

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Antecedentes

En Bolivia, se consumen anualmente 339 millones de litros de bebidas alcohólicas por un valor, a precios de mercado de 740 millones de dólares. Esto es poco más del 3% del Producto Interno Bruto (PIB) que, según el Instituto Nacional de Estadística (INE). 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)

Según (Buitrago, 2014) menciona que “en Tarija existe la producción de un destilado a partir de uva Moscatel de Alejandría “singani”, considerado uno de las bebidas destiladas más representativas de Bolivia” (Pág. 2). Según (Humar, 2010) menciona que “el singani, es la bebida alcohólica típica de Bolivia, es decir, con “denominación de origen” propia del país, además del posicionamiento de los singanis como líderes en el contexto latinoamericano y mundial de los destilados” (Pág. 101).

El consumo moderado de bebidas alcohólicas es beneficioso para la salud, ya que varios investigadores médicos señalan que tomar moderadas cantidades produce algunos beneficios cardiovasculares, ya que disminuye el riesgo de padecer lesiones coronarias por aterosclerosis al disminuir la tensión emocional. (Hernández, 2010)

La producción de frutilla en Bolivia se práctica en la mayoría de los departamentos del país, exceptuando en Pando, Beni, Oruro y La Paz. En el departamento de Tarija la producción de frutilla, ha crecido durante los últimos años, de acuerdo a los datos obtenidos de Instituto Nacional de Estadística (INE, 2019).

En la tabla 1.1, se muestra la producción, superficie y rendimiento del cultivo de frutilla en los últimos 10 años en el departamento de Tarija.

**Tabla 1.1***Producción de frutilla en el departamento de Tarija*

<b>Años</b>	<b>Superficie Hectáreas</b>	<b>Rendimiento (Kg/Hectárea)</b>	<b>Producción (Tonelada métrica)</b>
2010	31	2.903	90
2011	30	2.935	89
2012	32	3.010	96
2013	33	2.998	98
2014	34	2.923	99
2015	34	2.890	97
2016	34	2.912	99
2017	35	2.857	100
2018	35	2.884	100
2019	35	2.861	100

**Fuente:** INE, 2019

En la tabla 1.2, se muestra el número de productores de distintos tipos de bayas entre ellas la frutilla. En los municipios de Cercado, San Lorenzo y Uriondo, se estima que hay 201 productores de bayas (frambuesa, frutilla y zarzamora). La mayor cantidad de productores del cultivo de la frutilla, se encuentran en el municipio de Cercado (Reynaga, 2008).

**Tabla 1.2***Número de productores de frutilla según municipio*

<b>Municipios</b>	<b>Productores de frutilla (Unidades)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cercado	62	45
San Lorenzo	28	20
Uriondo	47	34
Total	137	100

**Fuente:** Reynaga, 2008

En el municipio de San Lorenzo (Coimata); se invirtió en invernaderos para la producción de frutilla, buscando cubrir la demanda de esta fruta en el mercado de Tarija e interior del país durante todo el año. De tal manera tecnificaron el agro, logrando una producción de frutilla de calidad y más competitiva. La inquietud de los productores es que el mercado tarijeño se sature por las grandes cantidades de frutilla, por esa razón realizaron gestiones frente a la Alcaldía y Subgobernación de San Lorenzo, buscando nuevos mercados o industrias donde puedan vender su producto (El País, 2019).

## 1.2 Justificación

- El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de elaborar aguardiente de pulpa de frutilla, debido que la frutilla es una fruta altamente perecedera y poco industrializada. Así mismo, se busca transformar la frutilla en una bebida destilada, obteniendo un nuevo producto innovador para que sea aprovechada en la provincia Cercado.
- En el mercado local de Tarija, existe la elaboración y/o comercialización de bebida destilada “singani” a partir de uva moscatel de Alejandría, considerado un producto muy demandado por la población de Tarija. Por tanto, el presente trabajo de investigación propone elaborar un aguardiente de pulpa de frutilla, con el fin de brindar otra opción de consumo en cuanto a bebidas destiladas para la población consumidora de bebidas alcohólicas.
- El presente trabajo de investigación busca elaborar aguardiente de pulpa de frutilla (variedad San Andrea); con el fin de establecer una metodología a nivel experimental para coadyubar al sector fruticultor que produce esta materia prima que pueda generar mayor agregado, para elaborar un nuevo producto en la provincia Cercado.
- Debido que la producción y disponibilidad de la frutilla en la provincia Cercado es anual, se propone una alternativa para mejorar el valor agregado de la frutilla mediante su transformación en aguardiente de pulpa frutilla de la variedad San Andrea, con el fin de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado.

## 1.3 Objetivos

Los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación para la obtención de aguardiente de pulpa de frutilla son:

### **1.3.1 Objetivo general**

Proponer una metodología experimental de proceso de fermentación alcohólica, que permita obtener aguardiente de pulpa de frutilla de la variedad San Andrea de calidad para la provincia Cercado.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar las características físicas, fisicoquímicas y microbiológicas de la frutilla variedad San Andrea, con la finalidad de establecer sus características físicas, fisicoquímicas y microbiológicas.
- Caracterización de las variables del proceso para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla variedad San Andrea.
- Aplicar la evaluación sensorial de las pruebas preliminares, para determinar la muestra ideal.
- Realizar el control de los parámetros en las pruebas preliminares, con la finalidad realizar el seguimiento de la fermentación alcohólica.
- Aplicar el diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica del aguardiente de pulpa de frutilla, con la finalidad de establecer las variables en el proceso.
- Realizar el análisis sensorial de las muestras experimentales, con el fin de evaluar la aceptabilidad del producto.
- Realizar el análisis físico y fisicoquímico del producto final, con la finalidad de conocer sus propiedades físico y fisicoquímicas del producto.

- Realizar un balance de materia y energía con la finalidad de conocer las entradas y salidas de la materia, el gasto de energía a nivel experimental y determinar el rendimiento del proceso.

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

El objeto de estudio propuesto para el siguiente trabajo de investigación será el siguiente:

Aplicar el proceso de fermentación alcohólica, para obtener aguardiente de pulpa de frutilla de la variedad San Andrea de calidad para la provincia Cercado.

#### **1.5 Campo de acción**

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

##### **1.5.1 Espacial**

El campo espacial en donde se realizó el presente trabajo de investigación fue en la provincia Cercado.

##### **1.5.2 Temporal**

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

##### **1.5.3 Institución**

Las instituciones en donde se realizó la metodología experimental del presente trabajo de investigación son: en el Laboratorio Taller de Alimentos y Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos pertenecientes a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

## **1.6 Situación problema**

En el departamento de Tarija no existe la producción de aguardiente de pulpa de frutilla (variedad San Andrea), además al tratarse de una fruta altamente perecedera requiere transformación para el aprovechamiento de la misma y así alargar su vida útil. Por lo cual, con la obtención de aguardiente de pulpa de frutilla, mediante la aplicación de la metodología experimental de proceso de fermentación alcohólica, permitirá aprovechar y transformar la frutilla en una bebida alcohólica destilada con el fin de mejorar el valor agregado de la frutilla, ya que se encuentra disponible anualmente. De tal manera se fomenta a la producción de aguardiente de pulpa de frutilla y se promueva otra opción de consumo en cuanto a bebidas destiladas en la provincia de Cercado.

## **1.7 Formulación del problema**

¿Se logrará obtener aguardiente de pulpa de frutilla de la variedad San Andrea, mediante la metodología experimental propuesta de fermentación alcohólica con el fin de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado?

## **1.8 Hipótesis**

La metodología experimental propuesta de fermentación alcohólica a ser aplicada permitirá obtener aguardiente de pulpa de frutilla de la variedad San Andrea de calidad, para la provincia Cercado.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Origen del aguardiente**

El aguardiente se originó y difundió por Persia, Siria, Egipto y Sicilia durante la época de Alejandro el Magno, en 327 a.C. La expansión de sus dominios abrió canales comerciales que facilitaron la difusión e influencia de artículos y costumbres entre Asia Meridional, Sur, y Sudeste de Europa y Norte de África. (Delgado, 2007)

Según (Muñoz, 2010) menciona que “el proceso de destilación se remonta a épocas anteriores al año 800 a.C., en China, Ceylan e India, Asia, Tartaria, Caucásica, Japón momento en el cual se documentó a detalle el primer proceso de fermentación y destilación que se conoce” (Pág. 43).

El origen del aguardiente en Italia se dio a comienzos del siglo XIII, en la búsqueda de un elixir que asegurara la vida eterna, extrayendo el espíritu mágico presente en el vino. Así empezó la destilación en Italia, que dio origen al aqua vitae o agua de la vida. (Viteri, 2012)

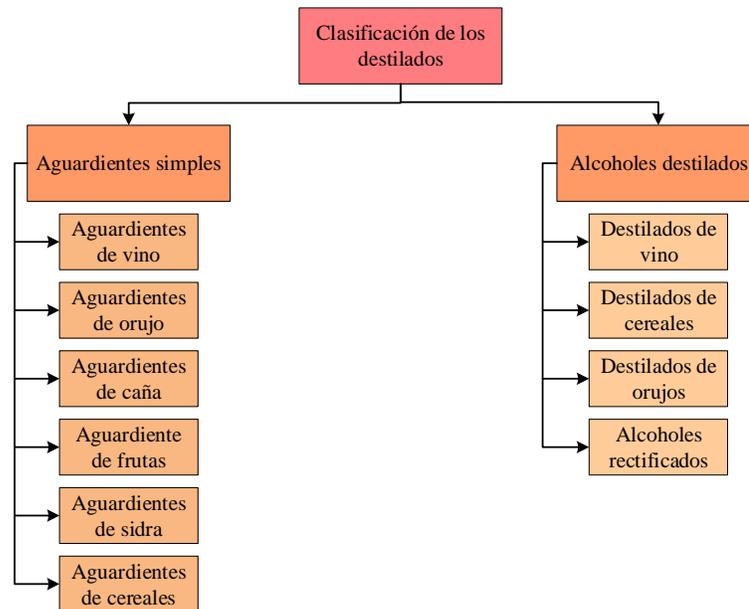
## **2.2 Definición de aguardiente de frutas**

Según el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA, 2020) define un aguardiente 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”.

Según el Código Alimentarios Argentino (C.A.A, 2008) con la denominación genérica de aguardiente de frutas, se entienden por aguardiente a la bebida con graduación alcohólica de 36% a 54% Vol. A 20°C, obtenidas de destilados alcohólicos simples de frutas o por destilación de mostos fermentados de frutas. La destilación deberá ser efectuada en forma que el destilado tenga el aroma y el sabor de los elementos naturales volátiles contenidos en el mosto fermentado, derivados de los procesos fermentativos o formados durante la destilación.

## 2.3 Clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas

La clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas, según las materias primas empleadas y los sistemas de obtención, se pueden distinguir varios tipos de bebidas alcohólicas destiladas. En la figura 2.1, se muestra la clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas.



**Fuente:** Hidalgo, 2011

**Figura 2.1.** Clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas

### 2.3.1 Descripción de la clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas

Según, Hidalgo (2011) indica que la clasificación de las bebidas alcohólicas destiladas es la siguiente, como se mostró en la figura 2.1.

#### 2.3.1.1 Aguardientes simples

Los aguardientes simples son los líquidos alcohólicos que proceden de la destilación de materias vegetales previamente fermentadas, a las que deben sus características peculiares de aroma y sabor. Su graduación alcohólica no será superior a 80°GL ni menos de 30°GL. Se pueden distinguir los siguientes aguardientes simples:

❖ **Aguardientes de vino**

Las holandesas o aguardientes de vino se obtienen por destilación de vinos en limpio o en sus heces, o bajos que conserven los productos secundarios del vino. (Hidalgo, 2011)

❖ **Aguardientes de orujo**

Flemas o aguardientes de orujo: Obtenidos por la destilación simple o directa de los orujos y de otros residuos de vinificación. (Hidalgo, 2011)

❖ **Aguardientes de caña**

Aguardientes de caña: Se obtienen por destilación directa de los jugos y melados de la caña de azúcar, previamente fermentados. (Hidalgo, 2011)

❖ **Aguardientes de frutas**

Los aguardientes de frutas son obtenidos por la filtración de los jugos de frutas que previamente hayan sufrido la fermentación alcohólica. Deben llevar el nombre de la fruta de procedencia. (Hidalgo, 2011)

❖ **Aguardientes de sidra**

Los aguardientes de sidra son obtenidos por la destilación de la sidra pura y sana, adicionada o no de sus heces u orujos frescos. (Hidalgo, 2011)

❖ **Aguardientes de cereales**

Los aguardientes de cereales se llegan a obtener por destilación de los caldos fermentados de cereales malteados en su totalidad. (Hidalgo, 2011)

### **2.3.1.2 Alcoholes destilados**

Los alcoholes destilados son aquellos cuya graduación esté comprendida entre 80°GL y 96°GL. Según las materias primas empleadas y los sistemas de obtención se distinguen los siguientes:

❖ **Destilados de vinos**

Destilados de vinos: obtenidos por destilación de vinos, de piqueta de vinos y de las heces o bajos del vino restantes del trasiego. (Hidalgo, 2011)

❖ **Destilados de cereales**

Destilados de cereales (en grano): obtenidos por la destilación de los caldos de los cereales sacarificados. Llevarán la denominación del cereal de procedencia. (Hidalgo, 2011)

❖ **Destilados de orujos**

Destilados de orujos: son los obtenidos por la destilación de orujos, de sus piquetas, de los caldos de pozo y de las flemas o aguardientes de orujo. (Hidalgo, 2011)

❖ **Alcoholes rectificadas**

Los alcoholes rectificadas son aquellos que se han obtenido por destilación y rectificación de aguardientes y alcoholes destilados y su riqueza alcohólica sea igual o superior a 96° centesimales. (Hidalgo, 2011)

### 2.3.2 Propiedades fisicoquímicas de las bebidas alcohólicas destiladas

En la tabla 2.1, se muestra las propiedades fisicoquímicas de las bebidas alcohólicas destiladas (aguardiente de pulpa de frutilla).

**Tabla 2.1**

***Propiedades fisicoquímicas de las bebidas alcohólicas destiladas***

Parámetros fisicoquímicos	Blanco		Abocado	
	mín	máx	mín	máx
Grado alcohólico a 15°C (%Alc. Vol.)	32	55	32	55
Extracto seco (g/l)	0	0	0	5
Valores expresados en mg/100 ml de Alcohol Anhidro				
Aldehídos	0	40	0	40
Ésteres	2	200	2	250
Alcoholes superiores	20	500	20	50
Metanol	30	300	30	300
Furfural	0	5	0	5

**Fuente:** Marina, 2015

### **2.3.2.1 Grado alcohólico volumétrico**

Según la Dirección General de Norma y Tecnología (DGNT, 1978) define al grado alcohólico volumétrico de las bebidas alcohólicas destiladas como “la cantidad de  $\text{cm}^3$  de alcohol etílico a  $15^\circ\text{C}$ , contenido en  $100 \text{ cm}^3$  de la bebida alcohólica medidos a  $15^\circ\text{C}$ ”.

### **2.3.2.2 Extracto seco**

Según D.G.N.T, (1977) define a el extracto seco de las bebidas alcohólicas destiladas como “la masa total de todas las sustancias que no se volatilizan en las condiciones en que se realizan el ensayo”.

### **2.3.2.3 Metanol**

El metanol es el alcohol mayoritario encontrado en este tipo de bebidas espirituosas después del etanol. No tiene importancia en el aroma final, pero si desde un punto de vista sanitario debido a su toxicidad. Se forma antes de la fermentación por acción de una enzima, la pectinometilesterasa (PME), sobre las pectinas presentes en las pieles (en mayor proporción), pulpa y partes sólidas de los frutos, que, por hidrólisis de las mismas, liberan metanol y ácido péctico (Lamiable et al.,2004).

### **2.3.2.4 Aldehídos**

Los aldehídos saturados, el acetaldehído o etanal suele ser el más abundante (alrededor del 90 por ciento del total de aldehídos) y su concentración depende en parte del tipo de levaduras presentes en el medio y del proceso de destilación utilizado. Desde el punto de vista organoléptico, el acetaldehído es favorable a la calidad siempre que no sobrepase concentraciones de  $120 \text{ g/hl A.A}$ (alcohol anhidrido). Según otros autores, concentraciones superiores de  $30\text{-}50 \text{ g/hl A.A.}$ , serían suficientes para percibir el fuerte aroma herbáceo de este compuesto (López, 2011).

### **2.3.2.5 Furfural**

El furfural ( $C_5H_4O_2$ ), aldehído aromático, en estado puro es un líquido aceitoso incoloro, que expuesto al aire rápidamente cambia a color amarillo, presenta un riesgo de toxicidad en alta concentración. Este compuesto se forma de la deshidratación de las pentosas en medio ácido y con calor. Su concentración varía de acuerdo al tipo de bebida, al tipo de destilación y de acuerdo a las reacciones que presenta su proceso de añejamiento (Hatta, 2004).

### **2.3.2.6 Ésteres**

Los ésteres son los constituyentes más numerosos de los destilados y en gran parte son los responsables de su aroma. Se producen durante el proceso fermentativo por acción de las levaduras viéndose favorecida su formación si el proceso ocurre en anaerobiosis. El acetato de etilo y lactato de etilo son los ésteres más abundantes, 90 por ciento del total (López, 2011).

Los ésteres son compuestos aromáticos volátiles que también pueden ser formados durante la destilación y que posteriormente se transfieren al destilado. Algunos de estos ésteres podrían hidrolizarse posteriormente en el pH ligeramente ácido del destilado, dando lugar a ácidos grasos libres (Goldner, 2008).

Según Hatta (2004) indica que “en general los ésteres se consideran como productos de cabeza ya que destilan principalmente en la primera fracción y su concentración decrece rápidamente durante el proceso de destilación”.

### **2.3.2.7 Alcoholes superiores**

Los alcoholes superiores se forman durante la fermentación por ataque de las levaduras a los aminoácidos. La vía sintética de Erlich, donde un aminoácido da lugar a un alcohol con un átomo de carbono menos, con la correspondiente descarboxilación y en la que participan varias deshidrogenasas (ADH), es una de las propuestas más comunes en la formación de este tipo de compuestos (López, 2011).

## 2.4 Caracterización de la materia prima para la elaboración de aguardiente de pulpa frutilla

La materia prima para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla es la siguiente:

### 2.4.1 Frutilla

Según Baraona y Sancho (1998) indican que “la fresa es una planta que pertenece a la familia de las Rosáceas, subfamilia Rosoideas y género fragaria, que se origina del latín fragancia”.

Según Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2015) indica que “la frutilla es conocida en el mundo por sus nombres en español como frutilla, fresa o fresón, en inglés como strawberry, en francés fraise, en portugués morango, en alemán erdbeere y en italiano fragola, si bien presenta muchos nombres”

#### 2.4.1.1 Características generales de la frutilla

En la tabla 2.2, se muestra la información taxonómica de la frutilla, que corresponde a la siguiente clasificación

**Tabla 2.2**

*Clasificación taxonómica de la frutilla*

Nombre	Frutilla o fresa
Familia	Rosáceas
Orden	Rosales
Genero	Fragaria
Especie	Fragaria Virginiana
Variedad cultivada	“Oso grande”

**Fuente:** Mendoza, 2013

#### 2.4.1.2 Composición fisicoquímica y microbiológica de la frutilla

En la tabla 2.3, se muestran las propiedades fisicoquímicas de la frutilla por cada 100 gramos de porción comestible.

Tabla 2.3

*Propiedades fisicoquímicas de la frutilla*

Componentes	Valor	Unidad
Energía	30,000	Kcal
Proteínas	0,610	g
Hidratos de carbono	4,720	g
Fibra	2,300	g
Vitamina A	3,000	mg
Vitamina B <sub>1</sub>	0,020	mg
Vitamina B <sub>2</sub>	0,066	mg
Niacina	0,347	mg
Vitamina B <sub>6</sub>	0,059	mg
Folatos	17,700	mg
Vitamina B <sub>12</sub>	0,000	mg
Vitamina C	50,700	mg
Vitamina E	0,140	mg
Calcio	14,000	mg
Fósforo	19,000	mg
Magnesio	10,000	mg
Hierro	0,380	mg
Potasio	166,000	mg
Cinc	0,130	mg
Grasa total	0,370	mg
Grasa saturada	0,020	g
Colesterol	0,000	mg
Sodio	1,000	mg

**Fuente:** Pamplona, 2006

En la tabla 2.4, se muestra las propiedades microbiológicas de la frutilla.

Tabla 2.4

*Propiedades microbiológicas de la frutilla*

Hongos		
Muestra	Mohos UFC/gramo	Levaduras UFC/gramo
Frutilla fresca	0	500

**Fuente:** Sagñay, 2009

### 2.4.1.3 Propiedades nutricionales de la frutilla

La Universidad Tufts de Boston, comprobó que las fresas son las frutas con mayor capacidad antioxidante, seguidas por la ciruela, las naranjas y las uvas. El efecto antioxidante de la fruta se valoró por su capacidad para neutralizar radicales libres

oxidantes. La acción antioxidante de las fresas se debe principalmente a su contenido en vitamina C, en bioflavonoides, y en antocianinas. (Pamplona, 2006)

Según Pamplona, (2006) menciona que “la composición de las fresas, así como su acción antioxidante y alcalinizante, las hacen especialmente indicadas en los siguientes casos”:

- Arteriosclerosis por su capacidad antioxidante neutralizan efecto de los radicales libres, siendo el medio para evitar esta enfermedad. También su bajo contenido de sodio y grasa ayudan a la arteria, y su riqueza en potasio evita la hipertensión arterial.
- Exceso de ácido úrico, las fresas son diuréticas por ello facilita a la eliminación del ácido úrico con la orina debido a su efecto alcalinizante.
- Estreñimiento por su riqueza en fibra soluble facilita el tránsito intestinal.
- Cáncer por su contenido en antioxidantes.

## **2.5 Caracterización de los insumos alimenticios para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla**

Los insumos alimenticios necesarios para la elaboración de destilado a partir de pulpa de frutilla, se detallan a continuación:

### **2.5.1 Agua potable**

Según Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) y Viceministerio de Agua Potabl y Saneamiento Básico (VAPSB), (2018) define como agua potable a aquella que, por sus características organolépticas, físico-químicas, radiológicas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y cumple con lo establecido en la norma boliviana NB-512.

Según Colquichagua y Franco, (2002) indican que “el agua debe ser potable y esta agua se usa en la dilución de la pulpa triturada” (Pág. 7).

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

Folch Mallol, et al (2004) indican que “La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es un hongo ascomiceto que ha sido ampliamente estudiado dada su importancia en la industria panadera y vitivinícola, así como por su capacidad de producir etanol”.

Las levaduras enológicas tienen la capacidad de transformar el zumo de la uva, de compleja constitución (rico en azúcares –glucosa y fructosa– y ácidos, con buen contenido en proteínas y vitaminas) en vino, formando una serie de nuevos componentes entre los que destaca el alcohol etílico y el anhídrido carbónico como productos finales y principales. (López, 2008)

### **2.5.3 Azúcar**

Según el (Codex Alimentarius, 1995), se entiende por azúcar blanco sacarosa purificada y cristalizada.

Guillermo (2007), mencionan que “los azúcares predominantes en la frutilla son glucosa, fructosa y sacarosa. Siendo ambos el sustrato de las levaduras durante la fermentación alcohólica” (Pág. 8).

Según Colquichagua y Franco, (2002) “Sirve para aumentar la concentración de azúcar del mosto, ya que este disminuye con la dilución” (Pág. 7).

## **2.6 Fermentación alcohólica en frutas**

La fermentación alcohólica (etanólica) es un proceso utilizado por el hombre desde el principio de la historia. Se conocen referencias de él de hasta 6000 años a.C., generalmente haciendo mención de su aplicación a la transformación y conservación de alimentos (Vidal, 1990).

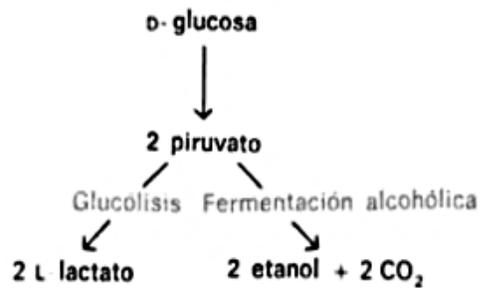
De Rosa, (1998) define que la fermentación alcohólica es un fenómeno, estrechamente ligado a la actividad vital de las levaduras presentes en el mosto y reguladas por su carga enzimática, por el cual los azúcares originariamente presentes (glucosa y fructuosa) dan origen a alcohol, anhídrido carbónico y otros productos secundarios.

La fermentación alcohólica es la transformación anaeróbica de azúcares, principalmente glucosa y fructosa, en etanol y dióxido de carbono. Este proceso, que es llevado a cabo por levadura y también por algunas bacterias *como Zymomonas mobilis*, se puede resumir por esta reacción general.: (Zamora, 2009)



Los rendimientos de etanol y CO<sub>2</sub> en la práctica son siempre menores a los valores teóricos. Estos dependen del inóculo (tipo, actividad y concentración de la cepa de levadura), de la composición del medio de cultivo (concentraciones de fuentes de macronutrientes, micronutrientes, factores de crecimiento, e inhibidores), de las condiciones ambientales (temperatura, presencia o ausencia de O<sub>2</sub>, pH y aw), del crecimiento microbiano, y de la formación de más de 800 metabolitos en pequeñas cantidades.

Según Bennet y Amstrong, (1982) indica que la fermentación alcohólica, es aquella que mediante una molécula de glucosa se convierte en dos moléculas de etanol y dos de dióxido de carbono, es el mismo proceso catabólico anaerobio que la glucólisis, excepto en las etapas finales en las que se producen diferentes productos. En la glucólisis el último intermedio metabólico, el piruvato, se reduce a lactato y, en la fermentación alcohólica, se convierte en etanol y CO<sub>2</sub>. En la figura 2.2, se muestra la diferencia entre la glucólisis y la fermentación alcohólica.



**Fuente:** Bennet y Amstrong, 1982

**Figura 2.2. Diferencia entre la glucólisis en la fermentación alcohólica**

## 2.6.1 Factores que influyen en la fermentación alcohólica

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.

### 2.6.1.1 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”.

### 2.6.1.2 pH

Carpenter, 1979 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 continua 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”.

### **2.6.1.3 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”.

Madrid et al., (1994) indica que “las levaduras son menos resistentes a los cambios de temperatura que las bacterias ya que no aguantan temperaturas por debajo del punto de congelación. Siendo 20 - 30 °C el intervalo óptimo para su crecimiento. A los 45 - 47°C mueren, por lo que si las quiere eliminar de cualquier alimento o bebida basta calentarla a 50 – 60 ° C por 5 minutos”.

### **2.6.1.4 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).

## 2.7 Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*)

Las levaduras se encuentran en frutas y flores y en los exudados de los tallos. Estas levaduras fermentan los azúcares, produciendo CO<sub>2</sub> y etanol. Si se exprime una fruta y el zumo se deja en un recipiente que tenga una superficie limitada de contacto con el aire, de manera que los microorganismos aerobios competidores no se desarrollen más que las levaduras, casi seguro que se producirá una fermentación alcohólica; el resultado es un vino. Las levaduras que se utilizan en la actualidad para producir vino, la cerveza, el whisky y el pan son casi siempre cepas de *saccharomyces cerevisiae* y tras especies muy relacionadas con ella. (Ingraham y Ingraham, 1998)

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 capensis*, *Saccharomyces vini*. (García, et al, 2004)

Según García, et al, 2007, menciona que la levadura *Saccharomyces cerevisiae* parece haberse adaptado a lo largo de su evolución para optimizar su tasa de crecimiento en ambientes ricos en nutrientes fácilmente asimilables como azúcares y aminoácidos. Algunas características de esta levadura es el hecho de que puede metabolizar la glucosa y la fructosa tanto por vía respirativa como por vía fermentativa, y de crecer en condiciones aerobias o anaerobias.

## 2.8 Operaciones en el proceso de elaboración de destilado a partir de pulpa fermentada de frutilla

Las operaciones más importantes durante la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, son las siguientes:

### **2.8.1 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 (Camacho et al., 1987).

La fermentación cubre el conjunto de los procesos de transformación que conducen desde un sustrato orgánico a un metabolito particular con liberación de energía. Según la naturaleza del metabolito sintetizado por el microorganismo, se dice que la transformación es alcohólica, láctica, acética, etc. (Vidal, 1990).

### **2.8.2 Destilación**

La destilación es una de las operaciones ampliamente empleada en la industria química, bien para separar distintos componentes de una corriente, o en la purificación de productos intermedios o finales.

La operación de destilación y rectificación busca separar el alcohol producido durante la fermentación de los otros compuestos presentes en el mosto, tales como aldehídos, ésteres y metanol que se presentan durante el proceso, así como los otros compuestos propios del mosto que no han sido asimilados por las levaduras, tales como azúcares residuales, sustancias nitrogenadas, fosfatos y otros. (Vian y Ocon, 1991)

Los líquidos que se someten al proceso de la destilación para obtener alcohol etílico pueden ser: vino, residuos de la obtención de éste, mezclas obtenidas por maceración de frutos o granos triturados que han sufrido una previa fermentación alcohólica o cuantos productos sean susceptibles de producir alcohol. Si se parte de un vino, se obtendrá un alcohol de vino: un brandy, como el cognac, el armagnac, etc. y también algunos de los alcoholes llamados blancos, como algunos anisados. En el segundo caso, si se utilizan frutos, se obtendrá un aguardiente de frutas: de cerezas, de pera, de manzana, de durazno, etc. y si se emplean diversos cereales se consiguen los alcoholes

de grano, como el whisky, vodka, gin y tantos otros, y si se parte de una melaza de caña se recogerá el ron. También hay vodkas que se obtienen de las papas. Como puede comprenderse la diversidad de alcoholes que pueden elaborarse es prácticamente ilimitada (Martínez, 1978).

### **2.8.2.1 Destilación a vacío**

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)

## **2.9 Rotavapor Bucchi R-100**

El Rotavapor® R-100 es un evaporador rotatorio donde se puede realizar una destilación en una sola etapa rápidamente sin estresar excesivamente el producto. La base del proceso es la evaporación y condensación de solventes usando un evaporador rotatorio matraz al vacío. La destilación al vacío aumenta la capacidad y es más suave. en el producto.

El producto se calienta en el matraz de evaporación mediante el baño calefactor. El accionamiento rotativo unidad rota uniformemente el matraz de evaporación. Esto mezcla constantemente el producto, por lo tanto, aumentando la tasa de evaporación. La rotación también evita el sobrecalentamiento localizado y la evaporación retardada. El vapor pasa del matraz de evaporación a través del conducto de vapor hacia el enfriador. sección (condensador). Allí, la energía térmica del vapor se transfiere al líquido refrigerante para que el vapor se vuelva a condensar. El disolvente resultante se recoge en el recipiente receptor y luego se puede reutilizar o desechar adecuadamente. (BUCCHI, 2019)

# **CAPÍTULO III**

## **DISEÑO METODOLÓGICO**

### 3.1 Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación experimental “Elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla”, se realizaron en las instalaciones de los laboratorios: Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A) y en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos (L.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 de proceso, instrumentos, materiales de laboratorio y cocina

Durante el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación, se utilizó los siguientes equipos de proceso, instrumentos, materiales de laboratorios y cocina que se describen a continuación:

#### 3.2.1 Equipo de proceso

El equipo que se utilizó en el presente trabajo de investigación experimental, se describe a continuación:

##### 3.2.1.1 Rotavapor Buchi R-100

En la figura 3.1, se muestra el equipo Rota vapor Bucchi R-100 y sus especificaciones técnicas, este equipo se utilizó para destilar el aguardiente de pulpa de frutilla.



**Fuente:** L.I.A, 2021

**Figura 3.1.** Rotavapor Buchi R-100

### 3.2.1.2 Cocina industrial a gas natural

En la figura 3.2, se muestra la cocina industrial a gas natural que se utilizó para realizar el tratamiento térmico del agua y pulpa diluida de frutilla; también y para esterilizar las botellas de vidrio para envasar el producto final.



**Fuente:** L.I.A, 2021

**Figura 3.2.** Cocina industrial a gas natural

### 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 Refractómetro de bolsillo

En la figura 3.3, se muestra el refractómetro de bolsillo y sus especificaciones técnicas, se utilizó para la medición de los sólidos solubles (°Brix) de la frutilla variedad San Andrea, el control de los sólidos solubles durante la fermentación del aguardiente de pulpa de frutilla.



**Fuente:** L.I.A, 2021

**Figura 3.3.** Refractómetro de bolsillo

### 3.2.2.2 Balanza analítica digital

En la figura 3.4, se muestra la balanza analítica digital y sus especificaciones técnicas, se utilizó para pesar la levadura vinífica y para la determinación del grado alcohólico del aguardiente de pulpa de frutilla (picnometría).



**Fuente:** L.I.A, 2021

**Figura 3.4.** Balanza analítica digital

### 3.2.2.3 pH-metro digital

En la figura 3.5, se muestra el pH- metro digital y sus especificaciones técnicas, se utilizó para medir el pH que presenta la frutilla, el fermentado de frutilla y del destilado a partir de frutilla.



**Fuente:** L.I.A, 2021

**Figura 3.5.** pH-metro digital

### 3.2.2.4 Balanza digital

En la figura 3.6, se muestra la balanza digital y sus especificaciones técnicas, se utilizó para pesar la frutilla e insumos alimenticios y para pesar el fermentado de frutilla y del aguardiente de pulpa de frutilla.



Fuente: L.I.A, 2021

**Figura 3.6. Balanza digital**

### 3.2.2.5 Bureta Digital

En la figura 3.7, se muestra la bureta o titulador digital y sus especificaciones técnicas, se utilizó para determinar la acidez expresada en ácido cítrico del fermentado de frutilla y la acidez volátil total expresado en ácido acético del destilado a partir de pulpa frutilla.



Fuente: L.I.A, 2021

**Figura 3.7. Bureta digital**

### 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 destilado a partir de pulpa de frutilla.

**Tabla 3.1**

*Materiales de laboratorios utilizados en la parte experimental*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Tipo</b>
<b>Probeta</b>	2	500ml	Vidrio
<b>Termómetro de alcohol</b>	2	(0-100) °C	Vidrio
<b>Vaso precipitado</b>	2	50ml	Vidrio
<b>Piseta</b>	1	Mediano	Plástico
<b>Vidrio reloj</b>	1	Mediano	Vidrio
<b>Alcoholímetro</b>	1	0-90 °GL	Vidrio
<b>Picnómetro</b>	1	50ml	Vidrio
<b>Vernier</b>	1	200mm	Metal

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.4 Materiales de cocina

En la tabla 3.2, se muestra los materiales de cocina utilizados en el presente trabajo de investigación experimental para la obtención de aguardiente de frutilla de calidad.

**Tabla 3.2**

*Materiales de cocina utilizados durante la parte experimental*

<b>Utensilios</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Tipo</b>
<b>Olla</b>	1	Mediano	Aluminio
<b>Aplastador</b>	1	Mediana	Acero inoxidable
<b>Jarras</b>	3	1 litro	Plástico
<b>Cuchillos</b>	1	Mediano	Acero inoxidable
<b>Cucharas</b>	2	Mediano	Madera
<b>Repasadores</b>	3	Mediano	Algodón
<b>Fuentes</b>	3	Mediano	Plástico
<b>Colador</b>	1	Grande	Plástico
<b>Frasco de vidrio</b>	16	3 litros	Vidrio
<b>Fresco de plástico</b>	1	50 litros	Plástico

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3 Materia prima, insumos alimenticios y reactivos químicos de laboratorio

La materia prima, insumos y reactivos químicos de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación experimental para la elaboración de aguardiente de frutilla son los siguientes:

#### 3.3.1 Materia prima

En la tabla 3.3, se detalla la materia prima utilizada en el presente trabajo de investigación experimental.

**Tabla 3.3**

*Descripción de la materia prima*

Materia prima	Procedencia	Variedad
Frutilla	Coimata	San Andrea

**Fuente:** Elaboración propia

#### 3.3.2 Insumos alimenticios

En la tabla 3.4, se detallan los insumos alimenticios utilizados en el presente trabajo de investigación experimental.

**Tabla 3.4**

*Descripción de los insumos alimenticios*

Insumos	Procedencia	Marca
Azúcar refinada	Bermejo	Bermejo
Agua potable	Tarija	-
Levadura vinífica	Francia	Laffort

**Fuente:** Elaboración propia

#### 3.3.3 Reactivos químicos de laboratorio

En la tabla 3.5, se detallan los reactivos químicos de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación experimental.

Tabla 3.5

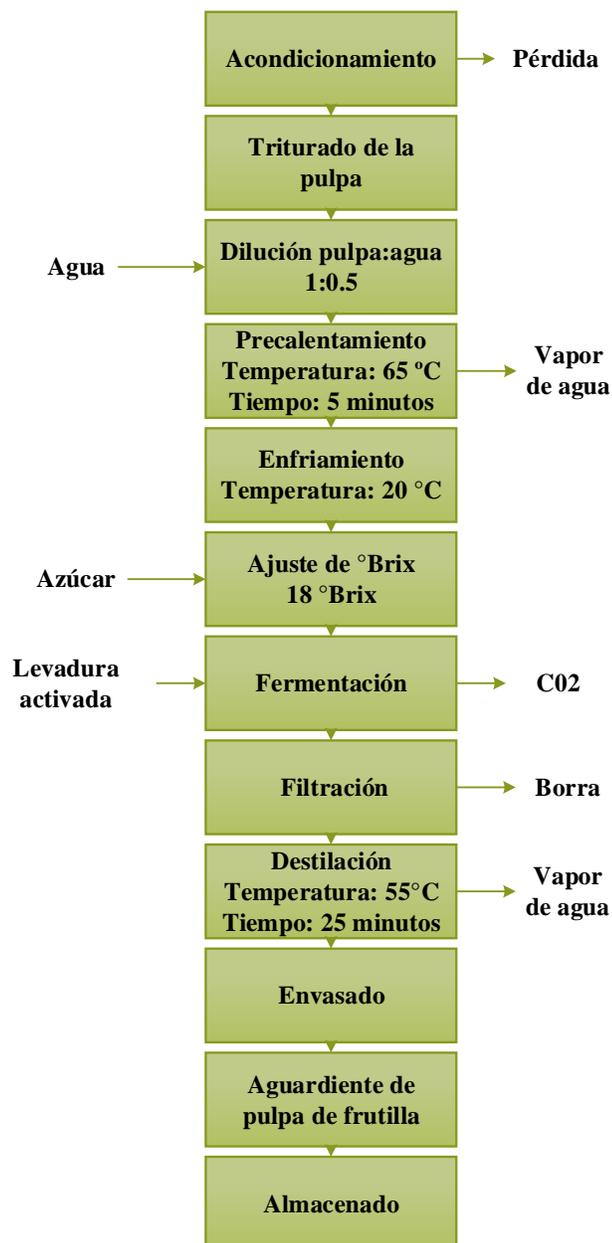
*Descripción de los reactivos químicos de laboratorio*

<b>Reactivos</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Marca</b>	<b>Concentración</b>
<b>Hidróxido de sodio (NaOH)</b>	Argentina	Biopack	0,1 N
<b>Fenolftaleína</b>	Argentina	Biopack	0,1%
<b>Azul de bromotimol</b>	Argentina	Biopack	0,4%
<b>Alcohol etílico</b>	Bolivia	Solquifar	70,0%
<b>Agua desionizada</b>	Bolivia	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla

En la figura 3.8, se muestra el diagrama de proceso para la elaboración de aguardiente de frutilla.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.8.** Diagrama de flujo del proceso de elaboración de aguardiente de frutilla

### **3.4.1 Descripción del diagrama de flujo para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla**

A continuación, se describen las etapas implicadas para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.

#### **3.4.1.1 Acondicionamiento**

Se acondicionó 14665,10g y se seleccionaron las muestras de frutillas que se encontraban en óptimas condiciones, posteriormente con la ayuda de un cuchillo se retiró los hombros o corona de la frutilla que representa la parte no comestible de la frutilla, para obtener la frutilla ya acondicionada que representa la parte comestible.

#### **3.4.1.2 Triturado de la pulpa**

Se realizó el pesado de la frutilla, posteriormente se trituró con ayuda de un triturador manual, con la finalidad de obtener la pulpa de frutilla que posteriormente se diluyó con agua potable.

#### **3.4.1.3 Dilución pulpa: agua**

Se realizó la dosificación en relación pulpa de frutilla y agua, en un recipiente de plástico se realizó la dilución pulpa: agua mediante una relación 1,00:0,50; posteriormente con la ayuda de un refractómetro de bolsillo se procedió a medir su °Brix o sólidos solubles de la pulpa diluida.

#### **3.4.1.4 Pre-calentamiento**

El precalentamiento de la pulpa diluida de frutilla, se llevó a cabo en una olla de acero inoxidable a fuego medio por un tiempo de 5 minutos hasta llegar a una temperatura de 65°C con la ayuda de un termómetro de alcohol, con el fin de inhibir a las levaduras nativas de la frutilla y no afecten al proceso de fermentación.

#### **3.4.1.5 Enfriamiento**

En esta atapa se procedió a enfriar la mezcla hasta una temperatura de 20 °C, en un tiempo de 30 minutos. Con la finalidad de realizar la lectura de los sólidos solubles de la mezcla luego del pre-calentamiento.

#### **3.4.1.6 Ajuste de °Brix de la pulpa diluida de frutilla**

Al determinar los sólidos solubles de la pulpa diluida de frutilla, mediante un balance parcial de componentes sólidos soluble se calculó la cantidad de azúcar blanca, para ajustar a 18 °Brix al volumen total de la pulpa diluida de frutilla, con el fin de acondicionar el medio para las levaduras y que realicen la fermentación alcohólica.

#### **3.4.1.7 Activación de la levadura**

Se reconstituyó 4,50 g de levadura vinifica seca con 8 ml de agua atemperada a 35-40 °C, en un recipiente de plástico, se dejó reposar unos 10 minutos. Finalmente, se añadió la levadura acondicionada al volumen total de la pulpa diluida de frutilla a fermentar.

#### **3.4.1.8 Fermentación**

La fermentación alcohólica se llevó a cabo en un frasco de vidrio a una temperatura de 18 a 20 °C por un tiempo de 9 días. Se realizó la determinación de °Brix, acidez y pH, cada 24 horas; hasta que los ° Brix en la fermentación sean constante. La fermentación se realizó en condiciones anaeróbicas. El recipiente contenía un conducto por el cual era liberado el CO<sub>2</sub> producido por la fermentación.

#### **3.4.1.9 Filtración**

Transcurrido el tiempo de fermentación se procedió a filtrar la pulpa de frutilla fermentada con la ayuda de un tamiz, el filtrado se realizó por un tiempo de 15 minutos hasta separar la borra del fermentado de frutilla.

#### **3.4.1.10 Destilación**

La destilación se llevó a cabo en el equipo Rota vapor Bucchi R-100, por un tiempo de 25 minutos a una presión de 80 Torr y a una temperatura de 55 °C; este equipo realiza una destilación al vacío en menor tiempo. Se procedió a separar la cabeza y la cola del cuerpo del aguardiente de pulpa de frutilla.

#### **3.4.1.11 Envasado**

Se realizó el lavado de botellas con agua y se esterilizó, posteriormente se desinfectó con alcohol, se procedió a envasar el aguardiente de pulpa de frutilla en botellas de vidrio de 750 cm<sup>3</sup>.

#### **3.4.1.12 Almacenado**

Se almacenó en un lugar protegido de luz y contaminantes extraños.

### 3.5 Metodología para la obtención de resultados

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

#### 3.5.1 Caracterización de la frutilla variedad *San Andrea*

Para caracterizar la frutilla variedad *San Andrea* se consideran tres parámetros importantes:

- Físico
- Fisicoquímico
- Microbiológico

##### 3.5.1.1 Parámetros físicos de la frutilla variedad *San Andrea*

En la tabla 3.6, se muestran los parámetros físicos de la frutilla variedad *San Andrea* tomadas en cuenta para la frutilla variedad *San Andrea*, realizados en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.I.A) perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

**Tabla 3.6**

*Parámetros físicos de la frutilla variedad San Andrea*

Parámetro	Método	Unidad
Altura	Medición	cm
Peso	Gravimétrica	g
Diámetro	Medición	cm
Porción comestible	Cálculo	%
Porción no comestible	Cálculo	%
Sólidos solubles	Refractómetro	°Brix

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5.1.2 Parámetros fisicoquímicos de la frutilla variedad *San Andrea*

En la tabla 3.7, se muestran los parámetros y técnicas fisicoquímicas tomadas en cuenta para la frutilla variedad *San Andrea*, 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 fisicoquímicos de la frutilla variedad San Andrea*

Parámetros	Método	Unidad
Calcio	Absorción atómica	mg/100g
Potasio	Absorción atómica	mg/100g
Fósforo	SM 4500-P-D	mg/100g
Acidez	Potenciómetro	-
pH	Volumétrico	%
Fibra	Gravimétrico	%
Ceniza	NB 39034:10	%
Grasa	NB 313019:06	%
Humedad	NB 313010:05	%
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%
Carbohidratos	Cálculo	%
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g

**Fuente:** CEANID, 2021

### 3.5.1.3 Parámetros microbiológico de la frutilla variedad *San Andrea*

En la tabla 3.8, se muestran los parámetros y técnicas microbiología tomadas en cuenta para la frutilla variedad *San Andrea*, 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 3.8**

#### *Parámetros microbiológicos de la frutilla variedad San Andrea*

Parámetros	Método	Unidad
Bacterias aerobias mesófilas	NB 32003:05	UFC/g
Escherichia coli	NB 32005:02	UFC/g
Mohos y levadura	NB 32006:03	UFC/g

**Fuente:** CEANID, 2021

### 3.5.2 Caracterización del producto final

Para caracterizar el producto final (aguardiente de frutilla) se consideran dos parámetros importantes:

- Físico
- Fisicoquímico

#### 3.5.2.1 Parámetros físicos del producto final

En la tabla 3.9, se muestran los parámetros y técnicas físicas tomadas en cuenta para el destilado de frutilla, realizados en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos (L.I.A).

**Tabla 3.9**

*Parámetros físicos del producto final*

Parámetro	Método	Unidad
% Alcohol	Volumetría	Grados Gay Lussac
pH	Potenciómetro	-
Acidez volátil	Volumétrico	%

**Fuente:** Elaboración propia

#### 3.5.2.2 Parámetros fisicoquímicos del producto final

En la tabla 3.10, se muestran los parámetros y técnicas fisicoquímicos tomadas en cuenta para el aguardiente de frutilla, 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 3.10**

*Parámetros fisicoquímicos del producto final*

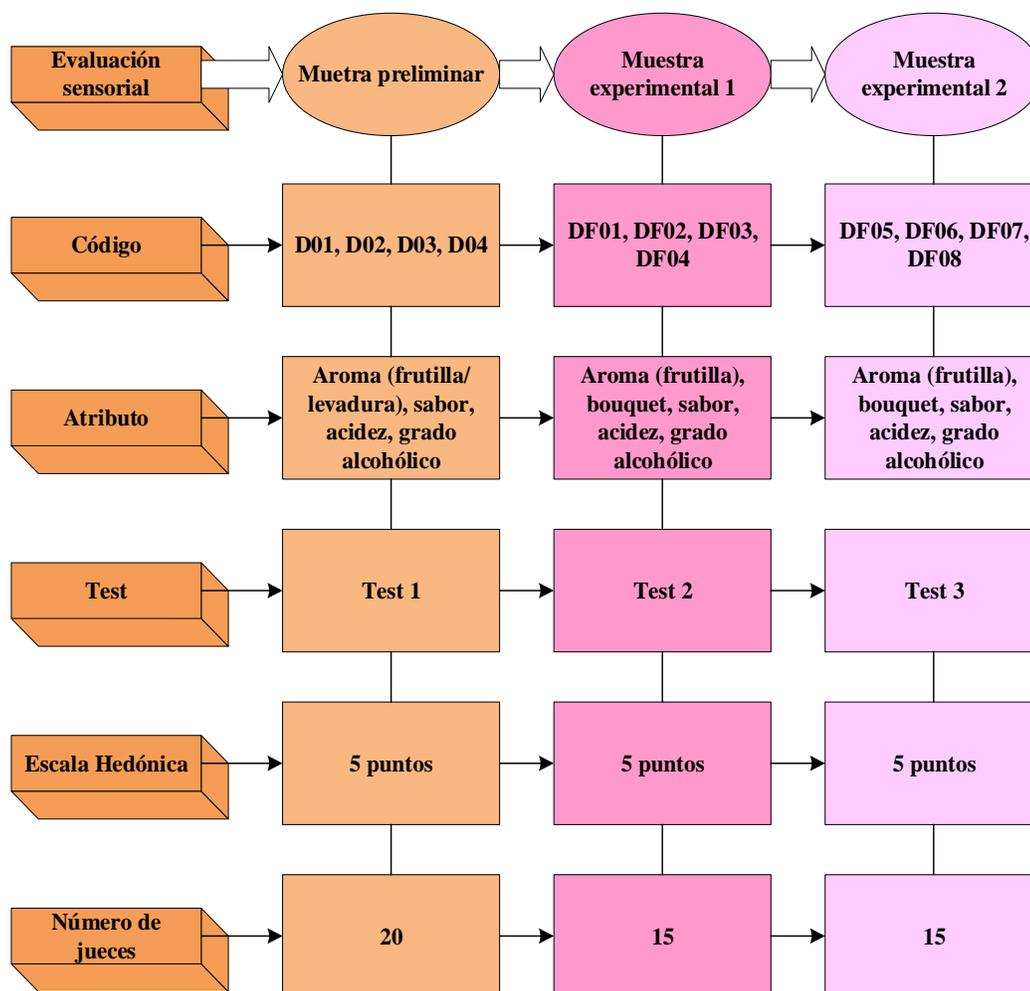
Parámetro	Técnica	Unidad
Azúcares reductores	Volumetría	%
Extracto seco	NB 324005:04	g/l
Metanol	NB 324010:04	mg/l
Anhidrido sulfuroso	Calculo	mg/l

**Fuente:** CEANID, 2021

### 3.6 Evaluación sensorial del producto final

Según Bota & de Castro (1999) definen al análisis sensorial de alimentos, en un sentido más estricto, “como el examen de los caracteres organolépticos de un producto mediante los sentidos, obteniendo datos cuantificables y objetivables” (pág. 24).

En la figura 3.9, se detallan las evaluaciones sensoriales realizadas en el presente trabajo de investigación para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, con el objeto de caracterizar las propiedades organolépticas.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.9.** Evaluaciones sensoriales del aguardiente de pulpa de frutilla

### 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 $2^3$

Con el diseño factorial  $2^3$  se estudian tres factores en dos niveles cada uno. Consta de 8 tratamientos diferentes, los cuales pueden identificarse con las mismas notaciones introducidas con el diseño  $2^2$ . Con este diseño se pueden estudiar los  $2^3 - 1 = 7$  efectos: tres efectos principales A, B, C; tres interacciones dobles AB, AC, BC y una interacción triple ABC. Por lo general, el interés se enfoca en estudiar los efectos principales y las interacciones dobles. Sin embargo, aunque de antemano se puede considerar la interacción triple ABC en el diseño  $2^3$  como un efecto ignorable, es recomendable asegurarse de que su valor se mantiene pequeño, además de que, al incluirla en el análisis, puede ayudar a mejorar la perspectiva de algunas gráficas, como se aprecia más adelante. (Gutierrez y De la Vara, 2018)

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

$$2^K$$

Ecuación 3.1

Dónde:

2= número de niveles

K= número de variables

Según (Gutierrez & De la Vara, 2018), un modelo de regresión permite expresar los resultados de una variable respuesta en función de las variables independientes de forma matemática. En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión a ser aplicado:

Ecuación 3.2

$$y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C - \beta_{AB} X_A X_B - \beta_{AC} X_A X_C - \beta_{BC} X_B X_C + \beta_{ABC} X_A X_B X_C$$

**Donde:**

$\beta$  = coeficientes de regresión

$X_A, X_B, X_C$  = Valor codificado del factor de diseño

### **3.7.1.1 Diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica de la pulpa de frutilla para la elaboración de aguardiente**

Para realizar el diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica de la pulpa de frutilla para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, se aplicó de acuerdo a la (ecuación 3.1), cuyo diseño factorial corresponde a:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos/prueba}$$

Donde los niveles de variación de cada factor son los siguientes:

Relación pulpa: agua	(A)= 2 niveles
Cantidad de levadura	(B)= 2 niveles
Tiempo de fermentación	(C)= 2 niveles

En la tabla 3.11, se muestra la matriz del diseño experimental a ser aplicado en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de destilado a partir de pulpa fermentada de frutilla antes de destilar, las variables tomadas en cuenta son: Relación pulpa: agua, cantidad de levadura y tiempo de fermentación.

**Tabla 3.11***Matriz de variables para el proceso de fermentación alcohólica*

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

**Fuente:** Elaboración propia

Dónde:

Y<sub>i</sub>= Grado alcohólico del destilado, acidez y pH.

En la tabla 3.12, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel superior y nivel inferior), aplicado en el proceso de fermentación alcohólica del destilado de frutilla.

**Tabla 3.12***Niveles de variación de los factores de fermentación alcohólica*

Variables	Unidad	Nivel alto	Nivel bajo
<b>Relación pulpa: agua (A)</b>	gramos	1:1.5	1:0.5
<b>Cantidad de levadura (B)</b>	gramos	0,40	0,20
<b>Tiempo de fermentación (C)</b>	Días	13 días	9 días

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.8 Operacionalización de variables

En el cuadro 3.1, se muestra la operacionalización de las variables independiente y dependientes del presente trabajo experimental en la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.

**Cuadro 3.1**

***Operacionalización de las variables para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla***

Hipótesis	Variables		Conceptualización	Dimensiones	Indicadores
La metodología experimental propuesta de fermentación alcohólica a ser aplicado permitirá obtener aguardiente de pulpa de frutilla de la variedad San Andrea de calidad, para la provincia Cercado.	Variable independiente	Proceso de fermentación alcohólica	“Es la transformación anaeróbica de azúcares, principalmente glucosa y fructosa, en etanol y dióxido de carbono. Este proceso, es llevado a cabo por levadura”. (Zamora, 2009)	Control de sólidos solubles	18,00-5,00 (°Brix)
				Control de acidez (ácido cítrico)	(%)
				Control de pH	-
				Control de tiempo de fermentación	9-13 (días)
				Control de temperatura	(15-25) °C
				Destilación al vacío	88 (Torr)
	(65) °C				
	Variable dependiente	Aguardiente de pulpa de frutilla	“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” IBNORCA, 2020.	Porcentaje de alcohol	°GL
				Acidez volátil	%
				pH	-
				Metanol	mg/l
				Azúcares reductores	g/l
				Anhídrido sulfuroso	mg/l
				Extracto seco total	g/l

**Fuente:** Elaboración propia

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

#### 4.1 Caracterización de la frutilla variedad *San Andrea*

En la caracterización de la frutilla variedad *San Andrea*, se tomaron en cuenta los parámetros físicos, fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales se detallan a continuación:

##### 4.1.1 Análisis físico de la frutilla variedad *San Andrea*

En la figura 4.1, se observan las muestras de frutilla variedad *San Andrea* en las cuales, se realizó la determinación de los siguientes análisis físicos: altura y diámetro, porción comestible y porción no comestible y sólidos solubles (°Brix).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.1.** Muestras de frutilla variedad *San Andrea*

En el cuadro 4.1, se puede observar las ecuaciones aplicadas en la determinación de los análisis físicos de porción comestible y no comestible de la frutilla variedad *San Andrea*.

**Cuadro 4.1**

##### *Ecuaciones para los análisis físicos de la frutilla variedad *San Andrea**

Porción comestible	Porción no comestible	Media aritmética
$PC = \frac{P_{final}}{P_{inicial}} * 100$	$PNC = 100 - PC$	$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)}{n}$
PC = porción comestible (%) PNC = porción no comestible (%) P <sub>inicial</sub> = peso inicial de la muestra (g) P <sub>final</sub> = peso final de la muestra (g)		$\bar{x}$ = media aritmética n = número de muestras

**Fuente:** Villalba, 2010

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos de los análisis físicos de la frutilla variedad *San Andrea*, realizados en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos.

**Tabla 4.1**

*Parámetros físicos de la frutilla variedad San Andrea*

Muestras	Altura (h)	Diámetro (D)	Peso (P)	Porción comestible (PC)	Porción no comestible (PNC)	Grados Brix
1	4,32	2,94	15,84	96,20	3,80	8,00
2	4,05	2,82	13,24	96,23	3,77	7,40
3	4,85	3,05	16,09	97,31	2,69	7,20
4	3,59	2,73	11,55	96,85	3,15	7,80
5	3,76	2,89	12,68	96,67	3,33	9,00
6	4,17	2,82	14,37	97,49	2,51	8,00
7	4,02	3,00	15,78	97,59	2,41	8,00
8	4,28	2,88	15,39	97,48	2,52	9,10
9	3,61	2,91	12,15	96,95	3,05	7,00
10	3,84	3,02	14,98	97,55	2,45	7,20
11	3,85	2,80	13,36	96,86	3,14	9,00
12	4,13	2,87	15,37	96,66	3,34	7,20
13	3,94	2,90	14,60	94,58	5,42	10,00
14	3,77	2,93	15,39	96,62	3,38	6,60
15	3,70	2,89	13,41	97,26	2,74	7,00
16	4,00	2,53	11,32	97,01	2,99	6,00
17	3,80	2,68	12,15	97,11	2,89	6,20
18	3,72	2,89	13,18	95,74	4,26	7,20
19	4,03	2,62	13,70	97,54	2,46	7,90
20	3,54	2,99	12,42	97,13	2,87	9,40
$\Sigma$	78,97	57,16	276,98	1936,80	63,20	155,20
$X_i$	3,95	2,86	13,85	96,84	3,16	7,76

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.1, se puede observar el promedio de los resultados obtenidos del análisis físico de la frutilla variedad *San Andrea*, que presenta: altura 3,95cm; diámetro 2,86 cm; peso 13,85g; porción comestible (PC) 96,84%; porción no comestible (PNC) 3,16 % y solidos solubles (°Brix) 7,76.

#### 4.1.2 Análisis fisicoquímico de la frutilla variedad *San Andrea*

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la frutilla variedad *San Andrea*, de datos extraídos del Anexo A.

**Tabla 4.2**

##### *Parámetros fisicoquímicos de la frutilla variedad San Andrea*

Parámetros	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	12,00
Potasio	mg/100g	116,00
Fósforo	mg/100g	23,00
Fibra	%	1,00
Ceniza	%	0,07
Grasa	%	0,10
Humedad	%	90,74
Proteína total (Nx6,25)	%	0,71
Carbohidratos	%	7,38
Valor energético	Kcal/100g	33,26

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la frutilla variedad *San Andrea* que presenta: calcio 12,00 mg/100g; potasio 116,00 mg/100g; fósforo 23,00 mg/100g; fibra 1,00%; ceniza 0,07%; grasa 0,10%; humedad 90,74%; proteína total 0,71%; carbohidratos 7,38% y valor energético 33,26 Kcal/100g.

#### 4.1.3 Análisis microbiológico de la frutilla variedad *San Andrea*

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la frutilla variedad *San Andrea*, de datos extraídos del Anexo A.

**Tabla 4.3**

##### *Parámetros microbiológicos de la frutilla variedad San Andrea*

Parámetros	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$9,1 \times 10^4$
Escherichia coli	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levadura	UFC/g	$3,0 \times 10^1$

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

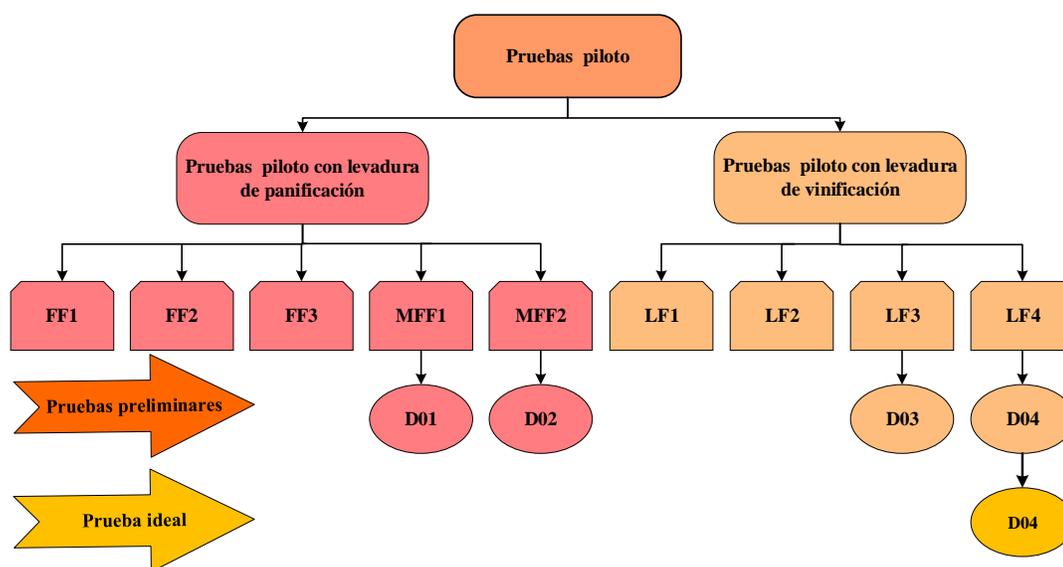
En la tabla 4.3, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la frutilla variedad *San Andrea* que presenta: bacterias aerobias mesófilas  $9,1 \times 10^4$  UFC/g; *Escherichia coli*  $< 1,0 \times 10^1$  UFC/g; mohos y levadura  $3,0 \times 10^1$  UFC/g.

## **4.2 Caracterización de las variables del proceso para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla variedad *San Andrea***

Para la caracterización de las variables del proceso en la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla variedad *San Andrea*, se tomaron en cuenta las pruebas preliminares de elaboración de aguardiente de frutilla variedad *San Andrea* siguientes aspectos:

### **4.2.1 Pruebas piloto para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla de la variedad *San Andrea***

Para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, inicialmente se realizaron cinco pruebas piloto; incorporando levadura de panificación (*Sacharomyces cerevisiae*) y así mismo, se realizaron otras cuatro pruebas piloto; utilizando levadura de vinificación (*Sacharomyces cerevisiae*). Posteriormente, en base a las primeras cinco pruebas pilotos se tomaron en cuenta las pruebas MFF1 y MFF2; de igual forma, en base a las otras cuatro pruebas pilotos se tomaron en cuenta las pruebas LF3 y LF4. Finalmente, las pruebas (MFF1, MFF2, LF3 y LF4) fueron recodificadas como D01, D02, D03 y D04 y tomadas en cuenta como pruebas preliminares; con el fin de obtener la muestra final para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, como se muestra en la figura 4.2.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.2.** Pruebas pilotos de aguardiente de pulpa de frutilla variedad *San Andrea*

En la tabla 4.4, se muestra el rango porcentual de componentes para la formulación de las pruebas pilotos y preliminares; utilizando los siguientes componentes: pulpa de frutilla, agua, azúcar y levadura; para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.

**Tabla 4.4**

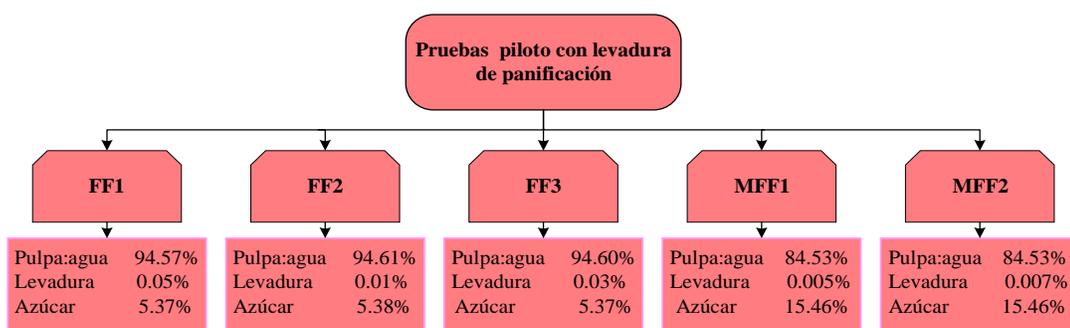
*Rango porcentual de componentes para aguardiente de pulpa de frutilla*

Componentes	Rango (%)
Pulpa: agua	84,530-94,610
Azúcar	5,370-15,460
Levadura	0,005- 0,050

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2.1.1 Pruebas pilotos utilizando levadura de panificación para aguardiente de pulpa de frutilla

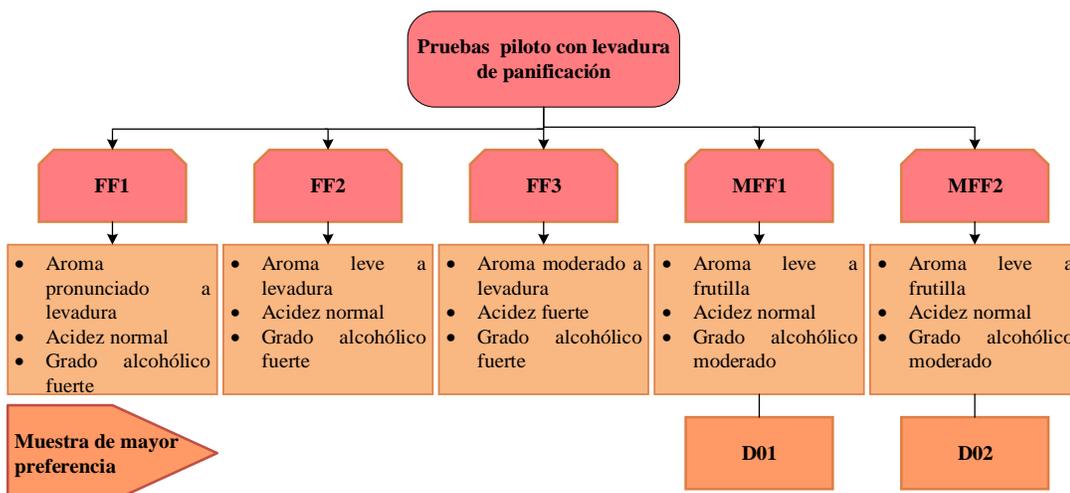
En la figura 4.3, se muestran las formulaciones de las cinco pruebas piloto que se realizaron a nivel experimental utilizando levadura de panificación (*Sacharomyce cervisiaes*), para para la elaboración aguardiente de pulpa de frutilla.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.3.** Pruebas piloto incorporando levadura de panificación para aguardiente de pulpa de frutilla

En base a la figura 4.3, las cinco pruebas piloto con levadura de panificación fueron valoradas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, ya que, por motivo de la Pandemia Covid-19 no se realizó una evaluación sensorial del aguardiente de pulpa de frutilla, la valoración se detalla en la figura 4.4.



**Fuente:** Elaboración propia

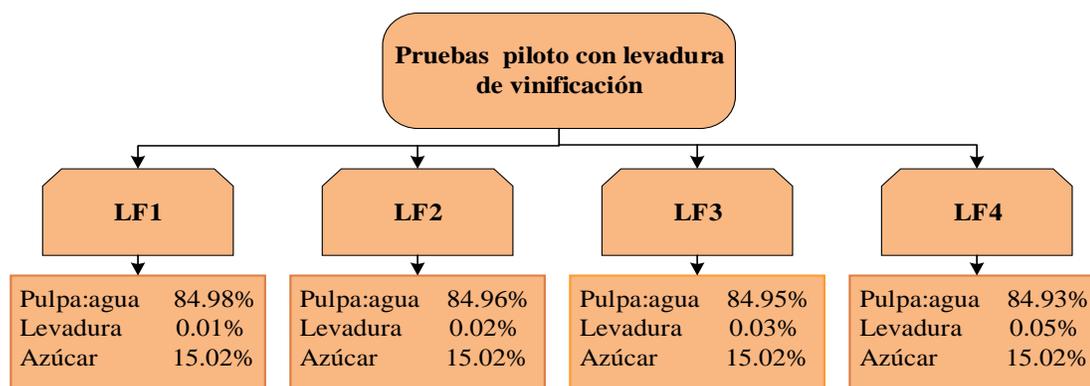
**Figura 4.4.** Valoración subjetiva de pruebas piloto incorporando levadura de panificación para aguardiente de pulpa de frutilla

En la figura 4.4, en base a la valoración subjetiva realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, se pudo observar que la muestra D01 y la muestra D02 fueron la de mayor preferencia por no presentar un elevado contenido alcohólico y por presentar aroma leve a frutilla; en comparación con las muestras FF1, FF2 y FF3

contenido alcohólico muy elevado y presentaron aroma muy pronunciado a levadura de panificación.

#### 4.2.1.2 Pruebas piloto utilizando levadura de vinificación para aguardiente de pulpa de frutilla

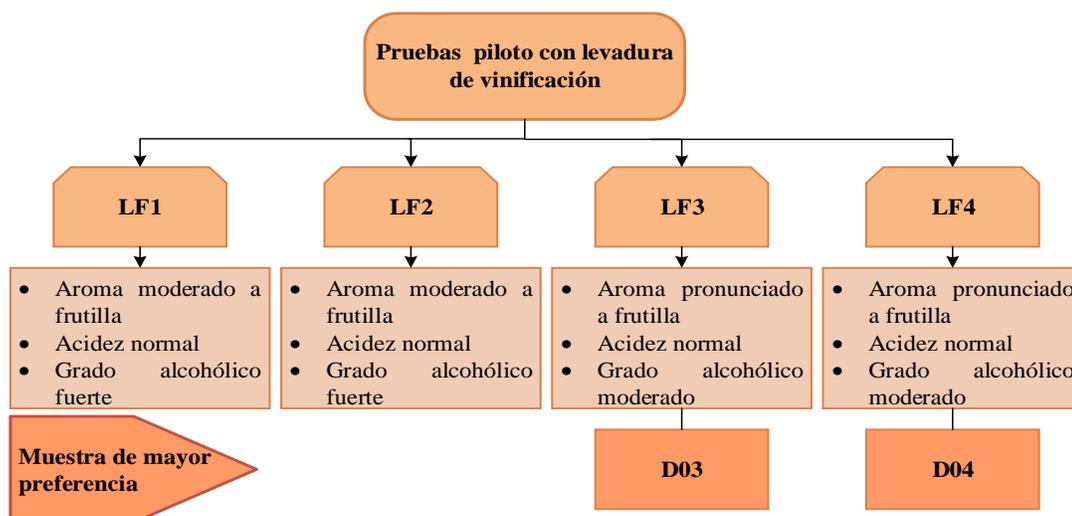
En la figura 4.5, se muestran las formulaciones de las cuatro pruebas piloto que se realizaron a nivel experimental utilizando levadura de vinificación (*Sacharomyce servisiaes*); con la finalidad de mejorar el atributo aroma a frutilla, debido a que, con la utilización de la levadura de panificación presentó problemas en cuanto al aroma residual muy pronunciado a levadura en el aguardiente de pulpa de frutilla.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.5.** Pruebas piloto incorporando levadura de vinificación para aguardiente de pulpa de frutilla

En base figura 4.5, las cuatro pruebas piloto con levadura de vinificación fueron evaluadas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, ya que, por motivo de la Pandemia Covid-19 no se realizó una evaluación sensorial del aguardiente de pulpa de frutilla, la valoración se detalla en la figura 4.6.



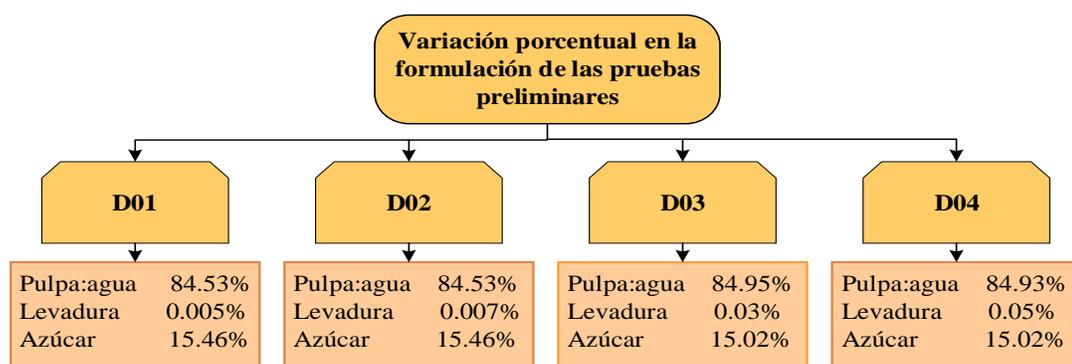
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.6.** Valoración subjetiva de pruebas pilotos incorporando levadura de vinificación para aguardiente de pulpa de frutilla

En la figura 4.6, en base a la valoración subjetiva realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, se pudo observar que la muestra D03 y la muestra D04 fueron la de mayor preferencia por no presentar un alto contenido alcohólico y por presentar aroma muy pronunciado a frutilla; en comparación con las muestras LF1, LF2 y FF3, que presentaron un contenido alcohólico muy fuerte y aroma moderado a frutilla.

#### 4.2.2 Variación porcentual en la formulación de las pruebas preliminares para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.

En base a las muestras valoradas subjetivamente (figura 4.4 y figura 4.6), se procedió a elaborar nuevamente las cuatro muestras (D01, D02, D03 y D04) tomando en cuenta la variación porcentual de la formulación de las cuatro pruebas preliminares para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, como se muestra a continuación en la figura 4.7.



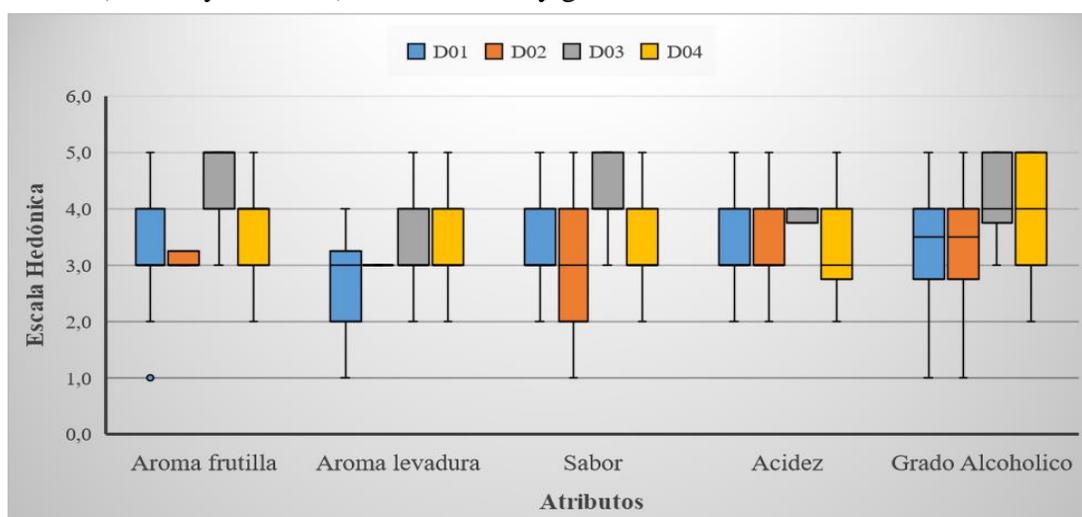
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.7.** Variación porcentual en la formulación de las pruebas preliminares

En base a la figura 4.7, las pruebas preliminares D01, D02, D03 y D04; fueron evaluadas sensorialmente con escala hedónica de cinco puntos en la que se valoraron los atributos; aroma (frutilla/levadura), sabor, acidez y grado alcohólico con el fin de obtener la muestra final de aguardiente de pulpa de frutilla (figura 4.3).

#### 4.2.2.1 Estadístico de caja y bigote para las pruebas preliminares de aguardiente de pulpa frutilla

En la figura 4.8, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos aroma (frutilla y levadura), sabor, acidez y grado alcohólico.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.8.** Caja y bigote para pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla

Según la figura 4.3, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos para las pruebas evaluadas son: aroma a frutilla 5,0(D03); aroma a levadura 3,0(D03); sabor 4,0(D03); acidez 4,0(D03) y grado alcohólico 4,0(D03). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas. Sin embargo, no existe diferencia estadística para el atributo acidez donde  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,9 < 2,76$ ) de datos extraídos de Anexo C (tabla C.5.2), entre las muestras evaluadas para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.2.1.1 Estadísticos de Tukey para el atributo aroma a frutilla de pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.5, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C (tabla C 2.4), para el atributo aroma a frutilla.

**Tabla 4.5**

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

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
D03-D04	0,9	0,36	Significancia
D03-D01	1,2	0,36	Significancia
D03-D02	1,3	0,36	Significancia
D04-D01	0,3	0,36	No significativo
D04-D02	0,4	0,36	Significancia
D01-D02	0,1	0,36	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.5, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos D03-D04, D03-D01, D03-D02, D04-D02. Sin embargo, para los tratamientos D04-D01, D01-D02, no existe diferencia estadística para un nivel de nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.2.1.2 Estadísticos de Tukey para el aroma a levadura de pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.6, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C (tabla C 3.4), para atributo aroma a levadura.

**Tabla 4.6***Estadístico Tukey para el atributo aroma a levadura*

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
D03-D04	0,0	0,38	No significativo
D03-D02	0,6	0,38	Significancia
D03-D01	0,7	0,38	Significancia
D04-D02	0,6	0,38	Significativo
D04-D01	0,7	0,38	Significancia
D02-D01	0,1	0,38	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla C 4.6, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos D03-D02, D03-D01, D04-D02, D04-D01. Sin embargo, para los tratamientos D03-D04, D02-D01 no existe diferencia significativa para un nivel de nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.2.1.3 Estadísticos de Tukey para el atributo sabor de pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.7, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C (tabla C 4.4), para el atributo sabor.

**Tabla 4.7***Estadístico Tukey para el atributo sabor*

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
D03-D04	0,8	0,22	Significancia
D03-D02	1,2	0,22	Significancia
D03-D01	1,2	0,22	Significancia
D04-D02	0,4	0,22	Significancia
D04-D01	0,4	0,22	Significancia
D02-D01	0,0	0,22	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.7, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos D03-D04, D03-D02, D03-D01, D04-D02, D04-D01. Sin embargo, para los tratamientos D02-D01 no existe diferencia significativa para un nivel de nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.2.2.1.4 Estadísticos de Tukey para el atributo grado alcohólico de pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.8, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C (tabla C 6.4), para el atributo grado alcohólico.

**Tabla 4.8**

*Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico*

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
D03-D04	0,3	0,47	No significativo
D03-D02	0,7	0,47	Significancia
D03-D01	0,7	0,47	Significancia
D04-D02	0,4	0,47	No significativo
D04-D01	0,4	0,47	No significativo
D02-D01	0,0	0,47	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.8, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos D03-D02, D03-D01. Sin embargo, para los tratamientos D03-D04, D04-D02, D04-D01, D02-D01 no existe diferencia significativa para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

Realizada la evaluación sensorial y el seguimiento del proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla donde las pruebas con levadura de vinificación D03(0,030%) y D04(0,050%) fueron elegidas por los jueces por no presentar un alto contenido alcohólico y por presentar aroma muy pronunciado a frutilla. Así mismo, en el proceso de fermentación alcohólica se pudo observar que hubo un consumo más rápido del azúcar; en comparación de las pruebas con levadura de panificación D01(0,005%) y D02(0,007%), además de presentar aroma muy pronunciado a levadura y un alto contenido alcohólico. Por tales motivos y en función de las medianas al finalizar la evaluación sensorial se procedió a elegir la prueba D03 como la ideal para el proceso.

#### 4.2.2.2 Control de °Brix, pH y acidez en el proceso de fermentación alcohólica pruebas preliminares de aguardiente de pulpa frutilla

Para realizar el control de los parámetros sólidos solubles (°Brix), pH y acidez en las pruebas preliminares D01, D02, D03 y D04; con la finalidad de realizar el seguimiento del proceso de fermentación alcohólica. El control, se realizó durante un tiempo de 11 días, donde los datos fueron obtenidos en días hábiles.

##### 4.2.2.2.1 Control de (°Brix) en el proceso de fermentación alcohólica

En la tabla 4.9, se muestran los resultados obtenidos de °Brix en función del tiempo de fermentación alcohólica de datos extraídos de Anexo E (tabla E.1), para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla utilizando el método de determinación de sólidos solubles detallada en el Anexo D.1.

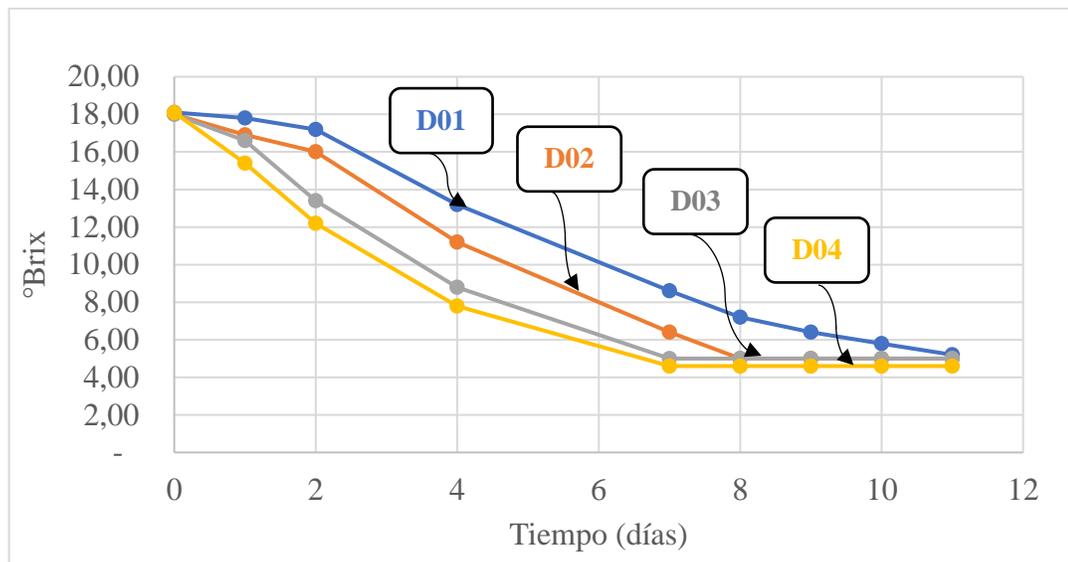
**Tabla 4.9**

*Control de (°Brix) de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación*

Días	°Brix			
	Muestras			
	D01	D02	D03	D04
0	18,1	18,0	18,0	18,1
1	17,8	16,9	16,6	15,4
2	17,2	16,0	13,4	12,2
4	13,2	11,2	8,8	7,8
7	8,6	6,4	5,0	4,6
8	7,2	5,0	5,0	4,6
9	6,4	5,0	5,0	4,6
10	5,8	5,0	5,0	4,6
11	5,2	5,0	5,0	4,6

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.4, se muestra el control (°Brix) en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, en base a los datos de la tabla 4.11.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.9.** Control (°Brix) en el proceso de fermentación alcohólica

Según la figura 4.9, se puede observar que las pruebas preliminares con levadura de panificación y vinificación presentan un valor inicial de (18,0) °Brix; al transcurrir cuatro días de fermentación alcohólica las pruebas con levadura de panificación presentan descenso (°Brix) D01 (13,2) y D02 (11,2); en comparación con las pruebas con levadura de vinificación que presentan descenso (°Brix) D03 (8,8) y D04 (7,8). Finalizando el proceso de fermentación alcohólica en un tiempo de 11 días las muestras presentaron descenso (°Brix) con los valores finales de las pruebas con levadura de panificación D01 (5.2), D02 (5.0); en comparación con las pruebas con levadura de vinificación D03 (5.0) y D04 (4.6).

#### 4.2.2.2.2 Control de acidez expresada en ácido cítrico en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares

En la tabla 4.10, se muestran los resultados obtenidos de la acidez (ácido cítrico) en función del tiempo de fermentación alcohólica de datos extraídos de Anexo E (tabla E.2), para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, utilizando el método de acidez A.O.A.C detalla en el Anexo D.2.

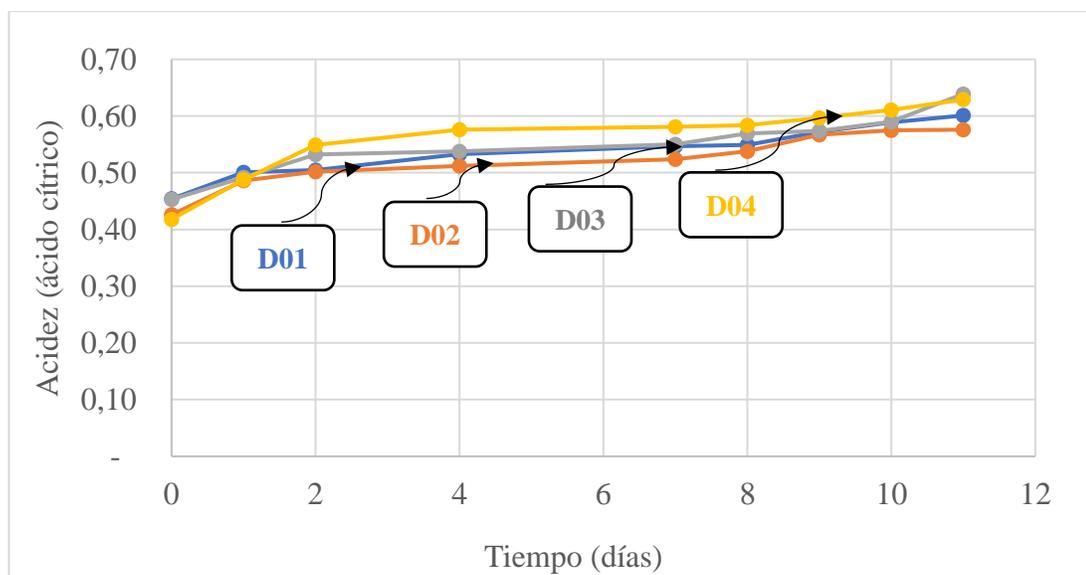
**Tabla 4.10**

*Control de acidez (ácido cítrico) de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación alcohólica*

Días	Acidez			
	Muestras			
	D01	D02	D03	D04
0	0,45	0,43	0,45	0,42
1	0,50	0,49	0,49	0,49
2	0,51	0,52	0,53	0,55
4	0,53	0,51	0,54	0,58
7	0,55	0,52	0,55	0,58
8	0,55	0,54	0,57	0,58
9	0,57	0,57	0,57	0,60
10	0,58	0,58	0,59	0,61
11	0,60	0,58	0,64	0,63

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.10, se muestra el control acidez (ácido cítrico) en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, en base a los datos de la tabla 4.10.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.10.** Control de acidez (ácido cítrico) en el proceso de fermentación alcohólica

Según la figura 4.5, las muestras preliminares presentan valores iniciales de acidez (ácido cítrico): D01 (0,45), D02(0,43), D03 (0,45) y D04 (0,42); al transcurrir cuatro días de fermentación alcohólica las pruebas con levadura de panificación presentan un incremento de acidez D01 (0,53), D02 (0,51) y las pruebas con levadura de vinificación D03 (0,54) y D04 (0,58); finalizando el proceso de fermentación alcohólica en un tiempo de 11 días las muestras presentaron un incremento de acidez donde los valores finales son: D01 (0,60), D02 (0,58), D03 (0,64) y D04 (0,63).

#### 4.2.2.2.3 Control de pH en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares

En la tabla 4.11, se muestran los resultados obtenidos de pH del tiempo de fermentación alcohólica de datos extraídos de Anexo E (tabla E.3), para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla utilizando el método potenciómetro detallada en el Anexo D.3.

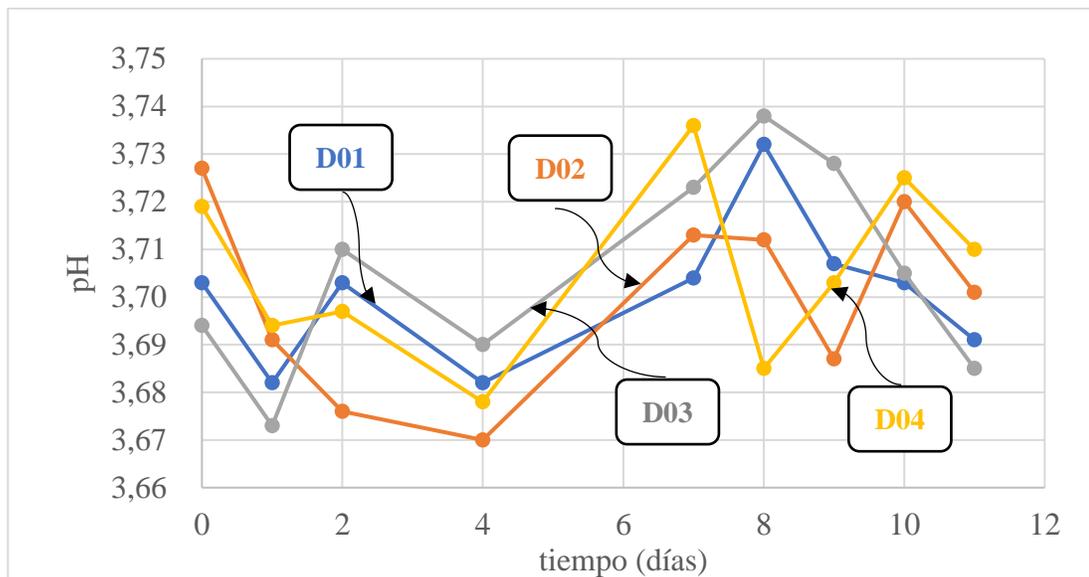
**Tabla 4.11**

*Variación de pH de las pruebas preliminares en el proceso de fermentación alcohólica*

Días	pH			
	Muestras			
	D01	D02	D03	D04
0	3,70	3,73	3,69	3,72
1	3,68	3,69	3,67	3,69
2	3,70	3,68	3,71	3,70
4	3,68	3,67	3,69	3,68
7	3,70	3,71	3,72	3,74
8	3,73	3,71	3,74	3,69
9	3,71	3,69	3,73	3,70
10	3,70	3,72	3,71	3,73
11	3,69	3,70	3,69	3,71

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.11, se muestra la gráfica del control pH en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, en base a los datos de la tabla 4.11.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.11.** Control de pH en el proceso de fermentación alcohólica

Según la figura 4.11, las muestras preliminares presentan valores iniciales de pH: D01 (3,70), D02(3,73), D03 (3,69) y D04 (3,72); al transcurrir cuatro días de fermentación alcohólica las pruebas con levadura de panificación presentan una fluctuación de pH donde los valores descendieron D01 (3,69), D02 (3,68) y las pruebas con levadura de vinificación D03 (3,69) y D04 (3,68); finalizando el proceso de fermentación alcohólica en un tiempo de 11 días las muestras presentaron una fluctuación de pH donde los valores finales de pH descendieron: D01 (3,72), D02 (3,77), D03 (3,81) y D04 (3,76).

#### **4.3 Diseño factorial $2^3$ en el proceso de fermentación alcohólica del aguardiente de pulpa de frutilla**

Para aplicar el diseño experimental en el aguardiente de pulpa de frutilla, se realizó en base a la muestra ideal D03 (figura 4,2), donde se tomaron en cuenta las variables: cantidad de levadura entre valores (0,2 - 0,4 g), tiempo de fermentación entre valores (9 - 13 días) y relación Pulpa:Agua entre valores (1,0:0,5);(1,0:1,5) durante el proceso de fermentación alcohólica; así mismo, la variable respuesta fue medida en el

aguardiente de pulpa de frutilla, donde las variables respuestas son: porcentaje de alcohol, acidez total y pH.

#### 4.3.1 Variable respuesta del porcentaje de alcohol del aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.12, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza de diseño  $2^3$  del programa estadístico StatGraphics (Centurión XVI) para Windows en el proceso de fermentación alcohólica, donde la variable respuesta es el porcentaje de alcohol de datos extraídos Anexo G (tabla G.1). Para la determinación del porcentaje de alcohol, se utilizó el método de determinación por densidad relativa (picnometría), de datos extraídos del Anexo F (tabla F.1).

**Tabla 4.12**

*Análisis de varianza de la variable respuesta porcentaje de alcohol*

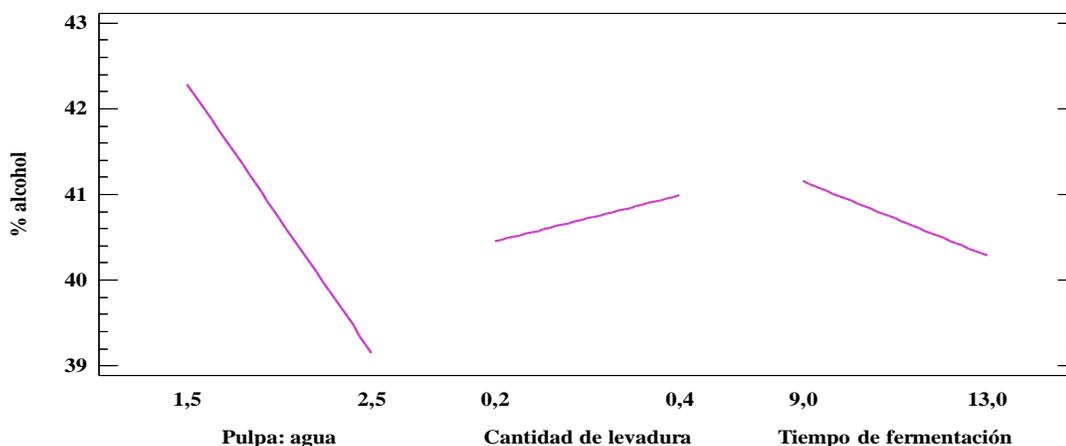
Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GI)	Media de cuadrados (CM)	F cal	F tab
A: pulpa: agua	39,46790	1	39,46790	<b>141,38</b>	<b>5,32*</b>
B: cantidad de levadura	1,14608	1	1,14608	4,11	5,32
C: tiempo de fermentación	3,03578	1	3,03578	<b>10,87</b>	<b>5,32*</b>
AB	4,76767	1	4,76767	<b>17,08</b>	<b>5,32*</b>
AC	0,36144	1	0,36144	1,29	5,32
BC	2,65397	1	2,65397	<b>9,51</b>	<b>5,32*</b>
ABC	0,71276	1	0,71275	2,55	5,32
Error total	2,23336	8	0,27917		
Total	54,37900	15			

**Fuente:** Elaboración propia

(\*)Significativo

En la tabla 4.12, según el análisis de varianza se observa que para los factores: (A, C) e interacciones (AB, BC) existe diferencia significativa debido a que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones son significativos en la etapa de fermentación alcohólica para la obtención de aguardiente de pulpa de frutilla; en comparación con el factor (B) e interacciones (AC, ABC), no existe diferencia significativa debido a que  $F_{cal} < F_{tab}$ .

En la figura 4.12 se puede observar la gráfica de efectos principales con relación al porcentaje de alcohol.

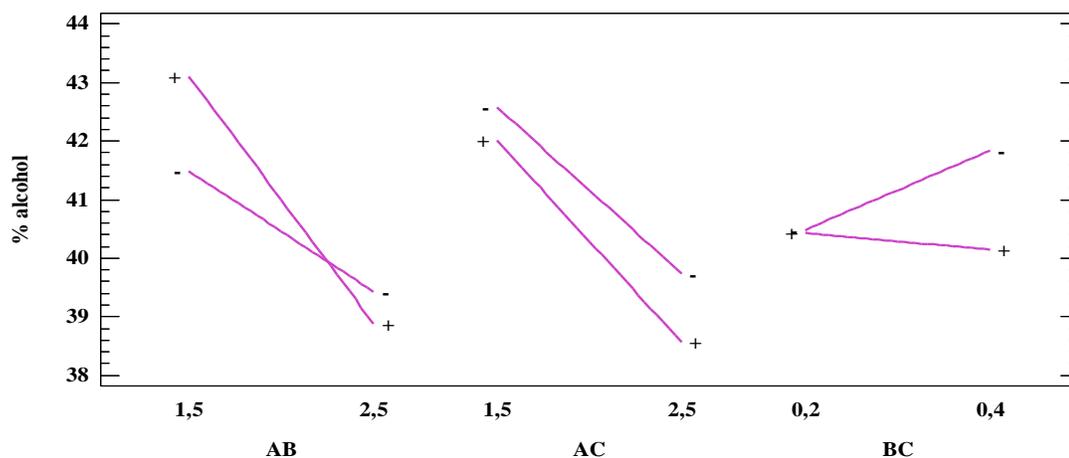


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.12.** Efectos principales con relación al porcentaje de alcohol

Según la figura 4.12, se observa que los factores: pulpa: agua (1,5-2,5) incide significativamente en el porcentaje de alcohol en un nivel alto y bajo; en comparación con la cantidad de levadura (0,2-0,4 g) y tiempo de fermentación (9-13 días) no inciden significativamente el porcentaje de alcohol en sus niveles alto y bajo.

En la figura 4.13 se muestra la gráfica de interacciones con relación al porcentaje de alcohol.

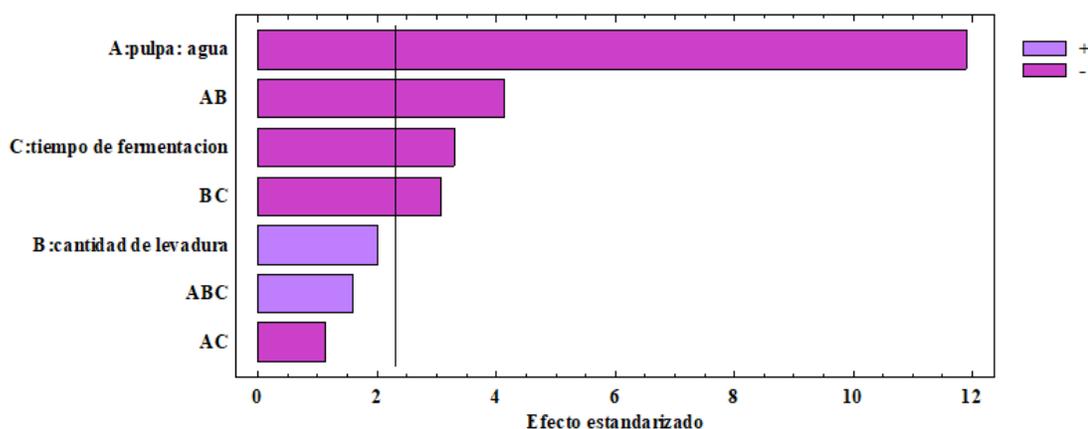


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.13.** Interacción de factores para porcentaje de alcohol

Según la figura 4.13, se observa que la interacción AB es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí; pero, cuando la relación de Pulpa:Agua es (2,5) no influye en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo entre (0,4-0,2) g de la cantidad de levadura; en comparación cuando la relación pulpa: agua es (1,5) si influye en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo entre (0,2-0,4) g de la cantidad de levadura. Así mismo, en la interacción AC se observa que cuando la relación de pulpa: agua es (1,5) influye en el porcentaje de alcohol para un nivel alto (13 días) y bajo (9 días) del tiempo de fermentación; en comparación, cuando la relación de pulpa: agua es (2,5) no influye en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo (13-9) días del tiempo de fermentación. Finalmente, en la interacción BC se observa que la cantidad de levadura no influye en el porcentaje de alcohol; pero, cuando la cantidad de levadura es (0,4) g influye levemente en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo entre (13-9 días) del tiempo de fermentación; en comparación cuando la cantidad de levadura es (0,2) g no influye en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo (13-9) días del tiempo de fermentación.

En la figura 4.14, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de alcohol, de datos extraídos de anexo G; En consecuencia, la significancia estadística lo determina la línea vertical referencia con un valor de 2,306 y por lo tanto la barras que sobre pasan la línea corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos a un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.14.** Diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de alcohol

En la figura 4.14, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores: relación Pulpa:Agua (A), tiempo de fermentación (C) y las interacciones relación pulpa: agua-cantidad de levadura (AB), cantidad de levadura-tiempo de fermentación (BC), son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ ; en comparación con el factor cantidad de levadura (B) y las interacciones relación pulpa: agua-cantidad de levadura-tiempo de fermentación (ABC), relación pulpa: agua-tiempo de fermentación (AC), que no son estadísticamente significativos.

#### 4.3.2 Variable respuesta acidez total en el aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.15, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza de diseño  $2^3$  del programa estadístico StatGraphics Centurión XVI para Windows en el proceso de fermentación alcohólica, donde la variable acidez total de datos extraídos Anexo G (tabla G.2). Para la determinación la acidez total expresa en ácido acético, se utilizó el método de determinación por volumetría, que se expresa en el Anexo F (tabla F.2).

Tabla 4.13

*Análisis de varianza de la variable respuesta acidez total*

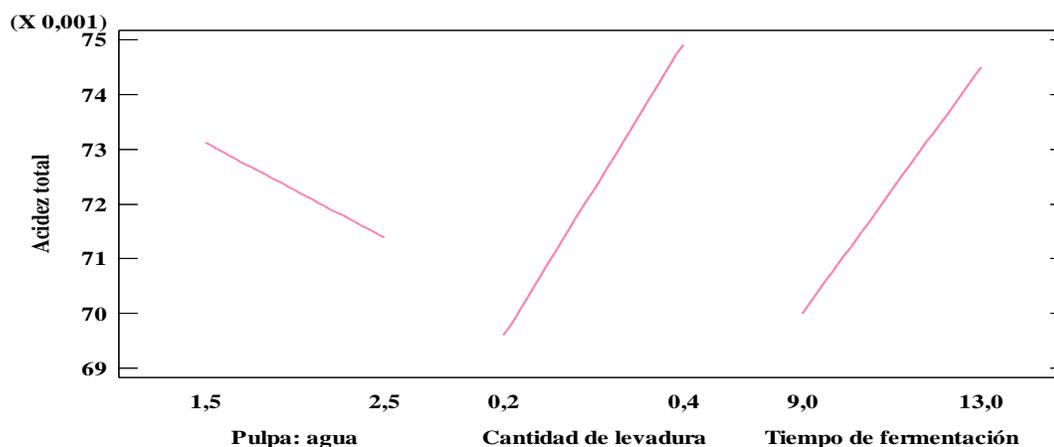
Fuente de variación FV	Suma de cuadrados SC	Grados de libertad GL	Media de cuadrados MC	F cal	F tab
A:Pulpa: agua	0,0000120756	1	0,0000120756	0,87	5,32
B:Cantidad de levadura	0,0001128910	1	0,0001128910	<b>8,10</b>	<b>5,32*</b>
C:Tiempo de fermentación	0,0000814506	1	0,0000814506	<b>5,85</b>	<b>5,32*</b>
AB	0,0001762260	1	0,0001762260	<b>12,65</b>	<b>5,32*</b>
AC	0,0000017556	1	0,0000017556	0,13	5,32
BC	0,0002272560	1	0,0002272560	<b>16,31</b>	<b>5,32*</b>
ABC	0,0000676506	1	0,0000676506	4,85	5,32
Error total	0,0001114750	8	0,0000139344		5,32
Total	0,0007907790	15			

Fuente: Elaboración propia

(\*) Significativo

En la tabla 4.13, según el análisis de varianza se observa que para los factores: (B, C) e interacciones (AB, BC) existe diferencia significativa debido a que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones son significativos en la etapa de fermentación alcohólica para la obtención de aguardiente de pulpa de frutilla; en comparación con el factor (A) e interacciones (AC, ABC), no existe diferencia significativa debido a que  $F_{cal} < F_{tab}$ .

En la figura 4.15, se puede observar la gráfica de efectos principales con relación de la acidez total.

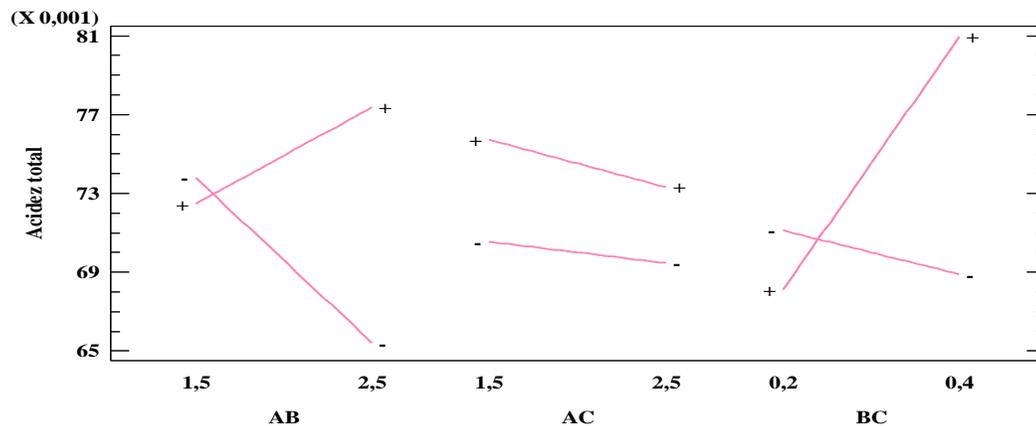


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15. Efectos principales con relación de la acidez total

Según la figura 4.15 se observa que los factores: cantidad de levadura (0,2-0,4 g) y tiempo de fermentación (9-13 días) inciden significativamente en la acidez total en sus niveles alto y bajo; en comparación con el factor relación pulpa: agua (1,5-2,5) no incide significativamente en la acidez total en un nivel alto y bajo.

En la figura 4.16, se muestra la gráfica de interacciones con relación a la acidez total



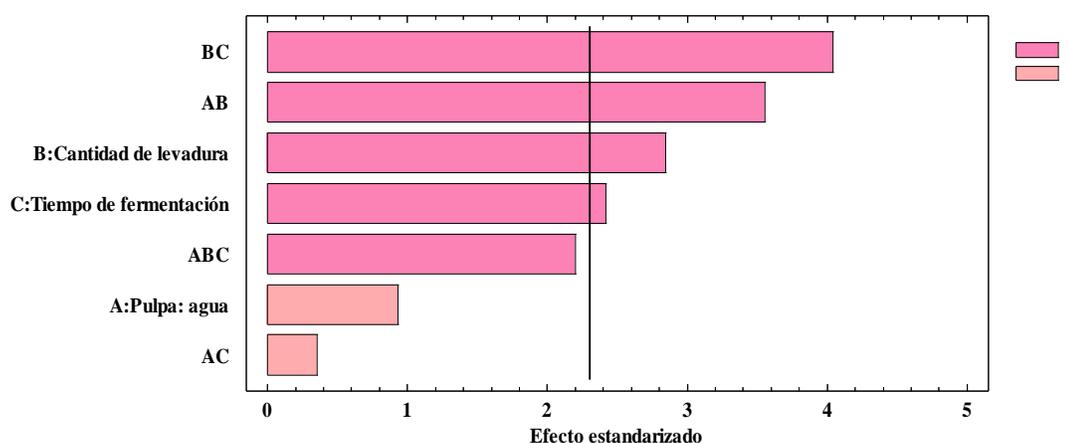
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.16.** Interacciones con relación a la acidez total

Según la figura 4.16, se observa que la interacción AB es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí; pero, cuando la relación de pulpa: agua es (2,5) influye en la acidez total para un nivel alto y bajo entre (0,2-0,4) g de la cantidad de levadura; en comparación cuando la relación pulpa: agua es (1,5) no influye en la acidez total para un nivel alto y bajo (0,2-0,4) g de la cantidad de levadura. Así mismo, en la interacción AC se observa que cuando la relación de pulpa: agua es (1,5) no influye en la acidez para un nivel alto y bajo entre (13-9) días del tiempo de fermentación; en comparación, cuando la relación de pulpa: agua es (2,5) no influye en la acidez para un nivel alto y bajo entre (13-9) días del tiempo de fermentación. Finalmente, en la interacción BC es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí; pero cuando la cantidad de levadura es (0,4) g influye significativamente en la acidez para un nivel alto y bajo entre (13 - 9) días del tiempo de fermentación; en comparación cuando la cantidad de levadura

es (0,2) g no influye en la acidez para un nivel alto y bajo entre (13-9) días del tiempo de fermentación.

En la figura 4.17, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para la acidez, de datos extraídos de anexo G; En consecuencia, la significancia estadística lo determina la línea vertical referencia con un valor de 2,306 y por lo tanto la barras que sobrepasan la línea corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos a un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.17.** Diagrama de Pareto estandarizado para acidez total

En la figura 4.17, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde las interacciones: cantidad de levadura-tiempo de fermentación (BC), relación pulpa: agua-cantidad de levadura (AB) y los factores cantidad de levadura (B) y tiempo de fermentación (C) son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ ; en comparación con el factor relación pulpa: agua (A) y las interacciones relación pulpa: agua-cantidad de levadura-tiempo de fermentación (ABC), relación pulpa: agua-tiempo de fermentación (AC), que no son estadísticamente significativos.

### 4.3.3 Variable respuesta pH en el aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.14, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza de diseño  $2^3$  del programa estadístico Statgraphics Centurión XVI para Windows en el proceso de fermentación alcohólica, donde la variable pH de datos extraídos Anexo G (tabla G.3). Para la determinación la pH, se utilizó el método de determinación por potenciometría, de datos extraídos del Anexo F (tabla F.3).

**Tabla 4.14**

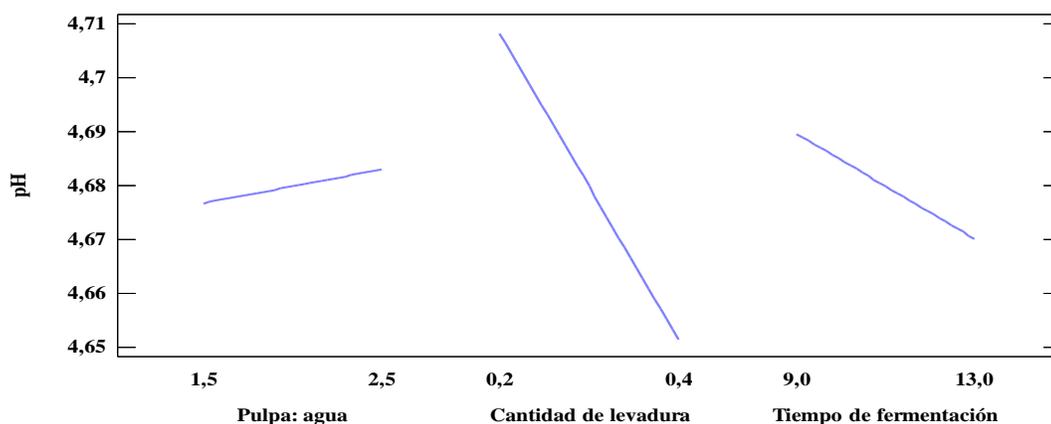
#### *Análisis de varianza de la variable respuesta pH*

Fuente de variación FV	Suma de Cuadrados SC	Grados de libertad Gl	Medias de cuadrados MC	F cal	F tab
A:Pulpa: agua	0,00015625	1	0,00015625	0,04	5,32
B:Cantidad de levadura	0,01288230	1	0,01288230	3,13	5,32
C:Tiempo de fermentación	0,00152100	1	0,00152100	0,37	5,32
AB	0,00108900	1	0,00108900	0,26	5,32
AC	0,00013225	1	0,00013225	0,03	5,32
BC	0,00004225	1	0,00004225	0,01	5,32
ABC	0,00010000	1	0,00010000	0,02	5,32
Error total	0,03296000	8	0,00412000		
Total (corr.)	0,04888300	15			

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.14, según el análisis de varianza se observa que para los factores: (A, B, C) e interacciones (AB, AC, BC ABC) no existe diferencia significativa debido a que  $F_{cal} < F_{tab}$ ; por tanto, se acepta la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones no son significativos en la etapa de fermentación alcohólica para la obtención de aguardiente de pulpa de frutilla.

En la figura 4.18, se puede observar la gráfica de efectos principales con relación al pH.

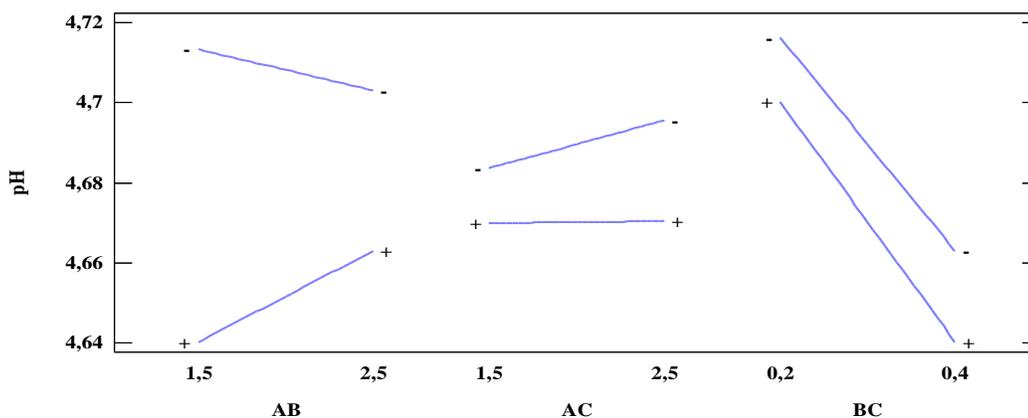


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.18.** Efectos principales con relación al pH

Según la figura 4.18, se observa que los factores: Pulpa:Agua (1,5-2,5) y tiempo de fermentación (9-13 días) no inciden significativamente en el pH en sus niveles alto y bajo; en comparación con el factor cantidad de levadura (0,2-0,4)g incide significativamente leve en el pH en un nivel alto y bajo.

En la figura 4.19, se muestra la gráfica de interacciones con relación al pH.



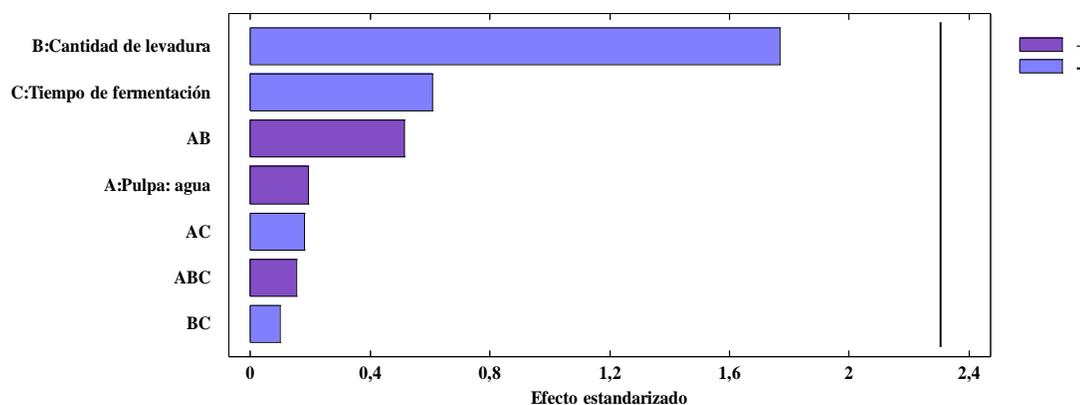
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.19.** Interacciones con relación al pH

Según la figura 4.19, se observa que la interacción AB es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí; pero, cuando la relación de pulpa: agua es (2,5) influye en la acidez total para un nivel alto y bajo entre (0,20-0,40) g de

la cantidad de levadura; en comparación cuando la relación pulpa: agua es (1,5) no influye en la acidez total para un nivel alto y bajo entre (0,20-0,40) g de la cantidad de levadura. Así mismo, en la interacción AC se observa que cuando la relación de pulpa: agua es (1,5) influye en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo entre (13-9) días del tiempo de fermentación; en comparación, cuando la relación de pulpa: agua es (2,5) no influye en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo entre (13-9) días del tiempo de fermentación. Finalmente, en la interacción BC se observa que la cantidad de levadura no influye en el porcentaje de alcohol; pero, cuando la cantidad de levadura es (0,40) g influye levemente en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo entre (13-9) días del tiempo de fermentación; en comparación cuando la cantidad de levadura es (0,20) g no influye en el porcentaje de alcohol para un nivel alto y bajo entre (13-9) días del tiempo de fermentación.

En la figura 4.20, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado el pH, de datos extraídos de anexo G; En consecuencia, la significancia estadística lo determina la línea vertical referencia con un valor de 2,306 y por lo tanto la barras que sobre pasan la línea corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos a un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.20.** Diagrama de Pareto estandarizado para pH

En la figura 4.20, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores: cantidad de levadura (B), tiempo de

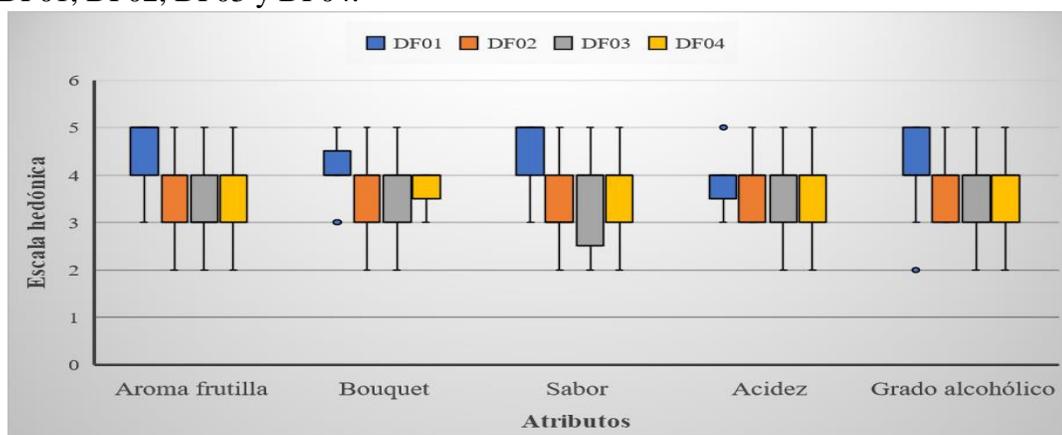
fermentación (C) y la interacción relación pulpa: agua-cantidad de levadura (AB), el factor relación pulpa: agua (A), y las interacciones relación pulpa: agua-tiempo de fermentación (AC), relación pulpa: agua-cantidad de levadura-tiempo de fermentación (ABC), cantidad de levadura-tiempo de fermentación (BC), no son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores no sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.3.4 Evaluación sensorial de muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla

Para realizar la evaluación sensorial de las ocho muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla, 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 pulpa de frutilla.

##### 4.3.4.1 Estadístico de caja y bigote de muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla nivel bajo

En la figura 4.21, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos aroma frutilla, bouquet, sabor, acidez y grado alcohólico de las muestras DF01, DF02, DF03 y DF04.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.21.** Estadístico de caja y bigote de muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla

Según la figura 4.21, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos para las muestras evaluadas son: aroma a frutilla 5(DF01); bouquet 4(DF01), sabor 5(DF01); acidez 4(DF01) y grado alcohólico 4(DF01). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que existe diferencia significativa para el atributo aroma frutilla y sabor entre las muestras evaluadas. Sin embargo, no existe diferencia estadística para el atributo bouquet donde  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1,65 < 2,83$ ) de datos extraídos de Anexo C 8 (tabla C.8.2), acidez donde  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,39 < 2,83$ ) de datos extraídos de Anexo Anexo C.10 (tabla C.10.2) y grado alcohólico donde  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $2,61 < 2,83$ ) de datos extraídos de Anexo C.11 (tabla C.11.2), entre las muestras evaluadas para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

#### 4.3.4.1.1 Estadísticos de Tukey para el atributo aroma a frutilla de muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.15, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C.7 (tabla C.7.2), para el atributo aroma a frutilla.

**Tabla 4.15**

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

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
DF01-DF04	0,8	0,83	Significativo
DF01-DF02	0,8	0,83	Significativo
DF01-DF03	1,2	0,83	Significativo
DF04-DF02	0,0	0,83	No significativo
DF04-DF03	0,4	0,83	No significativo
DF02-DF03	0,4	0,83	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.15 se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos DF01-DF04, DF01-DF02, DF01-DF03. Sin embargo, para los tratamientos DF04-DF02, DF04-DF03, DF02-DF03, no existe diferencia estadística para un nivel de nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

#### 4.3.4.1.2 Estadísticos de Tukey para el atributo sabor de muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.16, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C.9 (tabla C.9.2), para el atributo sabor.

**Tabla 4.16**

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

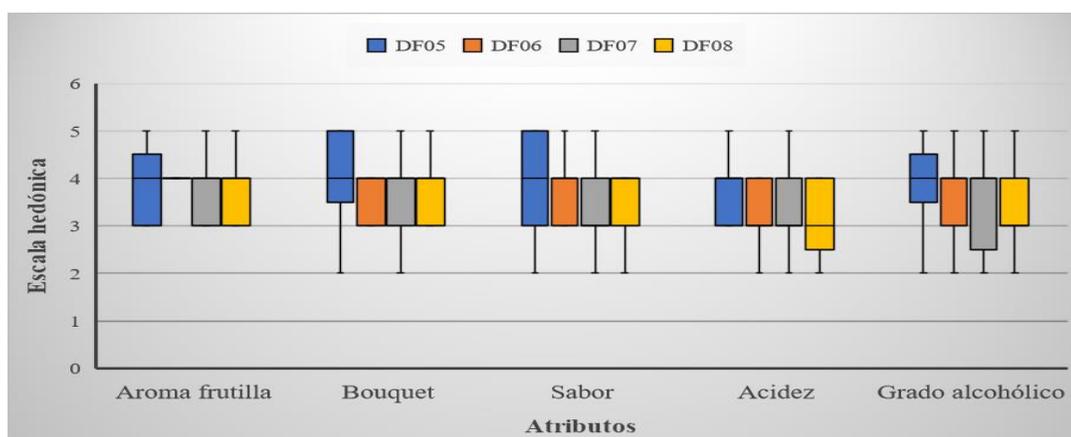
Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
DF01-DF04	0,80	0,72	Significativo
DF01-DF02	1,07	0,72	Significativo
DF01-DF03	1,13	0,72	Significativo
DF04-DF02	0,27	0,72	No significativo
DF04-DF03	0,34	0,72	No significativo
DF02-DF03	0,07	0,72	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.16, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos DF01-DF04, DF01-DF02, DF01-DF03. Sin embargo, para los tratamientos DF04-DF02, DF04-DF03, DF02-DF03 no existe diferencia significativa para un nivel de nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

#### 4.3.4.2 Estadístico de caja y bigote de muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla nivel alto

En la figura 4.22, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos aroma frutilla, bouquet, sabor, acidez y grado alcohólico de las muestras DF05, DF06, DF07 y DF08.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.22.** Estadístico de caja y bigote para comparar muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla

Según la figura 4.22, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos para las muestras evaluadas son: aroma a frutilla 4(DF05); bouquet 4(DF05), sabor 4(DF05); acidez 4(DF05) y grado alcohólico 4(DF05). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que existe diferencia significativa para los atributos acidez y grado alcohólico entre las muestras evaluadas. Sin embargo, no existe diferencia significativa para el atributo aroma frutilla donde  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,79 < 2,83$ ) de datos extraídos de Anexo C.12 (Tabla C.12.2), bouquet donde  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $2,27 < 2,83$ ) de datos extraídos de Anexo C.13 (tabla C.13.2) y sabor donde  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $2,51 < 2,83$ ) de datos extraídos de Anexo C.14 (tabla C.14.2) entre las muestras evaluadas para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

#### 4.3.4.2.1 Estadísticos de Tukey para el atributo acidez de muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.17, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C.16 (tabla C.16.2), para el atributo acidez.

**Tabla 4.17***Estadístico Tukey para el atributo acidez*

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
DF05-DF06	0,47	0,58	No significativo
DF05-DF07	0,47	0,58	No significativo
DF05-DF08	0,67	0,58	Significativo
DF06-DF07	0,00	0,58	No significativo
DF06-DF08	0,20	0,58	No significativo
DF07-DF08	0,20	0,58	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.17, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos DF05-DF08. Sin embargo, para los tratamientos DF05-DF06, DF05-DF07, DF06-DF07, DF06-DF08, DF07-DF08 no existe diferencia significativa para un nivel de nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

#### 4.3.4.2.2 Estadísticos de Tukey para el atributo grado alcohólico de muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C.16 (tabla C.16.2), para el atributo grado alcohólico.

**Tabla 4.18***Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico*

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
DF05-DF06	0,20	0,59	No significativo
DF05-DF07	0,20	0,59	Significativo
DF05-DF08	0,63	0,59	Significativo
DF06-DF07	0,40	0,59	No significativo
DF06-DF08	0,46	0,59	No significativo
DF07-DF08	0,06	0,59	No significativo

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.18, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos DF05-DF07, DF05-DF08. Sin embargo, para los tratamientos DF05-DF06, DF06-DF07, DF06-DF08, DF07-DF08 no existe diferencia significativa para un nivel de nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

Realizada la evaluación sensorial y el análisis estadístico de las ocho muestras experimentales de aguardiente de pulpa de frutilla de nivel alto y nivel bajo, donde las muestras DF01 y DF05 fueron las que obtuvieron mayores medianas por no presentar un alto contenido alcohólico y por presentar aroma muy pronunciado a frutilla. Así mismo, se pudo observar que las muestras DF01 y DF05 presentan la misma relación Pulpa:Agua (1,00;0,50), levadura (0,2)g, no obstante varían en el tiempo de fermentación ya que DF01 fue de 9 días y de DF05 fue de 13 días. Por tales motivos, en función de las medianas y la preferencia de los jueces al finalizar la evaluación sensorial se procedió a elegir la prueba DF01 como la muestra final del diseño experimental, ya que presenta la mayor mediana en comparación con las demás muestras. Observando el análisis estadístico caja y bigote para la muestra ideal y para la muestra final en función de sus medianas de los atributos evaluados, se tomó en cuenta como muestra final DF01 por presentar la mayor mediana y la preferencia de los jueces en comparación con la muestra D01.

#### 4.4 Caracterización del aguardiente de pulpa de frutilla

En la caracterización del producto final, se tomaron en cuenta los parámetros físicos y fisicoquímicos, los cuales se detallan a continuación:

##### 4.4.1 Análisis físico del aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.19, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de frutilla.

**Tabla 4.19**

*Parámetros físicos del aguardiente de pulpa de frutilla*

Parámetros	Unidad	Resultado
Grado alcohólico	°GL	40,000
pH	-	4,451
Acidez volátil	g/l	0,108

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.19, se puede observar los resultados del análisis físico del aguardiente de pulpa de frutilla que presenta: Grado alcohólico 40,000 °GL; pH 5,451; y una acidez volátil expresada en ácido acético 0,108 g/l.

#### 4.4.2 Análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de frutilla

En la tabla 4.20, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de frutilla.

**Tabla 4.20**

*Parámetros fisicoquímicos del aguardiente de pulpa de frutilla*

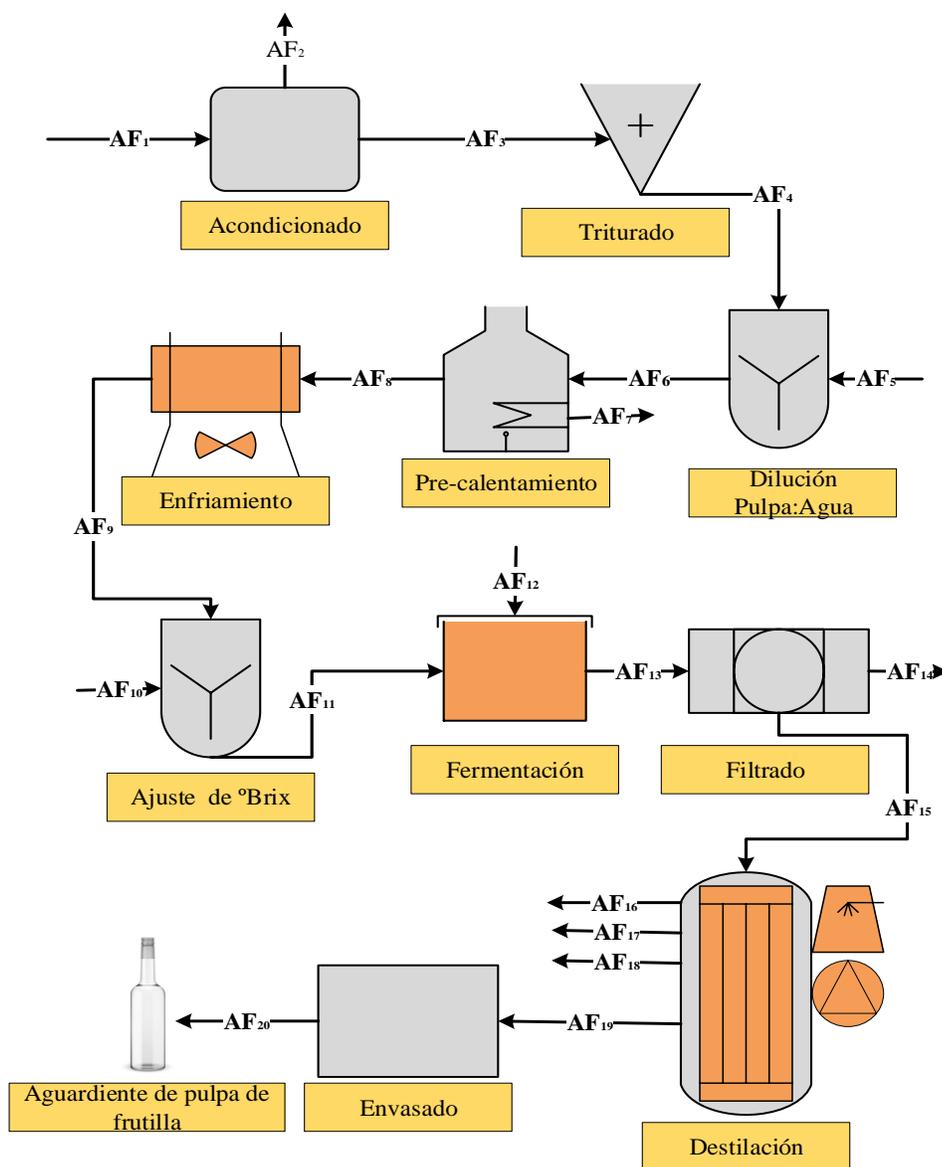
Parámetros	Unidad	Resultado
Metanol	mg/l	31,00
Azúcares reductores	g/l	1,77
Anhídrido sulfuroso	mg/l	4,96
Extracto seco total	g/l	0,00

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.20, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del aguardiente de pulpa de frutilla que presenta: Metanol 31,00 mg/l; azúcares reductores 1,77 g/l; anhídrido sulfurosos 4,96 mg/l y extracto seco total 0,00 n.d g/l.

#### 4.5 Balance general para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla

En la figura 4.23, se muestra el balance general en las etapas donde se realizaron los balances de materia y energía en el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.23.** Balance general en la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla

Donde:

$AF_1$  = Frutilla seleccionada (g)

$AF_2$  = Descarte de frutilla (g)

$AF_3$  = Frutilla acondicionada (g)

$AF_4$  = Pulpa de frutilla (g)

$AF_5$  = Agua (g)

$AF_6$  = Pulpa de frutilla diluida (g)

$AF_7$  = Agua evaporada (g)

$AF_8$  = Pulpa de frutilla pre-calentada (g)

$AF_9$  = Pulpa de frutilla enfriada (g)

$AF_{10}$  = Azúcar (g)

$AF_{11}$  = Pulpa de frutilla corregida (g)

$AF_{12}$  = Levadura activada (g)

$AF_{13}$  = Pulpa de frutilla fermentada (g)

$AF_{14}$  = Borra de pulpa de frutilla (g)

$AF_{15}$  = Fermentado de frutilla (g)

$AF_{16}$  = Borra del destilado (g)

$AF_{17}$  = Cabeza o metanol del aguardiente de pulpa de frutilla (g)

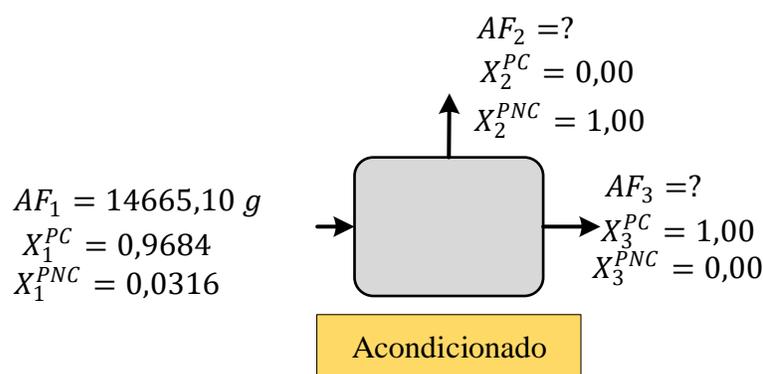
$AF_{18}$  = Cola del aguardiente de pulpa de frutilla (g)

$AF_{19}$  = Aguardiente de frutilla (g)

$AF_{20}$  = Aguardiente de frutilla envasado (g)

#### 4.5.1.1 Balance de materia en la etapa de acondicionado de frutilla

En la figura 4.24, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de acondicionado de frutilla. Los datos de porción comestible (PC) 96,84% y porción no comestible (PNC) 3,16 % se extrajeron de la tabla 4.1.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.24.** Etapa de acondicionado

Donde:

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

$X_2^{NPC}$  =Fracción porcentual de la porción no comestible de la corona

$X_1^{NPC}$  =Fracción porcentual de la porción no comestible de la frutilla

$X_3^{PC}$  =Fracción porcentual de la porción comestible de la frutilla acondicionada

$X_2^{PC}$  =Fracción porcentual de la porción comestible de la corona

$X_3^{NPC}$  =Fracción porcentual de la porción no comestible de la frutilla acondicionada

Balance de materia global en la etapa de acondicionado de frutilla:

$$AF_1 = AF_2 + AF_3 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Balance parcial para la porción comestible en la etapa de acondicionado de frutilla:

$$AF_1 * X_1^{PC} = AF_2 * X_2^{PC} + AF_3 * X_3^{PC} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Debido a que  $AF_2$  no presenta porción comestible, la ecuación 4.2 se reduce a:

$$AF_1 * X_1^{PC} = \cancel{AF_2 * X_2^{PC}} + AF_3 * X_3^{PC} \quad AF_1 * X_1^{PC} = AF_3 * X_3^{PC}$$

Despejando  $AF_3$  de la ecuación 4.2, se obtiene:

$$AF_3 = \frac{AF_1 * X_1^{PC}}{X_3^{PC}}$$

$$AF_3 = \frac{14665,10 * 0,9684}{1}$$

$AF_3 = 14201,68$  g de frutilla acondicionada

Balance parcial para la porción no comestible en la etapa de acondicionado de frutilla:

$$AF_1 * X_1^{PNC} = AF_2 * X_2^{PNC} + AF_3 * X_3^{PNC} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Debido a que  $AF_3$  no presenta porción no comestible, la ecuación 4.3 se reduce a:

$$AF_1 * X_1^{PNC} = AF_2 * X_2^{PNC} + \cancel{AF_3 * X_3^{PNC}}$$

Despejando  $AF_2$  de la ecuación 4.3, se obtiene:

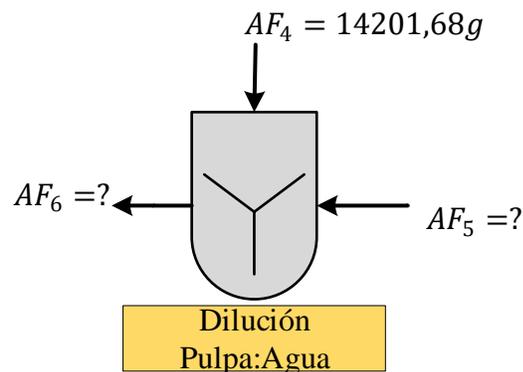
$$AF_2 = \frac{AF_1 * X_1^{PNC}}{X_2^{PNC}}$$

$$AF_2 = \frac{14665,10 * 0,0316}{1}$$

$$AF_2 = 463,42 \text{ g de corona de frutilla}$$

#### 4.5.1.2 Balance de materia en la etapa de dilución de la pulpa de frutilla

En la figura 4.25, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de dilución de la pulpa de frutilla.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.25.** Etapa de dilución Pulpa:Agua

Donde:

$X_4^F$  = Fracción de relación de la pulpa de frutilla

$X_5^A$  = Fracción de relación del agua

Balance de materia global en la etapa de dilución de la pulpa de frutilla con agua:

$$AF_4 + AF_5 = AF_6$$

Ecuación 4.4

Cálculo de la fracción de relación de la pulpa de frutilla y agua:

$$X_4^F = \frac{1,00}{1,50} = 0,6667 \quad X_5^A = \frac{0,50}{1,50} = 0,3333$$

Balance parcial para la pulpa diluida de frutilla mediante la fracción de relación en la etapa de dilución de la pulpa de frutilla:

$$AF_4 = AF_6 * X_4^F \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Despejando  $AF_6$  de la ecuación 4.5, se obtiene:

$$AF_6 = \frac{AF_4}{X_4^F}$$

$$AF_6 = \frac{14201,68 \text{ g}}{0,6667}$$

$AF_6 = 21301,45$  g de pulpa diluida de frutilla con agua

Balance parcial para el agua mediante la fracción de relación en la etapa de dilución de la pulpa de frutilla:

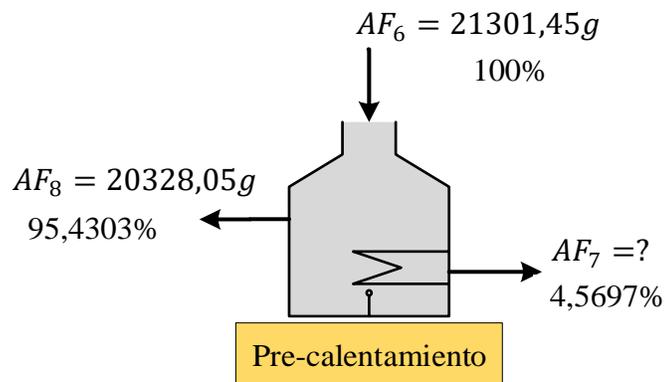
$$AF_5 = AF_6 * X_5^A \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$AF_5 = 21301,45g * 0,3333$$

$AF_5 = 7099,77$  g de agua para la pulpa de frutilla

### 4.5.1.3 Balance de materia en la etapa de precalentado de la pulpa de frutilla diluida

En la figura 4.26, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de precalentado de la pulpa de frutilla diluida a una temperatura de 65°C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26. Etapa de pre-calentamiento

Balance de materia global en la etapa de precalentado de la pulpa diluida de frutilla:

$$AF_6 = AF_7 - AF_8 \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Para el cálculo de  $AF_8$ , se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de precalentado:

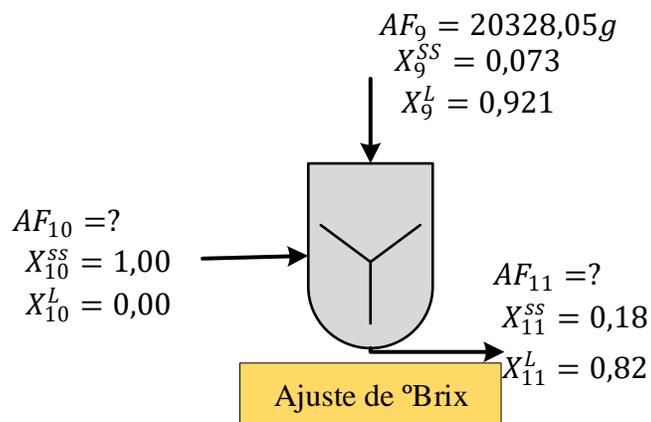
$$AF_7 = AF_6 * X_7^R \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$AF_7 = 21301,45g * 0,045697$$

$$AF_7 = 973,41 \text{ g de agua evaporada}$$

#### 4.5.1.4 Balance de materia en la etapa de ajuste de los sólidos solubles (°Brix) de la pulpa de frutilla diluida

En la figura 4.27, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de ajuste de sólidos solubles, donde la pulpa de frutilla diluida se encuentra a 20°C.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.27.** Etapa de ajuste de °Brix

Donde:

$X_9^{SS}$  = Fracción porcentual de los sólidos solubles de la pulpa diluida de frutilla

$X_9^L$  = Fracción porcentual de líquido de la pulpa diluida de frutilla

$X_{10}^{SS}$  = Fracción porcentual de los sólidos solubles de azúcar

$X_{10}^L$  = Fracción porcentual de líquido de azúcar

$X_{11}^{SS}$  = Fracción porcentual de los sólidos solubles de la pulpa de frutilla corregida

$X_{11}^L$  = Fracción porcentual de líquido de la pulpa de frutilla corregida

Balance de materia global en la etapa de ajuste de °Brix de la pulpa diluida de frutilla:

$$AF_9 + AF_{10} = AF_{11} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Balance parcial de materia para sólido en la etapa de ajuste de °Brix:

$$AF_9 * X_9^L + AF_{10} * X_{10}^L = AF_{11} * X_{11}^L \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Debido a que  $AF_{10}$  no presenta fracción porcentual de líquido, la ecuación 4.2 se reduce a:

$$AF_9 * X_9^L + \cancel{AF_{10} * X_{10}^L} = AF_{11} * X_{11}^L$$

$$AF_{11} = \frac{AF_9 * X_9^L}{X_{11}^L}$$

$$AF_{11} = \frac{20328,05 \text{ g} * 0,921}{0,82}$$

$$AF_{11} = 22831,87 \text{ g de pulpa corregida}$$

Para el cálculo de  $AF_{10}$  se tomó en cuenta la ecuación 4.9:

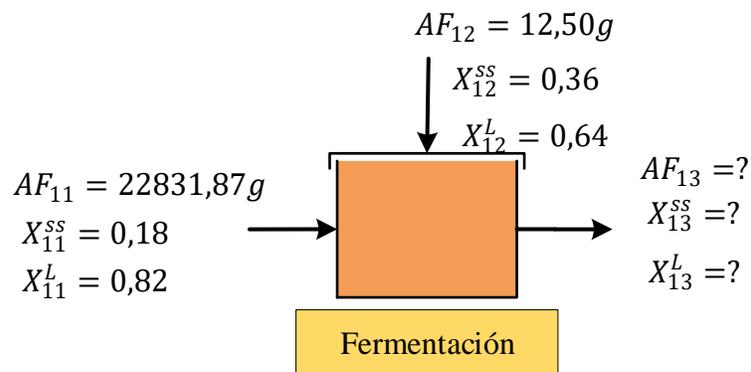
$$AF_{10} = AF_{11} - AF_9$$

$$AF_{10} = 22831,87 \text{ g} - 20328,05 \text{ g}$$

$$AF_{10} = 2503,87 \text{ g de azúcar}$$

#### 4.5.1.5 Balance de materia en la etapa de fermentación

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



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.28.** Etapa de fermentación

Donde:

$X_{11}^{SS}$  =Fracción porcentual de los sólidos solubles de la pulpa de frutilla

$X_{12}^{SS}$  =Fracción porcentual de líquido de levadura inoculada

$X_{11}^L$  =Fracción porcentual de líquido de la pulpa de frutilla

$X_{13}^L$  =Fracción porcentual de sólidos solubles de la pulpa de frutilla inoculada

$X_{12}^{SS}$  =Fracción porcentual de los sólidos solubles de levadura inoculado

$X_{13}^{SS}$  =Fracción porcentual de líquido de la pulpa de frutilla inoculado

Balance de materia global en la etapa de fermentación de la pulpa diluida de frutilla:

$$AF_{11} + AF_{12} = AF_{13} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Para el cálculo de  $AF_{14}$ , se tomó en cuenta la ecuación 4.11:

$$AF_{13} = 22831,87 \text{ g} + 12,50 \text{ g}$$

$$AF_{13} = 22844,37 \text{ g de pulpa de frutilla fermentada}$$

Balance parcial de materia para líquido en la etapa de fermentación de la pulpa diluida:

$$AF_{11} * X_{11}^L + AF_{12} * X_{12}^L = AF_{13} * X_{13}^L \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Despejando  $X_{13}^L$  de la ecuación 4.12, se obtiene:

$$X_{13}^L = \frac{AF_{11} * X_{11}^L + AF_{12} * X_{12}^L}{AF_{13}}$$

$$X_{13}^L = \frac{22831,87 * 0,82 + 12,50 * 0,64}{22844,37}$$

$$X_{13}^L = 0,82 \text{ de líquido}$$

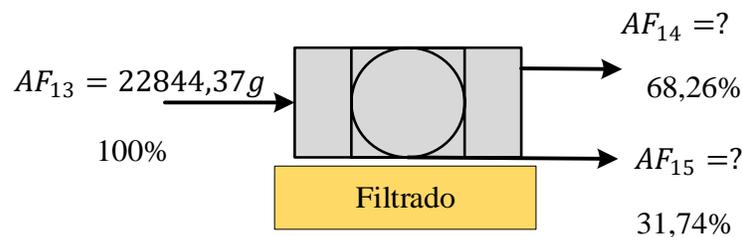
Fracción porcentual de componentes:

$$X_{13}^{SS} + X_{13}^L = 1,00 \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$$X_{13}^{SS} = 1,00 - 0,82 \quad X_{13}^{SS} = 0,18 \text{ de sólidos solubles}$$

#### 4.5.1.6 Balance de materia en la etapa de filtrado de la pulpa de frutilla fermentada

En la figura 4.29, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de filtrado de la pulpa de frutilla fermentada.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.29.** Etapa de filtrado

Balance de materia global en la etapa de filtrado del mosto de pulpa de frutilla:

$$AF_{13} = AF_{14} - AF_{15} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Para el cálculo de  $AF_{14}$  se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de filtrado:

$$AF_{14} = AF_{13} * X_{14}^R \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$AF_{14} = 22844,37 \text{ g} * 0,3174$$

$$AF_{14} = 7250,80 \text{ g de borra de pulpa de frutilla}$$

Para el cálculo de  $AF_{15}$  se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de filtrado:

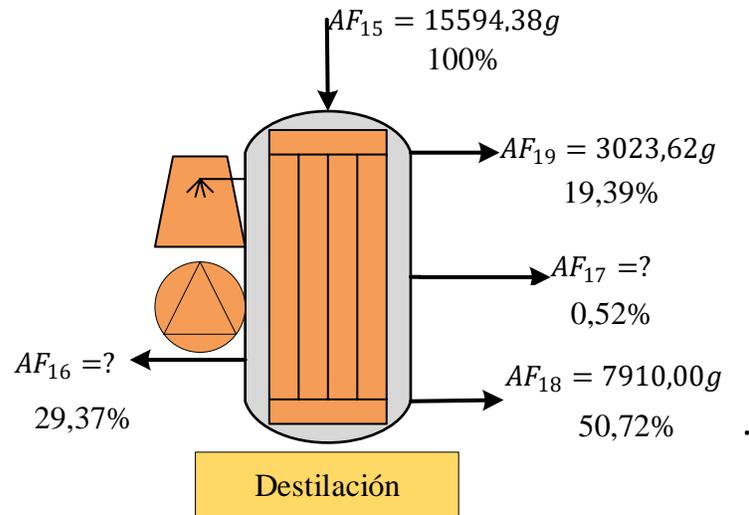
$$AF_{15} = AF_{13} * X_{15}^R \quad \text{Ecuación 4.16}$$

$$AF_{15} = 22844,37 \text{ g} * 0,6826$$

$$AF_{15} = 15593,60 \text{ g de pulpa de frutilla fermentada}$$

#### 4.5.1.7 Balance de materia en la etapa del destilado

En la figura 4.30, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de filtrado de la pulpa de frutilla fermentada.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.30.** Etapa de destilación

Balance de materia global en la etapa de destilado de la pulpa de frutilla fermentada:

$$AF_{15} = AF_{16} - AF_{17} - AF_{18} - AF_{19} \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Para el cálculo de  $AF_{16}$  se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en el destilado:

$$AF_{16} = AF_{15} * X_{16}^R \quad \text{Ecuación 4.18}$$

$$AF_{16} = 15594,38 \text{ g} * 0,2937$$

$$AF_{16} = 4580,06 \text{ g de borra de pulpa de frutilla destilada}$$

Para el cálculo de  $AF_{17}$  se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en el destilado:

$$AF_{17} = AF_{15} * X_{17}^R \quad \text{Ecuación 4.19}$$

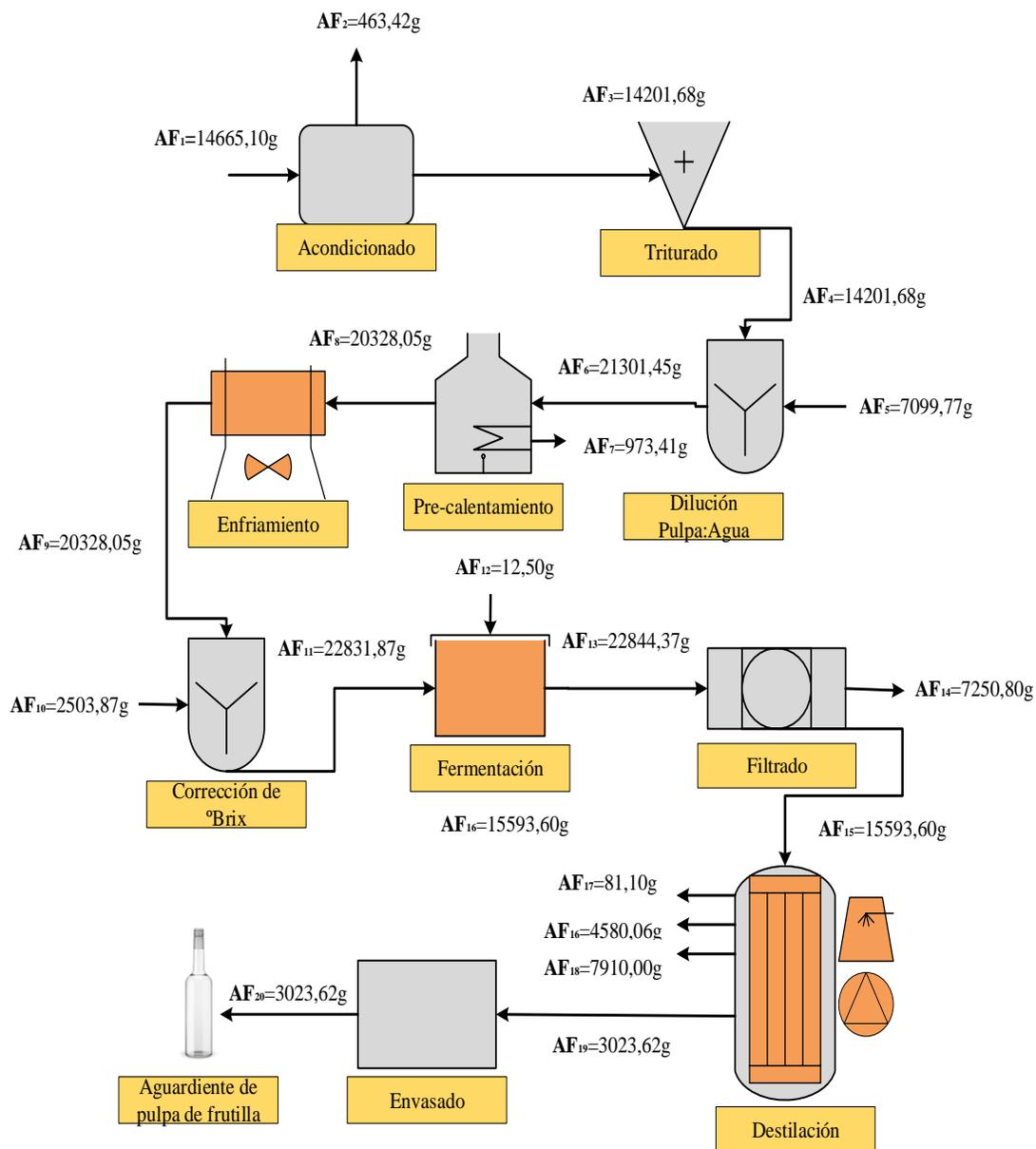
$$AF_{17} = 15594,38 \text{ g} * 0,0052$$

$$AF_{17} = 81,10 \text{ g de cabeza o metanol}$$

A partir de 14665,10 g de frutilla acondicionada, se obtiene:

$$AF_{19} = 3832,22 \text{ ml o } 3,83222 \text{ l de aguardiente de pulpa de frutilla}$$

En la figura 4.31, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia en el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.31.** Resumen del balance de materia en el proceso de elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla

#### 4.5.1.8 Balance de energía para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla

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

$$L_1(\cancel{\varepsilon C_1} + \cancel{\varepsilon P_1} + P_{V1}) + Q - L_2(\cancel{\varepsilon P_2} + \cancel{\varepsilon C_2} + \mu_2 + P_{V2}) = \cancel{T} + \cancel{2F} + \frac{d\theta \gamma^4}{d\theta}$$

$$L_1(\mu_1 + P_{V1}) + Q = L_2(\mu_2 + P_{V2}) = 0$$

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

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

$$Q = L_1 \Delta H$$

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

$$Q = L_1 C_p \Delta H \quad \text{Ecuación 4.20}$$

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

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

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

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

$$Q_T = Q_{cedido} + Q_{ganado} \quad \text{Ecuación 4.21}$$

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

$$Q_1 = \Delta H L = L * \lambda \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Para el cálculo del balance de energía en las diferentes etapas de la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, 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 4.23, de la tal forma en el presente trabajo se determinó el Cp de de la frutilla:

$$C_p = X_w C_w + X_c C_c + X_p C_p + X_a C_a + X_f C_f \quad \text{Ecuación 4.23}$$

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 4.21.

**Tabla 4.21**

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

Calor específico	Valor 1 KJ/Kg°C	Valor 2 KJ/Kg°C
$C_w$ (agua)	4,18	4,18
$C_c$ (carbohidratos)	1,40	1,22
$C_p$ (proteína)	1,60	1,90
$C_f$ (grasa)	1,70	1,90
$C_a$ (ceniza)	0,80	-

**Fuente:** Lewis, 1993

En la tabla 4.22, se observa los resultados de la composición fisicoquímica de la frutilla variedad San Andrea de datos extraídos de Anexo A.

Tabla 4.22

*Resultados de la composición fisicoquímica de frutilla*

Composición	Unidad	Valor
Cenizas	%	0,07
Materia grasa	%	0,10
Hidratos de carbono	%	7,38
Humedad	%	90,74
Proteína total	%	0,71

Fuente: CEANID, 2021

Para la determinación del calor específico de la frutilla  $C_p$ , se tomó en cuenta la ecuación 4.23, citado por (Lewis, 1993):

Según el S.I (Sistema Internacional de Unidades) el valor de 1 KJ = 0,23884 Kcal mencionado por (Marques & Marcal, 1991).

$$C_p = X_w C_w + X_c C_c + X_p C_p + X_f C_f + X_a C_a$$

$$C_p = 0,9074 * 0,9983512 + 0,0738 * 0,334376 + 0,0071 * 0,382144 + 0,0010 * 0,406028 + 0,0007 * 0,191072$$

$$C_p = 0,9338 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \text{ calor específico de la frutilla}$$

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  $C_{pM}$  de la mezcla (agua y pulpa de frutilla)

$$C_{pM} = X_w C_w + X_s C_s \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Donde:

$X_w$  = Fracción en peso del agua

$C_s$  = Capacidad calorífica de la frutilla

$C_w$  = Capacidad calorífica del agua

$X_s$  = Fracción en peso de los sólidos solubles de la frutilla

Para la determinación del calor específico de la mezcla  $C_{pM}$ , se tomó en cuenta la ecuación 4.24:

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

$$C_{pM} = 1,00 * 0,9983512 + 0,092 * 0,9338$$

$$C_{pM} = 1,084 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \text{ calor específico de la mezcla}$$

En la tabla 4.23, se puede observar la capacidad calorífica del agua, del acero inoxidable y aluminio.

**Tabla 4.23**

*Capacidad calorífica del agua, acero inoxidable y aluminio*

Capacidad calorífica	Unidad	Valor
Aluminio	Kcal/Kg°C	0,22
Acero inoxidable	Kcal/Kg°C	0,12
Agua	Kcal/Kg°C	1,00

**Fuente:** Díaz et al., 2006

En la tabla 4.24, se puede observar las entalpías de vaporización en función a la temperatura para el agua saturada

**Tabla 4.24**

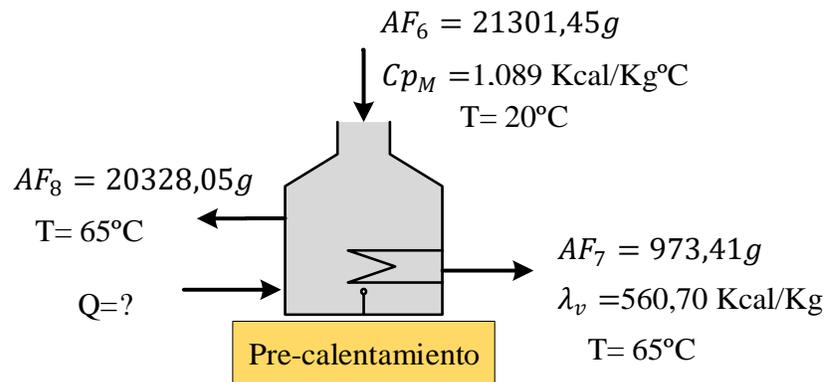
*Entalpías de vaporización del agua saturada*

Temperatura (°C)	Unidad	Entalpia de vaporización
64,6	Kcal/Kg	560,50
65,0	Kcal/Kg	560,27
68,7	Kcal/Kg	558,10

**Fuente:** UTN, 2021

#### 4.5.1.8.1 Balance de energía en la etapa de precalentamiento de la pulpa de frutilla diluida

En la figura 4,32, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de precalentamiento de la pulpa de frutilla diluida.



**Fuente:** elaboración propia

**Figura 4.32.** Etapa de pre-calentamiento

Para el cálculo del calor requerido para calentar la olla se tomó en cuenta la ecuación 4.25:

Datos:

$$m_{olla} = 2.300\text{Kg}$$

$$Q = m_{olla} * C_{p_{olla}} * (T_f - T_i) \quad \text{Ecuación 4.25}$$

$$Q = 2.300 \text{ Kg} * 0,22 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (65-20) ^\circ\text{C} = 22,77 \text{ Kcal}$$

Para la determinación del calor requerido para calentar la mezcla se tomó en cuenta la ecuación 4.26:

$$Q = m_M * C_{p_M} * (T_f - T_i) + m_{AF7} * \lambda_v \quad \text{Ecuación 4.26}$$

$$Q_M = 21,30145 \text{ Kg} * 1,084 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (65-20) ^\circ\text{C} + 0,97341\text{Kg} * 560,70 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = 1584,87\text{Kcal}$$

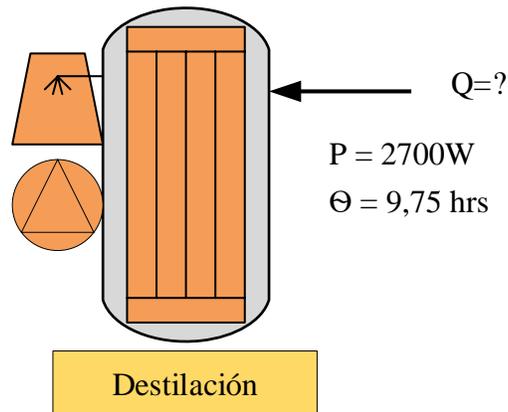
Para la determinación del requerimiento total de calor se tomó en cuenta la ecuación 4.27:

$$Q_T = Q_{olla} + Q_M \quad \text{Ecuación 4.27}$$

$$Q_T = 22,77 \text{ Kcal} + 1584,87 \text{ Kcal} = 1607,64 \text{ Kcal}$$

#### 4.5.1.8.2 Balance de energía en la etapa de destilación:

En la figura 4,33, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de destilación de la pulpa de frutilla fermentada.



**Fuente:** elaboración propia  
**Figura 4.33.** Etapa de destilación

Para la etapa de destilación se utilizó el Rota-vapor Bucchi R-100 (figura 3.1) con una potencia de 2700 W por un tiempo 16,24 horas tiempo que dura la destilación

$$P = \frac{\text{Energía (E)}}{\text{Tiempo } (\Theta)} \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Para la determinación de la energía eléctrica requerida se tomó en cuenta la ecuación 4.28, despejando E se obtiene:

$$E = P * \Theta$$

$$E = 2700W * \frac{1 \text{ kcal/h}}{1,163 \text{ W}} * 16,24 \text{ hrs}$$

$$E = 43848,00 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida para llevar a cabo la destilación al vacío durante un tiempo de 16,24 horas es de 43848,00 Kcal.

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

## 5.1 Conclusiones

- Realizado el análisis fisicoquímico de la frutilla muestra que contiene: 12,00 mg/100g calcio, 116,00 mg/100g potasio, 23,00 mg/100g fósforo, 1,00%, fibra, 0,07% ceniza, 0,10% grasa, 90,74% humedad, 0,71% proteína, 7,38% hidratos de carbono y valor energético 33,26 Kcal/100 g.
- Realizado la evaluación sensorial para las pruebas preliminares de aguardiente de pulpa de frutilla con formulación de levadura de panificación y levadura de vinificación indica que según el análisis estadístico de varianza existe diferencia significativa entre los atributos (aroma frutilla, aroma levadura, sabor y grado alcohólico) de las muestras evaluadas. Sin embargo, no existe diferencia significativa en el atributo acidez para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ . Así mismo en función de las medianas de la evaluación sensorial se tomó en cuenta la muestra D03 como la ideal para el proceso.
- Aplicado el diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de aguardiente de pulpa de frutilla, se puede establecer que las variables; relación Pulpa:Agua (A), cantidad de levadura (B) y tiempo de fermentación (C), existe evidencia estadística significativa debido que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se afirma que estos factores e interacciones son significativos en la etapa de fermentación.
- Realizado la evaluación sensorial de las muestras experimentales de nivel bajo se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los atributos (aroma frutilla y sabor) de las muestras evaluadas. Sin embargo, no existe diferencia estadística para los atributos (bouquet, acidez, y grado alcohólico) para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ . Así mismo, tomando en cuenta la preferencia de los jueces se tomó en cuenta la muestra DF01.
- Realizado la evaluación sensorial de las muestras experimentales de nivel alto se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los atributos (acidez

y grado alcohólico) de las muestras evaluadas. Sin embargo, no existe diferencia estadística para los atributos (aroma frutilla, bouquet y sabor) para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ . Así mismo, tomando en cuenta la preferencia de los jueces se tomó en cuenta la muestra DF05.

- Realizado la evaluación sensorial de las muestras experimentales de nivel bajo y alto (tiempo de fermentación) se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los atributos evaluados. Así mismo, en función de las medianas y tomando en cuenta la preferencia de los jueces se tomó en cuenta la muestra DF01 como la muestra final.
- Realizado el análisis físico en el producto final indica que presenta: 40,00°GL contenido alcohólico, 4,451 pH y 0,108 g/l acidez volátil. También, realizado el análisis fisicoquímico en el producto final indica que presenta: 31,00 mg/l metanol, 1,77 g/l de azúcares reductores, 4,96 mg/l anhídrido sulfuroso y 0,00 n.d extracto seco total.
- Realizado el balance de materia se evidenció que, a partir de 14665,10g de frutilla se obtiene 3832,22 ml de aguardiente de pulpa de frutilla. Así mismo, realizado el balance de energía la cantidad de energía eléctrica total requerida para llevar a cabo el proceso de destilación al vacío durante un tiempo de 16,24 horas es de 43848,00 Kcal.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un trabajo de investigación experimental similar a este, con el fin de aprovechar otras materias primas (durazno, tuna, quirusilla entre otros) de la provincia Cercado y así aumentar su valor agregado.
- Se recomienda realizar y mantener un control constante de la temperatura en el proceso de fermentación alcohólica, con la finalidad de darle condiciones adecuadas a la levadura.

- Realizar el control de diferentes parámetros en el proceso de fermentación alcohólica, con el fin de observar si son significativos o no, en dicho proceso.
- Aplicar otras variables independientes como ser: pH del medio, temperatura y sustrato para levadura; con el fin de observar si influye en la variable respuesta porcentaje de alcohol, acidez y pH.
- Incluir en el análisis sensorial para la aceptabilidad y preferencia por parte de los jueces del aguardiente de pulpa de frutilla obtenida en comparación con otros aguardientes de la provincia. Así mismo, continuar con la investigación para lograr un mejor contenido de etanol y mejorar características organolépticas.
- Se recomienda realizar un tiempo de fermentación más prolongado, con la finalidad de obtener un grado alcohólico más alto y así obtener un mayor rendimiento de alcohol en el aguardiente de pulpa de frutilla.

