracterización de parámetros físicoquímicos del arroz variedad japónica

En la tabla 3.5, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta para la determinación de los análisis físicoquímicos del arroz variedad japónica.

**Tabla 3.5**

*Parámetros físicoquímicos del arroz variedad japónica*

Parámetros	Técnicas	Unidad
Ceniza	NB 39034:10	%
Fibra	Gravimétrico	%
Grasa	NB 313019:06	%
Hidratos de carbono	Cálculo	%
Humedad	NB 313010:05	%
Proteína	NB/ISO 8968-1:08	%
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g

**Fuente:** (CEANID, 2021)

#### 3.6.1.2 Caracterización de parámetros microbiológicos de la materia prima

En la tabla 3.6, se muestran los parámetros tomados en cuenta para el análisis microbiológico del arroz variedad japónica.

**Tabla 3.6**

*Parámetros microbiológicos del arroz variedad japónica*

Parámetros	Técnicas	Unidad
Coliformes totales	NB 32005:02	UFC/g
Mohos y Levaduras	NB 32006:03	UFC/g

**Fuente:** (CEANID, 2021)

### 3.6.2 Caracterización de parámetros fisicoquímicos del producto final

Para realizar la caracterización del producto final aguardiente de arroz tipo soju se considera el siguiente parámetro:

- ✓ Fisicoquímicos

#### 3.6.2.1 Parámetros fisicoquímicos del aguardiente de arroz tipo soju

En la tabla 3.7, se muestran los parámetros y técnicas fisicoquímicos tomadas en cuenta para el producto final (aguardiente de arroz tipo soju), realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

**Tabla 3.7**

*Parámetros físicos del aguardiente de arroz tipo soju*

Parámetros	Técnicas	Unidad
Anhidrido sulfuroso	NB 324007:04	mg/l
Metanol	NB 324010:04	mg/l
Azúcares reductores	Volumetría	g/l
Extracto seco	NB 324005:04	g/l
% Alcohol	Volumétrico	°GL

**Fuente:** (CEANID, 2021)

En la tabla 3.8, se muestran los parámetros y técnicas físicas tomadas en cuenta para el producto final (aguardiente de arroz tipo soju), realizados en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.C.I.A).

**Tabla 3.8**

*Parámetros físicos del aguardiente de arroz tipo soju*

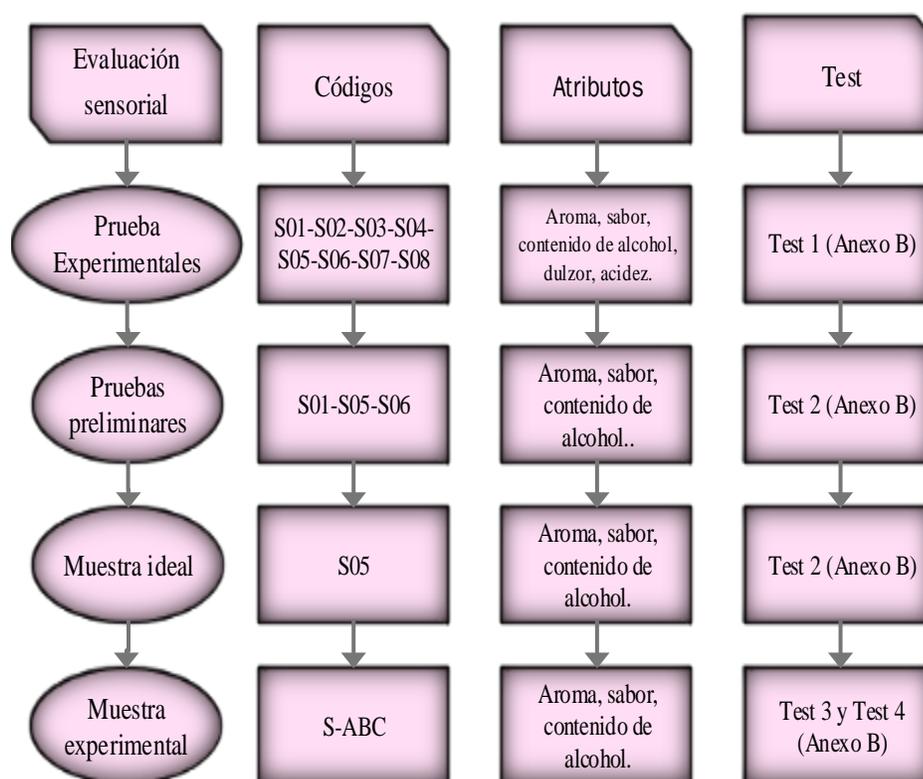
Parámetros	Técnicas	Unidad
pH	Potenciómetro	-
Acidez total	Volumétrico	%

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.6.2.2 Análisis sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial de los alimentos se constituye como una herramienta importante para el mejor desenvolvimiento de las actividades de la industria alimentaria. Así pues, por su aplicación en el control de calidad y procesos, en el diseño y desarrollo de nuevos productos y en la estrategia del lanzamiento de los mismos al comercio, la hace, sin dudas algunas, el coparticipe del desarrollo y avance mundial de la alimentación (Peralta, 1999).

En la figura 3.10, se detallan las evaluaciones sensoriales realizadas en la determinación propiedades organolépticas para la obtención del aguardiente de arroz tipo soju, empleando una escala hedónica de cinco puntos.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.10** Evaluaciones sensoriales del aguardiente de arroz tipo soju

### 3.7 Diseño experimental

Según (Montgomery, 2004), un diseño experimental es una serie de pruebas en las que se realizan cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida.

#### 3.7.1 Diseño factorial $2^3$

Los diseños factoriales se usan ampliamente en experimentos que incluyen varios factores cuando es necesario estudiar el efecto conjunto de los factores sobre una respuesta. El más práctico de estos casos especiales es el de  $k$  factores cada uno solo con dos niveles. Una réplica completa de este diseño requiere  $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  observaciones y se le llama diseño factorial  $2^k$ . (Montgomery, 2004).

El diseño factorial a ser aplicado en la parte experimental del presente trabajo de investigación se muestra en la ecuación 3.1

$$2^K \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Dónde:

$2$  = número de niveles

$K$  = número de variables

Según (Alvarez, Guerra, & Nestor, 2018) Debido al objetivo de la investigación se pueden plantear las siguientes Hipótesis teniendo en cuenta el modelo de regresión, así, la ecuación 2 presenta la variable respuesta expresada en término de los efectos de los factores y sus interacciones.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_{12} + \beta_{13} x_{13} + \beta_{23} x_{23} + \beta_{123} x_{123} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

**Donde:**

Y representa la variable respuesta.

$\beta_0$  es el promedio de las observaciones.

$\beta_1$  es la mitad del efecto del factor A.

$\beta_2$  es la mitad del efecto del factor B.

$\beta_3$  es la mitad del efecto del factor C.

$\beta_{12}$  es la mitad del efecto de interacción entre los factores A y B sobre la variable respuesta.

$\beta_{13}$  es la mitad del efecto de interacción entre los factores A y C sobre la variable respuesta.

$\beta_{23}$  es la mitad del efecto de interacción entre los factores B y C sobre la variable respuesta.

$\beta_{123}$  es la mitad del efecto de interacción entre los factores A, B y C sobre la variable respuesta.

$X_1, X_2, X_3$  = Valor codificado del factor de diseño

### 3.7.1.1 Diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica del arroz para la obtención del aguardiente de arroz tipo soju

En el presente trabajo de investigación se aplicó el diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica del arroz para la obtención del destilado, de acuerdo a la (ecuación 3.6), cuyo diseño factorial corresponde a:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ corridas/prueba} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

En la tabla 3.9, se detallan los factores y los niveles de variación de cada factor:

**Tabla 3.9**

#### *Niveles de variación de los factores*

Factores	Niveles	Unidad	Valor
A) Levadura	Alto	%	0,06
	Bajo		0,02
B) Almidón (polvillo de arroz y maicena)	Alto	%	6,31
	Bajo		4,31
C) Tiempo	Alto	Días	21,00
	Bajo		15,00

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 3.10, se muestra la matriz del diseño experimental a ser aplicado en el proceso de fermentación alcohólica del arroz para la obtención del aguardiente de arroz tipo soju, las variables a tomar en cuenta son: % de levadura, % de almidón (polvillo de arroz y maicena) agregado y tiempo de fermentación.

**Tabla 3.10**

*Matriz de variables para el proceso de fermentación alcohólica del arroz*

Combinación de tratamientos	Variables			Interacciones				Variable respuesta		
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y <sub>i1</sub>	Y <sub>i2</sub>	Y <sub>i3</sub>
<b>1</b>	-	-	-	+	+	+	-	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>
<b>A</b>	+	-	-	-	-	+	+	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>
<b>B</b>	-	+	-	-	+	-	+	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>
<b>AB</b>	+	+	-	+	-	-	-	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>
<b>C</b>	-	-	+	+	-	-	+	Y <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub>
<b>AC</b>	+	-	+	-	+	-	-	Y <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub>
<b>BC</b>	-	+	+	-	-	+	-	Y <sub>7</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>7</sub>
<b>ABC</b>	+	+	+	+	+	+	+	Y <sub>8</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>8</sub>

**Fuente:** Elaboración propia

**Dónde:**

Y<sub>i1</sub> = Variable respuesta °GL

Y<sub>i2</sub> = Variable respuesta pH

Y<sub>i3</sub> = Variable respuesta acidez total

**3.8 Operacionalización de variables**

En el cuadro 3.1, se muestra la operacionalización de las variables independiente y dependientes del presente trabajo experimental para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

**Cuadro 3.1**  
**Operacionalización de las variables para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju**

Hipótesis	Variable	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores
<b>La metodología experimental de fermentación alcohólica del arroz variedad japónica propuesta para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju permitirá obtener producto de calidad y apto para el consumo de la provincia cercado</b>	<b>V.I:</b> Proceso de fermentación alcohólica	Conjunto de reacciones bioquímicas a través de las cuales una sustancia orgánica se transforma en otras por acción de ciertos microorganismos.	Control de acidez	% Acido acetico
			Control de pH	-
			°Brix	°Brix
			Tiempo de fermentación	Dias
			Contenido de alcohol en el vino de arroz	°GL
	<b>V.D:</b> aguardiente de arroz tipo soju	El soju destilado es un producto artesanal, se suele fabricar a partir de cereales o arroz, el proceso de producción es bastante perfeccionada y nose utilizan aditivos (SICE,1998)	Anhidrido sulfuroso total	mg/l
			Azucares reductores	g/l
			Extracto seco total	g/l
			Grado alcohólico	°GL
			Metanol	mg/l

**Fuente:** Elaboración propia

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE**  
**RESULTADOS**

## 4.1 Caracterización de la materia prima

Para caracterizar la materia prima del presente trabajo, se tomaron en cuenta los resultados de los análisis de macronutrientes y microbiológicos del arroz variedad japónica, realizados en el Centro de análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

### 4.1.1 Análisis de parámetros fisicoquímicos del arroz variedad japónica producido en San Juan de Yapacaní Bolivia

En la tabla 4.1, se detallan los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos del arroz variedad japónica producido en Bolivia, datos extraídos del (Anexo A).

**Tabla 4.1**

#### *Parámetros fisicoquímicos del arroz variedad japónica*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Ceniza	%	0,26
Fibra	%	0,00
Grasa	%	0,35
Hidratos de carbono	%	77,92
Humedad	%	12,72
Proteína	%	8,75
Valor energético	Kcal/100g	349,83

**Fuente:** (CEANID, 2021)

En la tabla 4.1, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del arroz variedad japónica, que presenta: ceniza 0,26%, fibra n.d, grasa 0,35%, hidratos de carbono 77,92%, humedad 12,72%, proteína 8,75%, y valor energético 349,83 Kcal/100 g.

### 4.1.2 Análisis microbiológico de arroz variedad japónica producido en San Juan de Yapacaní Bolivia

En la tabla 4.2, se detallan los resultados del análisis microbiológico del arroz variedad japónica producido en Bolivia, datos extraídos del (Anexo A).

**Tabla 4.2*****Parámetros microbiológicos del arroz variedad japónica***

Parámetros	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	< 1,0x10 <sup>1</sup> (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	< 1,0x10 <sup>1</sup> (*)

**Fuente:** (CEANID, 2021); (\*) no se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.2, se observa que el arroz variedad japónica presenta: coliformes totales < 1,0x10<sup>1</sup> UFC/g, mohos y levaduras < 1,0x10<sup>1</sup> UFC/g.

#### **4.1.3 Análisis de contenido de almidón del arroz variedad japónica producido en San Juan de Yapacaní Bolivia**

En la tabla 4.3, se detalla el contenido de almidón y humedad del arroz variedad japónica producido en San Juan de Yapacaní, los datos fueron extraídos de (OSBOLIVIA, 2020).

**Tabla 4.3*****Parámetros fisicoquímicos (almidón) del arroz variedad japónica***

Parámetros	Unidad	Resultado
Almidón	g	82,15
Humedad	g	12,77

**Fuente:** (OSBOLIVIA, 2020)

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del arroz variedad japónica producido en San Juan de Yapacaní Bolivia, presenta por 100 g: almidón 82,15g, humedad 12,77g.

#### **4.1.4 Análisis de parámetros fisicoquímicos del arroz variedad japónica producido en Corea del Sur**

En la tabla 4.4, se detallan los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos del arroz variedad japónica producido en Corea del Sur, de datos extraídos del (Anexo A).

**Tabla 4.4*****Parámetros fisicoquímicos del arroz variedad japónica***

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Ceniza	%	0,19
Fibra	%	0,00
Grasa	%	0,21
Hidratos de carbono	%	81,46
Humedad	%	11,78
Proteína	%	6,36
Valor energético	Kcal/100g	353,17

**Fuente:** (CEANID, 2021)

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del arroz variedad japónica producido en Corea del Sur, que presenta: ceniza 0,19%, fibra n.d, grasa 0,21%, hidratos de carbono 81,46%, humedad 11,78%, proteína 6,36%, y valor energético 353,17 Kcal/100 g.

#### **4.1.5 Análisis microbiológico de arroz variedad japónica producido en Corea del Sur**

En la tabla 4.5, se detallan los resultados del análisis microbiológico del arroz variedad japónica de datos extraídos del (Anexo A).

**Tabla 4.5*****Parámetros microbiológicos del arroz variedad japónica***

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Coliformes totales	UFC/g	< 1,0x10 <sup>1</sup> (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	< 1,0x10 <sup>1</sup> (*)

**Fuente:** (CEANID, 2021); (\*) no se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.5, se observa que el arroz variedad japónica producido en Corea del Sur presenta: coliformes totales < 1,0x10<sup>1</sup> UFC/g, mohos y levaduras < 1,0x10<sup>1</sup> UFC/g.

#### 4.1.6 Análisis de contenido de almidón del arroz variedad japónica producido en Corea del Sur

En la tabla 4.6, se detallan los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos del arroz variedad japónica producido en Corea del Sur de datos extraídos del (Anexo A).

**Tabla 4.6**

*Parámetros fisicoquímicos (almidón) del arroz variedad japónica*

Parámetros	Unidad	Resultado por 100g
Almidón	g	85,89
Humedad	g	11,83

**Fuente:** (CAPN, 2021)

En la tabla 4.6, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del arroz variedad japónica producido en Corea del Sur presenta por 100 g: almidón 85,89g, humedad 11,83g.

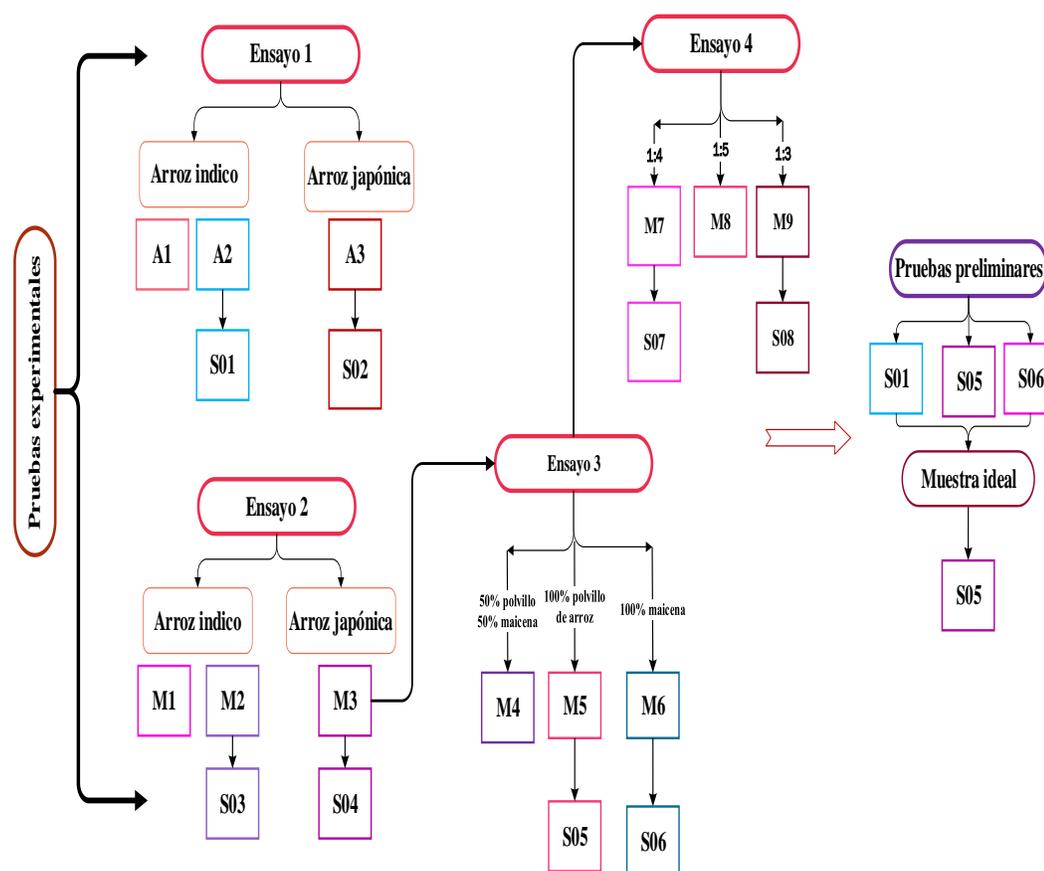
#### 4.2 Caracterización de las variables del proceso para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

Para la caracterización de las variables del proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju a partir de la fermentación alcohólica del arroz variedad japónica, se tomaron en cuenta las siguientes pruebas experimentales:

##### 4.2.1 Pruebas experimentales para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

Para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo, se realizaron dos ensayos (ensayo 1 y ensayo 2) con tres diferentes muestras cada ensayo, utilizando arroz de la variedad indico y variedad japónica con distintas formulaciones para obtener aguardiente de arroz tipo soju, de las seis muestras totales A1, A2, A3 del ensayo 1 y M1, M2, M3 del ensayo 2, se tomaron en cuenta las muestras A2, A3, M2 y M3. Posteriormente, en base a la muestra M3 se realizaron el ensayo 3 (M4, M5, M6) y el ensayo 4 (M7, M8, M9) con arroz de la variedad japónica, ya que esta

le da mejor sabor y aroma al aguardiente; de estas seis muestras se tomaron en cuenta las muestras M5, M6, M7 y M9. Finalmente, las muestras A2, A3, M2, M3, M5, M6, M7 y M9 fueron recodificadas como S01, S02, S03, S04, S05, S06, S07 y S08 y evaluadas, de donde se obtuvieron tres muestras (S01, S05 y S06), estas tres muestras preliminares fueron tomadas en cuenta para obtener la muestra final para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju, como se muestra en la figura 4.1.

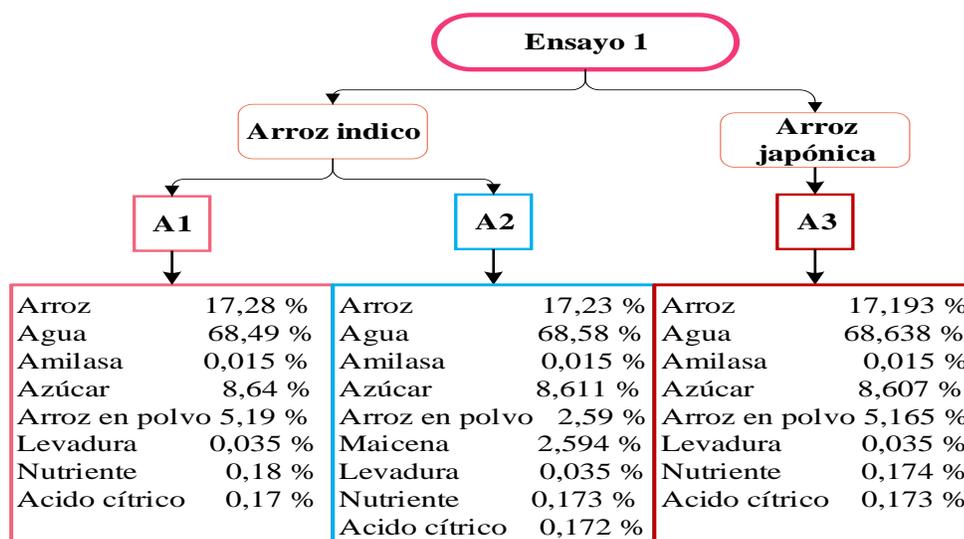


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.1** Pruebas preliminares en la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

#### 4.2.1.1 Variación porcentual en la formulación para el ensayo 1

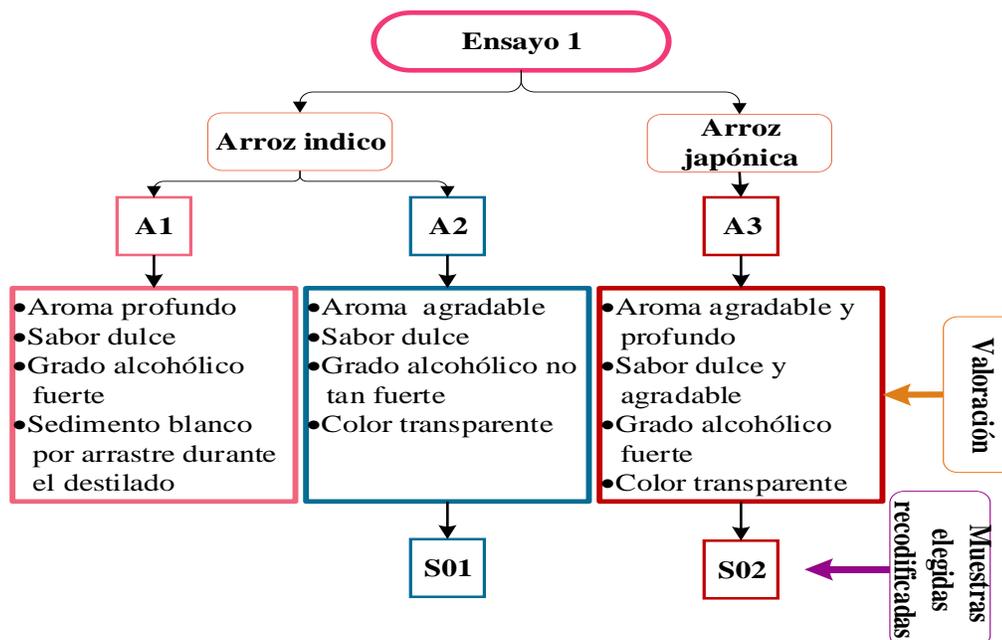
Para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación en la obtención de aguardiente de arroz tipo soju, se realizaron tres muestras para el ensayo 1, con una variación porcentual en arroz, ácido cítrico, agua, azúcar, amilasa, polvillo de arroz, maicena, nutriente, levadura, como se muestra en la figura 4.2.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.2** Variación porcentual en la formulación del ensayo 1

En base a la figura 4.2, las tres pruebas del ensayo 1 fueron valoradas subjetivamente por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, ya que por motivo de la pandemia covid-19 no se realizaron las evaluaciones sensoriales del aguardiente de arroz tipo soju y dicha valoración se detalla en la figura 4.3.



**Valoración**

Muestras elegidas recodificadas

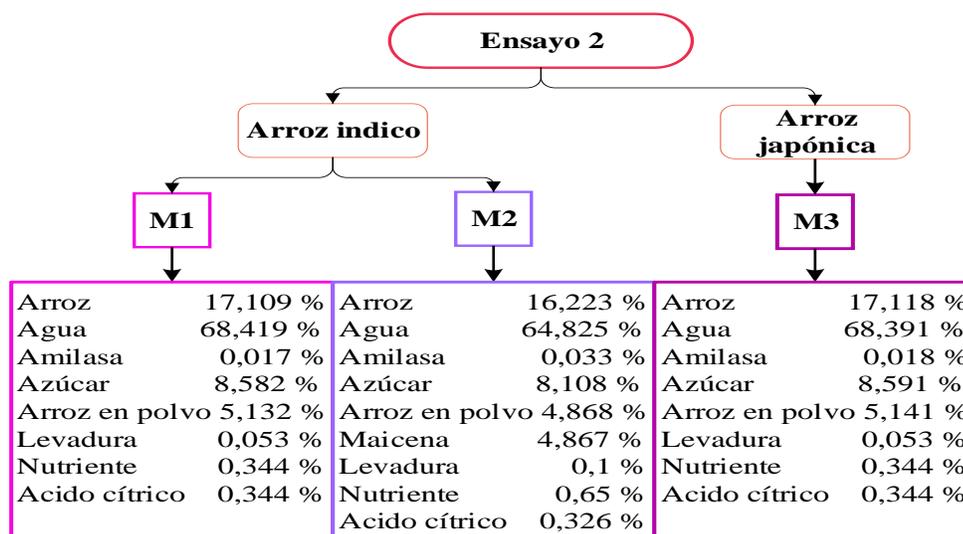
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.3** Valoración subjetiva de pruebas experimentales para el ensayo 1

Según la figura 4.3, en base a la valoración subjetiva realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, la muestra A1 uno fue descartada por presentar un aroma fuerte y un sedimento blanco debido al arrastre que hubo durante el proceso destilación. Las muestras A2 y A3 son las que obtuvieron mayor aceptación por las personas que las evaluaron de manera subjetiva, ya que presentaban un aroma y sabor más agradable en comparación a la muestra A1, las muestras A2 y A3 fueron recodificadas como S01 y S02 como se muestra en la figura 4.3.

#### 4.2.1.2 Variación porcentual en la formulación para el ensayo 2

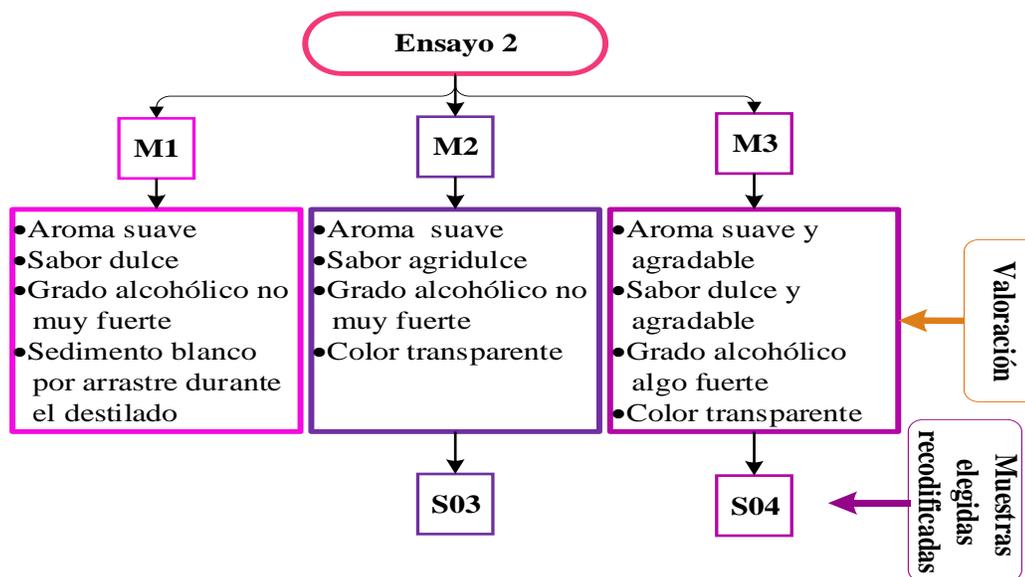
La figura 4.4, muestra el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación en la obtención de aguardiente de arroz tipo soju, se realizaron tres muestras para el ensayo 2, con una variación porcentual en arroz, ácido cítrico, agua, azúcar, amilasa, polvillo de arroz, maicena, nutriente, levadura.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.4** Variación porcentual en la formulación del ensayo 2

En base a la figura 4.4, las tres pruebas del ensayo 2 fueron valoradas subjetivamente por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, ya que por motivo de la pandemia covid-19 no se realizaron las evaluaciones sensoriales del aguardiente de arroz tipo soju y dicha valoración se detalla en la figura 4.5.



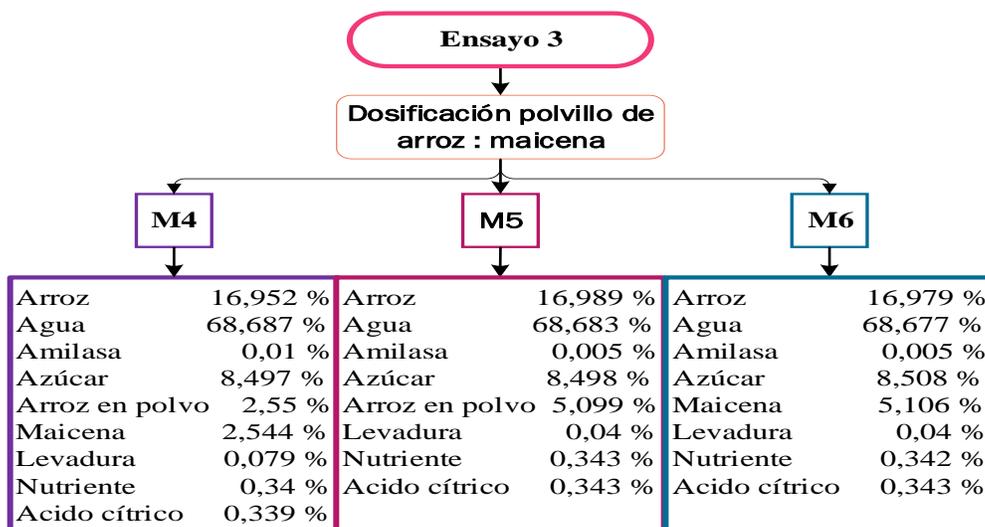
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.5** Valoración subjetiva de pruebas experimentales para el ensayo 2

Según la figura 4.5, en base a la valoración subjetiva realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, la muestra M1 fue descartada por presentar un aroma suave, un grado alcohólico no tan fuerte y un sedimento blanco debido al arrastre que hubo durante el proceso de destilación. Las muestras M2 y M3 son las que obtuvieron mayor aceptación por las personas que las evaluaron de manera subjetiva, ya que presentaban un aroma y sabor más agradable, en comparación a la muestra M1, las muestras M2 y M3 fueron recodificadas como S03 y S04 como se muestra en la figura 4.5.

#### 4.2.1.3 Variación porcentual en la formulación para el ensayo 3

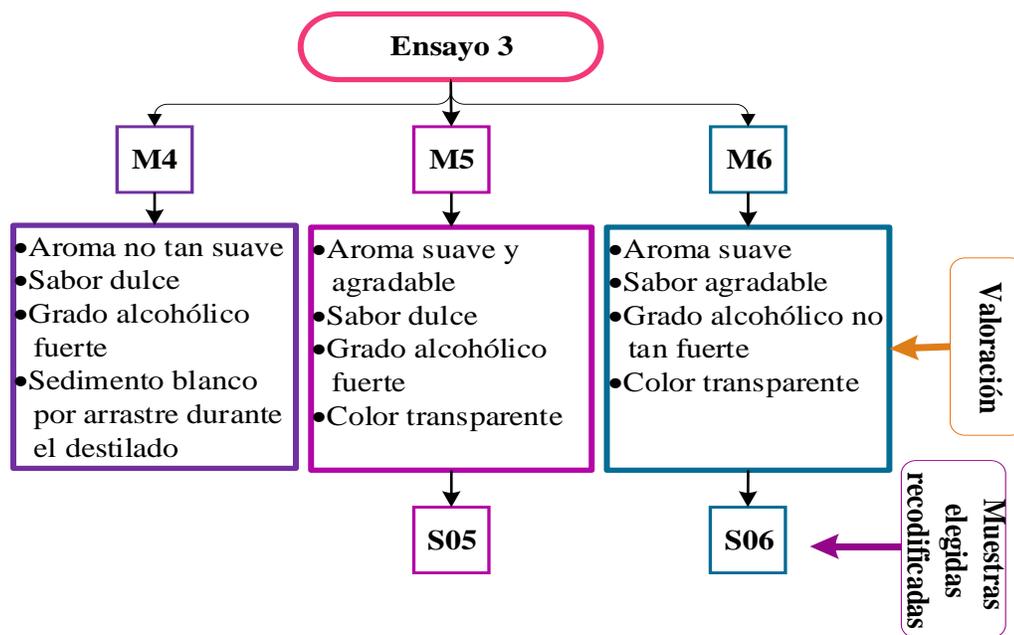
Para la realización del ensayo 3 se tomaron en cuenta las valoraciones subjetivas que se realizaron en el Laboratorio Taller de Alimentos para utilizar el arroz variedad japónica como materia prima ya que esta le da un mejor aroma y sabor al aguardiente. En base a la figura 4.6, se muestran las pruebas experimentales del ensayo 3 con la siguiente variación porcentual de formulación: arroz, azúcar, agua, amilasa, levadura, nutriente, polvillo de arroz, ácido cítrico, maicena utilizados en el proceso de fermentación alcohólica del arroz.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.6** Variación porcentual en la formulación del ensayo 3

En base a la figura 4.6, las tres pruebas del ensayo 3 fueron valoradas subjetivamente por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, ya que por motivo de la pandemia covid-19 no se realizaron las evaluaciones sensoriales del aguardiente de arroz tipo soju y dicha valoración se detalla en la figura 4.7.



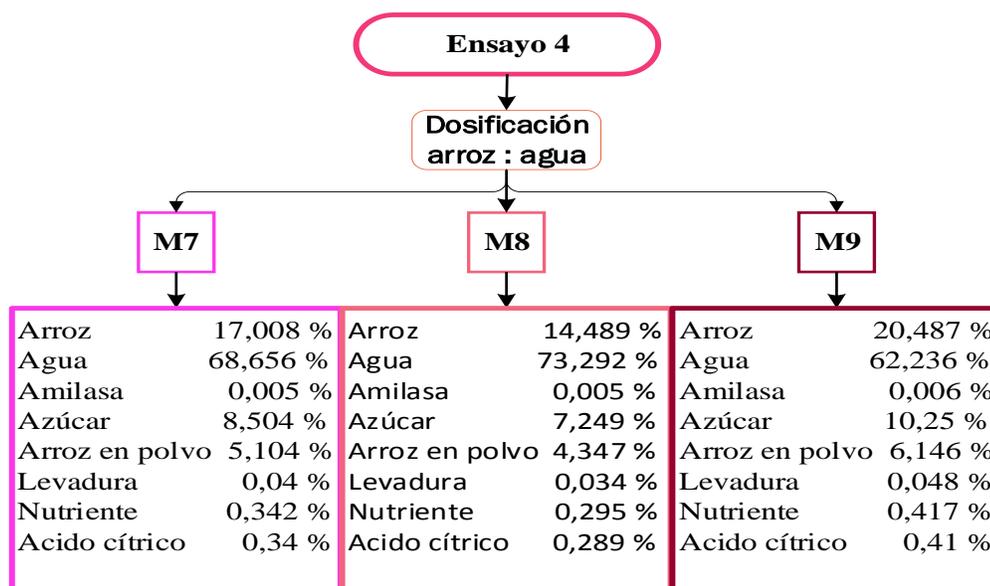
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.7** Valoración subjetiva de pruebas experimentales para el ensayo 3

Según la figura 4.7, en base a la valoración subjetiva realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos la muestra M4 fue descartada por presentar un aroma algo suave y un sedimento blanco debido al arrastre que hubo durante el proceso de destilación, aunque el grado alcohólico era fuerte. Las muestras M5 y M6 son las que obtuvieron mayor aceptación por las personas que las evaluaron de manera subjetiva, ya que presentaban un aroma suave y agradable, un sabor dulce y agradable en comparación con la muestra M4, las muestras M5 y M6 fueron recodificadas como S05 y S06 como se muestra en la figura 4.7.

#### 4.2.1.4 Variación porcentual en la formulación para el ensayo 4

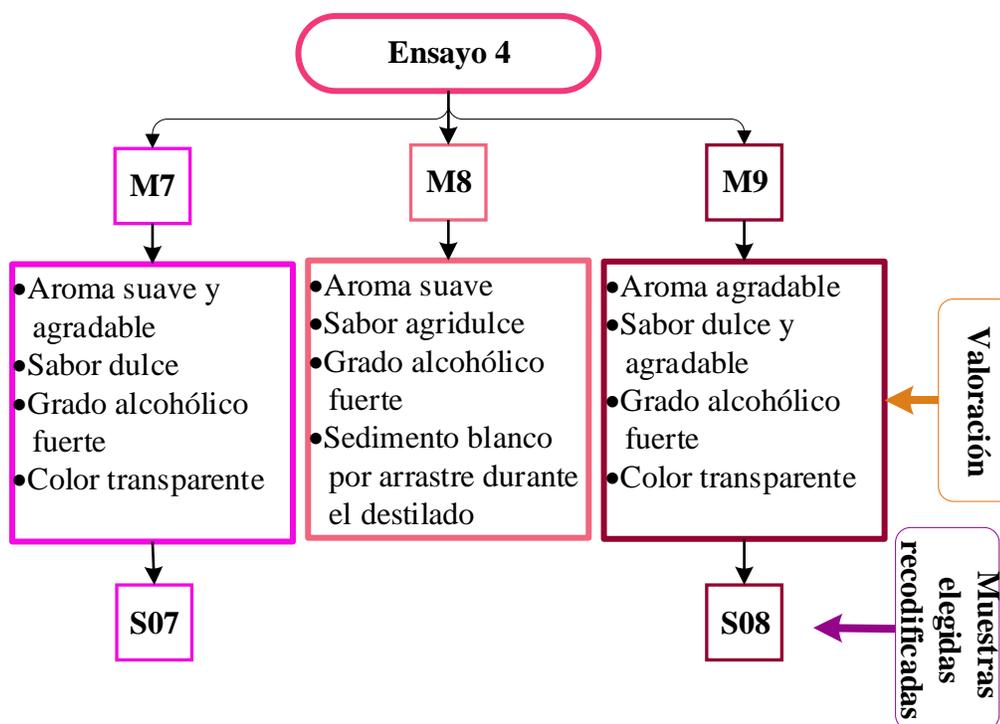
Para la realización del ensayo 4, el principal factor tomado en cuenta fue las diferentes dosificaciones de arroz y agua; la muestra M7 con una relación arroz: agua de 1:4, la muestra M8 con una relación de arroz: agua de 1:5 y la muestra M9 con una relación de arroz: agua de 1:3 para ver si afectaba en el grado alcohólico del aguardiente. En base a la figura 4.8, se muestran las pruebas experimentales del ensayo 4 con su respectiva variación porcentual de formulación.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.8** Variación porcentual en la formulación del ensayo 4

En base a la figura 4.8, las tres pruebas del ensayo 2 fueron valoradas subjetivamente por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, ya que por motivo de la pandemia covid-19 no se realizaron las evaluaciones sensoriales del aguardiente de arroz tipo soju y dicha valoración se detalla en la figura 4.9.



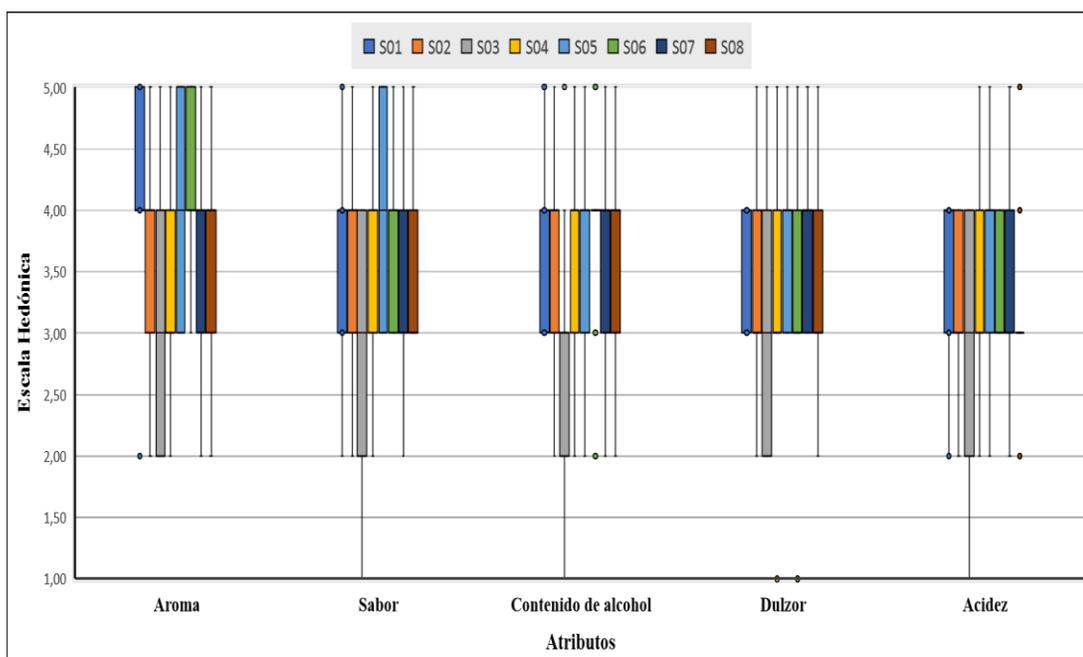
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.9** Valoración subjetiva de pruebas experimentales para el ensayo 4

Según la figura 4.9, en base a la valoración subjetiva realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos la muestra M8 fue descartada por presentar un aroma suave, un sabor agridulce y un sedimento blanco debido al arrastre que hubo durante el proceso destilación. Las muestras M7 y M9 son las que obtuvieron mayor aceptación por las personas que las evaluaron de manera subjetiva, ya que presentaban un aroma suave y agradable, un sabor dulce y agradable y un grado alcohólico fuerte en comparación a la muestra M8 las muestras M7 y M8 fueron recodificadas como S07 y S08 como se muestra en la figura 4.9.

#### 4.2.1.4.1 Análisis de resultados caja y bigote en pruebas experimentales para selección de muestras preliminares

En la figura 4.10 se muestra los resultados de caja y bigote aplicados en la obtención de aguardiente de arroz tipo soju datos extraídos del (Anexo C) para los atributos: aroma; tabla (C.2.1), sabor; tabla (C.3.1), contenido de alcohol; tabla (C.4.1), dulzor; tabla (C.5.1) y acidez; tabla (C.6.1).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.10** Análisis de resultados caja y bigote para pruebas experimentales

Según el análisis de la figura 4.10, se deduce que las muestras S01, S05 y S06 para los atributos aroma, sabor y contenido de alcohol presentan medianas de puntuaciones mayores en relación a las demás muestras de 4; por lo tanto, indica que el 50 % de las calificaciones de los jueces que evaluaron las muestras dieron una puntuación de 4 o menos a las demás muestras, existiendo diferencia significativa; en comparación con las muestras S02, S03, S04, S07 y S08 que presentan una media más baja por lo cual las muestras son rechazadas estadísticamente.

#### 4.2.1.4.2 Estadístico de Tukey para atributo aroma en pruebas experimentales

En la tabla 4.7, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo aroma en muestras experimentales para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

**Tabla 4.7**

##### *Estadístico Tukey para el atributo aroma*

Tratamientos	Efectos
S01-S04	Si hay diferencia
S01-S03	Si hay diferencia
S06-S03	Si hay diferencia
S05-S07	Si hay diferencia

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.7, extraída de la tabla C.2.4 (Anexo C), se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos S01-S04, S01-S03, S06-S03 y S05-S07, sin embargo no existe significancia entre los tratamientos S01-S06, S01-S05, S01-S02, S01-S07, S01-S08, S06-S05, S06-S02, S06-S07, S06-S08, S06-S04, S05-S02, S05-S08, S05-S04, S05-S03, S02-S07, S02-S08, S02-S04, S02-S03, S07-S08, S07-S04, S07-S03, S08-S04, S08-S03, S04-S03 para  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.1.4.3 Estadístico de Tukey para atributo sabor en pruebas experimentales

En la tabla 4.8, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo sabor en muestras experimentales para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

**Tabla 4.8**

##### *Estadístico Tukey para el atributo sabor*

Tratamientos	Efectos
S05-S03	Si hay diferencia
S06-S03	Si hay diferencia
S01-S03	Si hay diferencia
S08-S07	Si hay diferencia

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.8, extraída de la tabla C.3.4 (Anexo C), se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos S05-S03, S06-S03, S01-S03 y S08-S07, sin embargo, no existe diferencia significativa entre los tratamientos S05-S06, S05-S01,

S05-S08, S05-S02, S05-S04, S05-S07, S06-S01, S06-S08, S06-S02, S06-S04, S06-S07, S01-S08, S01-S02, S01-S04, S01-S07, S08-S02, S08-S04, S08-S03, S02-S04, S02-S07, S02-S03, S04-S07, S04-S03, S07-S03 para  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.1.4.4 Estadístico de Tukey para atributo contenido de alcohol en pruebas experimentales

En la tabla 4.9, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo contenido de alcohol en muestras experimentales para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

**Tabla 4.9**

#### *Estadístico Tukey para el atributo contenido de alcohol*

Tratamientos	Efectos
S06-S03	Si hay diferencia
S01-S03	Si hay diferencia
S02-S03	Si hay diferencia
S05-S03	Si hay diferencia

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.9, extraída de la tabla C.4.4 (Anexo C), se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos S06-S03, S01-S03, S02-S03 y S05-S03, sin embargo, no existe diferencia significativa entre los tratamientos S06-S01, S06-S02, S06-S05, S06-S07, S06-S08, S06-S04, S01-S02, S01-S05, S01-S07, S01-S08, S01-S04, S02-S05, S02-S07, S02-S08, S02-S04, S05-S07, S05-S08, S05-S04, S07-S08, S07-S04, S07-S03, S08-S04, S08-S03, S04-S03 para  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.1.4.5 Análisis de varianza para atributo dulzor en pruebas experimentales

Según resultados extraídos de la tabla C.5.2 (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo dulzor en la evaluación sensorial del aguardiente de arroz tipo soju, se puede evidenciar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1,12 < 2,11$ ) para las muestras evaluadas, por lo tanto, se acepta la Hipótesis y se puede corroborar que no existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo dulzor, con un nivel de significancia para  $\alpha = 0,05$ , por tal motivo no es necesario realizar el estadístico de Tukey.

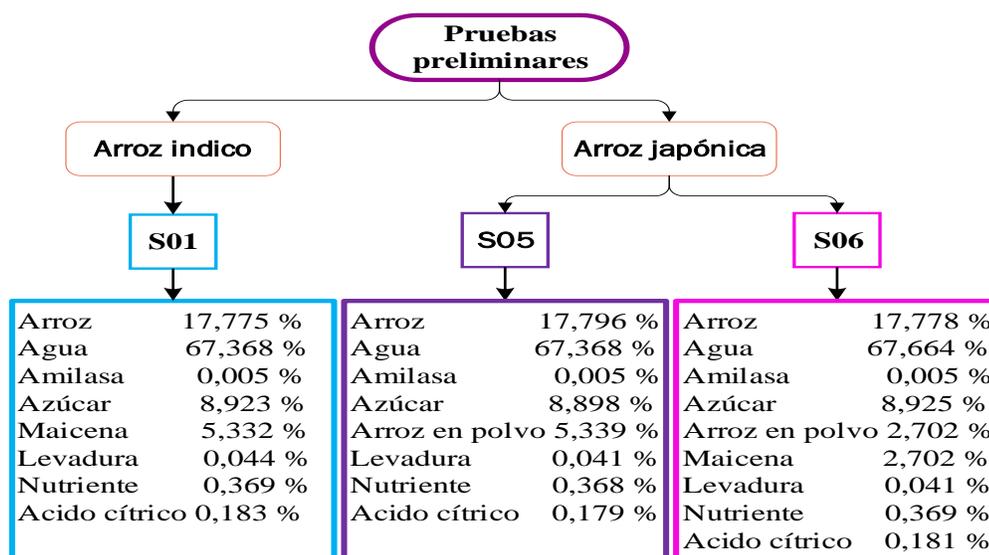
#### 4.2.1.4.6 Análisis de varianza atributo acidez en pruebas experimentales

Según resultados extraídos de la tabla C.6. (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo acidez en la evaluación sensorial del aguardiente de arroz tipo soju, se puede evidenciar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1,41 < 2,11$ ) para las muestras evaluadas, por lo tanto, se acepta la Hipótesis y se puede corroborar que no existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo acidez, con un nivel de significancia para  $\alpha = 0,05$ , por tal motivo no es necesario realizar el estadístico de Tukey.

Por lo tanto, en base a la figura 4.10 las muestras elegidas por los jueces son (S01, S05, S06); en base a su dosificación y parámetros evaluados.

#### 4.2.1.5 Variación porcentual de formulación en pruebas preliminares

En base a las ocho muestras que fueron evaluadas (figura 4.10), se obtuvieron las muestras (S01, S05 y S06), estas muestras se reformularon en base a las formulaciones ya existentes, para obtener las pruebas preliminares de aguardiente de arroz tipo soju, como se muestra en la figura 4.11.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.11** Pruebas preliminares en la obtención de aguardiente de arroz tipo Soju

En base a la figura 4.11 las tres muestras de aguardiente de arroz tipo soju S01, S05 y S06 fueron evaluadas en el Laboratorio de Evaluación Sensorial de la Carrera de Ingeniería de Alimentos por jueces no entrenados con una valoración en escala hedónica del 1 al 5 de acuerdo al grado de aceptación de los mismos.

#### 4.2.1.5.1 Control de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de fermentación alcohólica del arroz

En el proceso de elaboración de las muestras preliminares para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju, se realizaron los controles de los parámetros fisicoquímicos: °Brix, acidez y pH, de las muestras S01, S05 y S06 con la finalidad de realizar un seguimiento al proceso de fermentación alcohólica durante 21 días, donde los datos obtenidos. Fueron solo en días hábiles y no así en los feriados y fines de semana.

#### 4.2.1.5.2 Control de °Brix en el proceso de fermentación alcohólica del arroz

En la tabla 4.10, se muestran los resultados obtenidos de la variación de los °Brix en función del tiempo de fermentación alcohólica del arroz. La técnica utilizada se muestra en el Anexo E.1 extraído del (Anexo E).

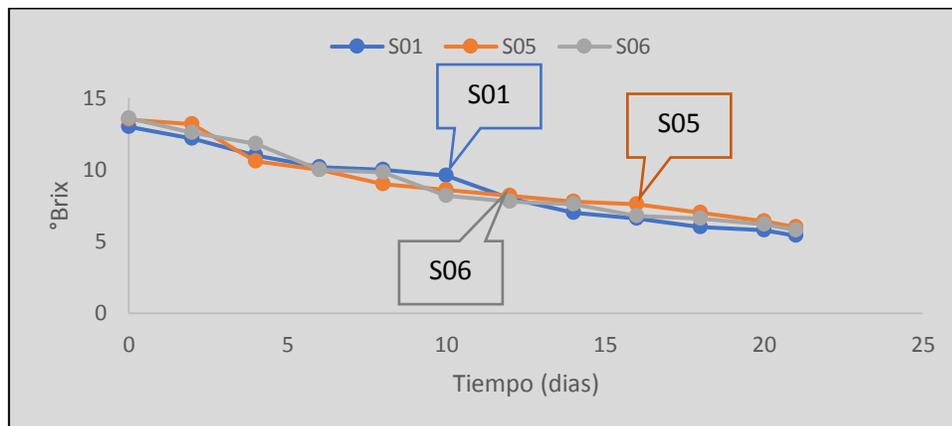
**Tabla 4.10**

*Variación de °Brix en función al tiempo de fermentación*

Días	° Brix		
	Muestras		
	S01	S05	S06
0	13,0	13,5	13,6
2	12,2	13,2	12,6
4	11,0	10,6	11,8
6	10,2	10,0	10,0
8	10,0	9,0	9,8
10	9,6	8,6	8,2
12	8,0	8,2	7,8
14	7,0	7,8	7,6
16	6,6	7,6	6,8
18	6,0	7,0	6,6
20	5,8	6,4	6,2
21	5,4	6,0	5,8

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.12, se observa la variación de °Brix en función del tiempo, en el proceso de fermentación alcohólica del arroz en base a los datos obtenidos de la tabla 4.10.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.12** Control de °Brix en el proceso de fermentación alcohólica del arroz

En la gráfica 4.12, se observa los datos obtenidos de °Brix iniciales para las muestras preliminares, que iniciaron con: S01(13°Brix), S05(13,5°Brix) y S06 (13,6°Brix), al transcurrir un tiempo de 21 días de fermentación alcohólica los °Brix de las muestras fueron disminuyendo debido al consumo de azúcares por las levaduras y se obtuvieron los siguientes datos de °Brix final; S01 (5,4), S05 (6) y S06 (5,8).

#### 4.2.1.5.3 Control del pH en el proceso de fermentación alcohólica del arroz

En la tabla 4,11, se muestran los valores obtenidos de la variación de pH en función del tiempo de fermentación alcohólica del arroz. La técnica utilizada se muestra en el Anexo E.2 extraído del (Anexo E).

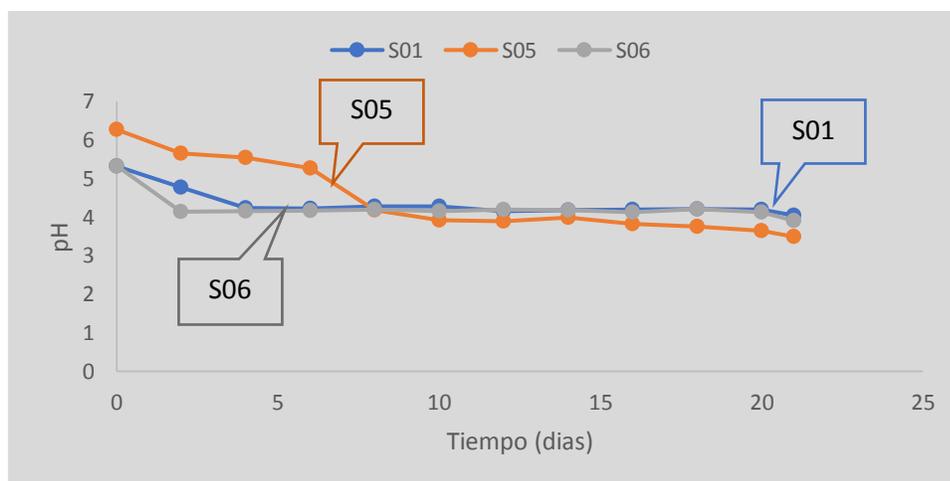
Tabla 4.11

*Variación del pH en función al tiempo de fermentación*

Días	pH		
	Muestras		
	S01	S05	S06
0	5,321	6,272	5,331
2	4,780	5,662	4,136
4	4,240	5,540	4,158
6	4,218	5,269	4,173
8	4,274	4,185	4,193
10	4,284	3,927	4,157
12	4,156	3,898	4,191
14	4,180	3,985	4,184
16	4,192	3,822	4,129
18	4,206	3,752	4,211
20	4,195	3,640	4,121
21	4,044	3,491	3,908

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.13, se observa la variación de pH en función del tiempo, en el proceso de fermentación alcohólica del arroz en base a los datos de la tabla 4.11.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.13** Control del pH en el proceso de fermentación alcohólica del arroz

En la gráfica 4.13, se observa los datos obtenidos de pH iniciales para las muestras preliminares, que iniciaron con: S01(5,321), S05(6,272) y S06 (5,331), al transcurrir un tiempo de 21 días de fermentación alcohólica el pH de las muestras fue

disminuyendo y haciéndose más ácida y se obtuvieron los siguientes datos de pH final; S01 (4,044), S05 (3,491) y S06 (3,908).

#### 4.2.1.5.4 Control de acidez en el proceso de fermentación alcohólica del arroz

Para realizar el control de acidez expresada en ácido acético en el proceso de fermentación alcohólica del arroz en las pruebas preliminares para la obtención del aguardiente de arroz tipo soju, se utilizó la bureta digital, cuya técnica se detalla en el Anexo E.3 extraído del (Anexo E). En la tabla 4.12, se muestran los valores obtenidos de la variación de acidez.

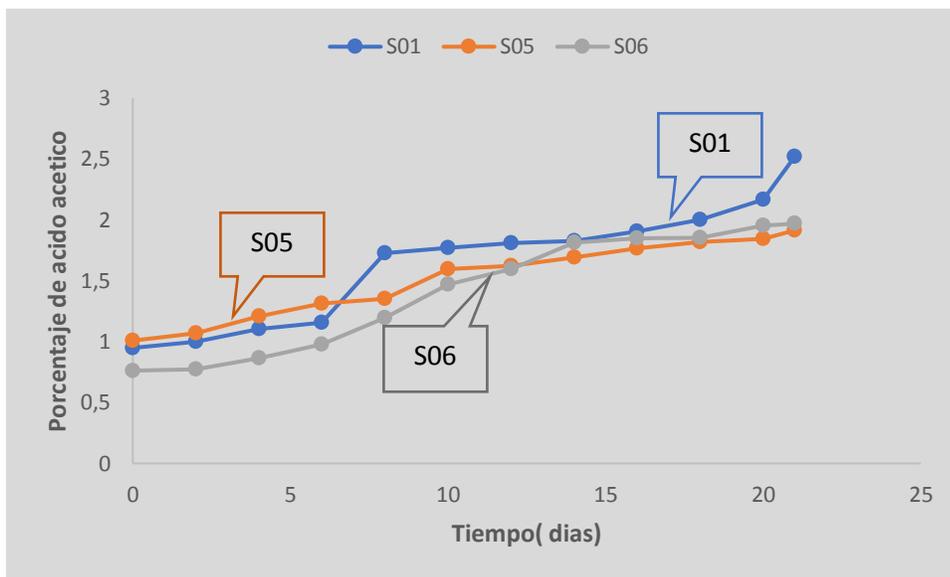
**Tabla 4.12**

*Variación de la acidez en función al tiempo de fermentación*

Días	Acidez		
	Muestras		
	S01	S05	S06
0	0,9492	1,0090	0,7620
2	0,9996	1,0690	0,7730
4	1,1062	1,2094	0,8666
6	1,1551	1,3123	0,9790
8	1,7258	1,3534	1,1962
10	1,7729	1,5986	1,4695
12	1,8120	1,6212	1,5950
14	1,8290	1,6922	1,8158
16	1,9039	1,7671	1,8514
18	2,0030	1,8178	1,8533
20	2,1660	1,8439	1,9524
21	2,5217	1,9150	1,9694

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.14, se muestra la gráfica del control acidez expresada en ácido acético en el proceso de fermentación alcohólica del arroz para la obtención del aguardiente de arroz tipo soju de acuerdo a los datos de la tabla 4.12.



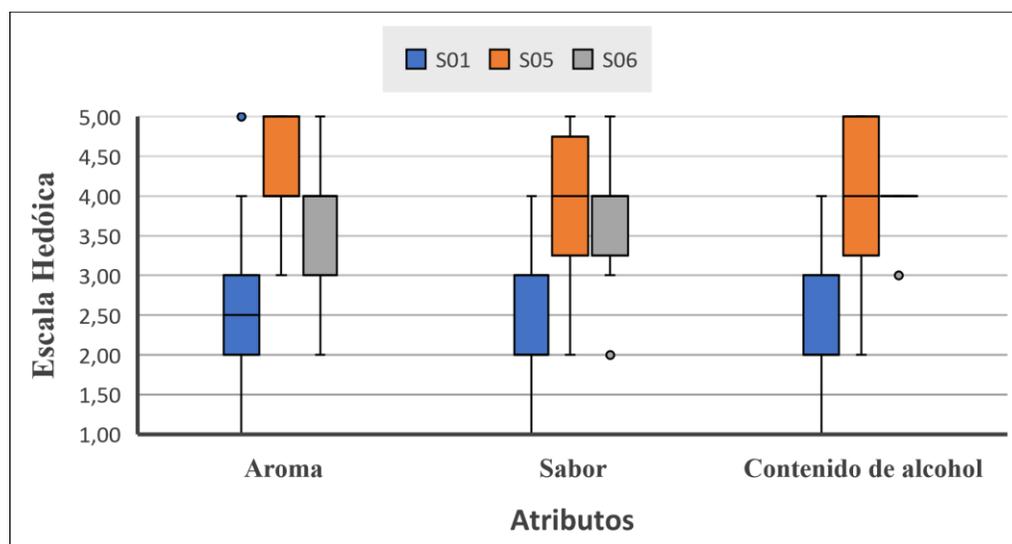
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.14** Control de la acidez en el proceso de fermentación alcohólica del arroz

En la gráfica 4.14, se observa los datos obtenidos de acidez inicial expresadas en porcentaje de ácido acético para las muestras preliminares, que iniciaron con: S01(0,9492), S05(1,0090) y S06 (0,7620), al transcurrir un tiempo de 21 días de fermentación alcohólica las muestras obtuvieron los siguientes datos de pH final; S01 (2,5217), S05 (1,9150) y S06 (1,9694).

#### 4.2.1.5.1 Análisis de resultados caja y bigote para pruebas preliminares

La figura 4.15, muestra los resultados de caja y bigote aplicados a las muestras preliminares S01, S05 y S06 para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju datos extraídos del Anexo C para los atributos: aroma; tabla (C.7.1), sabor; tabla (C.8.1), contenido de alcohol; tabla (C.9.1).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.15** Análisis de resultados caja y bigote para muestras preliminares

Según los resultados obtenidos de caja y bigote de la figura 4.15, se deduce que la muestra S05 para los atributos aroma, sabor y contenido de alcohol presenta medianas de puntuación mayor en relación a las demás muestras de 4; por lo tanto, indica que el 50 % de las calificaciones de los jueces que evaluaron las muestras dieron una puntuación de 4 o menos a las demás muestras, existiendo diferencia significativa; en comparación con la muestras S01 y S06 que presentan una media más baja por lo cual las muestras son rechazadas estadísticamente.

#### 4.2.1.5.6 Estadístico de Tukey para atributo aroma en pruebas preliminares

En la tabla 4.13, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo aroma en muestras preliminares para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

**Tabla 4.13**

#### *Estadístico Tukey para el atributo aroma*

Tratamientos	Efectos
S05-S06	No significativo
S05-S01	Significativo
S06-S01	Significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.13, se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos S05-S01 y S06-S01, pero para el tratamiento S05-S06 no existe diferencia significativa para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.1.5.7 Estadístico de Tukey para atributo sabor en muestras preliminares

En la tabla 4.14, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo sabor en muestras preliminares para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

**Tabla 4.14**

#### *Estadístico Tukey para el atributo sabor*

Tratamientos	Efectos
S05-S06	No significativo
S05-S01	Significativo
S06-S01	Significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.14, se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos S05-S01 y S06-S01, pero para el tratamiento S05-S06 no existe diferencia significativa para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.1.5.8 Estadístico de Tukey para atributo contenido de alcohol en muestras preliminares

En la tabla 4.15, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo contenido de alcohol en muestras preliminares para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

**Tabla 4.15**

#### *Estadístico Tukey para el atributo contenido de alcohol*

Tratamientos	Efectos
S05-S06	No significativo
S05-S01	Significativo
S06-S01	Significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.15, se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos S05-S01 y S06-S01, pero para el tratamiento S05-S06 no existe diferencia significativa para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

Por lo tanto, en base a la figura 4.15 la muestra elegida por los jueces es la S05, en base a su dosificación y parámetros evaluados.

### **4.3 Diseño factorial 2<sup>3</sup> en el proceso de fermentación alcohólica del arroz para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju**

Para aplicar el diseño experimental en la obtención de aguardiente de arroz tipo soju, se realizó en base a la muestra ideal S05 (figura 4,1), donde se tomaron en cuenta las variables: levadura entre valores bajo (0,02%); alto (0,06 %), mezcla polvillo de arroz y maicena entre valores bajo (4,21%); alto (6,31%) y tiempo de fermentación entre valores bajo (15 días): alto (24días), durante el proceso de fermentación alcohólica; así mismo, las variables respuesta: °GL, pH y acidez total fueron medidas en el aguardiente de arroz tipo soju.

#### **4.3.1 Análisis de varianza para la variable respuesta °GL del aguardiente de arroz tipo soju**

Para la determinación del °GL, se utilizó el método de determinación por densidad relativa (picnometría), la técnica se detalla en el (Anexo E.4). En la tabla 4.16, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2<sup>3</sup> del programa estadístico StatGraphics Centurión XVI para Windows en el proceso de fermentación alcohólica del arroz, donde la variable respuesta fue el °GL, datos extraídos de la tabla D.1.3 del (Anexo D).

Tabla 4.16

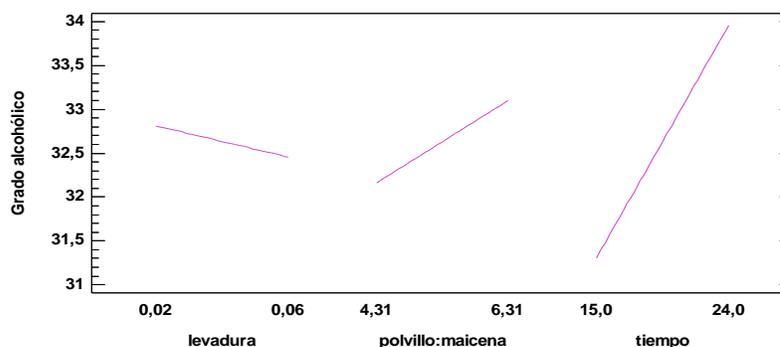
*Análisis de varianza para la variable respuesta °GL*

Fuente de variación (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grado de libertad (Gl)	Cuadrado Medio (CM)	Razón-F	Valor-P
A: levadura	0,5041	1	0,5041	0,96	0,3552
B: polvillo: maicena	3,5532	1	3,5532	6,79	0,0314
C: tiempo	28,1961	1	28,1961	53,86	0,0001
AB	0,2704	1	0,2704	0,52	0,4928
AC	0,6162	1	0,6162	1,18	0,3096
BC	13,7641	1	13,7641	26,29	0,0009
ABC	15,0932	1	15,0932	28,83	0,0007
Error total	4,1884	8	0,5235		
Total	66,1858	15			

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.16 se observa que los factores: polvillo de arroz: maicena (B), tiempo de fermentación (C) y las interacciones: levadura-polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (ABC), polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (BC) son estadísticamente significativas debido a que el valor-P es menor que  $\alpha=0.05$ ; en comparación con el factor: levadura (A) y las interacciones levadura-tiempo (AC), levadura- polvillo de arroz: maicena (AB) que no son estadísticamente significativas para un límite de probabilidad del 95%.

En la figura 4.15 se puede observar la gráfica de efectos principales de los factores: levadura (A), polvillo de arroz: maicena (B), tiempo de fermentación (C) con relación al grado alcohólico de las muestras de aguardiente de arroz tipo soju.

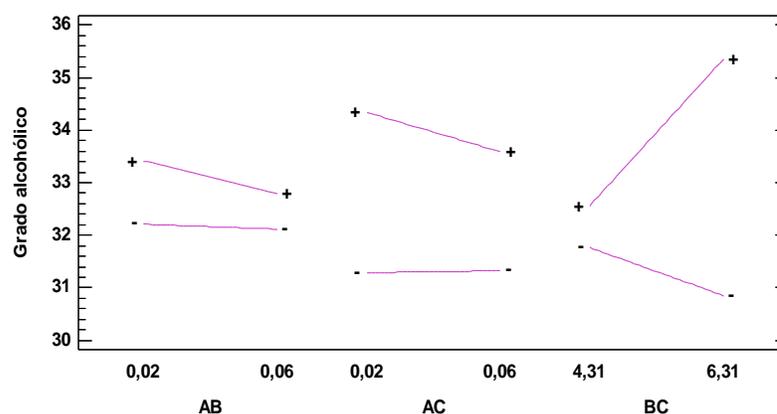


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.16** Efectos principales con relación al °GL

Según la figura 4.16 se observa que los factores (B) polvillo de arroz: maicena (4,31% - 6,31%) y (C) tiempo de fermentación (15 - 24 días) inciden significativamente en el grado alcohólico en un nivel alto y bajo en comparación con el factor (A) levadura (0,02% - 0,06%) que no incide significativamente el grado alcohólico en sus niveles alto y bajo.

En la figura 4.16 se muestra la gráfica de interacciones levadura-polvillo: maicena (AB), levadura-tiempo de fermentación (AC), polvillo: maicena-tiempo de fermentación (BC) para el contenido de grado alcohólico.



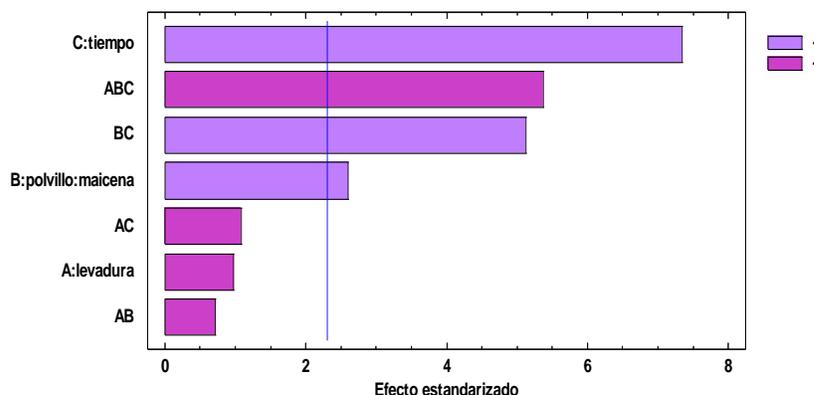
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.17** Interacciones con relación al °GL

En la figura 4.17 se puede observar que las interacciones AB, AC no tienen ninguna influencia significativa en relación al grado alcohólico del aguardiente para sus niveles altos y bajos. Así mismo en la interacción BC, cuando se fija en el nivel alto del efecto tiempo de fermentación y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto del polvillo de arroz: maicena, se incrementa notablemente el grado alcohólico del aguardiente, sin embargo, cuando se fija en el nivel bajo del efecto tiempo de fermentación y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto del polvillo de arroz: maicena no se observa algún cambio significativo en el grado alcohólico del aguardiente.

En la figura 4.17, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores tomados en cuenta para el diseño experimental los cuales están ordenados de mayor a

menor, de datos extraídos del anexo D.1.1; en consecuencia, la significancia estadística lo determina la línea vertical referencia con un valor de 2,306 y por lo tanto los efectos que sobrepasan la línea corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos a un nivel de probabilidad del 95%.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.18** Diagrama de Pareto estandarizado para el grado alcohólico

En la figura 4.18, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores: tiempo (C), polvillo de arroz: maicena (B), las interacciones: levadura-polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (ABC), polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (BC) son estadísticamente significativas debido a que el efecto del factores sobrepasa la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ ; en comparación con el factor: levadura (A), las interacciones: levadura-tiempo de fermentación (AC), levadura-polvillo de arroz: maicena (AB), que no son estadísticamente significativos.

#### 4.3.2 Análisis de varianza para la variable respuesta pH del aguardiente de arroz tipo soju

Para la determinación del pH en el aguardiente de arroz tipo soju, se utilizó el método de determinación por volumetría, la técnica se detalla en el (Anexo E.2). En la tabla 4.17, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza de diseño  $2^3$  del programa estadístico StatGraphics Centurión XVI en el proceso de fermentación

alcohólica, donde la variable respuesta es el pH, datos extraídos de la tabla D.2.3 del (Anexo D).

**Tabla 4.17**

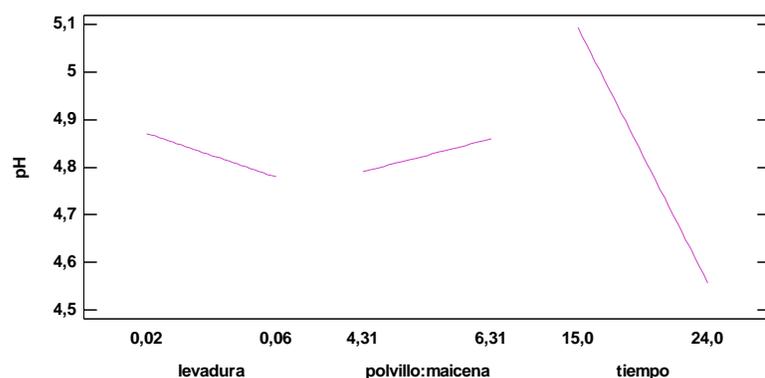
*Análisis de Varianza para la variable respuesta pH*

Fuente de variación (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grado alcohólico (GI)	Cuadrado Medio (CM)	Razón-F	Valor-P
A: levadura	0,0338	1	0,03376	2,15	0,1804
B: polvillo: maicena	0,0191	1	0,01911	1,22	0,3016
C: tiempo	1,1444	1	1,14437	72,99	0,0000
AB	0,1068	1	0,10677	6,81	0,0312
AC	0,0685	1	0,06851	4,37	0,0700
BC	0,0048	1	0,00480	0,31	0,5953
ABC	1,2139	1	1,21385	77,42	0,0000
Error total	0,1254	8	0,01568		
Total	2,7166	15			

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.17, se observa que el factor: tiempo de fermentación (C) y las interacciones: levadura-polvillo de arroz: maicena-tiempo(ABC), levadura-polvillo de arroz: maicena(AB), son estadísticamente significativos debido a que valor de P es menor a 0,005; en comparación con los factores: levadura (A), polvillo de arroz: maicena (B), y la interacción levadura-polvillo de arroz: maicena (AC), polvillo: maicena-tiempo de fermentación (BC), que no son significativos para un límite de probabilidad del 95%.

En la figura 4.18 se puede observar la gráfica de efectos principales de los siguientes factores: levadura (A), polvillo de arroz: maicena (B), tiempo de fermentación (C) con relación al pH de las muestras de aguardiente de arroz tipo soju.

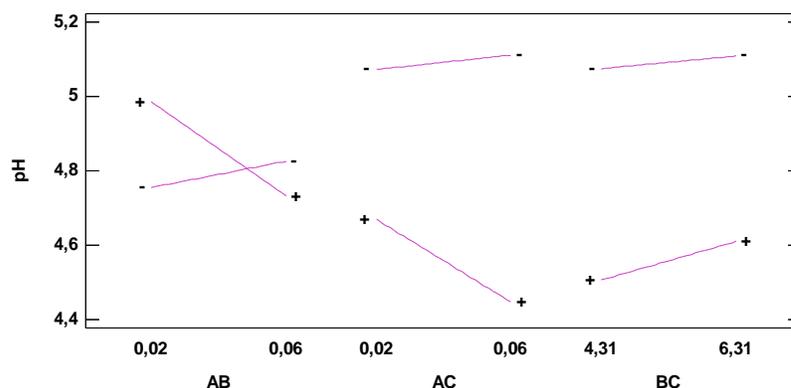


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.19** Gráfica de efectos principales con relación al pH

Según la figura 4.19 se observa que el factor: (B) polvillo de arroz: maicena (4,31% - 6,31%), incide significativamente en el pH en un nivel alto y bajo en comparación con los factores: (A) levadura (0,02% - 0,06%), (C) tiempo de fermentación (15 - 24 días), no inciden en el pH en sus niveles alto y bajo.

En la figura 4.19 se muestra la gráfica de interacciones levadura-polvillo: maicena (AB), levadura-tiempo de fermentación (AC), polvillo: maicena-tiempo de fermentación (BC) para el contenido de pH.



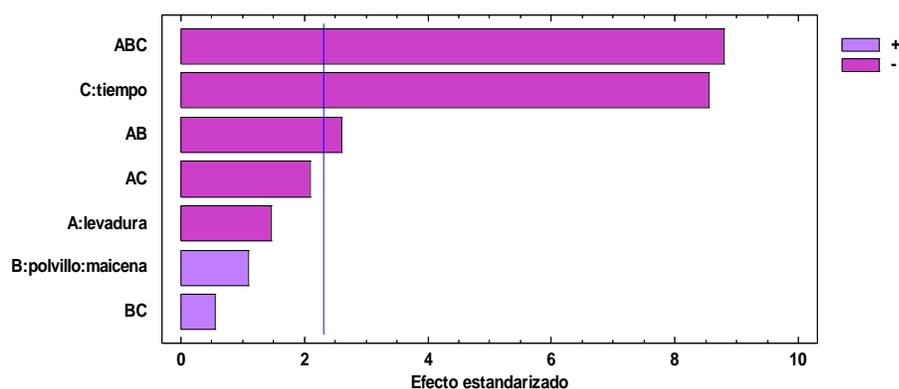
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.20** Gráfica de interacciones con relación al pH

En la figura 4.20 se puede observar que la interacción AB es significativa debido a que los factores de la variable interaccionan entre sí, cuando se fija en el nivel alto del efecto polvillo de arroz: maicena y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto de la levadura no se observa algún cambio significativo en el pH del aguardiente; sin

embargo, cuando se fija en nivel bajo del efecto polvillo de arroz: maicena y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto de la levadura, se incrementa notablemente el pH del aguardiente. Así mismo en la interacción AC se observa que, cuando se fija en el nivel bajo del efecto tiempo de fermentación y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto de la levadura se incrementa levemente el pH del aguardiente; sin embargo, cuando se fija en nivel alto del efecto tiempo de fermentación y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto de la levadura, no se observa algún cambio significativo en el pH del aguardiente. Para la interacción BC cuando se fija en el nivel bajo del efecto tiempo de fermentación y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto de polvillo de arroz: maicena se incrementa levemente el pH del aguardiente; sin embargo, cuando se fija en nivel alto del efecto tiempo de fermentación y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto de polvillo de arroz: maicena, no se observa algún cambio significativo en el pH del aguardiente.

En la figura 4.20, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores tomados en cuenta para el diseño experimental los cuales están ordenados de mayor a menor, de datos extraídos del anexo D.2.1; en consecuencia, la significancia estadística lo determina la línea vertical referencia con un valor de 2,306 y por lo tanto los efectos que sobrepasan la línea corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos a un nivel de probabilidad del 95%.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.21** Diagrama de Pareto estandarizado para pH

En la figura 4.21, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde las interacciones: levadura-polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (ABC), levadura-polvillo de arroz: maicena (AB) y el factor tiempo de fermentación (C) son estadísticamente significativos debido a que los efectos de los factores sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ , en comparación con los factores: levadura (A), polvillo de arroz: maicena (B) y las interacciones: levadura-tiempo de fermentación (AC), polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (BC), que no son estadísticamente significativos.

#### 4.3.3 Análisis de varianza para la variable respuesta acidez total del aguardiente de arroz tipo soju

Para la determinación de la acidez en el aguardiente de arroz tipo soju, se utilizó el método de determinación por volumetría. En la tabla 4.18, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza de diseño  $2^3$  del programa estadístico StatGraphics Centurión XVI en el proceso de fermentación alcohólica, donde la variable respuesta es la acidez total, datos extraídos de la tabla D.3.3 del (Anexo D).

**Tabla 4.18**

##### *Análisis de varianza de la variable respuesta acidez total*

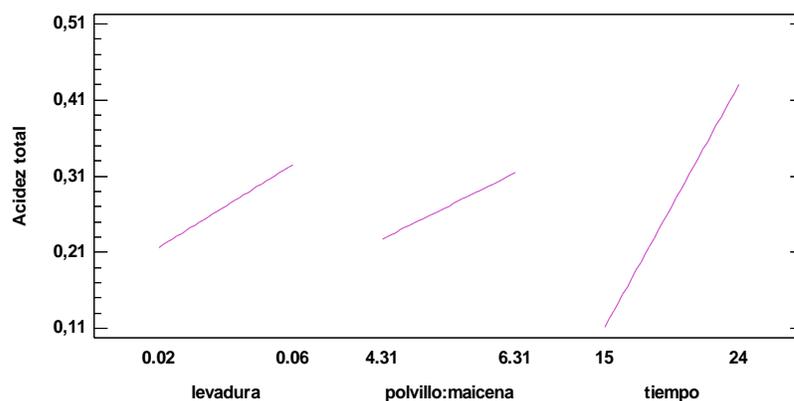
Fuente de variación (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grado alcohólico (Gl)	Cuadrado Medio (CM)	Razón-F	Valor-P
A: levadura	0,04721	1	0,04721	61,84	0,0000
B: polvillo: maicena	0,03035	1	0,03035	39,76	0,0002
C: tiempo	0,40446	1	0,40446	529,83	0,0000
AB	0,34190	1	0,34190	447,87	0,0000
AC	0,07855	1	0,07855	102,90	0,0000
BC	0,01834	1	0,01834	24,02	0,0012
ABC	0,43524	1	0,43524	570,14	0,0000
Error total	0,00611	8	0,00076		
Total	1,36217	15			

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.18 se observa que los factores: levadura (A), polvillo de arroz: maicena (B), tiempo (C) y las interacciones levadura-polvillo de arroz, maicena(AB), levadura-polvillo de arroz: maicena (AC), polvillo de arroz: maicena-tiempo (BC) y levadura-

polvillo de arroz: maicena-tiempo (ABC) son estadísticamente significativos debido a que valor-P es menor a 0,005; para un límite de probabilidad del 95%.

En la figura 4.21 se puede observar la gráfica de efectos principales de los siguientes factores: levadura (A), polvillo de arroz: maicena (B), tiempo de fermentación (C) con relación a la acidez total de las muestras de aguardiente de arroz tipo soju.

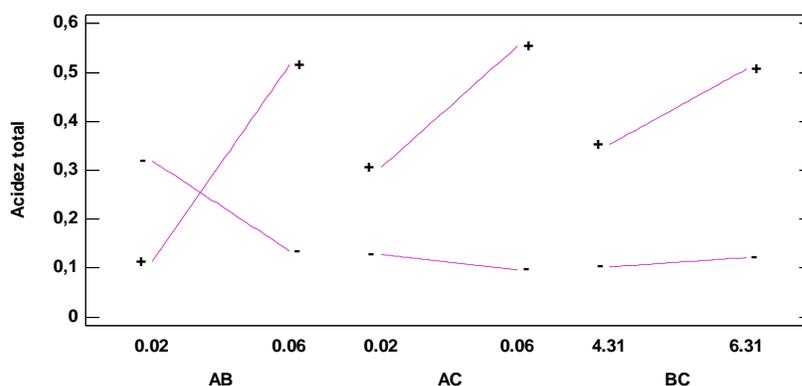


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.22** Gráfica de efectos principales con relación a la acidez total

Según la figura 4.22 se observa que el factor: (C) tiempo de fermentación (15 - 24 días) es el que incide más significativamente en la acidez total del aguardiente en un nivel alto y bajo en comparación con los factores: (A) levadura (0,02% - 0,06%) y (B) polvillo de arroz: maicena (4,31% - 6,31%) que inciden significativamente en la acidez total pero en menor proporción en sus niveles alto y bajo.

En la figura 4.23 se muestra la gráfica de interacciones levadura-polvillo: maicena (AB), levadura-tiempo de fermentación (AC), polvillo: maicena-tiempo de fermentación (BC) para el contenido de acidez total.



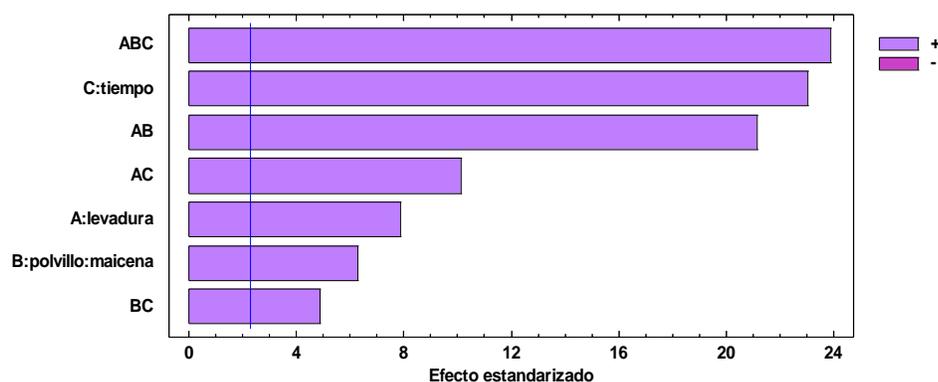
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.23** Gráfica de interacciones con relación a la acidez total

En la figura 4.23 se puede observar que las interacciones AB es significativa debido a que los factores de la variable interaccionan entre sí, cuando se fija en el nivel alto del efecto polvillo de arroz: maicena y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto de la levadura se incrementa notablemente la acidez total del aguardiente; sin embargo, cuando se fija en nivel bajo del efecto polvillo de arroz: maicena y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto de la levadura, no se observa algún cambio significativo en el pH del aguardiente. Así mismo en la interacción AC cuando se fija en el nivel alto del efecto tiempo de fermentación y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto de la levadura se incrementa notablemente la acidez total del aguardiente; sin embargo, cuando se fija en nivel bajo del efecto tiempo de fermentación y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto de la levadura, no se observa algún cambio significativo en el pH del aguardiente. Para la interacción BC cuando se fija en el nivel alto del efecto tiempo de fermentación y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto del polvillo de arroz: maicena se incrementa notablemente la acidez total del aguardiente; sin embargo, cuando se fija en nivel bajo del efecto tiempo de fermentación y se cambia de nivel bajo a nivel alto el efecto del polvillo de arroz: maicena, no se observa algún cambio significativo en el pH del aguardiente.

En la figura 4.23, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores tomados en cuenta para el diseño experimental los cuales están ordenados de mayor a menor, de datos extraídos del anexo D.3.1; en consecuencia, la significancia estadística

lo determina la línea vertical referencia con un valor de 2,306 y por lo tanto los efectos que sobrepasan la línea corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos a un nivel de probabilidad del 95%.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.24** Diagrama de Pareto estandarizado para acidez total

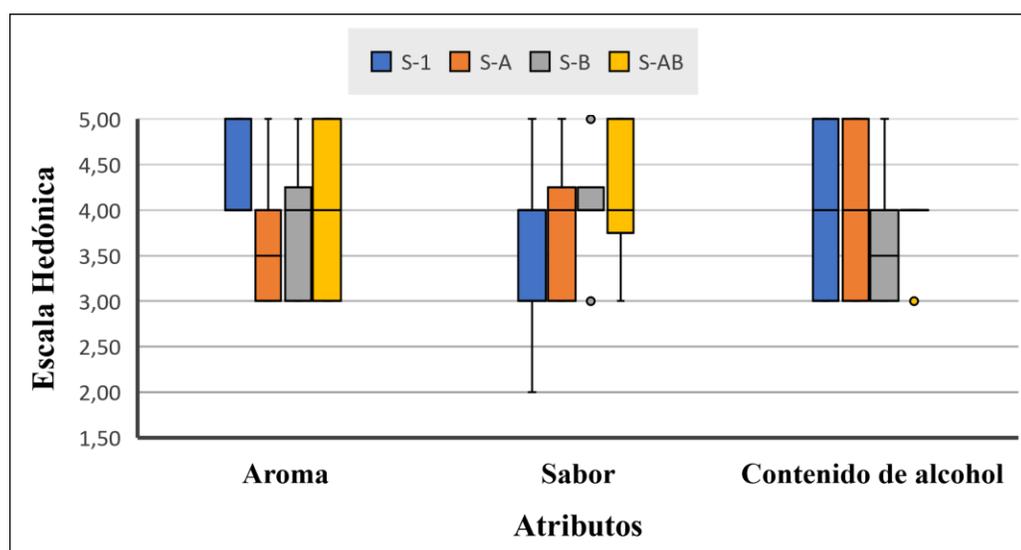
En la figura 4.24, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores (A) levadura, polvillo de arroz: maicena (B), tiempo de fermentación (C) y las interacciones : levadura-polvillo de arroz: maicena (AB), levadura-tiempo de fermentación (AC), polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (BC), levadura-polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (ABC), son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.3.4 Evaluación sensorial de muestras experimentales del diseño de aguardiente de arroz tipo soju

Para realizar la evaluación sensorial de las ocho muestras experimentales del diseño experimental de aguardiente de arroz tipo soju, se procedió a evaluar las muestras en función de la variable tiempo de fermentación (C) de su nivel alto y nivel 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 aguardiente de arroz tipo soju.

#### 4.3.4.1 Análisis de resultados caja y bigote Test 3 para muestras experimentales del diseño para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

La figura 4.25, muestra los resultados de caja y bigote aplicados a las muestras del diseño experimental S-1, S-A, S-B y S-AB para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju datos extraídos del Anexo C para los atributos: aroma; tabla (C.10.1), sabor; tabla (C.11.1), contenido de alcohol; tabla (C.12.1).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.25** Análisis caja y bigote en muestras del diseño experimental para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

Según los resultados obtenidos de caja y bigote de la figura 4.25, se deduce que la muestras S-1 y S-AB para los atributos aroma, sabor y contenido de alcohol presentan medianas de puntuación mayor en relación a las demás muestras de 4; por lo tanto, indica que el 50 % de las calificaciones de los jueces que evaluaron las muestras dieron una puntuación de 4 o menos.

##### 4.3.4.1.1 Análisis de varianza para atributo aroma en muestras experimentales del diseño para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

Según resultados extraídos de la tabla C.10.2 (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo aroma en la evaluación sensorial del aguardiente de arroz tipo soju, se puede evidenciar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1,37 < 2,96$ ) para las muestras evaluadas, por lo tanto, se

las muestras para el atributo aroma, con acepta la Hipótesis y se puede corroborar que no existe diferencia significativa entre un nivel de significancia para  $\alpha = 0,05$ , por tal motivo no es necesario realizar el estadístico de Tukey.

#### **4.3.4.1.2 Análisis de varianza para atributo sabor en muestras experimentales del diseño para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju**

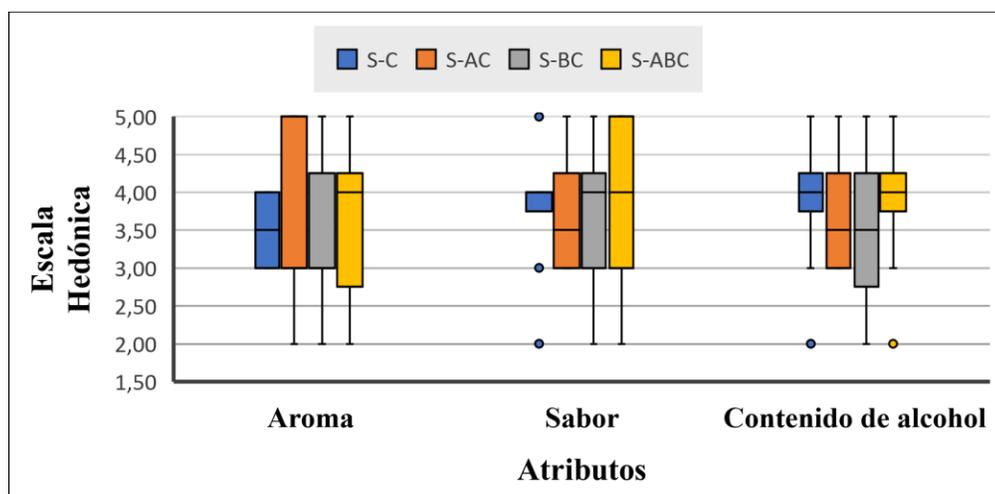
Según resultados extraídos de la tabla C.11.2 (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo sabor en la evaluación sensorial del aguardiente de arroz tipo soju, se puede evidenciar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,64 < 2,96$ ) para las muestras evaluadas, por lo tanto, se acepta la Hipótesis y se puede corroborar que no existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo sabor, con un nivel de significancia para  $\alpha = 0,05$ , por tal motivo no es necesario realizar el estadístico de Tukey.

#### **4.3.4.1.3 Análisis de varianza para atributo contenido de alcohol en muestras experimentales del diseño para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju**

Según resultados extraídos de la tabla C.12.2 (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo contenido de alcohol en la evaluación sensorial del aguardiente de arroz tipo soju, se puede evidenciar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1,12 < 2,96$ ) para las muestras evaluadas, por lo tanto, se acepta la Hipótesis y se puede corroborar que no existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo contenido de alcohol, con un nivel de significancia para  $\alpha = 0,05$ , por tal motivo no es necesario realizar el estadístico de Tukey.

#### **4.3.4.2 Análisis de resultados caja y bigote test 4 para muestras experimentales del diseño para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju**

En La figura 4.26, muestra los resultados de caja y bigote aplicados a las muestras del diseño experimental S-C, S-AC, S-BC y S-ABC para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju datos extraídos del Anexo C para los atributos: aroma; tabla (C.13.1), sabor; tabla (C.14.1), contenido de alcohol; tabla (C.15.1).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.26** Análisis caja y bigote en muestras del diseño experimental para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

Según los resultados obtenidos de caja y bigote de la figura 4.26, se deduce que la muestra S-ABC para los atributos aroma, sabor y contenido de alcohol presenta medianas de puntuación mayor en relación a las demás muestras de 4; por lo tanto, indica que el 50 % de las calificaciones de los jueces que evaluaron las muestras dieron una puntuación de 4 o menos.

#### 4.3.4.2.1 Análisis de varianza para atributo aroma en muestras experimentales del diseño para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

Según resultados extraídos de la tabla C.13.2 (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo aroma en la evaluación sensorial del aguardiente de arroz tipo soju, se puede evidenciar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,05 < 2,83$ ) para las muestras evaluadas, por lo tanto, se acepta la Hipótesis y se puede corroborar que no existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo aroma, con un nivel de significancia para  $\alpha = 0,05$ , por tal motivo no es necesario realizar el estadístico de Tukey.

#### 4.3.4.2.2 Análisis de varianza para atributo sabor en muestras experimentales del diseño para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

Según resultados extraídos de la tabla C.14.2 (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo sabor en la evaluación sensorial del aguardiente de arroz tipo soju, se puede

evidenciar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,16 < 2,83$ ) para las muestras evaluadas, por lo tanto, se acepta la Hipótesis y se puede corroborar que no existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo sabor, con un nivel de significancia para  $\alpha = 0,05$ , por tal motivo no es necesario realizar el estadístico de Tukey.

#### 4.3.4.2.3 Análisis de varianza para atributo contenido de alcohol en muestras experimentales del diseño para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju

Según resultados extraídos de la tabla C.15.2 (Anexo C), del análisis de varianza para el atributo contenido de alcohol en la evaluación sensorial del aguardiente de arroz tipo soju, se puede evidenciar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,60 < 2,83$ ) para las muestras evaluadas, por lo tanto, se acepta la Hipótesis y se puede corroborar que no existe diferencia significativa entre las muestras para el atributo °GL, con un nivel de significancia para  $\alpha = 0,05$ , por tal motivo no es necesario realizar el estadístico de Tukey.

Por lo tanto, en base a las figuras 4.25 y 4.26 la muestra elegida por los jueces es la muestra S-ABC en base a su dosificación, parámetros evaluados y la preferencia de los jueces por esta muestra.

#### 4.4 Análisis fisicoquímico del aguardiente de arroz tipo soju

En la tabla 4.19, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del aguardiente de arroz tipo soju, datos extraídos del (Anexo A).

**Tabla 4.19**

##### *Parámetros fisicoquímicos del aguardiente de arroz tipo soju*

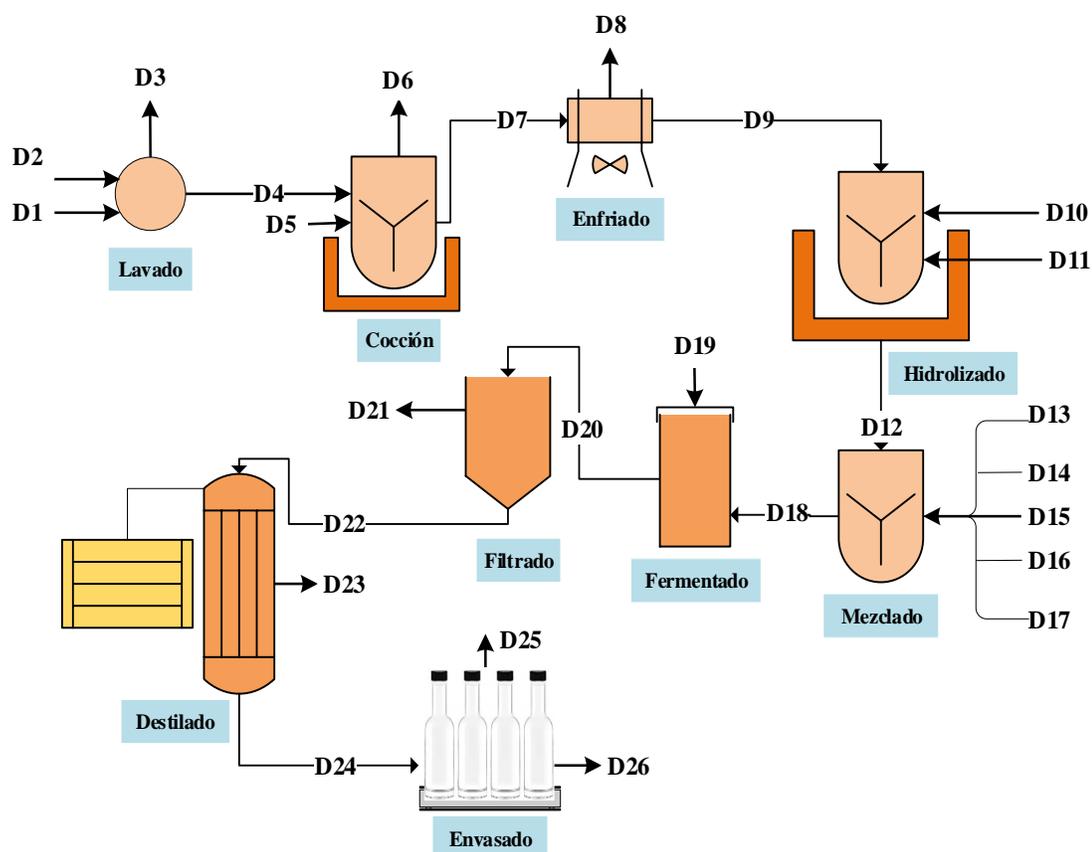
Parámetros	Unidad	Resultado
Anhidrido sulfuroso total	mg/l	4,74
Azucares reductores	g/l	1,90
Extracto seco total	g/l	0,00
Grado alcohólico	°GL	45,00
Metanol	mg/l	< 31,00

**Fuente:** (CEANID, 2021)

En la tabla 4.19, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del aguardiente de arroz tipo soju que presenta: anhídrido sulfuroso 4,74 mg/l, azúcares reductores 1,90 g/l, extracto seco total n. d. g/l, grado alcohólico 45°GL, metanol <31 mg/l.

#### 4.5 Balance de materia en el proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju

En la figura 4.27 se detallan las etapas donde se realizaron los balances de materia en el proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju; a partir de la fermentación alcohólica del arroz variedad japónica, para el procesamiento de 1021,768g de destilado.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.27** Balance de materia en el proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju

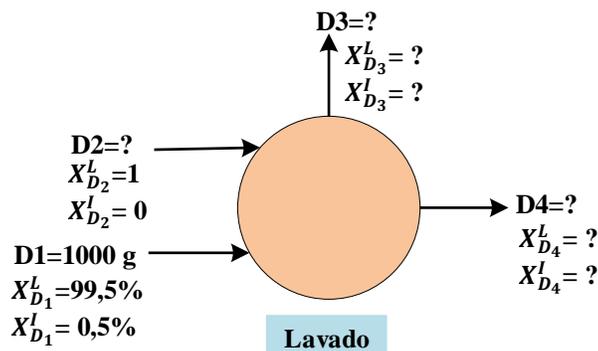
Donde:

$D_1 =$ Arroz (g)	$X_{D_5}^S =$ Fracción solida del agua que ingresa
$D_2 =$ Agua (g)	$X_{D_6}^L =$ Fracción liquida del vapor de agua
$D_3 =$ Agua + impurezas (g)	$X_{D_6}^S =$ Fracción solida del vapor de agua
$D_4 =$ Arroz lavado (g)	$X_{D_7}^L =$ Fracción liquida del arroz cocido
$D_5 =$ Agua que ingresa (g)	$X_{D_7}^S =$ Fracción solida del arroz cocido
$D_6 =$ Vapor de agua (g)	$X_{D_8}^L =$ Fracción liquida del vapor de agua
$D_7 =$ Arroz cocido (g)	$X_{D_8}^S =$ Fracción solida del vapor de agua
$D_8 =$ Vapor de agua (g)	$X_{D_9}^L =$ Fracción liquida del arroz cocido frio
$D_9 =$ Arroz cocido frio (g)	$X_{D_9}^S =$ Fracción solida del arroz cocido frio
$D_{10} =$ Amilasa (g)	$X_{D_{10}}^L =$ Fracción liquida de la amilasa
$D_{11} =$ Agua (g)	$X_{D_{10}}^S =$ Fracción solida de la amilasa
$D_{12} =$ Arroz hidrolizado (g)	$X_{D_{11}}^L =$ Fracción liquida del agua
$D_{13} =$ Ácido cítrico (g)	$X_{D_{11}}^S =$ Fracción solida del agua
$D_{14} =$ Polvillo de arroz (g)	$X_{D_{12}}^L =$ Fracción liquida del arroz hidrolizado
$D_{15} =$ Nutriente (g)	$X_{D_{12}}^S =$ Fracción solida del arroz hidrolizado
$D_{16} =$ Maicena (g)	$X_{D_{13}}^L =$ Fracción liquida del ácido cítrico
$D_{17} =$ Azúcar (g)	$X_{D_{13}}^S =$ Fracción solida del ácido cítrico
$D_{18} =$ Mosto (g)	$X_{D_{14}}^L =$ Fracción liquida del polvillo de arroz
$D_{19} =$ Levadura (g)	$X_{D_{14}}^S =$ Fracción solida del polvillo de arroz
$D_{20} =$ Vino de arroz (g)	$X_{D_{15}}^L =$ Fracción liquida del nutriente
$D_{21} =$ Borra (g)	$X_{D_{15}}^S =$ Fracción solida del nutriente
$D_{22} =$ Vino filtrado (g)	$X_{D_{16}}^L =$ Fracción liquida de la maicena
$D_{23} =$ Residuo (g)	$X_{D_{16}}^S =$ Fracción solida de la maicena
$D_{24} =$ Destilado (g)	$X_{D_{17}}^L =$ Fracción liquida del azúcar

$D_{25}$ = Perdida en proceso de envasado (g)	$X_{D_{17}}^S$ = Fracción solida del azúcar
$D_{26}$ = Aguardiente de arroz envasado (g)	$X_{D_{18}}^L$ = Fracción liquida del mosto
$X_{D_1}^L$ = Fracción liquida del arroz	$X_{D_{18}}^S$ = Fracción solida del mosto
$X_{D_1}^I$ = Fracción de impurezas del arroz	$X_{D_{19}}^L$ = Fracción liquida de la levadura
$X_{D_2}^L$ = Fracción liquida del agua	$X_{D_{19}}^S$ = Fracción solida de la levadura
$X_{D_2}^I$ = Fracción de impurezas del agua	$X_{D_{20}}^L$ = Fracción liquida vino de arroz
$X_{D_3}^L$ = Fracción liquida agua + impurezas	$X_{D_{20}}^S$ = Fracción solida del vino de arroz
$X_{D_3}^I$ = Fracción de impurezas + agua	$X_{D_{21}}^L$ = Fracción liquida de la borra
$X_{D_4}^L$ = Fracción liquida del arroz lavado	$X_{D_{21}}^S$ = Fracción solida de la borra
$X_{D_4}^I$ = Fracción de impurezas del arroz lavado	$X_{D_{22}}^L$ = Fracción liquida del vino filtrado
$X_{D_4}^S$ = Fracción solida del arroz lavado	$X_{D_{22}}^S$ = Fracción solida del vino filtrado
$X_{D_5}^L$ = Fracción liquida del agua que ingresa	

#### 4.5.1 Balance de materia en la etapa de lavado

La figura 4.28, muestra el balance de materia en la etapa de lavado del arroz, realizado para 1000 g de arroz variedad japónica y relación de agua potable 2:1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28 Balance de materia en la etapa de lavado

**Balance general en la etapa de lavado**

$$D_1 + D_2 = D_3 + D_4 \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Despejando  $D_4$ :

$$D_4 = D_1 + D_2 - D_3 \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Para hallar el valor de las corrientes  $D_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  se aplica el siguiente planteamiento:

**Cálculo de agua que ingresa en el lavado en relación agua: arroz (2:1)**

$$D_2 = 2(D_1)$$

$$D_2 = 2 (1000\text{g})$$

$$D_2 = 2000\text{g de agua potable}$$

**Cálculo de agua que sale en el lavado + impurezas ( $D_3$ )**

$$D_3 = D'_3 + D''_3 \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

$$D'_3 = \text{agua de lavado}$$

$$D''_3 = \text{impurezas}$$

**Cálculo de agua que sale en el lavado**

$$D'_3 = 90\% D_2$$

$$D'_3 = 0,9 (2000\text{g})$$

$$D'_3 = 1800\text{g de agua de lavado}$$

**Cálculo de impurezas que salen en lavado**

$$D''_3 = 0,5\% (D_1)$$

$$D''_3 = 0,005 (1000\text{g})$$

$$D''_3 = 5\text{g de impurezas}$$

**Reemplazando  $D'_3$  y  $D''_3$  en (ecuación 4.3)**

$$D_3 = D'_3 + D''_3$$

$$D_3 = 1800\text{g} + 5\text{g}$$

$$D_3 = 1805\text{g de agua que sale} + \text{impurezas}$$

**Reemplazando  $D_2$  y  $D_3$  en (ecuación 4.2)**

$$D_4 = D_1 + D_2 - D_3$$

$$D_4 = 1000\text{g} + 2000\text{g} - 1805\text{g}$$

$D_4 = 1195\text{g}$  de arroz lavado

### Balance parcial de impurezas en la etapa de lavado

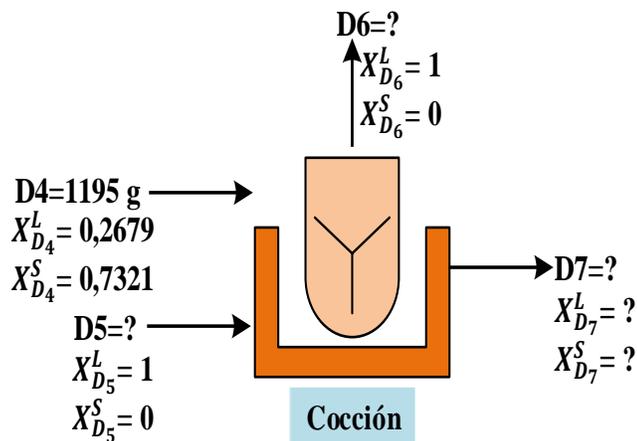
$$D_1(X_{D_1}^I) + D_2(X_{D_2}^I) = D_3(X_{D_3}^I) + D_4(X_{D_4}^I)$$

$$X_{D_3}^I = \frac{1000\text{g}(0,005)}{1805\text{g}}$$

$$X_{D_3}^I = 0,0028$$

### 4.5.2 Balance de materia en la etapa de cocción

La figura 4.29, muestra el balance de materia en la etapa de cocción de arroz, realizado para 1195g de arroz lavado y una entrada de (1,5:1) en relación; agua potable: arroz.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29 Balance de materia en la etapa de cocción

### Balance general en la etapa de cocción

$$D_4 + D_5 = D_6 + D_7 \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Despejando  $D_7$ :

$$D_7 = D_4 + D_5 - D_6 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Para hallar el valor de las corrientes  $D_5$ ,  $D_6$  y  $D_7$  se aplica el siguiente planteamiento:

**Cálculo de agua que ingresa en la etapa de cocción, en relación agua: arroz (1,5:1)**

$$D_5 = 1,5D_4$$

$$D_5 = 1,5 * 1195g$$

$$D_5 = 1792,5g \text{ de agua que ingresa}$$

**Cálculo de vapor de agua que sale en la etapa de cocción en relación al 46,61%  $D_5$** 

$$D_6 = 0,4661 * D_5$$

$$D_6 = 0,4661 * (1792,5g)$$

$$D_6 = 835,48g \text{ de vapor de agua}$$

**Reemplazando  $D_5$  y  $D_6$  en (ecuación 4.5)**

$$D_7 = D_4 + D_5 - D_6$$

$$D_7 = 1195g + 1792,5g - 835,48g$$

$$D_7 = 2152,02g \text{ de arroz cocido}$$

**Balance parcial de agua en etapa de cocción**

$$D_4(X_{D_4}^L) + D_5(X_{D_5}^L) = D_6(X_{D_6}^L) + D_7(X_{D_7}^L)$$

$$X_{D_7}^L = \frac{1195g(0,2679) + 1792,5g(1) - 835,48g(1)}{2152,02g}$$

$$X_{D_7}^L = 0,5935$$

**Balance parcial de sólidos en etapa de cocción**

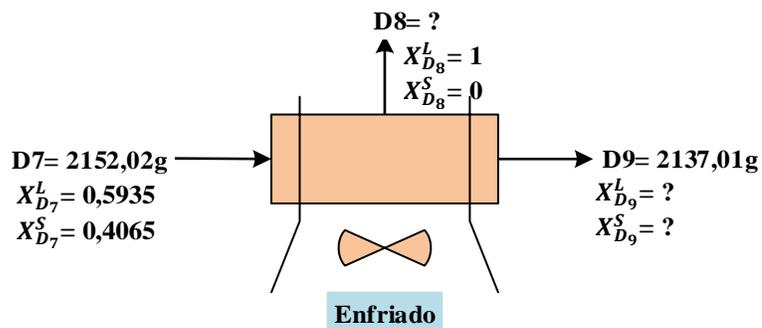
$$D_4(X_{D_4}^S) + D_5(X_{D_5}^S) = D_6(X_{D_6}^S) + D_7(X_{D_7}^S)$$

$$X_{D_7}^S = \frac{1195g(0,7321)}{2152,02g}$$

$$X_{D_7}^S = 0,4065$$

**4.5.3 Balance de materia en la etapa de enfriado**

La figura 4.30, muestra el balance de materia en la etapa de enfriado del arroz cocido, realizado para 2152,02g de arroz cocido.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30 Balance de materia en la etapa de enfriado

#### Balance general en la etapa de enfriado

$$D_7 = D_8 + D_9$$

(Ecuación 4.6)

Despejando  $D_8$ :

$$D_8 = D_7 - D_9$$

$$D_8 = 2152,02g - 2137,01g$$

$$D_8 = 15,01g \text{ de vapor de agua}$$

#### Balance parcial de agua en la etapa de lavado

$$D_7(X_{D_7}^L) = D_8(X_{D_8}^L) + D_9(X_{D_9}^L)$$

$$X_{D_9}^L = \frac{2152,02g(0,5935) - 15,01g(1)}{2137,01g}$$

$$X_{D_9}^L = 0,5906$$

#### Balance parcial de sólidos en la etapa de lavado

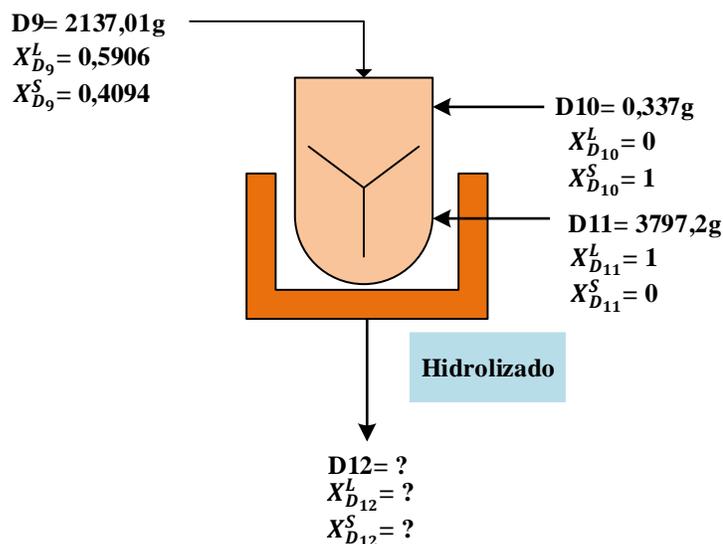
$$D_7(X_{D_7}^S) = D_8(X_{D_8}^S) + D_9(X_{D_9}^S)$$

$$X_{D_9}^S = \frac{2152,02g(0,4065)}{2137,01g}$$

$$X_{D_9}^S = 0,4094$$

#### 4.5.4 Balance de materia en la etapa de hidrolizado

La figura 4.31, muestra el balance de materia en la etapa de hidrolizado del arroz, realizado para 2137,01g de arroz cocido.



Fuente: Elaboración propia  
 Figura 4.31 Balance de materia en la etapa de hidrolizado

### Balance general en la etapa de hidrolizado

$$D_9 + D_{10} + D_{11} = D_{12} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

Despejado  $D_{12}$ :

$$D_{12} = D_9 + D_{10} + D_{11}$$

$$D_{12} = 2137,01g + 0,337g + 3797,2g$$

$$D_{12} = 5934,55g \text{ arroz hidrolizado}$$

### Balance parcial de agua en la etapa de hidrolizado

$$D_9(X_{D_9}^L) + D_{10}(X_{D_{10}}^L) + D_{11}(X_{D_{11}}^L) = D_{12}(X_{D_{12}}^L)$$

$$X_{D_{12}}^L = \frac{2137,01g(0,5906) + 0,337g(1)}{5934,55g}$$

$$X_{D_{12}}^L = 0,8525$$

### Balance parcial de sólidos totales en la etapa de hidrolizado

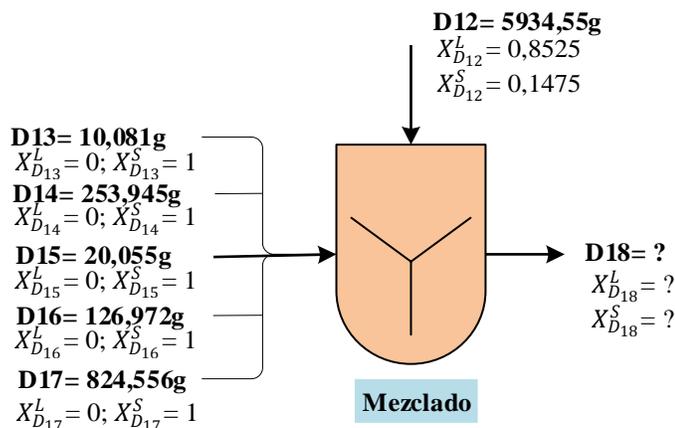
$$D_9(X_{D_9}^S) + D_{10}(X_{D_{10}}^S) + D_{11}(X_{D_{11}}^S) = D_{12}(X_{D_{12}}^S)$$

$$X_{D_{12}}^S = \frac{2137,01g(0,4094) + 0,337g(1)}{5934,55g}$$

$$X_{D_{12}}^S = 0,1475$$

#### 4.5.5 Balance de materia en la etapa de mezclado

La figura 4.32, muestra el balance de materia en la etapa de mezclado para obtener el mosto, realizado para 5934,55g de arroz hidrolizado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32 Balance de materia en la etapa de mezclado

#### Balance general en la etapa de mezclado

$$D_{12} + D_{13} + D_{14} + D_{15} + D_{16} + D_{17} = D_{18} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Despejando  $D_{18}$ :

$$D_{18} = D_{12} + D_{13} + D_{14} + D_{15} + D_{16} + D_{17}$$

$$D_{18} = 5934,55g + 10,081g + 253,945g + 20,055g + 126,972g + 824,556g$$

$$D_{18} = 7170,153g \text{ de mosto}$$

#### Balance parcial de agua en la etapa de mezclado

$$D_{12}(X_{D_{12}}^L) + D_{13}(X_{D_{13}}^L) + D_{14}(X_{D_{14}}^L) + D_{15}(X_{D_{15}}^L) + D_{16}(X_{D_{16}}^L) + D_{17}(X_{D_{17}}^L) = D_{18}(X_{D_{18}}^L)$$

$$X_{D_{18}}^L = \frac{5934,55g(0,8525)}{7170,163g}$$

$$X_{D_{18}}^L = 0,7056$$

#### Balance parcial de sólidos totales en la etapa de mezclado

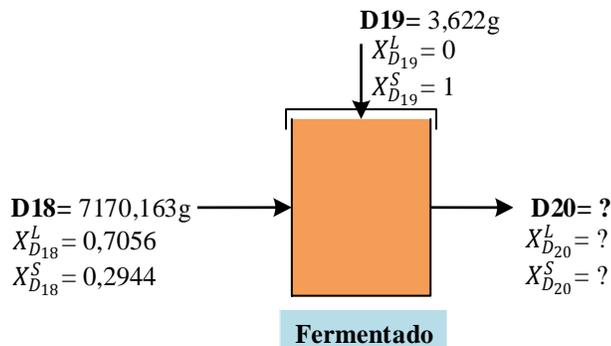
$$D_{12}(X_{D_{12}}^S) + D_{13}(X_{D_{13}}^S) + D_{14}(X_{D_{14}}^S) + D_{15}(X_{D_{15}}^S) + D_{16}(X_{D_{16}}^S) + D_{17}(X_{D_{17}}^S) = D_{18}(X_{D_{18}}^S)$$

$$X_{D_{18}}^S = \frac{5934,55g(0,1475) + 10,081g(1) + 253,945g(1) + 20,055g(1) + 126,972g(1) + 824,556g(1)}{7170,163g}$$

$$X_{D_{18}}^S = 0,2944$$

#### 4.5.6 Balance de materia en la etapa de fermentado

La figura 4.33, muestra el balance de materia en la etapa de fermentado del mosto, realizado para 7170,163g de mosto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33 Balance de materia en la etapa de fermentado

#### Balance general en la etapa de fermentado

$$D_{18} + D_{19} = D_{20} \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

Despejando  $D_{20}$

$$D_{20} = D_{18} + D_{19}$$

$$D_{20} = 7170,163g + 3,622g$$

$$D_{20} = 7173,785g \text{ de mosto}$$

#### Balance parcial de agua en la etapa de fermentación

$$D_{18}(X_{D_{18}}^L) + D_{19}(X_{D_{19}}^L) = D_{20}(X_{D_{20}}^L)$$

$$X_{D_{20}}^L = \frac{7170,163g(0,7056)}{7173,785g}$$

$$X_{D_{20}}^L = 0,7052$$

#### Balance parcial de sólidos totales

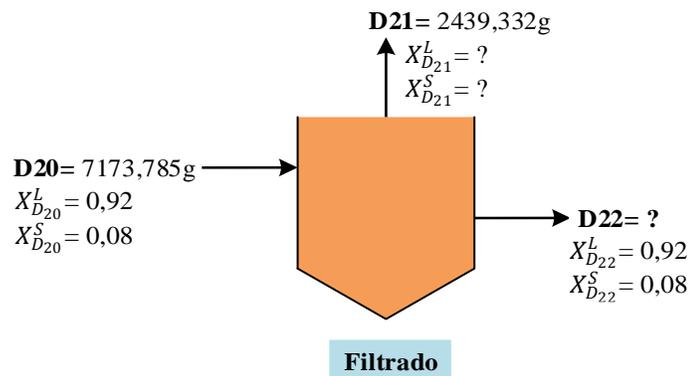
$$D_{18}(X_{D_{18}}^S) + D_{19}(X_{D_{19}}^S) = D_{20}(X_{D_{20}}^S)$$

$$X_{D_{20}}^S = \frac{7170,163g(0,2944) + 3,622g(1)}{7173,785g}$$

$$X_{D_{20}}^S = 0,2948$$

#### 4.5.7 Balance de materia en la etapa de filtrado

La figura 4.34, muestra el balance de materia en la etapa de filtrado del mosto, realizado para 7173,785g de mosto.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.34** Balance de materia en la etapa de filtrado

#### Balance general en la etapa de filtrado

$$D_{20} = D_{21} + D_{22} \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

Despejando  $D_{22}$

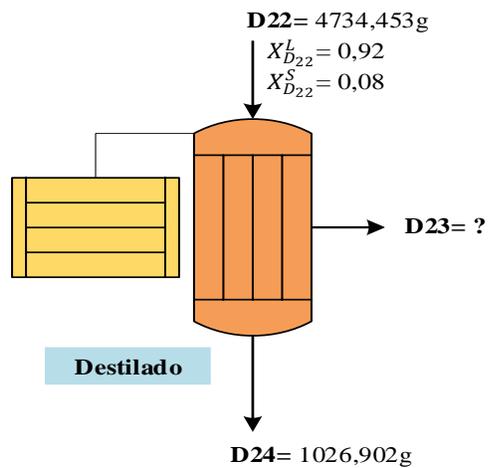
$$D_{22} = D_{20} - D_{21}$$

$$D_{22} = 7173,785g - 2439,332g$$

$$D_{22} = 4734,453g \text{ vino de arroz}$$

#### 4.5.8 Balance de materia en la etapa de destilado

La figura 4.35, muestra el balance de materia en la etapa de destilado del vino, realizado para 4734,453g de vino de arroz.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.35** Balance de materia en la etapa de destilado

#### Balance general en la etapa de destilación

$$D_{22} = D_{23} + D_{24} \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

Despejando  $D_{23}$

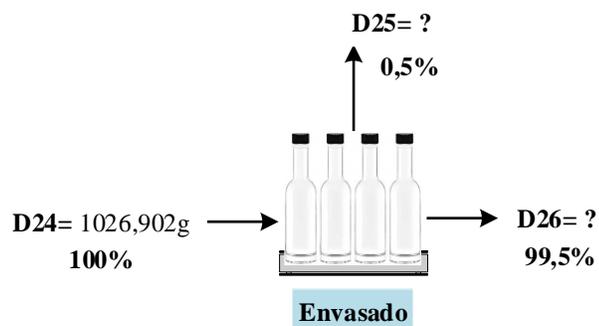
$$D_{23} = D_{22} - D_{24}$$

$$D_{23} = 4734,453 \text{ g} - 1026,902 \text{ g}$$

$$D_{23} = 3707,551 \text{ g de residuo}$$

#### 4.5.9 Balance de materia en la etapa de envasado

La figura 4.36, muestra el balance de materia en la etapa de envasado del destilado, realizado para 1026,902g de aguardiente de arroz.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.36** Balance de materia en la etapa de envasado

**Balance general en la etapa de envasado**

$$D_{24} = D_{25} + D_{26} \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

Despejando  $D_{25}$

$$D_{26} = D_{24} - D_{25}$$

Para hallar el valor de la corriente  $D_{25}$ , se aplica el siguiente planteamiento:

$$D_{25} = 0,005(D_{24})$$

$$D_{25} = 0,005 * (1026,902)$$

$$D_{25} = 5,134g \text{ de perdida en el envasado}$$

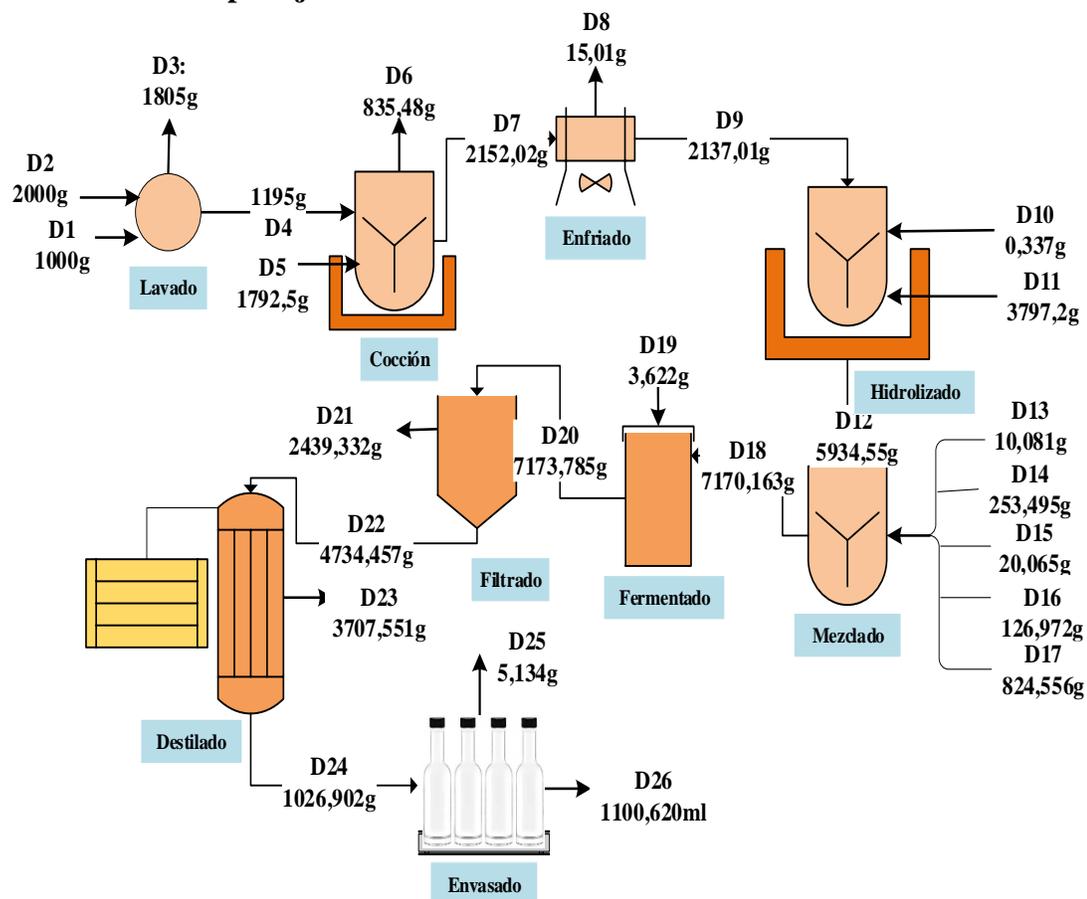
Reemplazando  $D_{24}$  y  $D_{25}$  tenemos:

$$D_{26} = 1026,902g - 5,134g$$

$$D_{26} = 1021,768g \text{ de aguardiente de arroz envasado}$$

$$D_{26} = 1100,620 \text{ ml de aguardiente de arroz envasado}$$

#### 4.5.10 Resumen general del balance de materia para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.37** Resumen general del balance de materia del proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju

#### 4.5.11 Rendimiento del proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju

Para el cálculo del rendimiento en el proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju, se tomó en cuenta la ecuación 4.13 citado por (Álvarez, 2013)

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa obtenida}}{\text{Flujo masico de entrada}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 4.13})$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{D_{24}}{D_{22}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{1026,902\text{g}}{4734,453\text{g}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = 21,69\%$$

Según los resultados del balance de materia del proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju a partir de la fermentación alcohólica del arroz, se obtuvo un rendimiento de 21,69% en base a la cantidad de materia prima más los insumos añadidos.

#### 4.5.12 Balance de energía para el proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju

Según (Lewis, 1993), se muestra la deducción del balance general de energía para procesos de transferencia de calor:

$$L_1(\cancel{EC_1} + \cancel{EP_1} + Pv_1) + Q - L_2(\cancel{EP_2} + \cancel{EC_2} + \mu_2 + Pv_2) = \cancel{T} + \cancel{2F} + \frac{d\theta^4}{d\theta}$$

$$L_1(\mu_1 + Pv_1) + Q = L_2(\mu_2 + Pv_2) = 0$$

$$L_1(H_1) + Q - L_2(H_2) = 0$$

$$\cancel{L_1(H_1 - H_2)} = \cancel{Q}$$

$$Q = L_1\Delta H$$

$$\Delta H = C_p\Delta H$$

$$Q = L_1C_p\Delta H \quad (\text{Ecuación 4.14})$$

Según (Lewis, 1993), el principio de conservación de la energía está dado por:

$$Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

$$- Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

$$- \sum Q_{cedido} = \sum Q_{ganado}$$

$$Q_T = Q_{cedido} + Q_{ganado} \quad (\text{Ecuación 4.15})$$

Para calcular el calor latente en los cambios de fase según (Lewis, 1993) es:

$$Q_1 = \Delta H L = L\lambda \quad (\text{Ecuación 4.16})$$

Para el cálculo del balance de energía en las diferentes etapas de la obtención de aguardiente de arroz tipo soju, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Según (Lewis, 1993), manifiesta que: si se conoce la composición fisicoquímica del alimento se puede utilizar para calcular las capacidades caloríficas, como se detalla en la ecuación 4.17. de la tal forma, en el presente trabajo se determinó el Cp de del arroz:

$$C_p = X_w C_w + X_c C_c + X_p C_p + X_a C_a \quad (\text{Ecuación 4.17})$$

Donde:

$X_w$  = Fracción en peso del agua

$X_c$  = Fracción en peso de carbohidratos

$X_p$  = Fracción en peso de proteína

$X_f$  = Fracción en peso de grasa

$X_a$  = Fracción en peso de cenizas

Las capacidades caloríficas en función a la composición fisicoquímica de los alimentos se detallan en la tabla 4.20.

**Tabla 4.20***Capacidades caloríficas en función a la composición de los alimentos*

Calor específico	Valor 1 KJ/Kg°C	Valor 2 Kcal/Kg°C
C <sub>W</sub> (agua)	4,18	0,9990451
C <sub>C</sub> (carbohidratos)	1,40	0,3346084
C <sub>P</sub> (proteína)	1,60	0,3824096
C <sub>F</sub> (grasa)	1,70	0,4063102
C <sub>A</sub> (ceniza)	0,80	0,1912048

**Fuente:** (Lewis, 1993)

En la tabla 4.20, se muestran los valores de calor específico expresado en Kcal/Kg°C, se utilizó el valor de conversión de: 1 KJ = 0,2388459 Kcal (Fernandez, 2004). Para utilizar los valores de los calores específicos en Kcal/Kg°C.

En la tabla 4.21, se observa los resultados de la composición fisicoquímica del arroz variedad japónica, para poder calcular Cp del arroz: datos extraídos del (Anexo A).

**Tabla 4.21***Resultados de la composición fisicoquímica del arroz*

Composición	Unidad	Cantidad
Cenizas	%	0,26
Materia grasa	%	0,35
Hidratos de carbono	%	77,92
Humedad	%	12,72
Proteína total	%	8,75

**Fuente:** (CEANID, 2021)

**Calculando el Cp del arroz**

Donde:

$$X_W = 0,1272$$

$$X_C = 0,7792$$

$$X_P = 0,0875$$

$$X_F = 0,0035$$

$$X_A = 0,0026$$

$$C_p = X_W C_W + X_C C_C + X_P C_P + X_F C_F + X_A C_A$$

$$C_p = 0,1272 * 0,99904508 + 0,7792 * 0,3346084 + 0,0875 * 0,3824096 + 0,0035 * 0,4063102 + 0,0026 * 0,1912048$$

$$C_p = 0,4232 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

Según (Orozco, 1998) se puede observar la ecuación empírica para el cálculo de la capacidad calorífica a presión constante, en función de la fracción del peso del agua y fracción de masa para sólidos. En el presente trabajo se utilizó la ecuación para calcular el  $C_{p_M}$  (agua y arroz).

$$C_{p_M} = X_w C_w + X_s C_s \quad (\text{Ecuación 4.18})$$

Donde:

$X_w$  = Fracción en peso del agua

$C_w$  = Capacidad calorífica del agua

$X_s$  = Fracción en peso de los sólidos del arroz

$C_s$  = Capacidad calorífica del arroz

**Calculando el  $C_{p_M}$  utilizando la ecuación 4.18:**

$$C_{p_M} = X_w C_w + X_s C_s$$

$$C_{p_M} = 0,5935 * 0,99904508 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} + 0,4065 * 0,4232 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$C_{p_M} = 0,7650 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

En la tabla 4.22, se puede observar la capacidad calorífica del agua y del acero inoxidable

Tabla 4.22

*Capacidad calorífica del agua y el acero inoxidable*

Capacidad calorífica	Unidad	Valor
Acero inoxidable	Kcal/Kg°C	0,12
Agua	Kcal/Kg°C	1,00

Fuente: (Lewis, 1993)

En la tabla 4.23, se puede observar las entalpías de vaporización en función a la temperatura para el agua saturada

Tabla 4.23

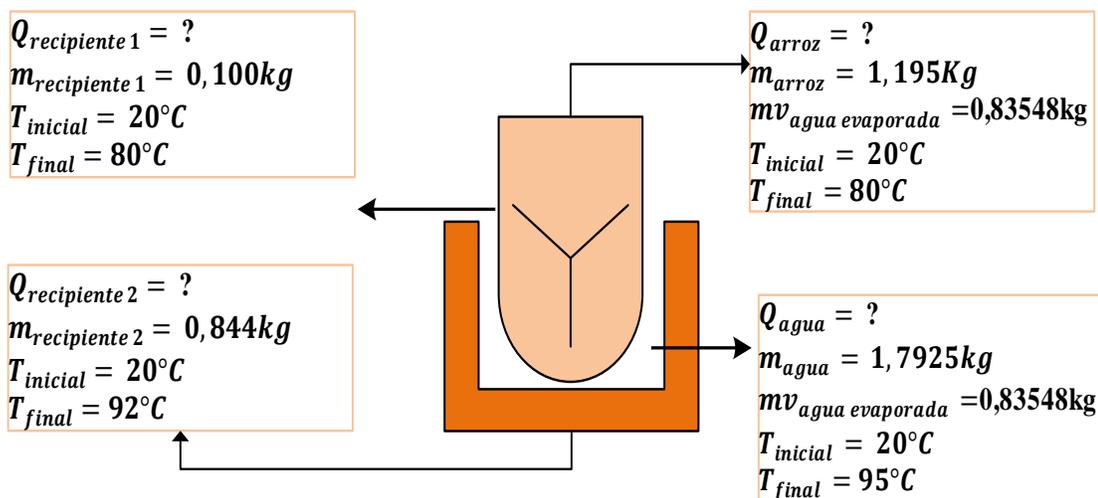
*Entalpías de vaporización del agua saturada*

Temperatura (°C)	Unidad	Entalpia de vaporización
80	Kcal/Kg	551,25
90	Kcal/Kg	545,41
92	Kcal/Kg	544,21

Fuente: (UTN, 2020)

## 4.5.13 Balance de energía en a la etapa cocción del arroz

En la figura 4.1 se muestra el sistema utilizado la etapa de cocción del arroz para la obtención de aguardiente de arroz tipo soju.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38 Balance de energía en la etapa de cocción

### Energía requerida para calentar el recipiente que contiene el agua para la cocción al vapor

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Recipiente } 2} &= ? \\
 m_{\text{recipiente } 2} &= 0,844 \text{ Kg} \\
 Cp_{\text{recipiente } 2} &= 0,12 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \\
 T_{\text{inicial}} &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\
 T_{\text{final}} &= 92 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la ecuación 4.14 para los calores sensibles:

$$Q_{\text{Recipiente } 2} = m_{\text{recipiente } 2} \times Cp_{\text{recipiente } 2} \times (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) \quad (\text{Ecuación 4.19})$$

$$Q_{\text{Recipiente } 2} = 0,844 \text{ Kg} * 0,12 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (92-20) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Recipiente } 2} = 7,2922 \text{ Kcal}$$

### Energía requerida para calentar el agua se utilizo en la cocción al vapor del arroz

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{agua}} &= ? \\
 m_{\text{agua}} &= 1,7925 \text{ Kg} \\
 Cp_{\text{agua}} &= 1,00 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \\
 \lambda_{\text{agua}} &= 544,21 \text{ kcal/kg} \\
 m_{\text{agua evaporada}} &= 0,83548 \text{ Kg} \\
 T_{\text{inicial}} &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\
 T_{\text{final}} &= 92 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la ecuación 4.14 y 4.16

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} \times Cp_{\text{agua}} \times (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) + m_{\text{agua evaporada}} + \lambda_{\text{agua}} \quad (\text{Ecuación 4.20})$$

$$Q_{\text{agua}} = 1,7925 \text{ Kg} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (92-20) \text{ }^\circ\text{C} + 0,83548 \text{ Kg} * 544,21 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{agua}} = 583,7366 \text{ Kcal}$$

### Energía requerida para calentar el recipiente que contenía el arroz

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Recipiente 1}} &= ? \\
 m_{\text{recipiente 1}} &= 0,100 \text{ Kg} \\
 C_{p_{\text{recipiente1}}} &= 0,12 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \\
 T_{\text{inicial}} &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\
 T_{\text{final}} &= 80 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la ecuación 4.14 para los calores sensibles:

$$Q_{\text{Recipiente 1}} = m_{\text{recipiente 1}} \times C_{p_{\text{recipiente 1}}} \times (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) \quad (\text{Ecuación 4.21})$$

$$Q_{\text{Recipiente 1}} = 0,100 \text{ Kg} * 0,12 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (80-20) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Recipiente 1}} = 0,72 \text{ Kcal}$$

### Energía requerida para cocinar el arroz

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{arroz}} &= ? \\
 m_{\text{arroz}} &= 1,195 \text{ Kg} \\
 C_{p_M} &= 0,7650 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \\
 \lambda_{\text{agua}} &= 551,25 \text{ kcal/kg} \\
 m_{\text{agua evaporada}} &= 0,83548 \text{ Kg} \\
 T_{\text{inicial}} &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\
 T_{\text{final}} &= 80 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la ecuación 4.14 y 4.16

$$Q_{\text{arroz}} = m_{\text{arroz}} \times C_{p_M} \times (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) + m_{\text{agua evaporada}} \times \lambda_{\text{agua}} \quad (\text{Ecuación 4.22})$$

$$Q_{\text{arroz}} = 1,195 \text{ Kg} * 0,7650 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (80-20) \text{ }^\circ\text{C} + 0,83548 \text{ Kg} * 551,25 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{arroz}} = 515,4088 \text{ Kcal}$$

### Cálculo del requerimiento total de energía gastado en el proceso de cocción del arroz

De acuerdo a la ecuación 4.15, se obtiene el calor total para cocinar el arroz

$$Q_T = Q_{recipiente\ 2} + Q_{agua} + Q_{recipiente\ 1} + Q_{arroz} \quad (\text{Ecuación 4.23})$$

$$Q_T = 7,2922 \text{ Kcal} + 583,7366 \text{ Kcal} + 0,72 \text{ Kcal} + 515,4088 \text{ Kcal}$$

$$Q_T = 1107,1576 \text{ Kcal}$$

La cantidad de calor necesario para la cocción de 1,195 Kg de arroz durante 45 minutos es de 1107,15 Kcal.

#### 4.5.14 Balance de energía en la etapa de hidrolizado del arroz

Para la etapa de hidrolizado del arroz se utilizó el baño María (figura 3.3) con una potencia de 1150 W por un tiempo de 5 horas, tiempo que dura la hidrolización del arroz.

$$P = \frac{\text{Energía (E)}}{\text{Tiempo } (\theta)}$$

#### Despeje y cálculo de la energía eléctrica

$$E = P * \theta$$

$$E = 1150W * \frac{1 \text{ kcal/h}}{1,163 \text{ W}} * 5 \text{ h}$$

$$E = 4944,11 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía requerida para llevar a cabo el hidrolizado del arroz durante un tiempo de 5 horas es de 4944,11 Kcal.

#### 4.5.15 Balance de energía en la etapa de destilación

Para la etapa de destilación se utilizó el Rota-vapor Bucchi R-100 (figura 3.2) con una potencia de 2700 W por un tiempo 3,98 horas, tiempo que dura la destilación.

$$P = \frac{\text{Energía (E)}}{\text{Tiempo } (\theta)}$$

**Despeje y cálculo de la energía eléctrica**

$$E = P * \Theta$$

$$E = 2700W * \frac{1 \text{ kcal/h}}{1,163 \text{ W}} * 3,98 \text{ h}$$

$$E = 9239,90 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía requerida para llevar a cabo la destilación durante un tiempo de 3,98 horas es de 9239,90 Kcal.

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

## 5.1 Conclusiones

- ◆ En base al análisis fisicoquímico el arroz variedad japónica contiene; ceniza 0,26%, fibra n.d, grasa 0,35%, hidratos de carbono 77,92%, humedad 12,72%, proteína 8,75% y valor energético 349,83 Kcal/100 g.
- ◆ Se realizó el análisis fisicoquímico de contenido de almidón del arroz cultivado en Corea del Sur en el laboratorio CAPN, dando como resultado (85,99 g) por cada 100 g de arroz y se sacó de internet el dato de contenido de almidón del arroz cultivado en San Juan de Yapacaní Santa Cruz – Bolivia, que es (82,15g) por cada 100 g de arroz.
- ◆ Se realizaron pruebas experimentales variando la dosificación de materia prima e insumos y se obtuvo una formulación para pruebas preliminares de aguardiente de arroz tipo soju.
- ◆ Se realizó el control de °Brix, acidez y pH, a las muestras S01, S05 y S06 de con la finalidad de realizar un seguimiento al proceso de fermentación alcohólica.
- ◆ Se realizó las gráficas de los parámetros medidos durante el proceso de fermentación.
- ◆ En base al diseño factorial  $2^3$  en la etapa de fermentación alcohólica en la obtención de aguardiente de arroz tipo soju para la variable respuesta °GL, los factores: polvillo de arroz: maicena (B), tiempo de fermentación (C) y las interacciones: levadura-polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (ABC), polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (BC) son significativos; para la variable respuesta pH, el factor tiempo de fermentación (C) y las interacciones levadura-polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (ABC) y levadura-polvillo de arroz: maicena (AB) son significativas; para la variable respuesta acidez total, los factores: levadura (A),

polvillo de arroz: maicena (B) y tiempo de fermentación (C) y sus interacciones levadura-polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (ABC), levadura-polvillo de arroz: maicena (AB), levadura-tiempo de fermentación (AC), polvillo de arroz: maicena-tiempo de fermentación (BC), son significativos e influyen en el proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju.

- ◆ Del análisis sobre la influencia que tienen las variables en el proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju, se tomaron en cuenta los factores: levadura (alto = 0,06%; bajo = 0,02%), polvillo de arroz: maicena (alto = 6,31%; bajo = 4,31%) y tiempo de fermentación (alto = 24 días; bajo = 15 días) y mediante la elaboración de graficas se pudo observar que: para la variable respuesta °GL los factores polvillo de arroz: maicena (B) y tiempo de fermentación (C) en sus valores altos influyen directamente en el contenido de alcohol que se obtiene, para la variable respuesta pH el factor tiempo de fermentación (C) en su nivel bajo es el que más influye y para la variable respuesta acidez total los tres factores: levadura (A), polvillo de arroz: maicena (B) y tiempo de fermentación (C) en sus valores altos influyen directamente en esta variable.
- ◆ De acuerdo a la evaluación sensorial Test 3 y Test 4 que indican que no hay diferencia significativa entre las muestras y en base a la preferencia de los jueces analizada mediante el estadístico de caja y bigote, se tomó en cuenta la muestra S-ABC como la muestra de producto final.
- ◆ En base al análisis fisicoquímico del aguardiente de arroz tipo soju contiene: anhídrido sulfuroso 4,74mg/l, azúcares reductores 1,90 g/l, extracto seco total n.d. g/l, grado alcohólico 45 °GL, metanol < 31 mg/l.
- ◆ De acuerdo al balance de materia del proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju: para (1000 g) de arroz variedad japónica más insumos añadidos se obtuvo 1100,620 ml de aguardiente de arroz tipo soju, con un rendimiento

del proceso de 21,69%. De acuerdo al balance de energía en las etapas de cocción, hidrolizado y destilado; la cantidad de energía total requerida para el proceso de obtención de aguardiente de arroz tipo soju es de 15291,16 Kcal

## 5.2 Recomendaciones

- ◆ Se recomienda implementar nuevos productos destilados a base de cereales, que son cultivados en nuestro departamento y así poder ofrecer productos innovadores a la población y coadyuvar en el consumo de la producción de estos distintos cereales.
- ◆ Así mismo se recomienda seguir trabajando en el estudio de la obtención de aguardiente de arroz tipo soju ya que se puede combinar distintos cereales que contengan almidón y así también observar en que atributos afectan más estas combinaciones.
- ◆ Realizar evaluaciones sensoriales con personas entrenadas, que sean capaces de poder percibir las características del aguardiente de arroz tipo soju, de esta manera realizar el análisis estadístico de la evaluación sensorial con un menor porcentaje de error para poder identificar las diferencias significativas de una muestra a otra.
- ◆ Se recomienda realizar estudios de prefactibilidad para el aguardiente de arroz tipo soju, con la finalidad de conocer la posible oferta y demanda que pueda tener este producto en el mercado local.