

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

“La sidra es una bebida con unas características muy marcadas respecto a otros licores; tiene abundante dióxido de carbono, pero produce menor cantidad de espuma que una cerveza común, adquiere tonalidades de amarillo a aspecto transparente y brillante” (Ramírez y Sinisterra, 2020).

A nivel nacional “INDUSTRIAS DEL SUR” es una empresa dedicada a la investigación desarrollo, producción y comercialización de bebidas alcohólicas, quienes fueron los primeros en introducir en el mercado boliviano bebidas como la Sidra y Cuba libre producidos en nuestro país Bolivia (Gugadir, 2012).

En Bolivia, se consumen anualmente 339 millones de litros de bebidas alcohólicas, a precios de mercado de 740 millones de dólares. Esto es poco más del 3% del Producto Interno Bruto (PIB), 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).

La Gobernación de Tarija, a través de la Secretaría de Desarrollo Productivo y la Dirección de Turismo, apoyan la producción y elaboración de la primera Sidra Chapaca como parte del fortalecimiento al sector gastronómico y la promoción de la Ruta del Vino y el Singani, por lo que se colabora en la promoción, difusión y el lanzamiento del producto elaborado por jóvenes emprendedores (Montes, 2021).

La superficie cultivada y la producción de piña en Bolivia desde 2006 ha crecido en un 65,8%. Datos del Ministerio de Desarrollo Productivo revelan que la producción de piña aumentó de 52292 toneladas anuales en 2006 a 86720 toneladas en 2021. El rendimiento por hectárea subió de 15184 toneladas a 17317 toneladas. Cochabamba es el principal departamento productor con 79644 toneladas anuales hasta 2021, seguido de Beni con 2083 toneladas, Santa Cruz 1987 toneladas, La Paz 1927 toneladas y Pando 990 toneladas, revelan las cifras oficiales (AgroNews, 2022).

En la tabla 1.1, se muestra la producción agrícola del cultivo de piña en Bolivia por departamentos en toneladas métricas del año 2020-2021 (INE, 2021).

Tabla 1.1

Producción de piña en Bolivia

Departamento	Cantidad (Toneladas métricas)
Cochabamba	79644
Beni	2083
Santa Cruz	1987
La Paz	1927
Pando	990
Chuquisaca	86
Tarija	3
Oruro	-
Potosí	-

Fuente: INE, 2021

1.2 Justificación

- El presente trabajo de investigación propone elaborar una bebida alcohólica a base de piña como una alternativa para el consumo de esta fruta que comúnmente se conoce en el mercado local de Tarija, siendo una bebida refrescante para el organismo, mejorando la digestión por sus propiedades antiinflamatorias y diuréticas.
- Puesto que en el mercado local la piña, en época de oferta (Febrero-Mayo) no es muy consumida debido a su acidez, se pretende aprovechar y darle valor agregado a la piña mediante la elaboración de sidra natural, incentivando de esta manera al consumo de esta fruta, mediante su transformación en una bebida alcohólica de consumo moderado.
- Este trabajo de investigación pretende demostrar que la sidra natural de piña, además de ser una bebida alcohólica que aun siendo bajo en volumen de alcohol entre 3-5 %, puede ser consumida de manera regular para reducir la presencia de microorganismos intestinales en el cuerpo humano, permitiendo aprovechar sus propiedades nutricionales.
- Los productos de fermentación alcohólica como la sidra natural de piña, presentan riquezas en sustancias antioxidantes como los flavonoides y ácidos

fenólicos, que puede coadyuvar a proteger a las personas frente a enfermedades coronarias y enfermedades cardiovasculares favoreciendo al sistema digestivo.

1.3 Objetivos

Para el presente trabajo de investigación, se tienen los siguientes objetivos.

1.3.1 Objetivo general

Elaborar sidra natural de piña, a través del proceso de fermentación alcohólica, con la finalidad de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas, fisicoquímicas y microbiológicas de la piña, con la finalidad de conocer su composición.
- Identificar las variables del proceso de fermentación alcohólica, con la finalidad de establecer las condiciones adecuadas para el proceso.
- Realizar el control del proceso fermentativo en las pruebas preliminares, a fin de determinar las condiciones en las que se producirá el producto final.
- Aplicar un diseño factorial en el proceso de fermentación alcohólica en la elaboración de sidra natural de piña, con el fin de determinar las variables en el proceso.
- Realizar análisis sensorial del producto terminado con el objeto de analizar las propiedades organolépticas del producto y aceptabilidad del mismo.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del producto terminado, a fin de conocer su composición nutricional y su calidad.
- Realizar balance de materia y energía a nivel experimental, con la finalidad de conocer las corrientes de entradas y salida.

1.4 Objeto de estudio

Aplicación del proceso de fermentación alcohólica para la obtención de sidra natural de piña para la provincia Cercado.

1.5 Campo de acción

Para llevar a cabo el trabajo de investigación planteado, se determinó los siguientes campos de acción:

- **Espacial**

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

- **Temporal**

El campo temporal en el cual se pudo desarrollar el trabajo de investigación, se llevó a cabo entre las gestiones 2022-2023.

- **Institución**

La institución en donde se realizó la metodología experimental del trabajo de investigación fue en: el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos y en el Laboratorio Taller de Alimentos pertenecientes a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

1.6 Planteamiento del problema

En el mercado local de Tarija en época pico de oferta de piña, la misma no tiene una gran demanda de consumo; ya que la información nutricional sobre las características saludables que presenta la piña para las personas es limitada. Por lo cual, surge la idea de aprovechar y transformar la fruta en un producto de consumo moderado, como ser la sidra natural de piña. Resultando beneficioso para la salud de las personas al ser una bebida diurética, digestiva, que destaca por su contenido en nutrientes, antioxidantes y otros compuestos naturales, como enzimas proteasas (bromelina) que pueden combatir las enfermedades cardiovasculares en las personas. Así mismo, el proceso de fermentación alcohólica permite transformar esta materia prima en bebida (sidra de piña) natural, mediante el uso de biotecnología tradicional en alimentos.

1.7 Formulación del problema

¿Se logrará elaborar sidra natural de piña mediante el proceso de fermentación alcohólica con el objetivo de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado?

1.8 Hipótesis

Mediante la aplicación del proceso de fermentación alcohólica, es posible obtener una sidra natural de piña, con la finalidad de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de bebidas alcohólicas

Las bebidas alcohólicas tienen su origen en el proceso de fermentación alcohólica. Todo líquido azucarado sufre esta fermentación de manera espontánea debido a la acción de las levaduras que, en ausencia de aire, destruyen la glucosa y otros azúcares produciendo dióxido de carbono y etanol (Carretero, 2006).

La palabra bebida, derivada del verbo beber, proviene de latín bibère, mientras que “alcohólica” proviene de la palabra árabe al-kohol y se refiere a un compuesto químico líquido que puede estar presente en diferentes productos. Asimismo, las mejores bebidas alcohólicas conllevan procesos minuciosos y que pueden durar días para conseguir el resultado deseado (Osteicoechea, 2022).

2.2 Definición de bebidas alcohólicas

Según el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA, 1973) define bebidas alcohólicas como “bebidas obtenidas por fermentación alcohólica de mostos de frutas y cereales”. El Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA, 2011) define “producto alcohólico apto para el consumo humano, obtenido por procesos de fermentación de materia prima de origen vegetal y que es sometido, o no, a destilación, infusión, maceración o cocción de productos naturales, con un contenido alcohólico mayor del 0,05% en volumen.

2.3 Clasificación de bebidas alcohólicas

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1994) las bebidas alcohólicas se clasifican de acuerdo al proceso de preparación al que se sometan. En la figura 2.1, se muestra la clasificación de bebidas alcohólicas:



Fuente: Moro, 2019

Figura 2.1: Clasificación de bebidas alcohólicas

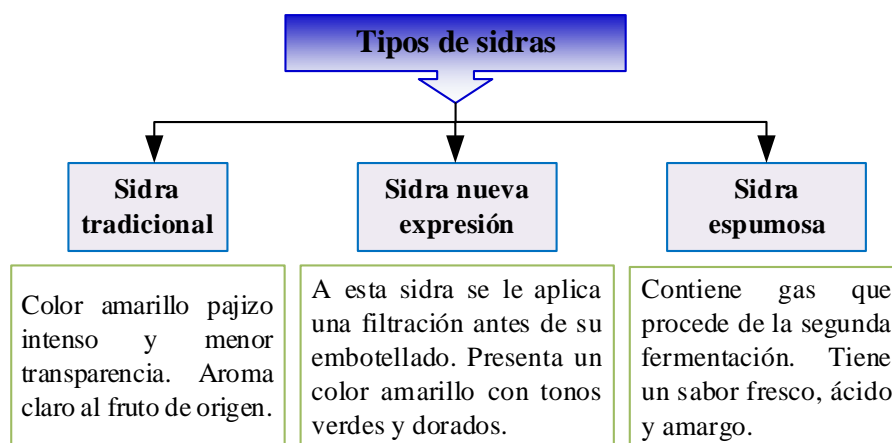
2.3.1 Definición de bebidas alcohólicas fermentadas

Según Megías et al., (2016) afirman que “las bebidas fermentadas son las procedentes de frutas o de cereales que, por acción de levaduras, el azúcar que contienen se transforma en alcohol. Las más comunes son el vino, la cerveza y la sidra” (Pág. 38-39).

El Código Alimentario Argentino (CAA), define Sidra como la bebida que resulta exclusivamente de la fermentación alcohólica normal del jugo recién obtenido de manzanas sanas y limpias, de uso industrial, con o sin la adición de hasta un 10% de jugo de peras obtenido en idénticas condiciones que el jugo de manzana y fermentado en forma conjunta o separada. Su graduación alcohólica mínima será de 4,5% a 20°C (Ablin, 2011).

2.3.2 Tipos de sidra

Según Pulido (2023), afirma que la sidra es un producto con un ciclo de vida corto y se puede diferenciar entonces tres tipos de sidra. En la figura 2.2, se describe los tipos de sidra de acuerdo a la denominación de origen protegida (DOP).



Fuente: Pulido, 2023

Figura 2.2: Tipos de sidra

2.4 Aplicaciones de la sidra natural para el ser humano

La sidra natural por su riqueza en antioxidantes es una bebida ideal para protegernos frente a enfermedades cardiovasculares y enfermedades coronarias. De hecho, destaca por su contenido en pectina, ayudando en la prevención del infarto de miocardio y la arteriosclerosis. Precisamente por su contenido en pectina y en sustancias antioxidantes,

la sidra es una bebida ideal para el cuidado de la salud cardiovascular, ayudándonos de forma positiva en la prevención frente a enfermedades coronarias y cardiovasculares. Ayuda a reducir el colesterol alto y los triglicéridos. La sidra es una bebida muy digestiva, al ser rica en enzimas digestivas que ayudan a regular nuestros intestinos, de manera que es interesante en caso de estreñimiento ocasional (Pérez, 2018).

2.5 Caracterización de la piña

Se describe la piña como materia prima que se utilizó para la elaboración de sidra natural de piña.

2.5.1 Piña

La piña tropical (*Ananas comosus (L.) Merrill*) pertenece a la familia botánica de las bromeliáceas y aunque es originaria de América del Sur, hoy día se encuentra cultivada extensivamente en la mayor parte de las zonas tropicales del globo, existiendo más de 50 variedades diferentes. Recibe el coloquial nombre de piña, tal vez, porque su fruto compuesto denominado sincarpo o infrutescencia, tiene gran similitud con las piñas de los pinos (Custodio, 2012).

La piña tropical proviene de Sudamérica, concretamente de Brasil. Allí fue donde la encontraron los colonizadores españoles y portugueses. Es el fruto de la planta conocida como ananás (los portugueses continúan manteniendo este nombre originario que para los indígenas significa «fruta excelente») (Santiago, 2021).

2.5.2 Características botánicas de la piña

La piña es una planta herbácea de 1 a 1,5 metros de extensión, tanto a lo alto como en lo que a su circunferencia se refiere. Está formada por una roseta de hojas duras, lanceoladas y más o menos espinosas, organizadas alrededor de un tallo que constituye el eje de la planta. En su prolongación crece un ápice en cuyo extremo nace la fruta terminada en una corona. De hecho, la fruta está formada por el conjunto de flores que crecen alrededor del ápice que, a partir de ahí, constituye el tallo de la fruta del pedúnculo hasta la corona. Cada flor origina una fruta independiente organizada en espiral alrededor del tallo. Estas frutas se fusionan durante la fructificación hasta

originar la piña. Las frutas unidas aparecen en la parte exterior en forma de escamas espesas denominadas «ojos» (UNCTAD, 2016).

2.5.3 Taxonomía de la piña

De acuerdo con el Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2013), la piña *Ananás comosus* se clasifica taxonómicamente, como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2. 1

Clasificación taxonómica de la piña

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Bromeliales
Familia	Bromeliaceae
Género	Ananás Mill.
Especie	Ananás comosus (L.) Merr.

Fuente: CONABIO, 2013.

2.5.4 Composición fisicoquímica de la piña

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (2019), la piña presenta una composición fisicoquímica como se muestra en la tabla 2.2 para una porción comestible por 100g de piña.

Tabla 2. 2

Composición fisicoquímica de la piña

Componente	Cantidad	Unidad
Agua	86,00	g
Energía	50,00	kcal
Proteína	0,54	g
Grasa	0,12	g
Carbohidratos	13,12	g
Fibra total	1,40	g
Azúcares	9,85	g
Calcio	13,00	mg
Hierro	0,29	mg
Fósforo	8,00	mg
Potasio	109,00	mg
Vitamina C	47,80	mg
Tiamina	0,08	mg
Riboflavina	0,03	mg

Fuente: USDA, 2019

2.5.5 Propiedades nutricionales de la piña

El 85-89% de la piña es agua, el resto la mayoría son los azúcares naturales de la fruta y fibra. La piña no es particularmente rica en alguna vitamina, aunque contiene vitamina A, C y ácido fólico. Respecto a los minerales, la piña es buena fuente de potasio y contiene calcio y hierro. La piña contiene bromelina o bromelaína, una enzima que digiere las proteínas, pero además tiene diversas propiedades como: atender los síntomas de la bronquitis, sinusitis, antitrombótico, antidiarreico, anticancerígeno (Espinoza. 2018).

2.6 Aplicaciones de la piña para el ser humano

La piña es un fruto tropical que tiene diversas aplicaciones en la medicina natural. Es rica en fibra y vitamina C; también contiene vitaminas B1, B6, E, potasio, magnesio, yodo, cobre y ácido fólico, pero es una enzima llamada bromelina la que contribuye a la mayoría de sus beneficios para el organismo (Gonçalves, 2016).

Entre sus componentes no nutritivos, la piña contiene bromelina, una enzima similar a las enzimas digestivas que ayuda a digerir las proteínas. La bromelina, de naturaleza proteica como el resto de las enzimas, realiza su acción en el estómago y en el intestino, facilitando la digestión de las proteínas (Haro, 2022).

2.7 Insumos alimentarios para la elaboración de sidra natural de piña

Los insumos alimentarios utilizados para la elaboración de sidra natural de piña se describen a continuación:

2.7.1 Metabisulfito de potasio

El hacer uso de metabisulfito de potasio, sal que se usa como un desinfectante selectivo, ocasiona eliminar a los microorganismos que pueden producir la “picadura” del jugo, y permite que trabajen las levaduras, de acuerdo con el proceso fermentativo deseado (PDB, 2011).

El metabisulfito de potasio es un potente desinfectante y antioxidante utilizado de forma habitual en enología y en la elaboración de cerveza entre otros. Al disolverse en el mosto, se generan dióxido de azufre, sulfito y bisulfito consumiendo una gran parte

del oxígeno disponible, evitando a la vez la proliferación de micro organismos que pueden arruinar o deteriorar el vino o la cerveza (CIBART, 2022).

2.7.2 Levadura vinífera

Se llama levadura o fermento a un conjunto diverso de hongos, por lo general microscópicos y unicelulares, capaces de iniciar los procesos de descomposición (fermentación) de distintas sustancias orgánicas, particularmente los azúcares y los carbohidratos, y obtener como subproducto otras sustancias específicas (como alcoholes) (Alfa Editores, 2020).

Durante la fermentación de bebidas alcohólicas intervienen principalmente levaduras del género *saccharomyces*. Sin embargo, existen otros géneros de levaduras que también participan en los procesos fermentativos, y rara vez son tomados en cuenta, estas son las levaduras denominadas no-*saccharomyces*, entre las que destacan: *Kloeckera apiculata*, *Hanseniaspora uvarum*, *Rhodotorula glutinis*, *Rhodotorula mucilaginosa*, entre otras; las cuales mediante la producción de congénicos, enzimas y proteínas pueden enriquecer organoléptica y nutricionalmente las bebidas alcohólicas, lo que ayudaría a satisfacer el paladar de los consumidores más exigentes (Casas et al., 2015).

2.7.3 Ácido ascórbico

El papel fundamental del ácido ascórbico en mostos es el de antioxidante. Al combinar con el oxígeno evita que se oxiden compuestos aromáticos y polifenoles. Es por esta reactividad que se conserva la frescura del mosto durante más tiempo. Actúa convirtiendo rápidamente el oxígeno disuelto en peróxido de hidrógeno antes de que tenga la oportunidad de reaccionar con las enzimas oxidantes y causar el oscurecimiento (ENOLVIZ, 2016).

2.7.4 Bentonita

La bentonita es un silicato de aluminio hidratado (Al_2O_3 , 4SiO_2 , NH_2O) que en disolución acuosa se presenta como una dispersión coloidal hidrófoba con una fuerte carga negativa y una gran superficie específica de adsorción ($5 \text{ m}^2/\text{g}$), lo que le confiere

un potente poder adsorbente de partículas electropositivas, como las proteínas presentes en la sidra en los procesos de clarificación mediante “fining” (Mangas, 2010).

La bentonita es un tipo de arcilla muy fina que tiene la capacidad de absorber proteínas actuando como agente floculante, es decir, que aglutinando partículas que le dan turbidez a la bebida y haciendo que estas, al ser más pesadas, vayan al fondo del recipiente (Yang, 2022).

2.8 Proceso tecnológico para la elaboración de sidra natural de piña

El tipo de proceso tecnológico durante la elaboración de sidra natural de piña, es el siguiente:

2.8.1 Fermentación alcohólica

La etapa de fermentación es la más crítica en la fabricación de bebidas alcohólicas pues determina la cantidad de etanol que se va a producir. La naturaleza biológica de este proceso implica que incidan sobre su desarrollo una gran cantidad de variables, cuyos efectos combinados resultan de difícil interpretación (López et al., 2019).

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

En esta fermentación a partir de la glucosa y con la participación de diferentes enzimas, se origina el ácido pirúvico, el cual es descarboxilado hasta CO_2 y acetaldehído y este último reducido por la acción de la deshidrogenada hasta alcohol etílico y el oxígeno es el desencadenante inicial de la fermentación, ya que las levaduras lo van a necesitar en su fase de crecimiento. Sin embargo, al final de la fermentación conviene que la presencia de oxígeno sea pequeña para evitar la pérdida de etanol y la aparición en su lugar de ácido acético. La fermentación alcohólica es un proceso exotérmico, es

decir, se desprende energía en forma de calor. Es necesario controlar este aumento de temperatura ya que si ésta ascendiese demasiado (25-30°) las levaduras comenzarían a morir deteniéndose el proceso fermentativo. Otro producto resultante de la fermentación es el anhídrido carbónico (CO₂) en estado gaseoso, lo que provoca el burbujeo, la ebullición y el aroma característico de una cuba de mosto en fermentación (Lezama, 2020).

2.8.2 Parámetros físicos en el proceso de fermentación alcohólica

Los factores que influyen durante el proceso de fermentación alcohólica, se describen a continuación:

2.8.2.1 Temperatura

Durante la fermentación es fundamental el control de la temperatura porque a altas temperaturas aumenta la volatilidad de los componentes y por lo tanto la pérdida de sustancias aromáticas. Por eso, la temperatura de fermentación debería ser tal que permitiera la mejor expresión de las sustancias volátiles aromáticas, asegurara un desarrollo correcto del proceso fermentativo y contribuya a la obtención de un producto dotado de la tipicidad propia de su denominación (Hernández, 2016).

2.8.2.2 Aireación (O₂)

La aireación del medio controla la producción de compuestos de la fermentación como glicerol, alcoholes superiores, ésteres y ácido acético. Así, el oxígeno incrementa la producción de alcoholes superiores, pero por otro lado disminuye la producción de etil acetato y glicerol. La síntesis de estos compuestos puede ser controlado ajustando la velocidad de agitación (aireación) (Escalante, 2012).

2.8.2.3 pH

El pH mide el grado de disociación de los ácidos presentes en la sidra. Este parámetro influye en la vinificación y conservación de la sidra. El rango del valor del pH es aproximadamente 3-4. El pH se determina mediante una reacción colorimétrica ácido-base en la que un derivado de fenol, para la adición de sidra, sufre una decoloración (CDR, 2021).

La mayoría de sidras buscan concentraciones de acidez total en torno a 3,5 – 5,5 (g/L) medidos en ácido málico; se puede calcular a partir de la acidez en tartárico multiplicando por 0,89; si no se alcanza estos niveles, puede corregirse mediante la adición de ácido málico (Avilés, 2021).

2.8.2.4 Concentración de etanol (grado alcohólico)

El mosto es el nombre con el que también se conoce al vino nuevo sin crianza, pero ya fermentado, que presenta un grado alcohólico que ronda el 12%. Asimismo, el mosto de uva también participa, aunque en menor proporción, en infinidad de bebidas como las sidras comerciales, los vinos dulces o los zumos (Mollejo, 2019).

El grado alcohólico real es el que determina el análisis. Si el producto del que se ha tomado muestra se encontraba en etapa de fermentación, el grado real al obtenido en el análisis se agrega al grado potencial que se obtendría al fermentar por completo los azúcares reductores (Simunovic, 1999).

2.9 Operaciones en el proceso de elaboración de sidra natural de piña

A continuación, se describen las operaciones más importantes para la elaboración de sidra natural piña.

2.9.1 Extracción

La extracción en algunos alimentos, bien sea de pulpas (en el caso de frutas), necesitan de procesos de extracción que se pueden realizar mediante la trituración del alimento el machacado o molienda (cereales), el secado y filtrado o el empleo de disolventes (EcuRed, 2013).

2.9.2 Fermentación

La fermentación es una sucesión de transformaciones bioquímicas de los componentes del mosto de la fruta y de los productos resultantes de éstos, llevadas a cabo por levaduras, bacterias lácticas y bacterias acéticas. El proceso bioquímico más relevante que se produce una vez finalizada la etapa prefermentativa es la fermentación alcohólica. Ésta, es llevada a cabo por levaduras fermentativas del género

saccharomyces. Durante la fermentación alcohólica, los azúcares, fructosa, glucosa y sacarosa, son transformados en un gran número de componentes bioquímicos, entre los que destaca el etanol y el gas carbónico como productos mayoritarios (Mangas, 1996).

2.9.3 Filtración

“Esta operación tiene dos objetivos principales: Reducir o eliminar el contaminante a un líquido o una solución que contenga impurezas sólidas. Aislar y retener algún sólido precipitado o cristalizado, utilizando para análisis posteriores el que sea de interés (sólido-líquido)” (Labomersa, 2021).

2.9.4 Clarificación

Clarificar significa añadir una sustancia reactiva o adsorbente para reducir o eliminar la concentración de uno o más compuestos indeseables causantes del enturbiamiento. Para comprender la turbidez o limpidez del vino es necesario analizarlo desde la perspectiva de los sistemas coloidales y su interacción con los agentes clarificantes (Morris & Main, 2007).

CAPÍTULO III
DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo de la parte experimental

La parte experimental del presente trabajo de investigación “elaboración de sidra natural de piña”, se desarrolló en el Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA) y el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA); dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 Tipo de intervención experimental

Para el presente trabajo de investigación de elaboración de sidra natural de piña, se utilizaron los métodos y análisis a nivel experimental:

- Análisis físico e índice de madurez de la piña variedad (*Cayena lisa*).
- Análisis fisicoquímico y microbiológico de la piña variedad (*Cayena lisa*).
- Análisis sensorial de la sidra natural de piña.
- Análisis del diseño factorial 2³ en el proceso de elaboración de sidra natural de piña.
- Análisis fisicoquímico de sidra natural de piña.
- Operacionalización de las variables para la elaboración de sidra natural de piña.

3.3 Paradigma investigativo

Según Brunet & Pastor (2003) definen el paradigma como “un esquema global que se fundamenta en una serie de hipótesis básicas sobre las cuales marca las direcciones de investigación más favorable” (Pág. 96). Por su parte Briones (2002) plantea que “Un paradigma es la concepción del objeto de estudio de una ciencia acompañada de un conjunto de teorías básicas sobre aspectos articulares del objeto” (Pág. 82).

3.3.1 Paradigma positivista

El paradigma positivista se realiza en laboratorios especialmente diseñados o ajustándose a condiciones previamente establecidas, como la selección de muestras estadísticas. La investigación que se orienta por la concepción dialéctica del conocimiento se debe desarrollar directamente en el sitio en el que se da ordinariamente el fenómeno (Meza, 2015).

Este paradigma, desde el punto de vista metodológico destaca, la utilización de métodos y técnicas válidos y confiables, el procesamiento estadístico para un análisis

objetivo y riguroso de los datos, la posibilidad de generalizar los resultados y el distanciamiento del investigador en relación al objeto (Moreno et al, 2018).

3.4 Enfoque de investigación

El enfoque desarrollado en el presente trabajo de investigación es el enfoque cuantitativo. Este enfoque utiliza los análisis estadísticos que se dan a partir de la recolección, la medición de parámetros, la obtención de frecuencias planteando un problema de estudio delimitado y concreto. Para realizar esta recolección se recurre a procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica siendo necesario desde este enfoque que los fenómenos estudiados puedan observarse o medirse y ser analizados a través de métodos estadísticos (Otero, 2018).

Según Hernández et al., (2010) este enfoque “intenta generalizar los resultados encontrados en un grupo o segmento (muestra) a una colectividad mayor (universo o población). También busca que los estudios efectuados puedan replicarse” (Pág. 6).

3.5 Métodos, técnicas e instrumentos

El concepto de técnicas de recogida de información engloba todos los medios técnicos que se utilizan para registrar las observaciones y tratamientos. Dentro de la expresión “medios técnicos” están inmersos, por una parte, los instrumentos, objetos con entidad independiente, externa y los recursos, medios utilizados para obtener y registrar la información (Gil, 2016).

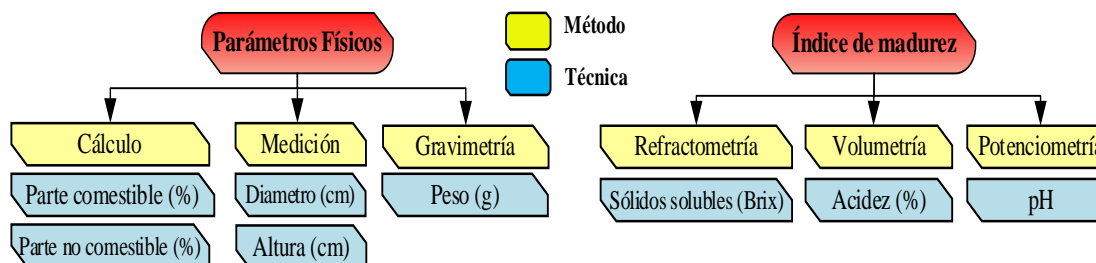
El método y la técnica van siempre de la mano ya que para ejecutar un método es necesario tener un amplio dominio de la técnica, lo cual implica el manejo diestro de un instrumento, así como ser muy minucioso al momento de describir las acciones que deben ser realizadas para no omitir algún paso, que impida llegar al fin deseado (Mar et al., 2020).

Los métodos y técnicas utilizados en el presente trabajo de investigación, se detallan a continuación:

3.5.1 Análisis físicos e índice de madurez de la piña

En la figura 3.1, se muestran los métodos y técnicas que se tomaron en cuenta para determinar índice de madurez y parámetros físicos de la piña, realizados en el

Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Donde la técnica para calcular sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), pH, acidez e índice de madurez, se puede ver en Anexo D.

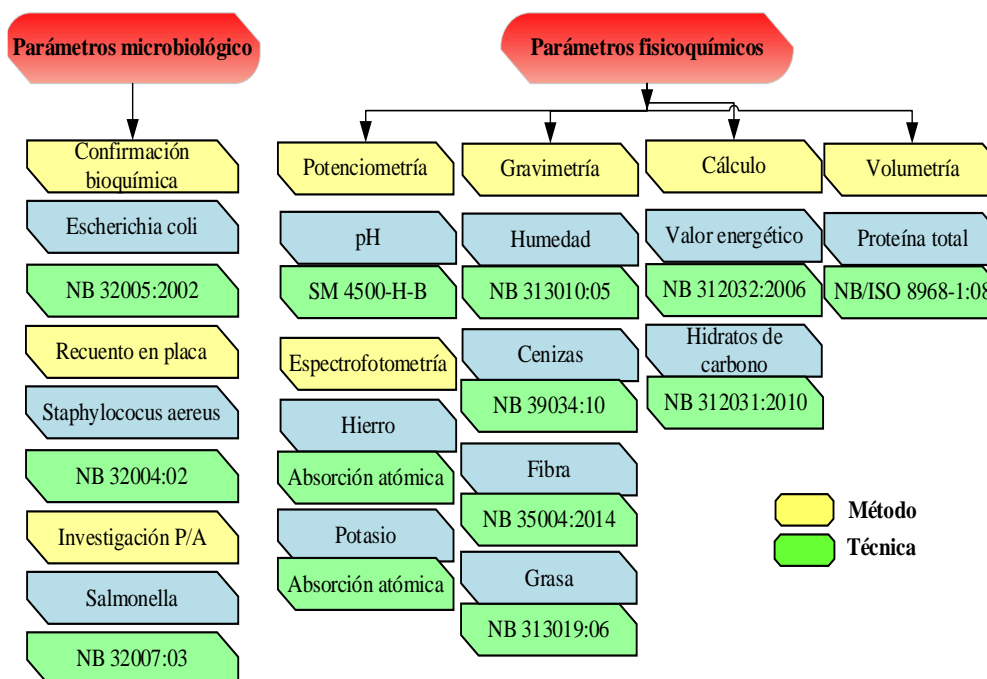


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1: Parámetros físicos e índice de madurez de la piña

3.5.2 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la piña

En la figura 3.2, se muestran los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se realizaron en la piña, 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”.

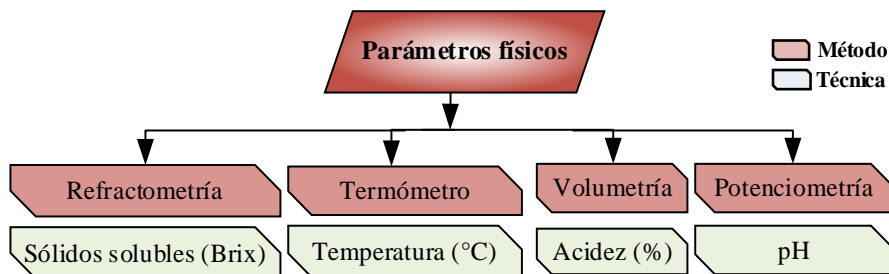


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.2: Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la piña

3.5.3 Análisis físicos en el proceso de fermentación alcohólica de piña

En la figura 3.3, se muestran los parámetros físicos que se analizaron durante el proceso de fermentación alcohólica de la piña, en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

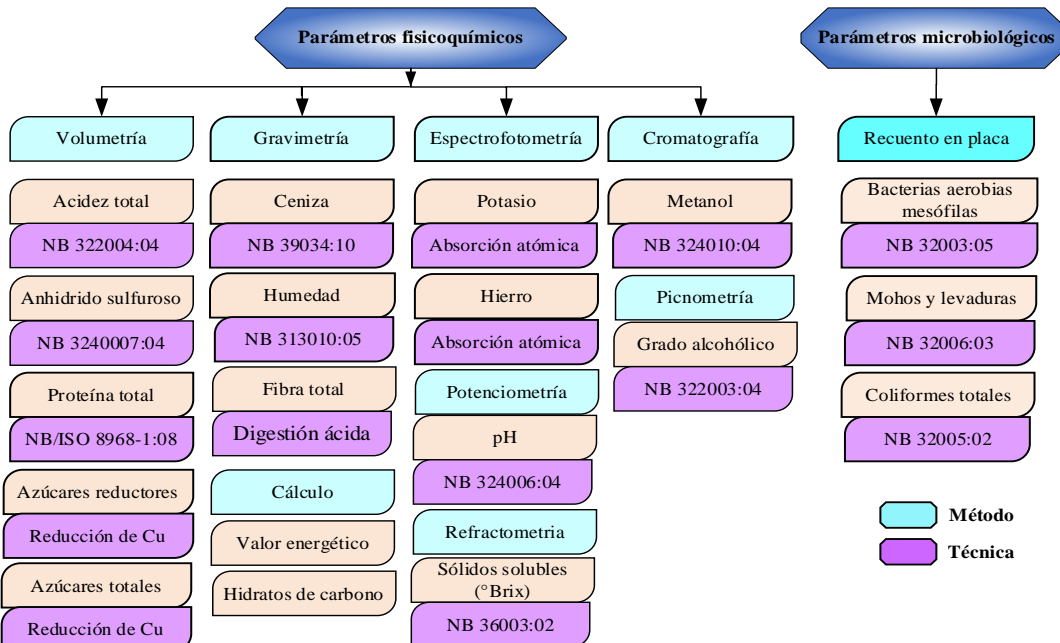


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3: Parámetros físicos durante el proceso de fermentación alcohólica de la piña

3.5.4 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la sidra natural de piña

En la figura 3.4, se muestran los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que fueron tomados en cuenta para la sidra natural de piña, 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”.



Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.4: Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la sidra natural de piña

3.6. Equipos, instrumentos, material de laboratorio y utensilios de cocina

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

3.6.1 Equipos

En la figura 3.5, se detallan las especificaciones técnicas de los equipos que se utilizaron para el presente trabajo de investigación (Anexo H).

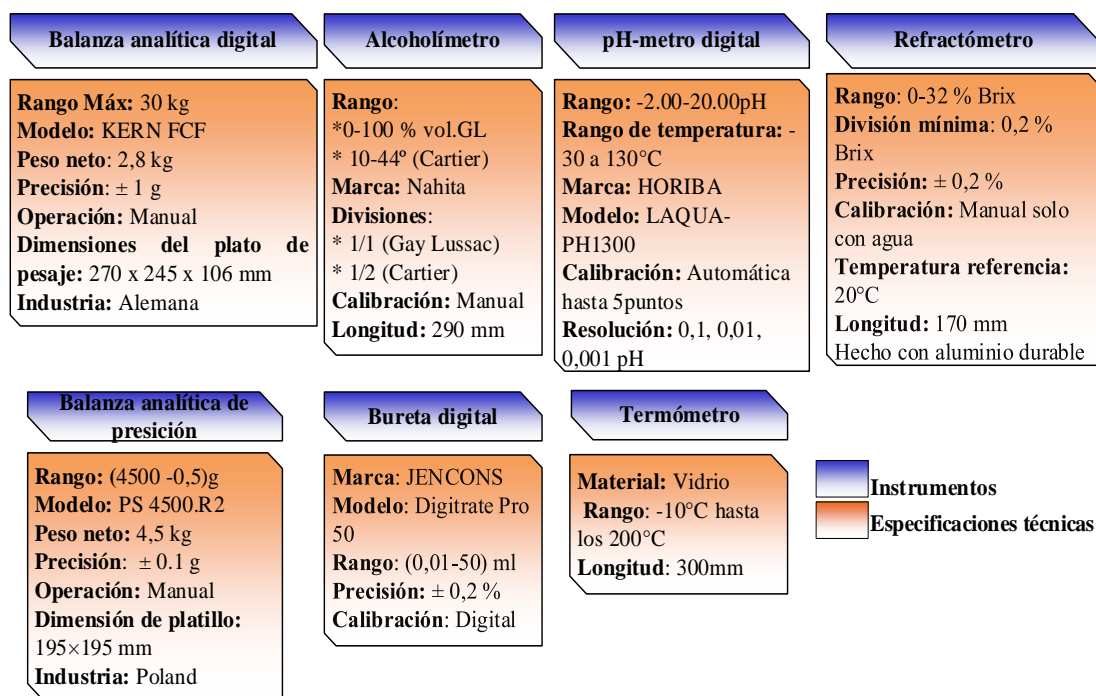
Extractor	Fermentador
Marca: Philips Modelo: NA-2790BR Capacidad: 1L Potencia: 900W ; 220-240V;50-60HZ Diámetro de entrada: 75mm Velocidades: 2	Capacidad: 3 L Tipo de material: Vidrio Tipo de cierre: Twist Off (Rosca) Tipo de tapa: Plástico Altura: 25cm Diametro: 14,5cm Peso: 1020g

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5: Descripción de equipos

3.6.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron para el desarrollo de la parte experimental, se detallan en la figura 3.6 (Anexo H).



Fuente: LACIA, 2023

Figura 3.6: Descripción de instrumentos

3.6.3 Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se emplearon en el proceso de elaboración de sidra natural de piña, se describen a continuación:

- ◆ **Varilla de vidrio:** tamaño mediano.
- ◆ **Vasos de precipitado:** material de vidrio, capacidad 50ml y 200ml.
- ◆ **Probeta de vidrio:** capacidad 100ml.
- ◆ **Vidrio de reloj:** tamaño pequeño.
- ◆ **Termómetro de alcohol:** material de vidrio, capacidad (0-100°C).
- ◆ **Vernier manual:** material de acero, tamaño mediano.
- ◆ **Cucharilla:** material metálico, tamaño mediano.
- ◆ **Piseta:** material plástico, tamaño mediano.

3.6.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina que se utilizaron para la elaboración de sidra natural de piña, se detallan a continuación:

- ◆ **Bol:** material de aluminio, tamaño mediano.
- ◆ **Cuchillo:** material de acero inoxidable, tamaño mediano.
- ◆ **Jarras graduadas:** material plástico, capacidad 1000ml y 1500ml.
- ◆ **Escurreidor:** material malla de filtro, tamaño mediano.
- ◆ **Fuentes:** material plástico, tamaño mediano.

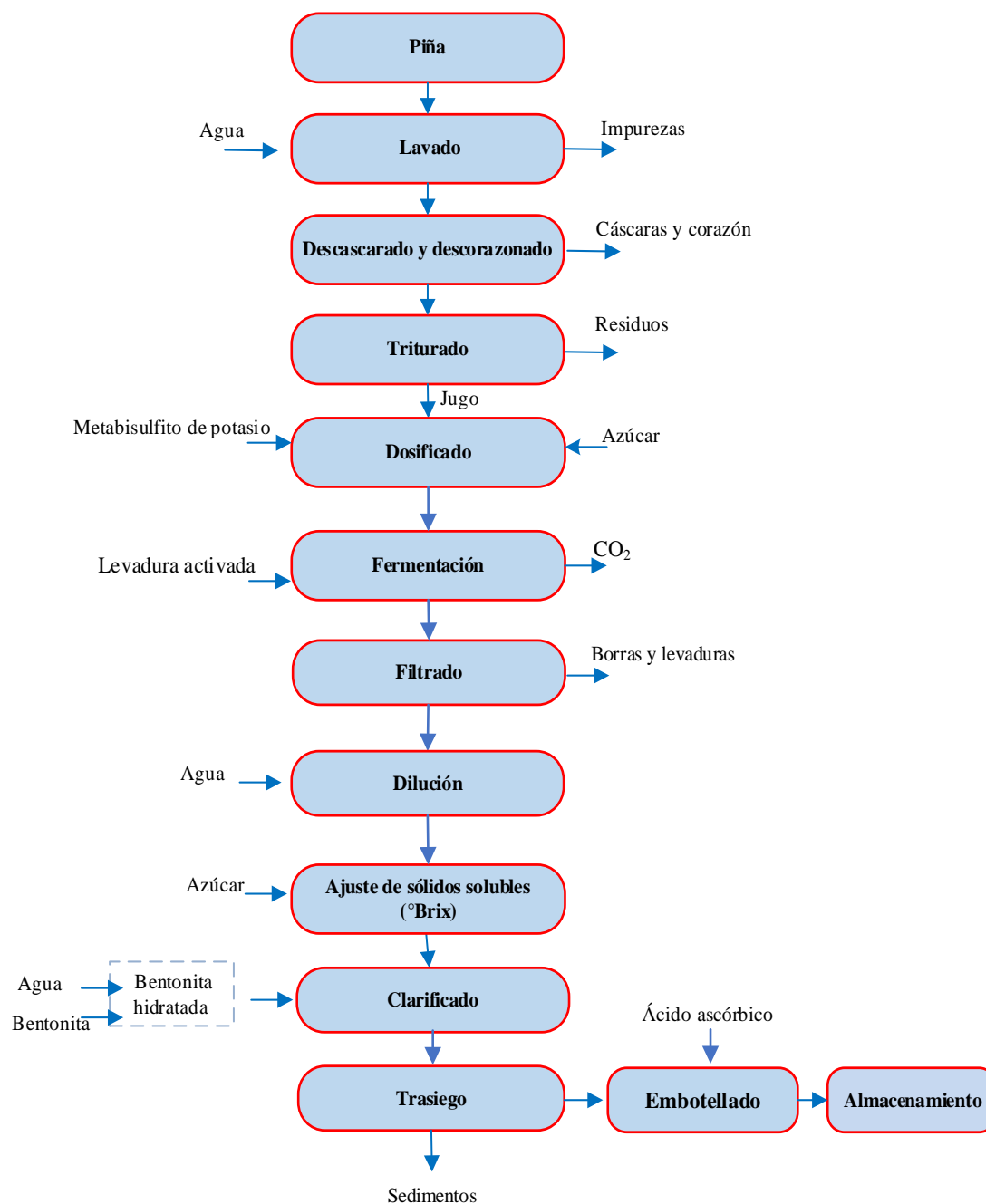
3.7 Reactivos químicos e insumos alimentarios

Los reactivos químicos e insumos alimentarios que se utilizaron para realizar los tratamientos en la elaboración de sidra natural de piña, se describen a continuación:

- ◆ **Metabisulfito potásico:** Estado sólido (refinado), marca DIEMAR, procedencia boliviana.
- ◆ **Hidróxido de sodio:** Concentración 0,1 N, procedencia boliviana, marca DIEMAR.
- ◆ **Fenolftaleína:** Concentración 1%, procedencia boliviana, marca DIEMAR.
- ◆ **Bentonita:** Estado sólido(polvo) procedencia boliviana, marca DIEMAR.
- ◆ **Ácido ascórbico:** Estado sólido(refinado), marca DIEMAR, procedencia boliviana
- ◆ **Levadura:** Estado sólido, procedencia boliviana, marca DIEMAR.
- ◆ **Azúcar:** Estado sólido(refinado) procedencia Tarija, marca IABSA.

3.8 Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de sidra natural de piña

En la figura 3.7, se muestra el diagrama de flujo para el proceso de elaboración de sidra natural de piña.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de sidra natural de piña

3.8.1 Descripción del diagrama de flujo del proceso de elaboración de sidra natural de piña

A continuación, se describen las etapas del proceso de elaboración de sidra natural de piña.

3.8.1.1 Piña

La piña que se utilizó para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue de la variedad *Cayena lisa*, que fue obtenida del Mercado Campesino de la ciudad de Tarija.

3.8.1.2 Lavado

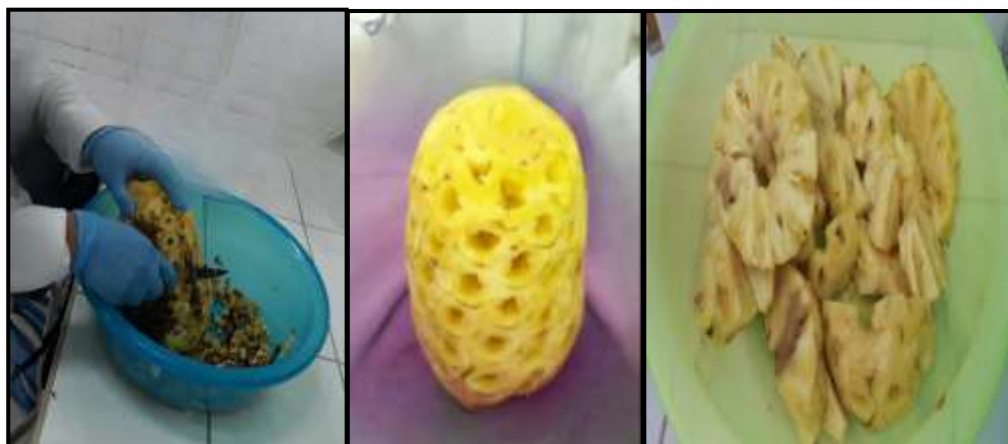
El lavado de la piña se realizó quitando la suciedad que estaba adherida en la superficie de la fruta, esto se realizó por inmersión en agua potable para eliminar todas las impurezas al exterior de la piña (figura 3.8), y luego escurrir toda el agua adherida en el lavado.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.8: Lavado de la piña

3.8.1.3 Descascarado y descorazonado

Se procedió a quitar la parte no comestible como las hojas o corona junto con la cáscara, utilizando un cuchillo de acero inoxidable, para luego cortar la piña en rodajas de manera manual y retirar la parte central (corazón) de las rodajas, dejando solo la pulpa (figura 3.9).



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9: Descascarado y descorazonado de la piña

3.8.1.4 Trituración

El triturado de piña se realizó con ayuda de una máquina centrífuga extractora de jugos, obteniendo así el jugo de la piña en una jarra plástica de un litro; la parte no triturada

fue colada en una jarra plástica utilizando una malla filtrante de tela, recogiendo el jugo restante para usarlo junto con el jugo obtenido (figura 3.10).



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.10: Trituración de la piña

3.8.1.5 Dosificación

En esta etapa se realizó la dosificación al mosto de piña, en donde se agregaron insumos como ser: metabisulfito de potasio 0,012% dejándolo reposar por 24 horas en el mosto en un frasco de vidrio cerrado, luego se adicionó azúcar de forma directa realizando agitación con una varilla de vidrio para homogeneizar al mosto y adecuarlo a 23°Brix preparándolo para su fermentación entre 20-21 °C.

3.8.1.6 Fermentación

Se preparó una solución de levadura, utilizando 50ml de agua entre 35-40 °C en un recipiente de vidrio, dejándolo reposar por 15 minutos, a fin de activarla y luego agregarle al mosto de piña.

La fermentación alcohólica del mosto se llevó a cabo durante un tiempo de 8 días en un frasco de vidrio cerrado, contando con una trampa de gas o airlock de plástico como válvula de fermentación por donde se liberaba CO₂ (figura 3.11). Donde se realizó control en °Brix, pH y acidez durante el proceso de fermentación alcohólica del mosto de piña hasta que la fermentación se detuvo, al observar que no hay presencia de burbujas en el mosto, asumiendo que los azúcares se han consumido.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11: Fermentación alcohólica del mosto de piña

3.8.1.7 Filtrado

Transcurrido un tiempo de 8 días de fermentación se realizó el filtrado de la sidra, utilizando una malla filtrante de tela, separando las borras y levaduras del fondo del frasco, llevando la sidra obtenida a un frasco de vidrio limpio y desinfectado (figura 3.12).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12: Filtrado de sidra

3.8.1.8 Dilución

Para la dilución de la sidra obtenida, se llevó a cabo usando relación de dilución 1:1, utilizando agua hervida fría para bajar el volumen de alcohol obtenido desde 6 a 3 grados de alcohol, datos determinados usando un alcoholímetro de vidrio.

3.8.1.9 Ajuste de sólidos solubles (°Brix)

Una vez realizado la dilución, se determinó los sólidos solubles (2°Brix) de la sidra natural de piña utilizando un refractómetro portátil; mediante un balance parcial de componentes sólidos, se realizó el cálculo de sólidos solubles (°Brix), para la cantidad de azúcar a adicionar al volumen de la sidra para ajustar a 12°Brix.

3.8.1.10 Clarificado

Para realizar la clarificación, se utilizó 0,02% de bentonita como clarificante, la cual se hidrató en 50 ml de agua por 24 horas antes de ser añadido a la sidra. Una vez añadida la bentonita a la sidra, se agitó con una varilla de vidrio y se dejó reposar por 24 horas, favoreciendo a disminuir la turbidez de la sidra observándose más clara.

3.8.1.11 Trasiego

Transcurrido 24 horas de añadida la bentonita para clarificar, se realizó el trasiego de la sidra, trasvasando la sidra clarificada a un frasco de vidrio, separando los sedimentos en el fondo del recipiente de la sidra, para luego usando una jarra de plástico realizar el embotellado.

3.8.1.12 Embotellado

El embotellado, se realizó en botellas de vidrio transparentes de 910ml, previamente lavadas y esterilizadas con agua caliente. Posteriormente, se desinfectaron con alcohol al 96% y se procedió a envasar la sidra natural de piña, añadiéndose 0,01% de ácido ascórbico como conservante disolviéndolo previamente con la propia sidra (figura 3.13).



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.13: Embotellado

3.8.1.13 Almacenamiento

El almacenado del producto, se realizó en un ambiente fresco entre 10-14 °C, aislado de la luz para no alterar las cualidades y el sabor de la sidra.

3.9 Evaluación sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial es una disciplina de la química analítica de los alimentos y se ocupa de los métodos y procedimientos de medición en los cuales los sentidos humanos constituyen el instrumento. Las pruebas sensoriales se clasifican, según los objetivos que se persiguen, en dos grandes grupos: analíticas y afectivas. Estas pruebas son las más adecuadas para la evaluación de la calidad de los alimentos, aunque en ocasiones se hace necesario conocer el criterio de los consumidores, durante el desarrollo de nuevos productos. Los métodos de evaluación sensorial o pruebas sensoriales son indispensables para el control de calidad de los alimentos (Torricella et al., 2020).

En la figura 3.14, se detallan las evaluaciones sensoriales llevadas a cabo en el presente trabajo de investigación para la elaboración de sidra natural de piña.

Evaluación sensorial	Código	Atributos	Escala hedónica	Test	Jueces
Pruebas preliminares	SP1, SP2, SP3, SP4, SP5	Color, turbidez, aroma, sabor, acidez, grado alcohólico	5	Test 1	20
Muestra ideal	SP1, SP4, SP5	Color, turbidez, aroma, sabor, acidez, grado alcohólico	5	Test 2	20
Muestra experimental 1	SF01, SF02, SF03, SF04	Color, turbidez, aroma, sabor, acidez	5	Test 3	20
Muestra experimental 2	SF05, SF06, SF07, SF08	Color, turbidez, aroma, sabor, acidez	5	Test 4	20
Elección	MF1, MF2, MF3	Color, turbidez, aroma, sabor, acidez	5	Test 5	20

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14: Evaluaciones sensoriales de sidra natural de piña

3.10 Diseño experimental

El propósito del diseño experimental es la obtención del máximo de información con el mínimo de costo y el máximo de eficiencia. En muchas ocasiones, estas condiciones se cumplen al seleccionar diseños simples, sencillos de aplicar y fáciles de analizar. Ahora bien, un diseño es eficiente cuando proporciona más conocimientos y mayor precisión con un número menor de datos (Díaz, 2009).

El diseño estadístico de experimentos es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas. El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

3.11 Diseño factorial

Según Condo & Pazmiño (2015) afirman que “un experimento factorial es una estrategia que consiste en cruzar los niveles de todos los factores-tratamiento en todas las combinaciones posibles” (Pág. 28).

Con el diseño factorial completo se corren aleatoriamente todas las posibles combinaciones que pueden formarse con los niveles de los factores a investigar. Así, la matriz de diseño o arreglo factorial es el conjunto de puntos experimentales o tratamientos que pueden formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Los tratamientos en el análisis factorial están constituidos por todas las combinaciones que se forman de los distintos niveles de los factores. Por ello, la característica esencial que hace necesario el estudio conjunto de factores es la posibilidad de que el efecto de un factor cambie en presencia de los niveles de otro factor (presencia de interacción), es decir, que los factores interactúen, lo cual conduce al concepto de interacción entre ellos (Melo et al., 2020).

El diseño factorial 2^k a ser usado en la parte experimental del presente trabajo de investigación se muestra en la ecuación 3.1.

$$2^k \qquad \qquad \qquad \text{Ecuación 3.1}$$

En donde:

2= número de niveles

K= número de variables

3.11.1 Diseño factorial 2^3 en el proceso de fermentación alcohólica

Para realizar el diseño experimental en el presente trabajo de investigación, se aplicó el diseño factorial durante el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de sidra natural de piña de acuerdo con la ecuación 3.2.

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde las variables y sus niveles de variación de cada factor son los siguientes:

A = Porcentaje de levadura	(A) = 2 niveles
B = Concentración de sacarosa	(B) = 2 niveles
C = Tiempo de fermentación	(C) = 2 niveles

En la tabla 3.1, se muestran los niveles de variación de las variables que se aplicaron en el proceso de fermentación alcohólica de la sidra natural de piña.

Tabla 3. 1

Niveles de variación de las variables en el proceso de fermentación alcohólica

Variables	Nivel inferior	Nivel superior	Unidad
Porcentaje de levadura (A)	0,15	0,30	%
Concentración de sacarosa (B)	19,00	24,00	°Brix
Tiempo de fermentación (C)	6,00	9,00	Días

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.2, se muestra la matriz del diseño factorial aplicado en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de sidra natural de piña, constituido por tres variables: porcentaje de levadura (A), concentración de sacarosa (B) y tiempo de fermentación (C).

Tabla 3.2

Diseño factorial de la matriz de variables para el proceso fermentación alcohólica

Tratamientos	Variables			Interacciones				Variable respuesta		
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y1	Y1	Y1
a	+	-	-	-	-	+	+	Y2	Y2	Y2
b	-	+	-	-	-	-	+	Y3	Y3	Y3
ab	+	+	-	+	+	-	-	Y4	Y4	Y4
c	-	-	+	+	-	-	+	Y5	Y5	Y5
ac	+	-	+	-	+	-	-	Y6	Y6	Y6
bc	-	+	+	-	-	+	-	Y7	Y7	Y7
abc	+	+	+	+	+	+	+	Y8	Y8	Y8

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Yi1= Variable respuesta acidez total (% ácido cítrico)

Yi2= Variable respuesta pH

Yi3= Variable respuesta grado alcohólico (°GL)

3.12 Operacionalización de las variables para la elaboración de sidra natural de piña

En el cuadro 3.1, se muestra la operacionalización de las variables dependiente e independiente del presente trabajo de investigación para el proceso de elaboración de sidra natural de piña.

Cuadro 3.1

Operacionalización de las variables para la elaboración de sidra natural de piña

Hipótesis	Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala	
La aplicación del proceso de fermentación alcohólica a nivel experimental para la elaboración de sidra natural de piña, permitirá obtener un producto de calidad, para la provincia Cercado de Tarija.	Independiente	Proceso de fermentación alcohólica	Proceso anaeróbico en el cual intervienen microorganismos, estos transforman los azúcares presentes en algunos alimentos en alcohol, dióxido de carbono, y energía (Contreras & Campo, 2014).	Control de acidez	Titulación	%
			Control de sólidos solubles	Brixómetro	°Brix	
			Temperatura de fermentación	Termómetro	(19-22)°C	
			Índice de madurez (IM)	°Brix/acidez total	-	
			Control de pH	pHmetro	1-14	
			Grado alcohólico	Alcoholímetro	(3-7)°GL	
				Tiempo de fermentación	Días	(6-9)días
	Dependiente	Sidra natural de piña	Bebida alcohólica no destilada, obtenida por fermentación del mosto de piña. (Zevallos, 2013).	Evaluación sensorial	Aroma, sabor, color, turbidez, acidez, grado alcohólico	Escala Hedónica de 5 puntos
				Análisis fisicoquímico	Carbohidratos, humedad, cenizas, proteína, hierro	%
				Análisis microbiológico	Salmonella, E. Coli, Sthapylococcus aureus	PA/25g, UFC/g, UFC/g
pH				pHmetro	1-14	
Acidez volátil				Titulación	%	

Fuente: Elaboración propia

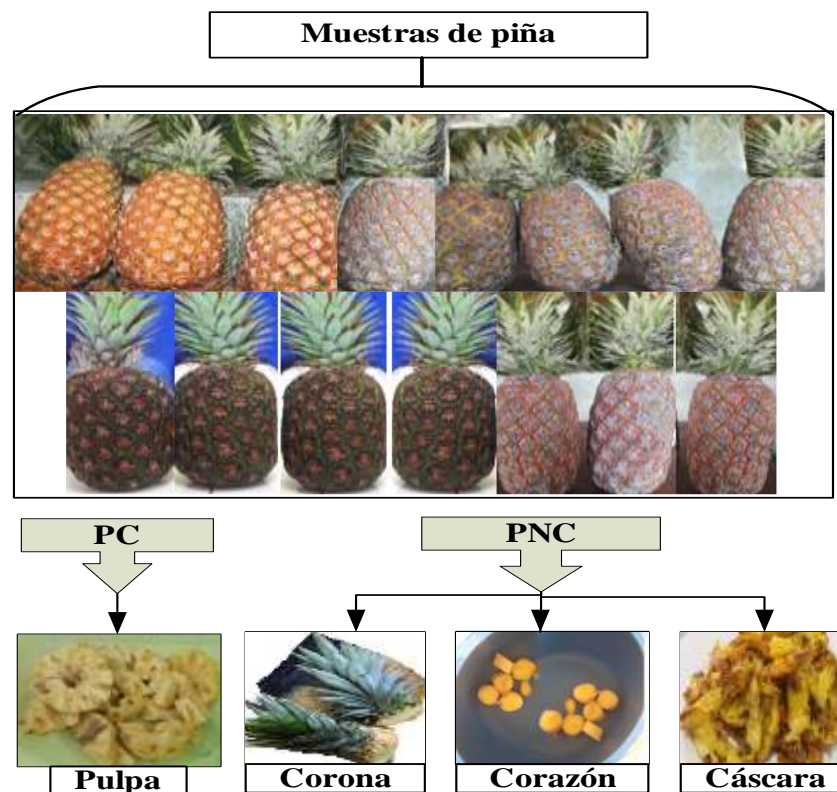
CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la piña

Para la caracterización de la piña variedad (*cayena lisa*), se tomaron en cuenta la determinación de las siguientes propiedades:

4.1.1 Propiedades físicas de la piña

Para realizar la determinación de las propiedades físicas de la piña, se utilizaron 15 muestras de piña elegidas al azar y aleatoriamente, en donde se tomaron en cuenta: altura, peso, diámetro, porción comestible (pulpa), porción no comestible (cáscara, corazón y corona). En la figura 4.1, se observan los pasos para determinar la porción comestible (PC) y porción no comestible (PNC) de las muestras de piña.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Muestras de piña (porción comestible y porción no comestible)

En la tabla 4.1, se muestran los resultados de las propiedades físicas de la piña, los cuales fueron realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Tabla 4. 1

Propiedades físicas de la piña

N°	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso total	PNC			PC	PNC (%)	PC (%)
			(g)	Cáscara (g)	Corazón (g)	Corona (g)	Pulpa (g)		
1	20,25	13,09	2037,10	432,52	120,74	125,53	1358,31	33,32	66,68
2	21,13	13,22	2219,60	558,76	141,21	132,26	1387,37	37,49	62,51
3	19,64	12,94	1985,80	444,37	107,68	116,41	1317,34	33,66	66,34
4	20,41	12,75	2184,40	513,44	132,52	117,36	1421,08	34,94	65,06
5	19,57	12,82	1821,50	422,28	112,37	115,74	1171,11	35,71	64,29
6	21,36	13,43	2391,60	550,23	152,42	48,95	1640,00	31,43	68,57
7	18,33	12,28	1687,30	346,35	85,46	152,74	1102,75	34,64	65,36
8	18,46	12,24	1733,70	369,12	108,56	145,27	1110,75	35,93	64,07
9	19,30	12,70	1923,40	376,75	106,32	147,87	1292,46	32,80	67,20
10	16,98	11,72	1528,30	356,82	105,75	128,61	937,12	38,68	61,32
11	17,07	11,65	1551,60	362,37	106,89	132,57	949,77	38,68	61,21
12	18,25	12,18	1956,50	446,85	110,24	135,12	1264,29	35,38	64,62
13	20,42	11,92	2098,20	559,14	157,62	122,58	1258,86	40,00	60,00
14	18,60	12,17	1832,60	424,36	103,48	115,34	1189,42	35,10	64,90
15	18,73	12,09	1745,80	437,58	108,17	127,85	1072,20	38,58	61,42
\bar{x}	19,23±0,05	12,48±0,05	1913,16±0,01	447,73±0,01	117,3±0,01	124,28±0,01	1231,52±0,01	36,03	63,97

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1, se pueden observar los resultados promedios de las propiedades físicas de la piña que presentan: altura $19,23 \pm 0,05$ cm; diámetro $12,48 \pm 0,05$ cm; peso total $1913,16 \pm 0,01$ g; porción comestible (PC) 63,97%; porción no comestible (PNC) 36,03%, para un total de 15 piñas.

4.1.2 Índice de madurez de la piña

Para la determinación del índice de madurez de la piña variedad *Cayena Lisa*, se realizaron análisis a 15 muestras de piña tomadas al azar, realizando el análisis de: sólidos solubles (°Brix), pH y acidez. Donde los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.2, los cuales fueron realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Tabla 4.2

Parámetros del índice de madurez de la piña

Muestras	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez (%)	pH	Índice de madurez (IM)
1	11,20	0,68	3,88	16,47
2	9,80	0,55	3,77	17,82
3	10,40	0,64	3,81	16,25
4	10,00	0,54	3,75	18,52
5	9,80	0,39	3,71	25,13
6	11,20	0,63	3,93	17,78
7	11,00	0,61	3,85	18,03
8	11,40	0,59	3,76	19,32
9	10,40	0,55	3,66	18,91
10	10,20	0,64	3,93	15,94
11	9,60	0,37	3,74	25,95
12	11,00	0,68	4,00	16,18
13	9,80	0,57	3,86	17,19
14	10,60	0,58	4,10	18,28
15	10,80	0,61	3,68	17,70
X	10,48±0,1	0,58	3,83±0,003	18,63

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.2, se puede observar los valores promedio de los análisis realizados de las muestras de piña los cuales presentan: sólidos solubles (°Brix) 10,48±0,1; acidez 0,58%; 3,83±0,003 e índice de madurez 18,63 (°Brix/acidez).

4.1.3 Análisis fisicoquímicos de la piña variedad *Cayena lisa*

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la piña de datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.3

Análisis fisicoquímicos de la piña

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,25
Fibra	%	0,26
Grasa	%	0,03
Hidratos de carbono	%	10,18
Hierro	mg/100g	0,20
Humedad	%	88,84
Potasio	mg/100g	128,00
Proteína total (Nx6,25)	%	0,44
pH (20°C)	-	4,71
Sólidos solubles	°Brix	11,09
Valor energético	kcal/100g	42,75

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.3, se puede observar que la piña contiene: ceniza 0,25%; fibra 0,26%; grasa 0,03%; hidratos de carbono 10,18%; hierro 0,20mg/100g; humedad 88,84%; potasio 128,00mg/100g; proteína total 0,44%; pH 4,71; sólidos solubles 11,09 °Brix y valor energético 42,75Kcal/100g.

4.1.4 Análisis microbiológicos de la piña

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la piña de datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.4

Análisis microbiológicos de la piña

Microorganismos	Unidad	Resultado
Escherichia coli	UFC/g	<1,0x10 ¹ (*)
Salmonella	PA/25g	ausencia
Staphylococcus aureus	UFC/g	<1,0x10 ¹ (*)
(*) No se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.3, se puede observar que la piña presenta: Escherichia coli <1,0x10¹ UFC/g (*); salmonella PA/25g ausencia; staphylococcus aureus <1,0x10¹ UFC/g (*). Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.

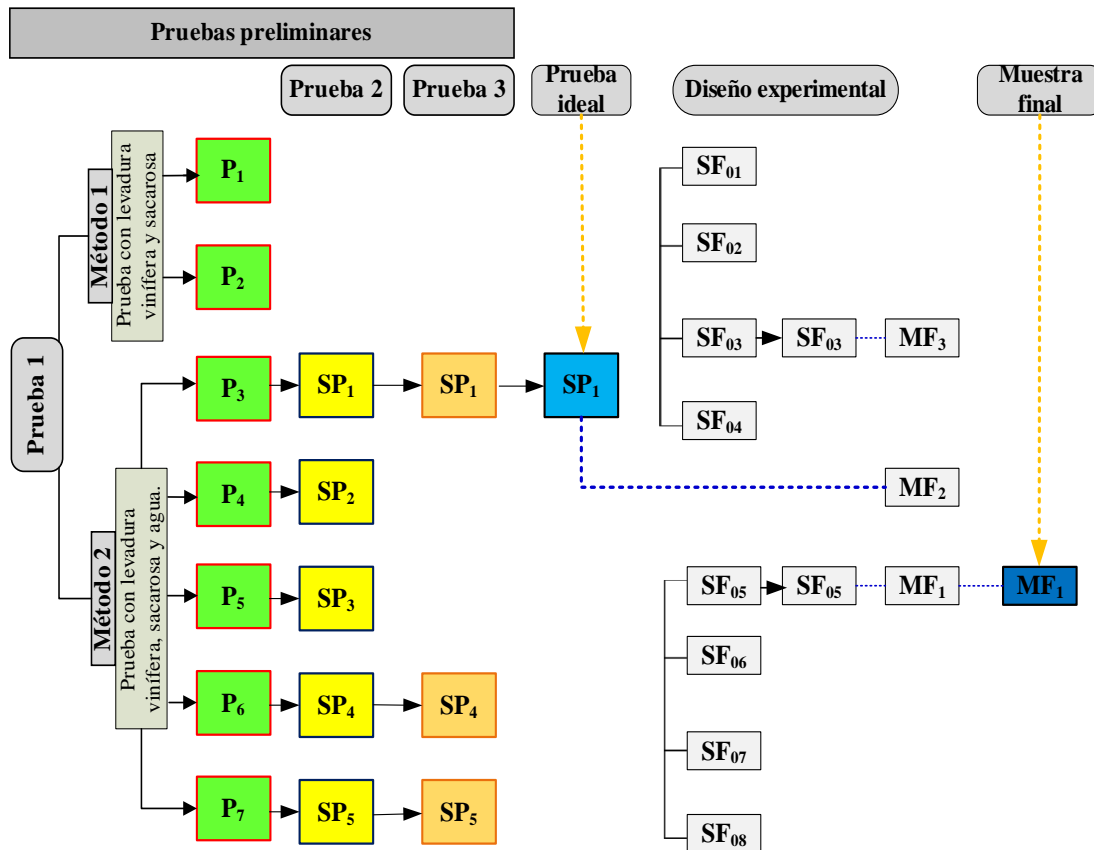
4.2 Caracterización de las variables del proceso de elaboración de sidra natural de piña

Para realizar la caracterización a nivel experimental de las variables del proceso de elaboración de sidra natural de piña, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos que se detallan a continuación:

4.2.1 Pruebas preliminares para la elaboración de sidra natural de piña

Para realizar el presente trabajo de investigación, inicialmente se realizaron siete muestras utilizando dos métodos a fin de adquirir una técnica necesaria para la elaboración de sidra natural de piña. Así mismo, se realizaron dos muestras (P1 y P2) con la incorporación de levadura vinífera, sacarosa (método 1) y cinco muestras (P3, P4, P5, P6 y P7) con levadura vinífera, sacarosa y agua (método 2). En base a las siete muestras, se tomaron en cuenta las muestras P3, P4, P5, P6 y P7 para la prueba 2 recodificadas como SP1, SP2, SP3, SP4 y SP5, variando la dosificación de insumos en cada muestra. Posteriormente, se

tomó en cuenta SP1, SP4 y SP5 para la prueba 3 realizando una variación porcentual en la formulación de dosificación de insumos obteniendo como prueba ideal la muestra SP1. En la figura 4.2, se muestran las pruebas preliminares realizadas a nivel de laboratorio para la elaboración de sidra natural de piña.

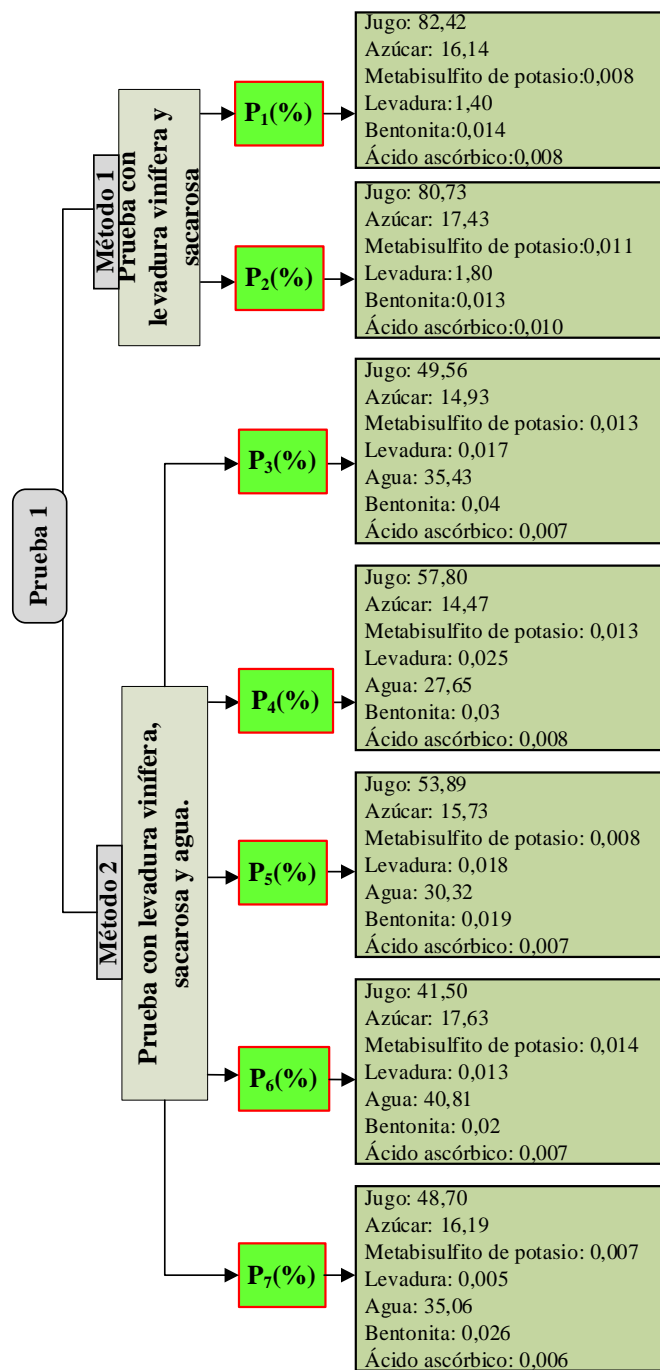


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Pruebas preliminares para la elaboración de sidra natural de piña

4.2.2 Pruebas preliminares de sidra natural de piña para la prueba 1

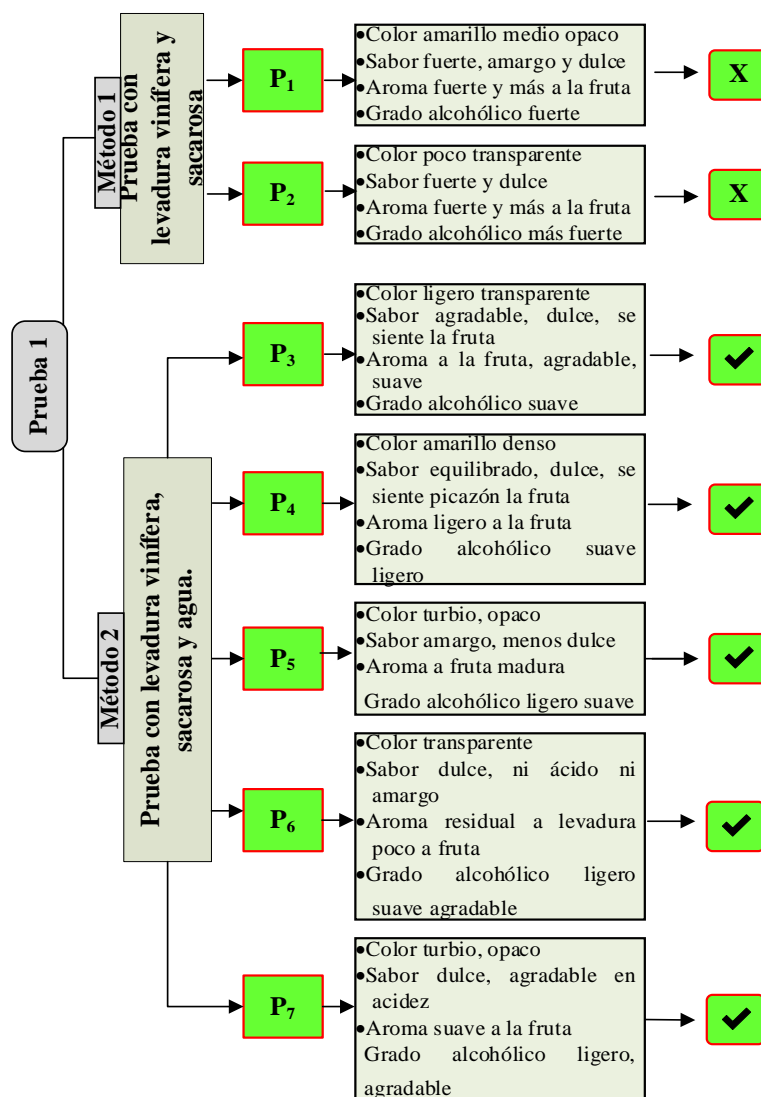
Para llevar a cabo el desarrollo de la prueba 1, se procedió con la preparación de dos muestras utilizando como base; jugo de piña, incorporando levadura vinífera y sacarosa, según Castro (1984) en “donde se mezcla con otros componentes para que fermente disuelta en el mismo” (Pág. 89) para el método 1. Así mismo se prepararon cinco muestras con base de jugo de piña incorporando levadura vinífera, sacarosa y agua para el método 2 en donde se hizo variar la dosificación de los insumos de las muestras como se indica en la figura 4.3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Variación de la dosificación de insumos de muestras de la prueba 1

Las siete muestras de sidra natural de piña fueron sometidas a evaluación sensorial, evaluadas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio del Taller de Alimentos, en la valoración de las distintas muestras; se detallan en la figura 4.4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Valoración subjetiva de las muestras de prueba 1

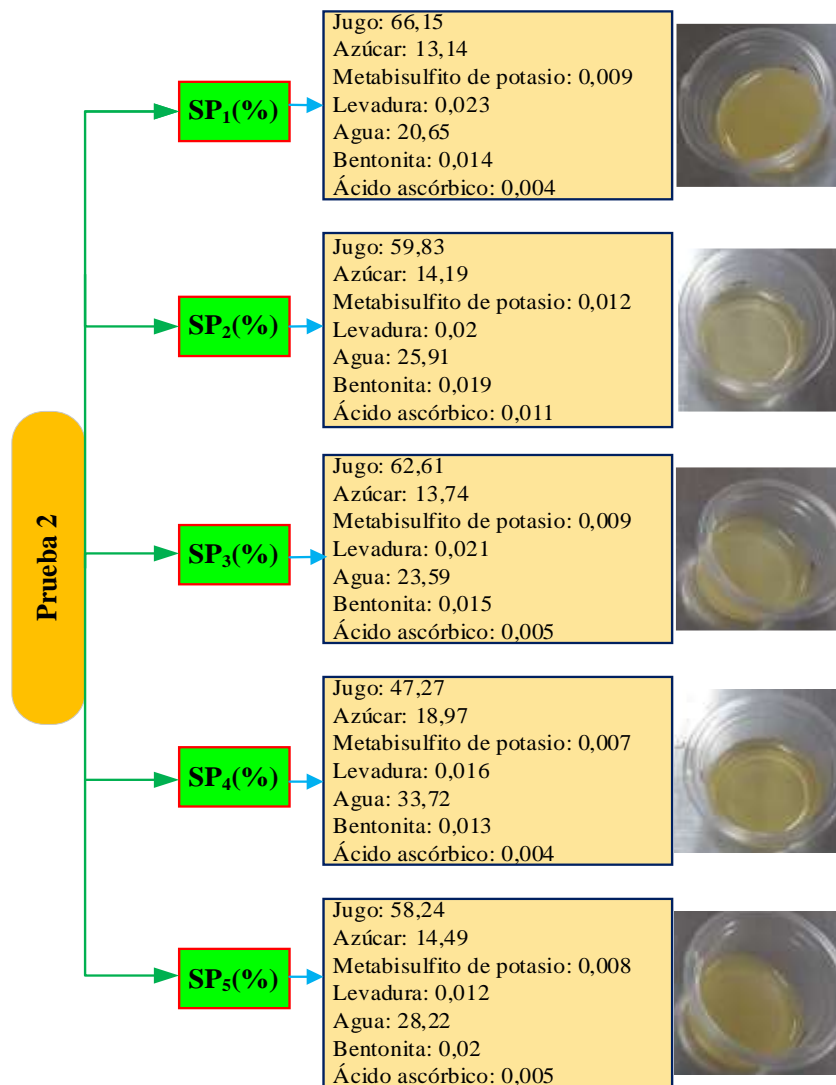
Según la figura 4.4, se puede observar que las muestras P3, P4, P5, P6 y P7 (método 2) son de mayor aceptación por presentar un mejor color, sabor, aroma a fruta y presentando grado alcohólico suave siendo más agradable en comparación con las muestras P1 y P2 (método 1), que presentan un grado alcohólico fuerte, sabor amargo y un color opaco turbio poco transparente.

4.2.3 Pruebas preliminares en la dosificación de insumos para la prueba 2

Para la preparación de la prueba 2, se tomaron en cuenta las muestras P3, P4, P5, P6 y P7 del método 2 siendo recodificadas como SP1, SP2, SP3, SP4 y SP5, considerando la

variación de dosificación de insumos (azúcar, agua, metabisulfito de potasio, bentonita, ácido ascórbico, levadura y jugo de piña) en cada muestra según las observaciones que se realizaron en la evaluación sensorial de las muestras del (método 2) de la prueba 1.

En la figura 4.5, se muestran las variaciones de dosificación de insumos para las muestras de la prueba 2.



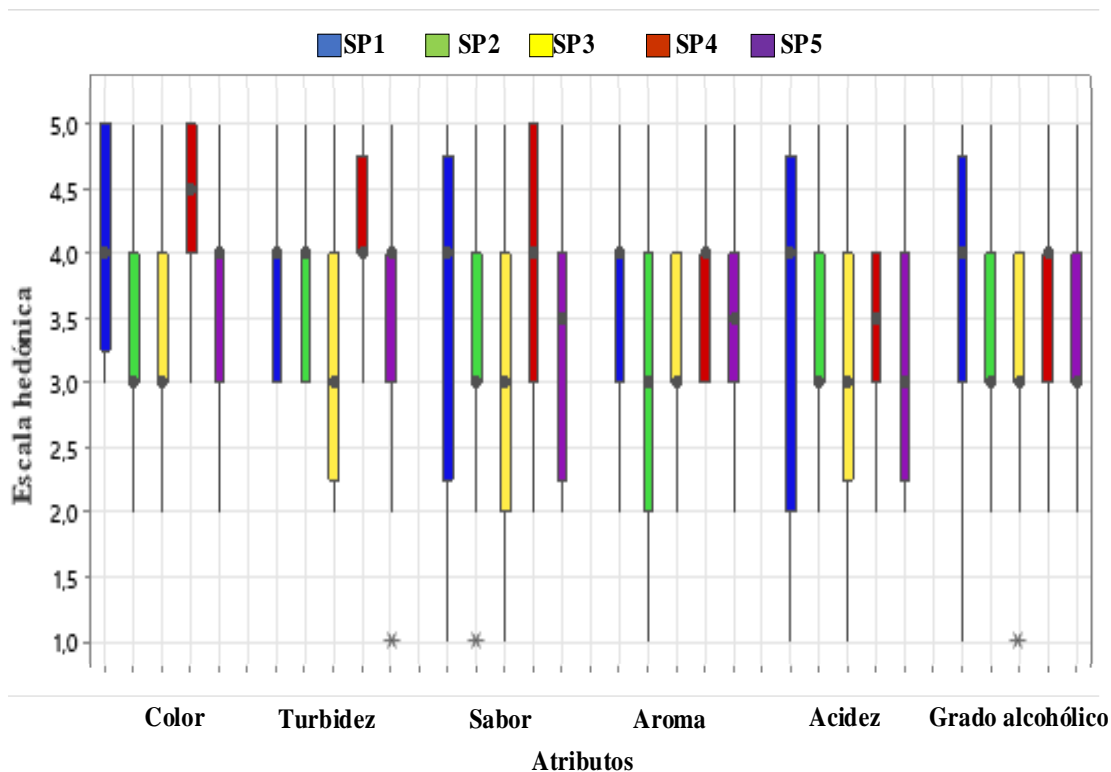
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Variación de dosificación de insumos para la prueba 2

Según la figura 4.5, las muestras fueron sometidas a una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos, en base a los atributos: color, turbidez, sabor, aroma, acidez y grado alcohólico.

4.2.3.1 Estadístico de caja y bigote para la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 2

En la figura 4.6, se muestra la caja y bigote en la dosificación de insumos de la prueba 2, de datos extraídos del Anexo C en función de los atributos; color (tabla C.2.1), turbidez (tabla C.2.2), aroma (tabla C.2.3), sabor (tabla C.2.4), acidez (tabla C.2.5) y grado alcohólico (tabla C.2.6).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Caja y bigote en la variación de dosificación de insumos para las muestras de la prueba 2

Según la figura 4.6, se puede observar el análisis estadístico de caja y bigote según los atributos evaluados, donde los resultados en función de las medianas; color 4,0 (SP1, SP5) y 4,5 (SP4); turbidez 4,0 (SP1, SP4, SP5); sabor 4,0 (SP1, SP4) y 3,5 (SP5); aroma 4,0 (SP1, SP4) y 3,5 (SP5); acidez 4,0 (SP1) y 3,5 (SP4) y grado alcohólico 4,0 (SP1, SP4). Así mismo, realizado el análisis de varianza, se pudo observar que existe diferencia significativa entre los atributos color, turbidez y aroma. Sin embargo, en los atributos sabor, acidez y grado alcohólico no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.2.3.2 Estadístico de Tukey para el atributo color en la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 2

En la tabla 4.5, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de las muestras de la prueba 2 de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4. 5

Estadístico Tukey para el atributo color de la prueba 2

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación		
SP4	20	4,5	A		
SP1	20	4,0	A	B	
SP5	20	4,0	A	B	C
SP2	20	3,0		B	C
SP3	20	3,0			C

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.5, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SP4-SP2, SP4-SP3, SP1-SP3, sin embargo, para los tratamientos; SP4-SP1, SP4-SP5, SP1-SP5, SP1-SP2, SP5-SP2 y SP5-SP3, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.2.3.3 Estadístico de Tukey para el atributo turbidez en la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 2

En la tabla 4.6, se muestra el estadístico Tukey para el atributo turbidez de las muestras de la prueba 2 de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.6

Estadístico Tukey para el atributo turbidez de la prueba 2

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SP4	20	4,0	A	
SP2	20	4,0	A	B
SP1	20	4,0	A	B
SP5	20	4,0	A	B
SP3	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.6, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SP4-SP3, sin embargo, los tratamientos: SP4-SP2, SP4-SP1, SP4-SP5, SP2-SP1, SP2-SP5, SP2-SP3, SP1-SP5, SP1-SP3 y SP5-SP3, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.2.3.4 Estadístico de Tukey para el atributo aroma en la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 2

En la tabla 4.7, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de las muestras de la prueba 2 de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.7

Estadístico Tukey para el atributo aroma de la prueba 2

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SP4	20	4,0	A	
SP1	20	4,0	A	
SP5	20	3,5	A	B
SP3	20	3,0	A	B
SP2	20	3,0		B

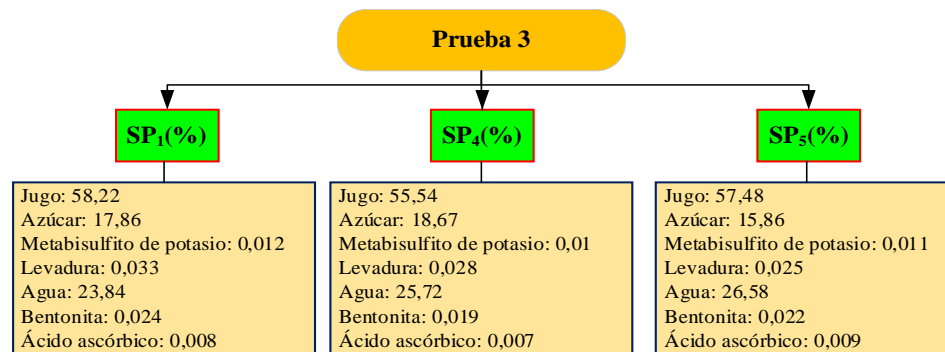
Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.7, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SP4-SP2, SP1-SP2, sin embargo, los tratamientos; SP4-SP1, SP4-SP5, SP4-SP3, SP1-SP5, SP1-SP3, SP5-SP3, SP5-SP2 y SP3-SP2, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

En base al estadístico de caja y bigote de la evaluación sensorial en la dosificación de insumos de la prueba 2 de elaboración de sidra natural de piña y de acuerdo el estadístico de Tukey de cada atributo, se pudo observar que los jueces seleccionaron las muestras SP1, SP4 y SP5, por presentar mejores atributos (color, turbidez y aroma) y en función de los resultados de sus medianas existiendo diferencia significativa en comparación de las muestras SP2 y SP3.

4.2.4 Pruebas preliminares en la variación de la dosificación de insumos para la prueba 3

En base a las muestras evaluadas de la prueba 2 (SP1, SP4 y SP5), se modifica la dosificación porcentual de insumos variando (azúcar, agua, metabisulfito de potasio, bentonita, ácido ascórbico, levadura y jugo de piña), con la finalidad de mejorar los atributos: color, turbidez y aroma en las muestras de sidra natural de piña. En la figura 4.7, se detalla las variaciones porcentuales de dosificación de insumos para las muestras de la prueba 3.



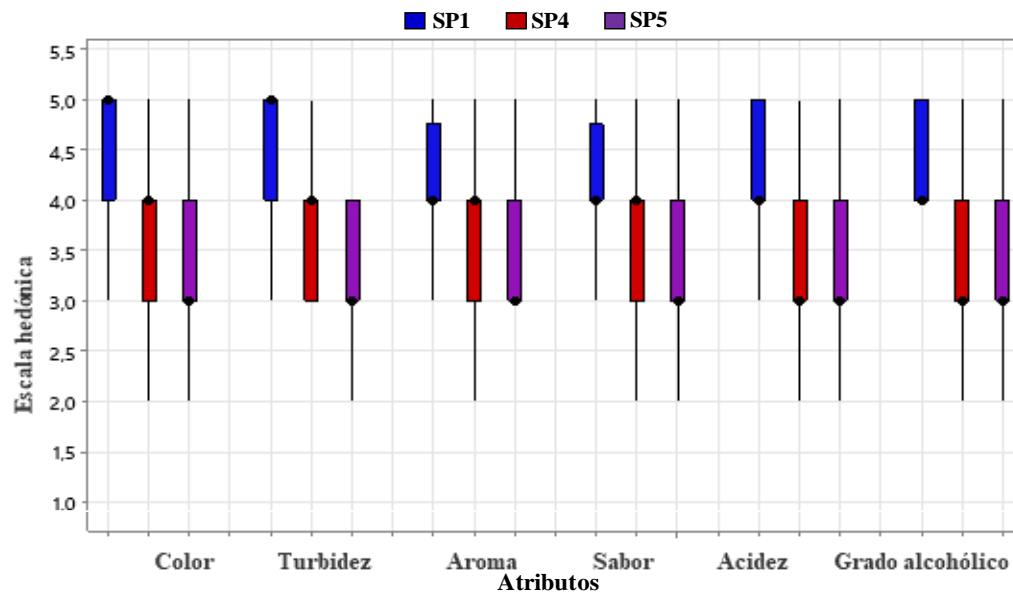
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Variación porcentual de insumos en la dosificación para la prueba 3

En base a las muestras de la figura 4.7, se procede a realizar evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos, en función de los atributos: color, turbidez, sabor, aroma, acidez y grado alcohólico.

4.2.4.1 Estadístico de caja y bigote para la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 3

En la figura 4.8, se muestra la caja y bigote en la dosificación de insumos en la prueba 3, de datos extraídos del Anexo C en función de los atributos; color (tabla C.2.19), turbidez (tabla C.2.20), aroma (tabla C.2.21), sabor (tabla C.2.22), acidez (tabla C.23) y grado alcohólico (tabla C.2.24).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8: Caja y bigote en la variación de dosificación de insumos de las muestras de la prueba 3

Según la figura 4.8, se puede observar los resultados de caja y bigote en función de las medianas, según los atributos de las muestras; color 5,0 (SP1), turbidez 5,0 (SP1), sabor 4,0 (SP1), aroma 4,0 (SP1), acidez 4,0 (SP1) y grado alcohólico 4,0 (SP1). Así mismo, realizando el análisis de varianza, se evidencia que existe diferencia significativa entre los atributos sensoriales de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.2.4.2 Estadístico de Tukey para el atributo color en la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 3

En la tabla 4.8, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de las muestras de la prueba 3 de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.8

Estadístico Tukey para el atributo color de la prueba 3

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SP1	20	5,0	A	
SP4	20	4,0		B
SP5	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.8, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SP1-SP4, SP1-SP5, sin embargo, para los tratamientos; SP4-SP5, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.2.4.3 Estadístico de Tukey para el atributo turbidez en la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 3

En la tabla 4.9, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo turbidez de las muestras de la prueba 3 de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.9

Estadístico Tukey para el atributo turbidez de la prueba 3

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SP1	20	5,0	A	
SP4	20	4,0		B
SP5	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.9, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SP1-SP4, SP1-SP5, sin embargo, para los tratamientos; SP4-SP5, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.2.4.4 Estadístico de Tukey para el atributo aroma en la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 3

En la tabla 4.10, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de las muestras de la prueba 3 de datos extraídos de la tabla (Anexo C).

Tabla 4.10

Estadístico Tukey para el atributo aroma de la prueba 3

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SP1	20	4,0	A	
SP4	20	4,0	A	B
SP5	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SP1-SP5, sin embargo, para los tratamientos; SP1-SP4, SP4-SP5, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.2.4.5 Estadístico de Tukey para el atributo sabor en la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 3

En la tabla 4.11, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de las muestras de la prueba 3 de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.11

Estadístico Tukey para el atributo sabor de la prueba 3

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SP1	20	4,0	A	
SP4	20	4,0	A	B
SP5	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.11, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SP1-SP5, sin embargo, para los tratamientos; SP1-SP4, SP4-SP5, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.2.4.6 Estadístico de Tukey para el atributo acidez en la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 3

En la tabla 4.12, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo acidez de las muestras de prueba 3 de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.12***Estadístico Tukey para el atributo acidez de la prueba 3***

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SP1	20	4,0	A	
SP4	20	3,0		B
SP5	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.12, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SP1-SP4, SP1-SP5, sin embargo, para los tratamientos; SP4-SP5, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.2.4.7 Estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico en la dosificación de insumos de las pruebas preliminares de la prueba 3

En la tabla 4.13, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico de las muestras de la prueba 3 de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.13***Estadístico Tukey para el atributo grado alcohólico prueba 3***

Muestras	N° de jueces	Mediana	Agrupación	
SP1	20	4,0	A	
SP4	20	3,0		B
SP5	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.13, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SP1-SP4, SP1-SP5, sin embargo, para los tratamientos; SP4-SP5, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

En base al estadístico de caja y bigote de la evaluación sensorial en la dosificación de insumos de la prueba 3 y de acuerdo al estadístico de Tukey realizado en cada atributo, se pudo evidenciar que existe diferencia estadística significativa entre los atributos (color, turbidez, aroma, sabor, acidez y grado alcohólico) evaluados de las muestras SP1, SP4 y SP5, predominando la muestra SP1 en función de sus medianas; color (5,0), turbidez (5,0), aroma (4,0), sabor (4,0), acidez (4,0) y grado alcohólico (4,0), siendo la seleccionada por los jueces.

4.2.5 Control de factores: °Brix, pH y acidez en el proceso de fermentación alcohólica

Durante el proceso de desarrollo de las muestras preliminares para la elaboración de sidra natural de piña, se realizaron el control de los factores: °Brix, acidez y pH, de las muestras SP1, SP4 y SP5, realizando el seguimiento al proceso de fermentación alcohólica en un tiempo de 7 días, cada muestra en un frasco de vidrio cerrado con válvula de escape de aire a temperatura de (20-21)°C; control realizado en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) utilizando los instrumentos de laboratorio (Anexo H) para la determinación de los factores.

4.2.5.1 Control de °Brix en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de piña

En la tabla 4.14, se muestran los resultados obtenidos de la variación °Brix en función del tiempo del proceso fermentativo de las muestras SP1, SP4 y SP5 del mosto de piña. Para tal efecto, se utilizó un refractómetro de bolsillo, tomando en cuenta los días hábiles (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes) cuya técnica utilizada se detalla en (Anexo D) y los resultados son extraídos del Anexo E.

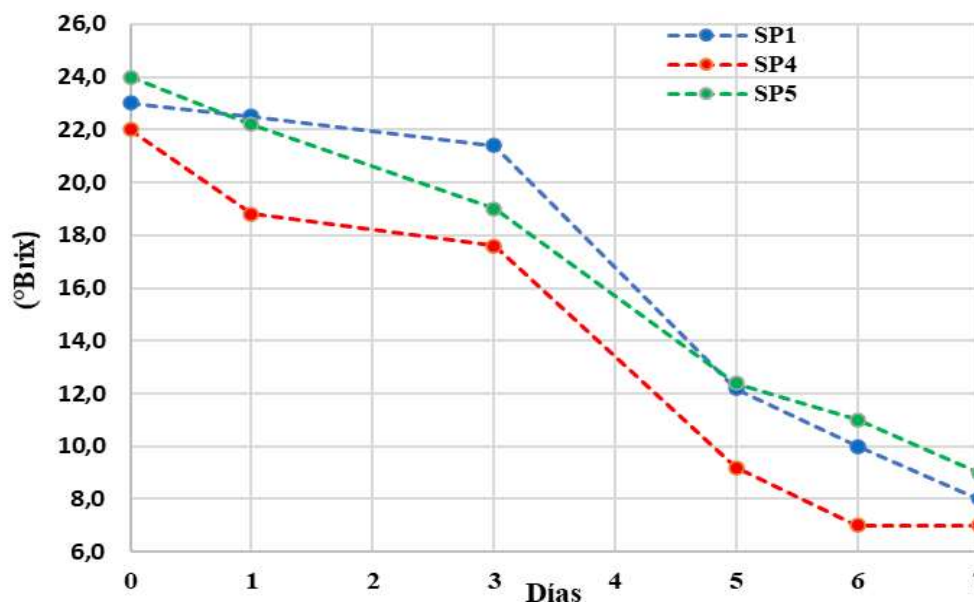
Tabla 4.14

Variación de °Brix según el tiempo de fermentación alcohólica

Días	Muestras		
	SP1	SP4	SP5
	°Brix	°Brix	°Brix
0	23,0	22,0	24,0
1	22,5	18,8	22,2
3	21,4	17,6	19,0
5	12,2	9,2	12,4
6	10,0	7,0	11,0
7	8,0	7,0	9,0

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.9, se muestra la variación de los °Brix en función del tiempo del proceso de fermentación alcohólica para las muestras SP1, SP4 y SP5 en el mosto de piña, en base a los resultados de la tabla 4.14.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Variación de °Brix en función el tiempo de fermentación alcohólica

De acuerdo a la figura 4.9, se puede observar que al inicio del proceso fermentativo las muestras presentan: SP1 (23°Brix), SP4 (22°Brix) y SP5 (24°Brix), luego al transcurrir tres días existe una disminución de 21,4°Brix (SP1), 17,6 °Brix (SP4) y a 19°Brix (SP5), para el día cinco hubo un descenso de 12,2°Brix (SP1), 9,2°Brix (SP4) y 12,4°Brix (SP5). Finalizando, el proceso fermentativo en los siete días con: 8°Brix (SP1), 7°Brix (SP4) y 9°Brix (SP5). Evidenciando el consumo de azúcares por parte de las levaduras en el proceso de fermentación alcohólica ha hecho que obtengan un grado alcohólico de: 5°Gl (SP1), 6°Gl (SP4) y 4°Gl (SP5).

4.2.5.2 Control de acidez en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de piña

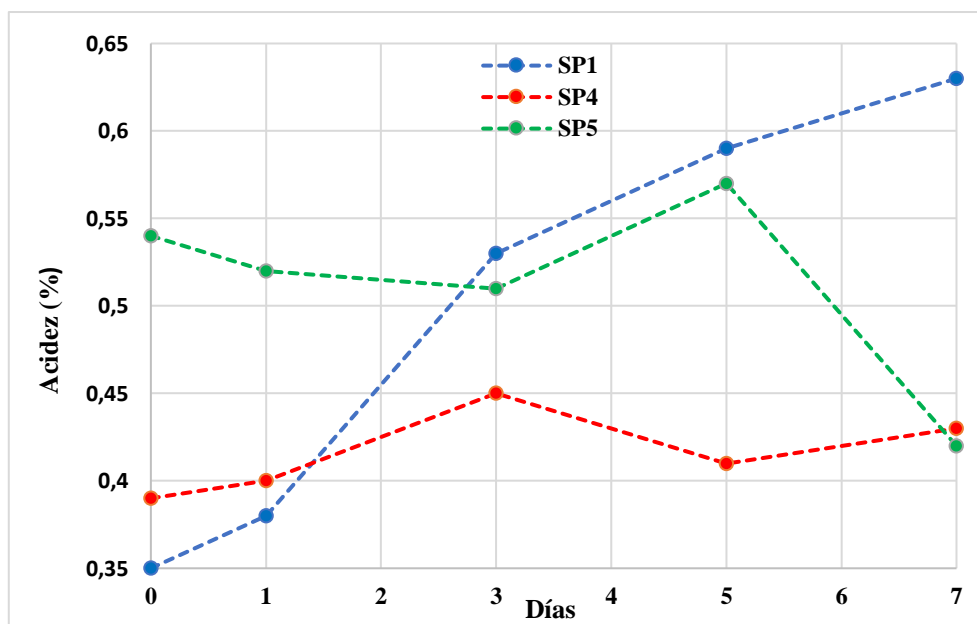
En la tabla 4.15, se muestran los resultados obtenidos de la variación de acidez (ácido cítrico) en función del tiempo del proceso fermentativo de las muestras SP1, SP y SP5 del mosto de piña. En consecuencia, se utilizó el método de determinación de acidez que se detalla en el Anexo D, obteniendo los siguientes resultados de datos extraídos del Anexo E.

Tabla 4.15*Variación de acidez durante el tiempo de fermentación alcohólica*

Días	Muestras		
	SP1	SP4	SP5
	Acidez (%)	Acidez (%)	Acidez (%)
0	0,35	0,39	0,54
1	0,38	0,40	0,52
3	0,53	0,45	0,51
5	0,59	0,41	0,57
7	0,63	0,43	0,42

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.10, se muestra la variación de acidez (ácido cítrico) en el proceso de fermentación alcohólica para las muestras SP1, SP4 y SP5 en el mosto de piña, de acuerdo a los datos de la tabla 4.15.

**Fuente:** Elaboración propia**Figura 4.10:** Variación de acidez en función del tiempo de fermentación alcohólica

Según la figura 4.10, se puede observar los valores iniciales de acidez expresadas en porcentaje de ácido cítrico de las muestras: SP1 (0,35%), SP4 (0,39%) y SP5 (0,54%); al transcurrir tres días del proceso fermentativo sus valores se incrementaron 0,53% (SP1), 0,45% (SP4) y SP5 (0,51%); luego de los cinco días se aumentaron a 0,59% (SP1), 0,57% (SP5) y SP4 (0,41%). Pasado a los siete días, las muestras SP1 (0,63%) y SP4 (0,43%) presentaron un incremento del valor de acidez a diferencia que la muestra SP5 descendió a 0,42%.

4.2.5.3 Control de pH en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de piña

En la tabla 4.16, se muestran los resultados de pH, determinados con un pH-metro digital de acuerdo a la técnica que se detalla en (Anexo D) para las muestras SP1, SP4 y SP5, en función del tiempo del proceso fermentativo del mosto de piña obteniendo los siguientes resultados de datos extraídos del Anexo E.

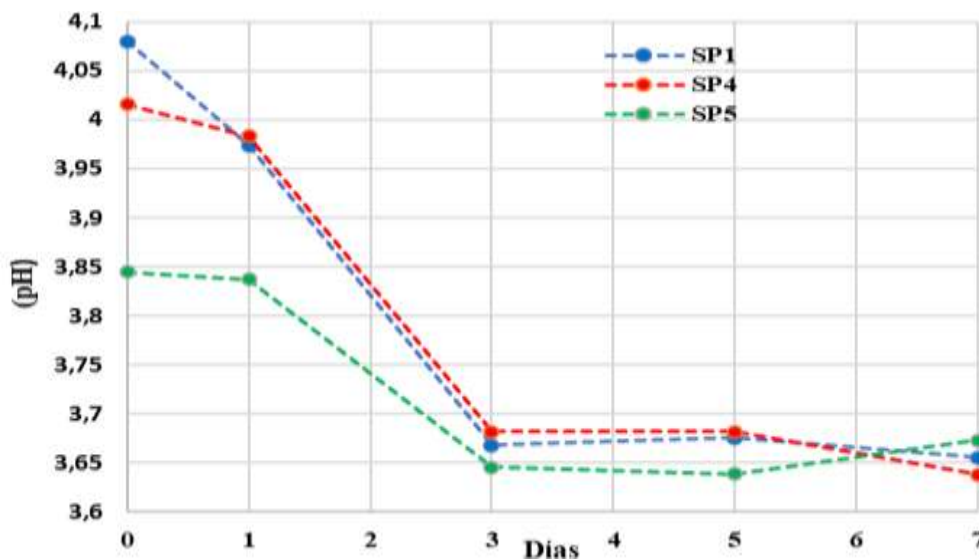
Tabla 4.16

Variación de pH en función del tiempo de fermentación alcohólica

Días	Muestras		
	SP1	SP4	SP5
	pH	pH	pH
0	4,080	4,016	3,845
1	3,974	3,983	3,837
3	3,668	3,682	3,646
5	3,676	3,682	3,639
7	3,656	3,638	3,673

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.11, se muestra la variación de pH en el proceso de fermentación alcohólica para las muestras SP1, SP4 y SP5 en el mosto de piña, de acuerdo a los datos de la tabla 4.16.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Control de pH en función del tiempo de fermentación alcohólica

Según la figura 4.11, se puede observar los datos iniciales de pH que presentan las muestras SP1(4,08), SP4(4,016) y SP5(3,845), luego de tres días se muestra un descenso de pH; 3,668 (SP1), 3,682 (SP4) y 3,646 (SP5) y al transcurrir cinco días no

hubo variación de pH considerable. Luego de siete días se observa la variación de pH, presentando un descenso de pH en las muestras SP1(3,656), SP4(3,638), mientras que la muestra SP5 aumentó a 3,673.

4.3 Diseño factorial 2³ en el proceso de fermentación alcohólica del jugo de piña para la elaboración de sidra natural de piña

Para la aplicación del diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica del jugo de piña, se realizó en base a la muestra ideal SP1 (figura 4.2), considerando las variables: porcentaje de levadura (A), concentración de sacarosa (B) y tiempo (C). Tomándose en cuenta el porcentaje de acidez total, pH y grado alcohólico (°GL); como las variables respuesta en el proceso de fermentación.

4.3.1 Variable respuesta de acidez total en el proceso de fermentación alcohólica

La tabla 4.17, muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2³ aplicando el programa Statgraphics Centurión versión 19 para Windows 10 de datos extraídos del Anexo F, en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de piña para la variable respuesta acidez total (% ácido cítrico). Para la determinación de acidez total los resultados son expresados en porcentaje por el método de titulación directa por viraje de color que se detalla en el Anexo D.

Tabla 4.17

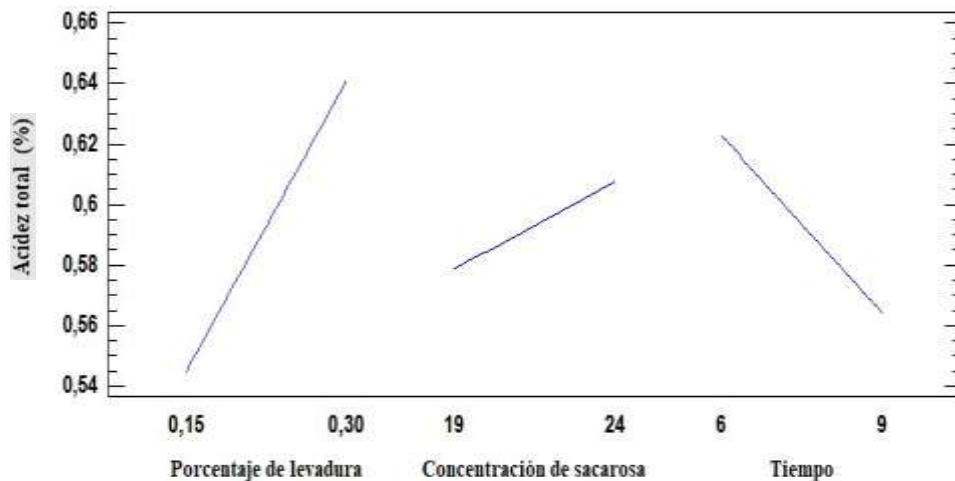
Análisis de varianza de la variable acidez total en el proceso fermentativo

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Fcal	Ftab	Valor-P
Factor A	0,03706	1	0,03706	17,09	5,318	0,0033
Factor B	0,00331	1	0,00331	1,52	5,318	0,2520
Factor C	0,01381	1	0,01381	6,37	5,318	0,0356
Interacción AB	0,00031	1	0,00031	0,14	5,318	0,7168
Interacción AC	0,01051	1	0,01051	4,84	5,318	0,0589
Interacción BC	0,01756	1	0,01756	8,10	5,318	0,0216
Interacción ABC	0,04306	1	0,04306	19,85	5,318	0,0021
Error total	0,01735	8	0,00217			
Total	0,14294	15				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.17, según el análisis de varianza se observa que para los factores (A y C) e interacciones (BC y ABC) existe diferencia significativa ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones son significativos en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de sidra natural de piña; a diferencia de los factores (B) e interacciones (AB y AC), en donde no existen diferencia significativa debido ya que $F_{cal} < F_{tab}$, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.12, se puede observar los efectos principales para los factores: A (porcentaje de levadura), B (concentración de sacarosa) y C (tiempo), con relación a la variable respuesta (acidez total) en el proceso fermentativo.

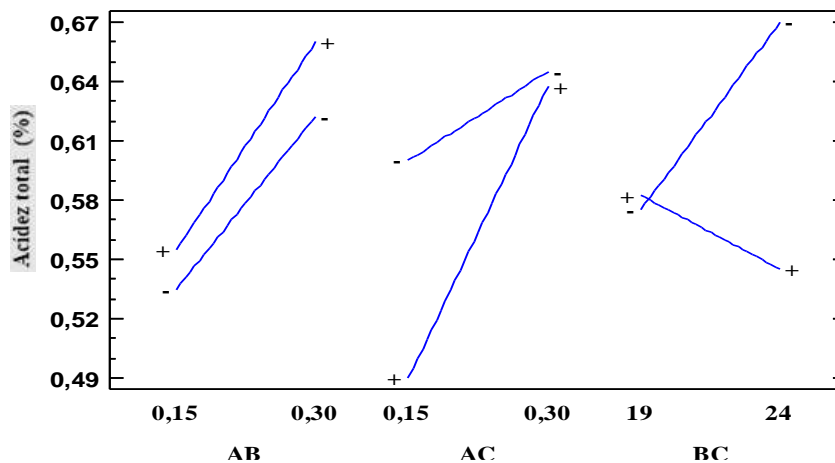


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Efectos principales para acidez total

Según la figura 4.12, se observa que los factores: porcentaje de levadura (A) y concentración de sacarosa (B), no influyen significativamente sobre la variable respuesta (acidez total); mientras que el factor tiempo (C) en sus niveles alto y bajo influyen significativamente sobre variable respuesta acidez total.

En la figura 4.13, se observan las interacciones de los factores con relación a la variable respuesta (acidez total) en el proceso fermentativo.

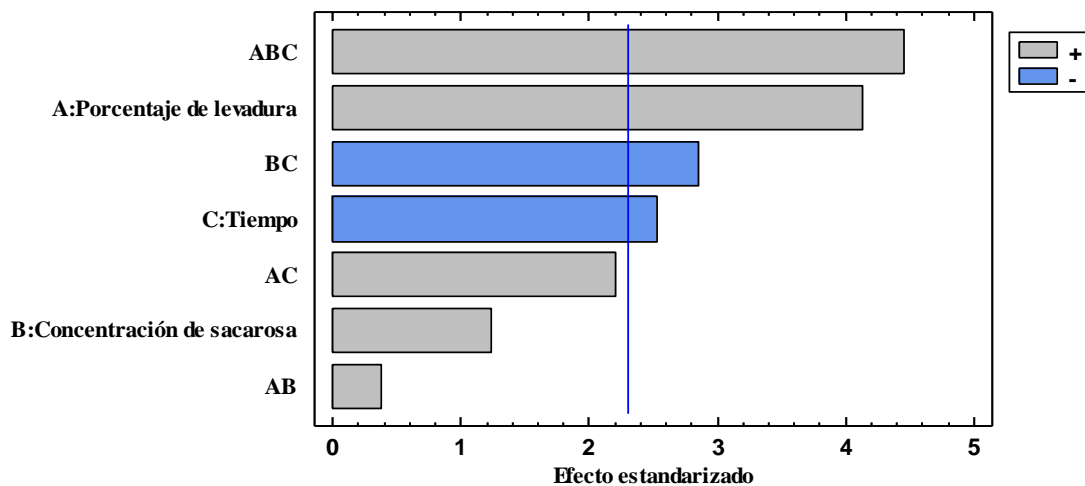


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Interacción de factores para acidez total

Según la figura 4.13, se puede observar que en los factores AB y AC no hay interacción entre los factores. En el factor BC, si se observa interacción entre los factores cuando la concentración de sacarosa se encuentra entre sus niveles alto y bajo (19 – 24)°Brix.

La figura 4.14, muestra el diagrama de Pareto estandarizado para acidez total del diseño factorial, en donde la línea vertical representa la referencia del valor crítico (2,306) en un nivel de significancia $\alpha=0,05$ y ocho grados de libertad. Por lo tanto, las barras que sobrepasan la línea de referencia corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Diagrama de Pareto estandarizado para acidez total

En la figura 4,14, se observa que los factores: A (porcentaje de levadura), C (tiempo) e interacciones ABC (porcentaje de levadura – concentración de sacarosa – tiempo) y BC (concentración de sacarosa - tiempo) sobrepasan la línea vertical de referencia, por lo tanto, son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha= 0,05$; en comparación con los factores B (concentración de sacarosa) e interacciones AC (porcentaje de levadura – tiempo) y AB (porcentaje de levadura – concentración de sacarosa) que no son estadísticamente significativos.

4.3.2 Variable respuesta de pH en el proceso de fermentación alcohólica

En la tabla 4.18, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2^3 aplicando el programa Statgraphics Centurión versión 19 para Windows 10, en el proceso de fermentación alcohólica, como variable respuesta pH, de datos extraídos del Anexo F. Para la determinación de pH, se utilizó el método por potenciometría que se detalla en el Anexo D.

Tabla 4.18

Análisis de varianza de la variable respuesta pH en el proceso fermentativo

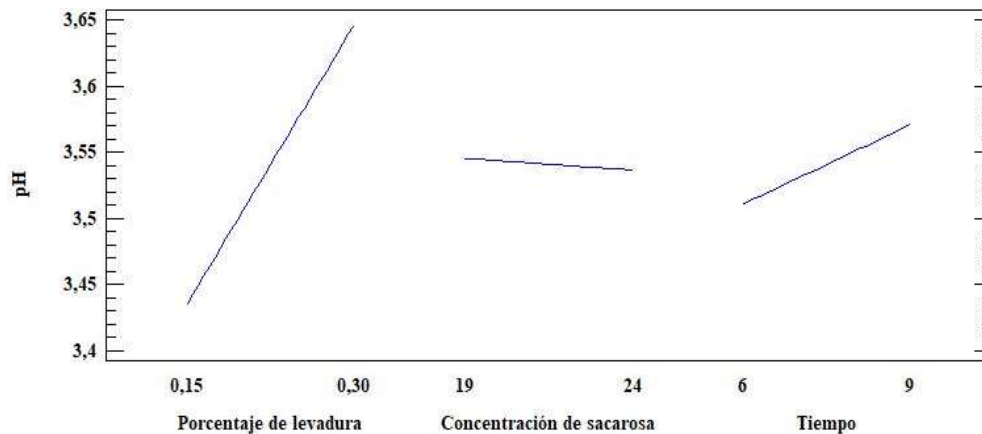
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Fcal	Ftab	Valor-P
Factor A	0,17745	1	0,17745	160,20	5,318	0,0000
Factor B	0,00032	1	0,00032	0,28	5,318	0,6083
Factor C	0,01422	1	0,01422	12,84	5,318	0,0072
Interacción AB	0,00092	1	0,00092	0,83	5,318	0,3900
Interacción AC	0,00701	1	0,00701	6,33	5,318	0,0360
Interacción BC	0,00273	1	0,00273	2,46	5,318	0,1551
Interacción ABC	0,01581	1	0,01581	14,28	5,318	0,0054
Error total	0,00886	8	0,00111			
Total	0,22732	15				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.18, según el análisis de varianza se observa que para los factores (A y C) e interacciones (AC y ABC) existe diferencia significativa ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones son significativos en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de sidra

natural de piña; a diferencia de los factores (B) e interacciones (AB y BC), donde no existe diferencia significativa ya que $F_{cal} < F_{tab}$, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.15, se puede observar los efectos principales para los factores: A (porcentaje de levadura), B (concentración de sacarosa) y C (tiempo), con relación a la variable respuesta pH en el proceso de fermentación.

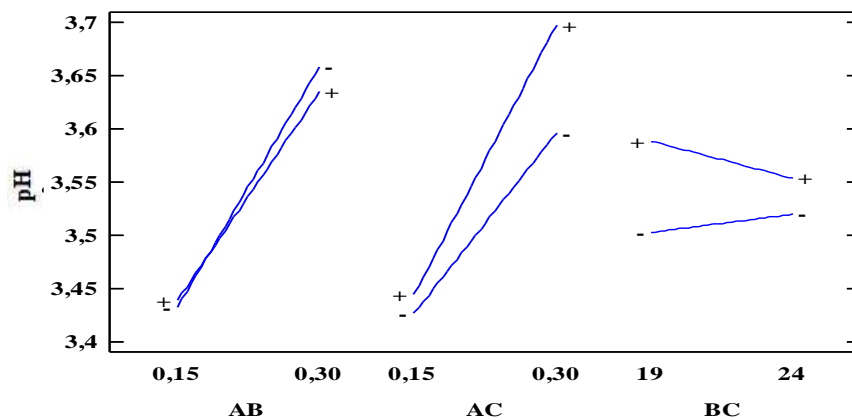


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Efectos principales para pH

Según la figura 4.15, se puede observar que los factores: porcentaje de levadura (A) y tiempo (C) en sus niveles alto y bajo influyen significativamente sobre la variable respuesta pH, mientras que el factor concentración de sacarosa (B) no influye significativamente sobre la variable respuesta pH.

En la figura 4.16, se observan las interacciones de los factores con relación a la variable respuesta pH en el proceso fermentativo.

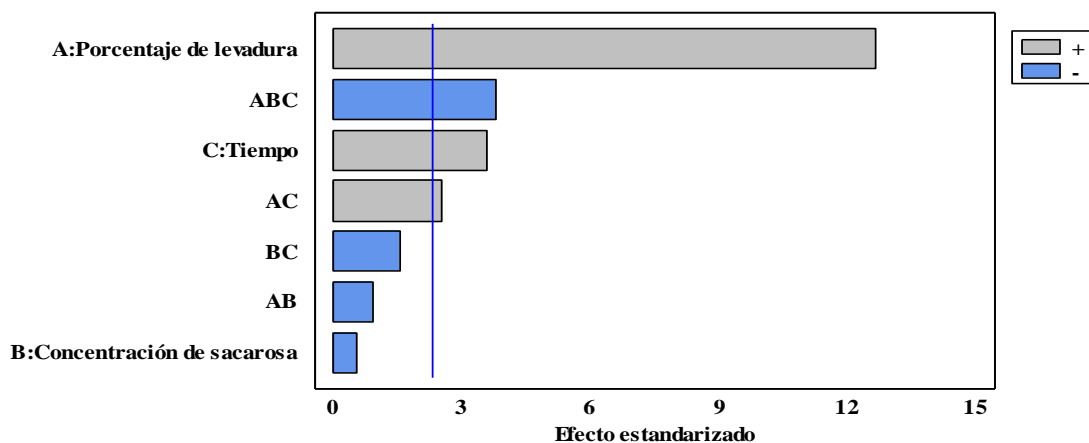


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Interacción de factores para pH

Según la figura 4.16, se observa que la interacción AB es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí; el porcentaje de levadura influye significativamente en el pH para un nivel alto y bajo (0,15-0,30)%. Así mismo en el factor AC no se observa interacción para un nivel alto de porcentaje de levadura (0,30%) a diferencia que en el nivel bajo (0,15%) se aproxima una interacción entre los factores. Así también, en el factor BC se observa que no existe interacción entre factores.

La figura 4.17, muestra el diagrama de Pareto estandarizado para pH del diseño factorial, en donde la línea vertical representa la referencia del valor crítico (2,306) en un nivel de significancia $\alpha= 0,05$ y ocho grados de libertad. Por lo tanto, las barras que sobrepasan la línea de referencia corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Diagrama de Pareto estandarizado para el pH

En la figura 4.17, se observa que los factores: A (porcentaje de levadura), C (tiempo) e interacciones ABC (porcentaje de levadura–concentración de sacarosa–tiempo) y AC (porcentaje de levadura - tiempo) sobrepasan la línea vertical de referencia, por lo tanto, son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha= 0,05$; en comparación con los factores B (concentración de sacarosa) e interacciones AB (porcentaje de levadura–concentración de sacarosa) y BC (concentración de sacarosa - tiempo) que no son estadísticamente significativos.

4.3.3 Variable respuesta del grado alcohólico en el proceso de fermentación alcohólica

La tabla 4.19, muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2^3 aplicando el programa Statgraphics Centurión versión 19 para Windows 10, en el proceso de fermentación alcohólica, como la variable respuesta grado alcohólico ($^{\circ}$ GL), de datos extraídos del Anexo F. Para la determinación del grado alcohólico se utilizó el método por densímetro que se detalla en el Anexo D.

Tabla 4.19

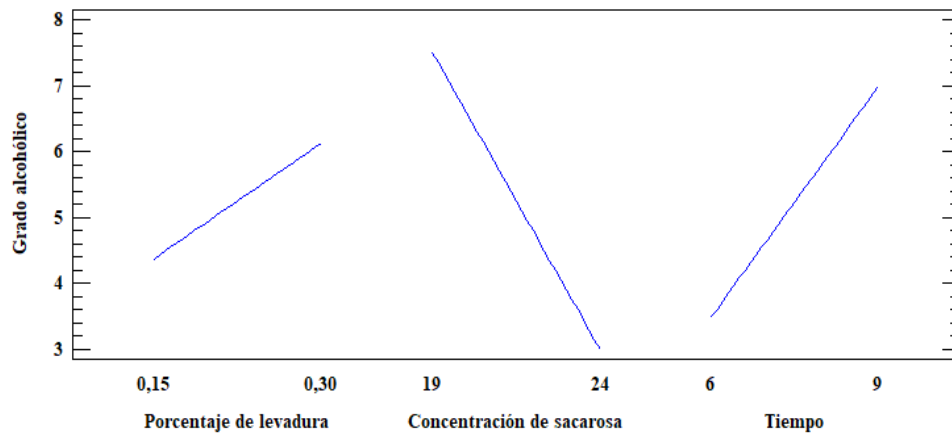
Análisis de varianza de la variable respuesta grado alcohólico

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Fcal	Ftab	Valor-P
Factor A	12,2500	1	12,2500	3,63	5,318	0,0932
Factor B	81,0000	1	81,0000	24,00	5,318	0,0012
Factor C	49,0000	1	49,0000	14,52	5,318	0,0052
Interacción AB	0,2500	1	0,2500	0,07	5,318	0,7924
Interacción AC	2,2500	1	2,2500	0,67	5,318	0,4379
Interacción BC	1,0000	1	1,0000	0,30	5,318	0,6011
Interacción ABC	6,2500	1	6,2500	1,85	5,318	0,2107
Error total	27,0000	8	3,3750			
Total	179,0000	15				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.19, según el análisis de varianza se observa que para los factores (B y C) existe diferencia significativa ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores son significativos en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de sidra natural de piña; en comparación con el factor (A) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), no existe diferencia significativa ya que $F_{cal} < F_{tab}$ para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.18, se puede observar los efectos principales para los factores: A (porcentaje de levadura), B (concentración de sacarosa) y C (tiempo), con relación a la variable respuesta (grado alcohólico) en el proceso fermentativo.

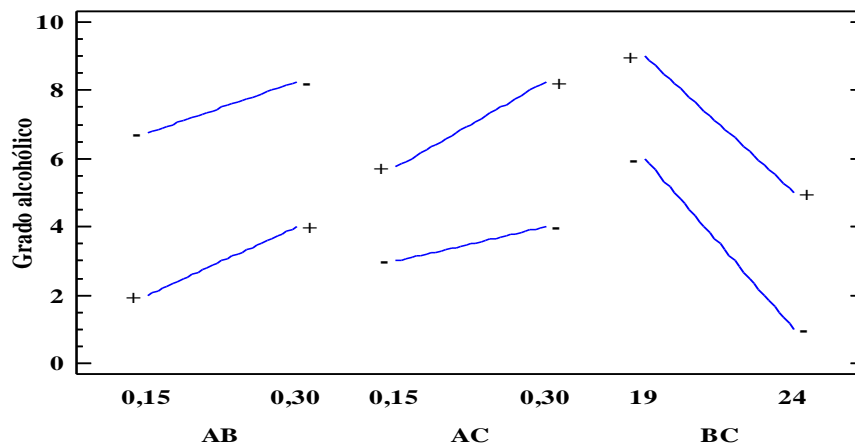


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Efectos principales para grado alcohólico

Según la figura 4.18, se puede observar que los factores: concentración de sacarosa (B) y tiempo (C), influyen significativamente en el grado alcohólico en un nivel alto y bajo; en comparación del factor porcentaje de levadura (A) que no influye significativamente sobre la variable respuesta.

En la figura 4.19, se observan las interacciones de los factores con relación a la variable respuesta grado alcohólico en el proceso fermentativo.



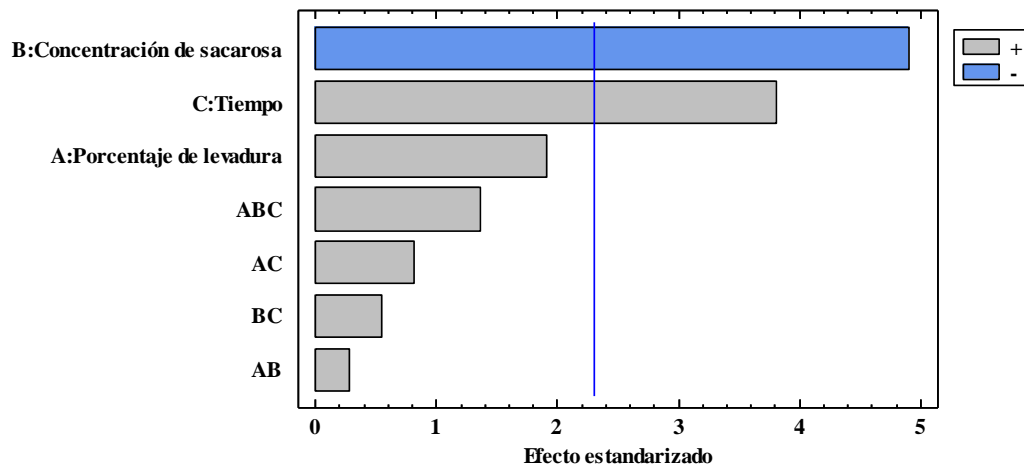
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Interacción de factores para grado alcohólico

Según la figura 4.19, se puede observar que en los factores (AB y AC) no existe interacción entre los factores, observándose líneas semi paralelas para un nivel alto y bajo (0,15-0,30)% de porcentaje de levadura; mientras que en el factor BC no existe interacción entre factores, sin embargo se ve afectado significativamente leve cuando la concentración de

sacarosa se encuentra en su nivel alto (24°Brix) y bajo (19°Brix) influyendo en el grado alcohólico para un nivel alto y bajo (6-9) días del tiempo de fermentación.

La figura 4.20, muestra el diagrama de Pareto estandarizado para la variable respuesta grado alcohólico del diseño factorial, en donde la línea vertical representa la referencia del valor crítico (2,306) en un nivel de significancia $\alpha=0,05$ y ocho grados de libertad. Por lo tanto, las barras que sobrepasan la línea de referencia corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Diagrama de Pareto estandarizado para grado alcohólico

En la figura 4.20, se observa que los factores: B (concentración de sacarosa) y C (tiempo) sobrepasan la línea vertical de referencia, por lo tanto, son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha=0,05$; en comparación con los factores A (porcentaje de levadura) e interacciones ABC (porcentaje de levadura–concentración de sacarosa–tiempo), AC (porcentaje de levadura–tiempo), BC (concentración de sacarosa–tiempo) y AB (porcentaje de levadura–concentración de sacarosa) que no son estadísticamente significativos.

De acuerdo al análisis realizado en el programa Statgraphics Centurión versión 19 para Windows 10 sobre las variables respuesta: acidez total (% ácido cítrico), pH, grado alcohólico, se determina que el factor que más incide en el proceso de fermentación alcohólica en la elaboración de sidra natural de piña es el factor C (tiempo de fermentación).

4.3.4 Pruebas experimentales del factor tiempo de fermentación del proceso de fermentación alcohólica

Se realizó la evaluación sensorial de ocho pruebas experimentales en función del factor tiempo de fermentación, para observar si existen diferencia o no entre la combinación de tratamientos del proceso de fermentación alcohólica en la elaboración de sidra natural de piña. En el cuadro 4.1, se muestra la combinación de tratamientos en función del factor tiempo de fermentación.

Cuadro 4.1

Combinación de tratamientos en función del factor tiempo de fermentación

Niveles	Combinación de tratamientos	Factor	Codificación
		Tiempo de fermentación (Días)	
Nivel superior	a	6	SF01
	ab	6	SF02
	ac	9	SF03
	abc	9	SF04
Nivel inferior	(1)	6	SF05
	b	6	SF06
	c	9	SF07
	bc	9	SF08

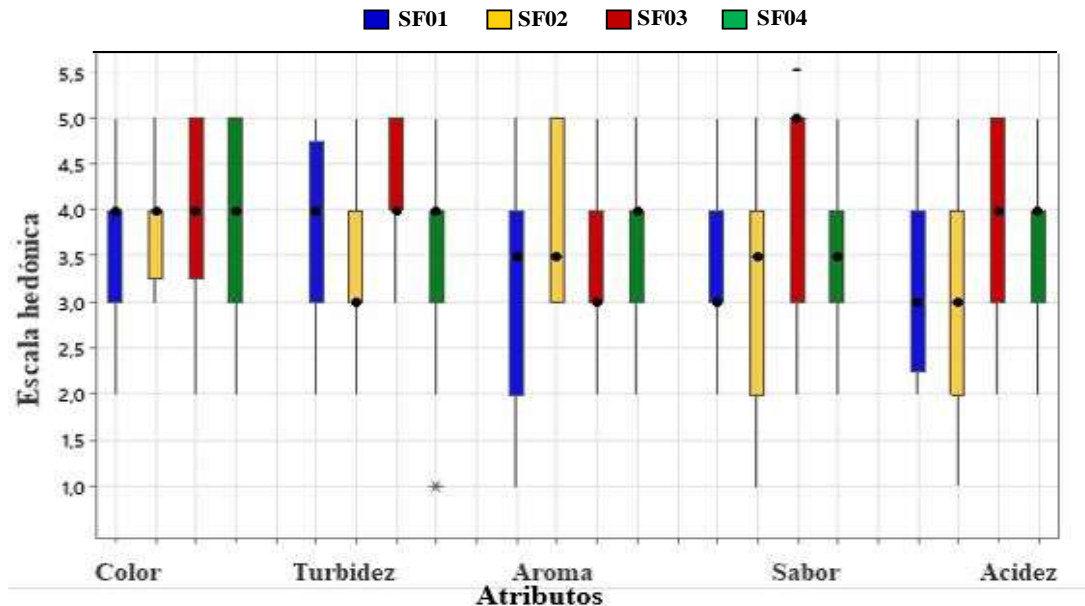
Fuente: Elaboración propia

Según el cuadro 4.1, se puede observar la combinación de tratamientos para las pruebas experimentales codificadas (SF01, SF02, SF03 y SF04) del nivel superior e inferior (SF05, SF06, SF07 y SF08) en función del factor tiempo de fermentación en el proceso de fermentación alcohólica.

Se procedió a realizar evaluación sensorial de las pruebas experimentales del factor tiempo de fermentación en el proceso de fermentación alcohólica en la elaboración de sidra natural de piña, utilizando escala hedónica de cinco puntos, tomando en cuenta los atributos (color, turbidez, aroma, sabor y acidez) con jueces no entrenados, con el fin de observar el efecto del factor considerado.

4.3.4.1 Estadístico caja y bigote del factor tiempo de fermentación del nivel superior en la elaboración de sidra natural de piña

En la figura 4.21, se muestran los resultados del estadístico de caja y bigote en base a las muestras (SF01, SF02, SF03 y SF04) de datos extraídos del (Anexo C) en función de los atributos: color (tabla C.2.37), turbidez (tabla C.2.38), aroma (tabla C.2.39), sabor (tabla C.2.40) y acidez (tabla C.2.41).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Estadístico caja y bigote del factor tiempo de fermentación del nivel superior

Según la figura 4.21, se puede observar los resultados de caja y bigote, en base a sus medianas, en función de la muestra; color 4,0 (SF03), turbidez 4,0 (SF03), aroma 3,0 (SF04), sabor 5,0 (SF03), acidez 4,0 (SF03). Así mismo, realizando el análisis de varianza se evidencia que existe diferencia significativa entre los atributos turbidez y sabor. Sin embargo, no existe diferencia estadística para los atributos color y acidez entre las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.3.4.2 Estadístico de Tukey en el atributo turbidez para el factor tiempo de fermentación del nivel superior en la elaboración de sidra natural de piña

En la tabla 4.20, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo turbidez de las pruebas del factor tiempo de fermentación de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.20***Estadístico Tukey para el atributo turbidez del nivel superior***

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SF03	20	4,0	A	
SF01	20	4,0	A	B
SF04	20	4,0	A	B
SF02	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.20, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos SF03-SF02. Sin embargo, para los tratamientos; SF03-SF01, SF03-SF04, SF01-SF04, SF01-SF02 y SF04-SF02 no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.3.4.3 Estadístico de Tukey en el atributo sabor para el factor tiempo de fermentación del nivel superior en la elaboración de sidra natural de piña

En la tabla 4.21, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de las pruebas del factor tiempo de fermentación de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.21***Estadístico Tukey para el atributo sabor del nivel superior***

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SF03	20	5,0	A	
SF04	20	3,5	A	B
SF02	20	3,5		B
SF01	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

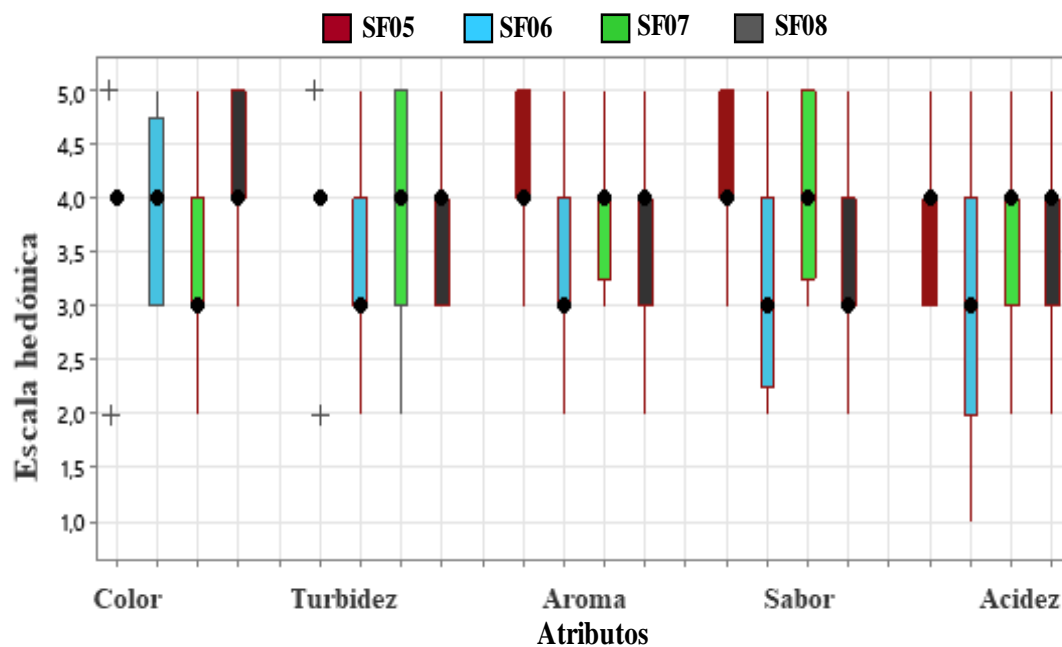
En la tabla 4.21, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos SF03-SF01 y SF03-SF02. Sin embargo, para los tratamientos; SF03-SF04, SF04-SF01, SF04-SF02 y SF01-SF02, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

En base al estadístico de caja y bigote de la evaluación sensorial del factor tiempo de fermentación y al estadístico de Tukey realizado a cada atributo de las muestras, se pudo evidenciar que existe diferencia estadística significativa entre los atributos (turbidez y sabor) evaluados de las muestras SF01, SF02 SF03 y SF04, siendo la

muestra SF03 (tiempo de fermentación de 9 días) la predominante en función de sus medianas; turbidez (4,0) y sabor (5,0) quedando seleccionada por los jueces.

4.3.4.4 Estadístico caja y bigote del factor tiempo de fermentación del nivel inferior en la elaboración de sidra natural de piña

En la figura 4.22, se muestran los resultados del estadístico de caja y bigote en función de las muestras (SF05, SF06, SF07 y SF08) de datos extraídos del (Anexo C) en base a los atributos: color (tabla C.2.51), turbidez (tabla C.2.52), aroma (tabla C.2.53), sabor (tabla C.2.54) y acidez (tabla C.2.52).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Estadístico caja y bigote del factor tiempo de fermentación del nivel inferior

Según la figura 4.22, se puede observar los resultados de caja y bigote, en base a sus medianas en función de las muestras; color 4,0 (SF05), turbidez 4,0 (SF05), aroma 4,0 (SF05), sabor 4,0 (SF05), acidez 4,0 (SF05). Así mismo, se realizó el análisis de varianza se evidencia que existe diferencia significativa entre los atributos color, aroma, sabor, acidez. Sin embargo, no existe diferencia estadística para el atributo turbidez para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.3.4.5 Estadístico de Tukey en el atributo color para el factor tiempo de fermentación del nivel inferior en la elaboración de sidra natural de piña

En la tabla 4.22, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo color de las pruebas del factor tiempo de fermentación de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.22

Estadístico Tukey para el atributo color del nivel inferior

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SF08	20	4,0	A	
SF05	20	4,0	A	B
SF06	20	4,0	A	B
SF07	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.22, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos SF08-SF07. Sin embargo, para los tratamientos; SF08-SF05, SF08-SF06, SF05-SF06, SF05-SF07 y SF06-SF07, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.3.4.6 Estadístico de Tukey en el atributo aroma para el factor tiempo de fermentación del nivel inferior en la elaboración de sidra natural de piña

En la tabla 4.23, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de las pruebas del factor tiempo de fermentación de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.23

Estadístico Tukey para el atributo aroma del nivel inferior

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SF05	20	4,0	A	
SF07	20	4,0	A	B
SF08	20	4,0	A	B
SF06	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.23, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos SF05-SF06. Sin embargo, para los tratamientos; SF05-SF07, SF05-SF08, SF07-SF08, SF07-SF06 y SF08-SF06, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.3.4.7 Estadístico de Tukey en el atributo sabor para el factor tiempo de fermentación del nivel inferior en la elaboración de sidra natural de piña

En la tabla 4.24, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de las pruebas del factor tiempo de fermentación de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.24

Estadístico Tukey para el atributo sabor del nivel inferior

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SF05	20	4,0	A	
SF07	20	4,0	A	
SF08	20	3,0		B
SF06	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.24, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos SF05-SF08, SF05-SF06, SF07-SF08 y SF07-SF06. Sin embargo, para los tratamientos SF05-SF07 y SF08-SF06, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

4.3.4.8 Estadístico de Tukey en el atributo acidez para el factor tiempo de fermentación del nivel inferior en la elaboración de sidra natural de piña

En la tabla 4.25, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo acidez de las pruebas del factor tiempo de fermentación, de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.25

Estadístico Tukey para el atributo acidez del nivel inferior

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
SF05	20	4,0	A	
SF07	20	4,0	A	B
SF08	20	4,0	A	B
SF06	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.25, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SF05-SF06. Sin embargo, para los tratamientos; SF05-SF07, SF05-SF08, SF07-SF08, SF07-SF06 y SF08-SF06 no existe diferencia significativa para un nivel un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

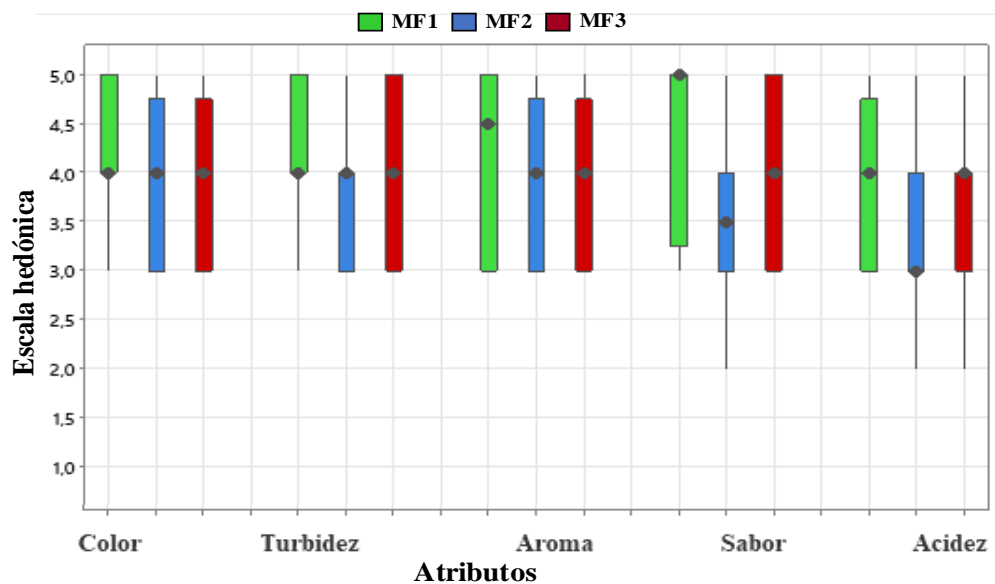
En base al estadístico de caja y bigote de la evaluación sensorial del factor tiempo de fermentación y al estadístico de Tukey realizado a cada atributo de las muestras, se pudo evidenciar que existe diferencia estadística significativa entre los atributos (color, aroma, sabor y acidez) evaluados de las muestras SF05, SF06 SF07 y SF08, siendo la muestra SF05 (tiempo de fermentación de 6 días) la seleccionada por los jueces y en base a sus medianas; color (4,0) aroma (4,0), sabor (4,0) y acidez (4,0).

4.3.5 Elección de la muestra final de sidra natural de piña entre las pruebas del factor tiempo de fermentación y la prueba ideal

Se realizó evaluación sensorial entre las muestras: SF03 (nivel superior), SF05 (nivel inferior) recodificadas como MF3 y MF1, y SP1 (muestra ideal) como MF2, con la finalidad de seleccionar la muestra final de sidra natural de piña.

4.3.5.1 Estadístico caja y bigote para las pruebas del factor tiempo de fermentación y prueba ideal

En la figura 4.23, se observan los resultados del estadístico de caja y bigote en función de las muestras (MF1, MF2 y MF3) de datos extraídos del Anexo C, en base a los atributos: color (tabla C.2.66), turbidez (tabla C.2.67), aroma (tabla C.2.68), sabor (tabla C.2.69) y acidez (tabla C.2.70).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Estadístico caja y bigote para elección de muestra final entre las pruebas del factor tiempo de fermentación y prueba ideal

Según la figura 4.23, se observa los resultados de las medianas en función de las muestras y sus atributos; color 4,0 (MF1), turbidez 4,0 (MF1), aroma 4,5 (MF1), sabor 5,0(MF1), acidez 4,0 (SF05). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se puede evidenciar que no existe diferencia significativa entre los atributos: color, turbidez, aroma y acidez. Sin embargo, existe diferencia estadística para el atributo sabor para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.3.5.2 Estadístico de Tukey en el atributo sabor de las pruebas experimentales del factor tiempo de fermentación y prueba ideal

En la tabla 4.26, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de las pruebas experimentales del nivel superior, inferior y prueba ideal, de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.26

Estadístico Tukey para el atributo sabor de las pruebas experimentales e ideal

Muestra	°N de Jueces	Mediana	Agrupación	
MF1	20	5,0	A	
MF3	20	4,0	A	B
MF2	20	3,5		B

Fuente: Elaboración propia

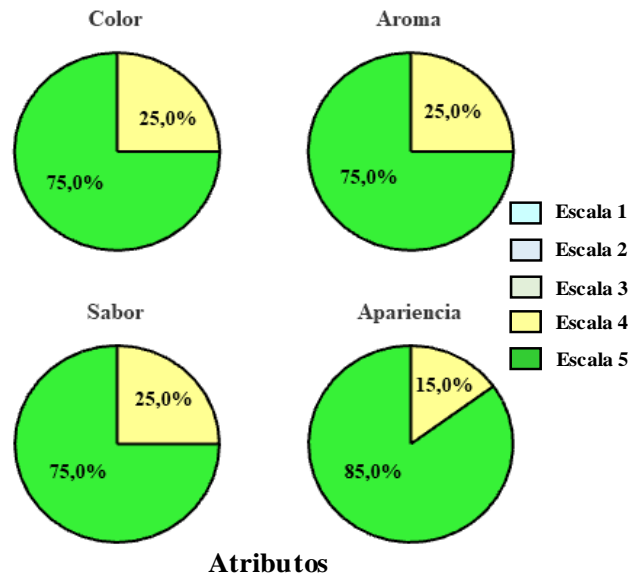
En la tabla 4.26, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos MF1-MF2, sin embargo, para los tratamientos; MF1-MF3 y MF3-MF2 no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

En base al estadístico de caja y bigote de la evaluación sensorial del factor tiempo de fermentación de las pruebas experimentales y prueba ideal, y de acuerdo al estadístico de Tukey realizado a cada atributo, se pudo evidenciar que existe diferencia estadística significativa entre los atributos (color, aroma, sabor y acidez) evaluados de las muestras MF1, MF2 y MF3, siendo la muestra MF1 la seleccionada por los jueces y en función de su mediana; sabor (5,0).

4.3.5.3 Valoración de la muestra final de sidra natural de piña

Se realizó una evaluación sensorial de la muestra MF1 recodificada como SF de sidra natural de piña, la cual se llevó a cabo mediante escala hedónica de cinco puntos realizada por 20 jueces no entrenados, con el fin de conocer el grado de aceptación de

la muestra final. En la figura 4.24, se observan los resultados obtenidos de la evaluación sensorial expresados en porcentaje según la escala hedónica, para los atributos: color, aroma, sabor y apariencia; utilizando el programa Minitab versión 20 para Windows 10 de datos extraídos del Anexo C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Valoración de la muestra final de sidra natural de piña

Como se puede observar en la figura 4.24, según los atributos evaluados: color, aroma y sabor; el 75% de los jueces (15) dieron un valor de 5 puntos y un 25% (5) un valor de 4 puntos, para el atributo apariencia, el 85% (17) de los jueces puntuaron 5 puntos y el 15% (3) un valor de 4 puntos en la escala hedónica para la muestra final de sidra natural de piña, por tanto, se considera un producto agradable según las valoraciones asignadas por los jueces.

4.4 Caracterización de sidra natural de piña

Para la caracterización de sidra natural de piña, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la sidra natural de piña, que se detallan a continuación:

4.4.1 Análisis fisicoquímico de la sidra natural de piña

En la tabla 4.27, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la sidra natural de piña de datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.27

Análisis fisicoquímico de la sidra natural de piña

Parámetros	Unidad	Resultado
Acidez total (como ác. cítrico)	g/L	5,01
Anhídrido sulfuroso	mg/L	122,24
Azúcares reductores	g/L	7,93
Azúcares totales	g/L	58,05
Ceniza	%	0,12
Fibra	%	n.d
Grado alcohólico (20°C)	%(v/v)	6,00
Hidratos de carbono	%	11,51
Hierro	mg/100ml	0,09
Humedad	%	88,23
Metanol	mg/100ml	< 53
Potasio	mg/100ml	25,30
Proteína total (Nx6,25)	%	0,14
pH (20°C)	-	3,60
Sólidos solubles	°Brix	12,70
Valor energético	kcal/100g	79,78

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.27, se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de la sidra natural de piña donde: acidez total (como ác. cítrico) 5,01g/L; anhídrido sulfuroso 122,24mg/L; azúcares reductores 7,93 g/L; azúcares totales 58,05g/L; ceniza 0,12%; fibra n.d (no detectado); grado alcohólico 6%(v/v); hidratos de carbono 11,51%; hierro 0,09mg/100ml; humedad 88,23%; metanol < 53mg/L; potasio 25,3 mg/100ml; proteína total 0,14%; pH 3,60; sólidos solubles 12,7°Brix y valor energético 79,78 kcal/100g.

4.4.2 Análisis microbiológico de la sidra natural de piña

En la tabla 4.28, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la sidra natural de piña de datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.28

Análisis microbiológicos de la sidra natural de piña

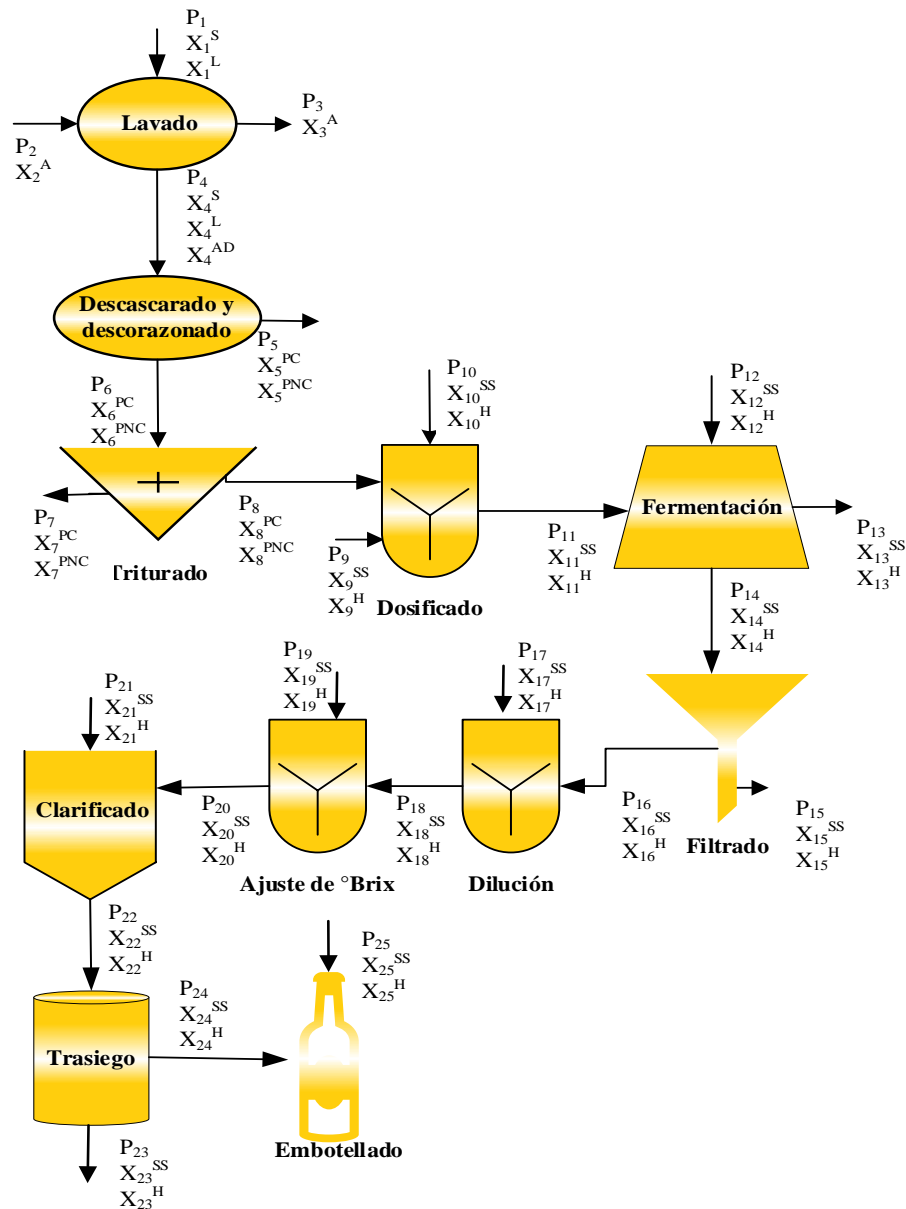
Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/ml	2,3 x 10 ⁴
Coliformes totales	UFC/ml	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/ml	2,8 x 10 ³
(*) No se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.28, se puede observar que la sidra natural de piña presenta: bacterias aerobias mesófilas $2,3 \times 10^4$ UFC/ml; coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/ml (*); mohos y levaduras $2,8 \times 10^3$ UFC/ml. Donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.

4.5 Balance de materia en el proceso de elaboración de sidra natural de piña

La figura 4.25, muestra el balance de materia general para el proceso de elaboración de sidra natural de piña, para una cantidad de 2756g de piña.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Balance de materia en el proceso de elaboración de sidra natural de piña

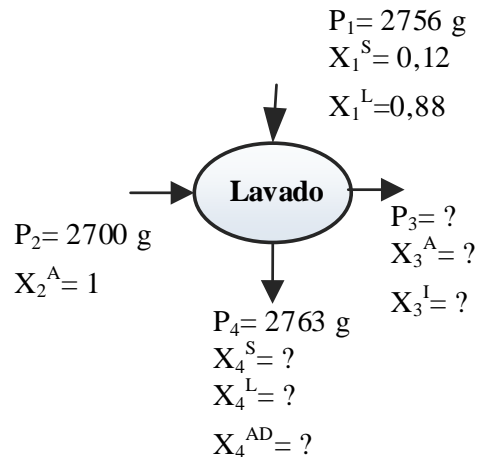
Donde:

P_1 = Piña entera (g)
 P_2 = Agua potable (g)
 P_3 = Agua residual de lavado (g)
 P_4 = Piña lavada (g)
 P_5 = Cáscaras y corazón de la piña (g)
 P_6 = Pulpa de piña (g)
 P_7 = Residuos de pulpa de piña (g)
 P_8 = Jugo de piña (g)
 P_9 = Metabisulfito de potasio (g)
 P_{10} = Azúcar (g)
 P_{11} = Jugo dosificado (g)
 P_{12} = Levadura activada (g)
 P_{13} = CO_2 (g)
 P_{14} = Vino de piña (g)
 P_{15} = Borras y levaduras (g)
 P_{16} = Vino de piña filtrado (g)
 P_{17} = Agua tratada (g)
 P_{18} = Vino diluido (g)
 P_{19} = Azúcar (g)
 P_{20} = Sidra corregida (g)
 P_{21} = Bentonita (g)
 P_{22} = Sidra con clarificante (g)
 P_{23} = Sedimentos (g)
 P_{24} = Sidra clarificada (g)
 P_{25} = Ácido ascórbico (g)
 P_{26} = Sidra natural de piña (g)
 X^S = Fracción sólida de piña
 X^A = Fracción de agua
 X_3^I = Fracción de impurezas

X^L = Fracción líquida de piña
 X^{AD} = Fracción de agua adherida
 X^{PC} = Fracción de porción comestible
 X^{PNC} = Fracción de porción no comestible
 X^{SS} = Fracción del componente sólidos solubles
 X^H = Fracción del componente líquido
 X^{AL} = Fracción de porcentaje de alcohol
 X^{SM} = Relación de metabisulfito de potasio (g/hl)
 X^{SL} = Relación de levadura (g/hl)
 X^{AT} = Fracción de agua tratada

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

En la figura 4.26, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de lavado de la piña que se utilizó para la elaboración de sidra natural de piña, donde el peso de la piña entera es 2756 g.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Balance de materia en la etapa de lavado

Balance general de materia en la etapa de lavado

$$P_1 + P_2 = P_3 + P_4 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Despejando P_3 y reemplazando valores de la ecuación 4.1, se obtiene:

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_4 \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$P_3 = 2756 \text{ g} + 2700 \text{ g} - 2763 \text{ g} = 2693 \text{ g de agua residual de lavado}$$

Balance parcial de materia para fracción sólida de piña en la etapa de lavado

$$P_1 X_1^S + P_2 X_2^S = P_3 X_3^S + P_4 X_4^S \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Despejando X_4^S de ecuación 4.3:

$$P_1 X_1^S + \cancel{P_2 X_2^S} = \cancel{P_3 X_3^S} + P_4 X_4^S$$

$$X_4^S = \frac{P_1 X_1^S}{P_4}$$

$$X_4^S = \frac{2756 \text{ g} * 0,12}{2763 \text{ g}} = 0,119 \text{ fracción sólida de piña}$$

Balance parcial de materia para fracción líquida de piña en la etapa de lavado

$$P_1 X_1^L + P_2 X_2^L = P_3 X_3^L + P_4 X_4^L \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Despejando X_4^L de ecuación 4.4:

$$P_1 X_1^L + \cancel{P_2 X_2^L} = \cancel{P_3 X_3^L} + P_4 X_4^L$$

$$X_4^L = \frac{P_1 X_1^L}{P_4}$$

$$X_4^L = \frac{2756 \text{ g} * 0,88}{2763 \text{ g}}$$

$X_4^L = 0,878$ fracción líquida de piña

Cálculo para la fracción X_4^{AD} de agua adherida a la piña en la etapa de lavado

$$X_4^{AD} = 1 - X_4^L - X_4^S \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$X_4^{AD} = 1 - 0,878 - 0,119$$

$X_4^{AD} = 0,003$ fracción de agua adherida a la piña

Balance parcial de materia para la fracción de agua en la etapa de lavado

$$P_1 X_1^A + P_2 X_2^A = P_3 X_3^A + P_4 X_4^A \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Despejando X_3^A de la ecuación 4.6:

$$P_3 X_3^A = \cancel{P_1 X_1^A} + P_2 X_2^A - P_4 X_4^A$$

$$X_3^A = \frac{P_2 X_2^A - P_4 X_4^A}{P_3}$$

$$X_3^A = \frac{2700 \text{ g} * 1 - 2763 \text{ g} * 0,003}{2693 \text{ g}}$$

$X_3^A = 0,999$ fracción de agua residual en la etapa de lavado

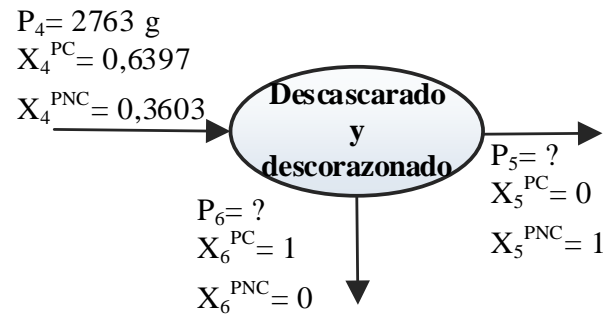
Cálculo para X_3^I (fracción de impurezas) en la etapa de lavado

$$X_3^I = 1 - X_3^A$$

$$X_3^I = 1 - 0,999 = 0,001 \text{ fracción de impurezas}$$

4.5.2 Balance de materia en la etapa de descascarado y descorazonado de la piña

En la figura 4.27, se muestra el balance de materia en la etapa de descorazonado y descascarado de la piña, tomando en cuenta los datos de porcentaje de la porción comestible y no comestible de la piña de la tabla 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Balance de materia en la etapa de descascarado y descorazonado

Balance general en la etapa de descascarado y descorazonado

$$P_4 = P_5 + P_6 \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Balance parcial de materia para la porción comestible de la piña

$$P_4 X_4^{PC} = P_5 X_5^{PC} + P_6 X_6^{PC} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Despejando P_6 de la ecuación 4.8, se obtiene:

$$P_6 X_6^{PC} = P_4 X_4^{PC} - P_5 X_5^{PC}$$

$$P_6 = \frac{P_4 X_4^{PC}}{X_6^{PC}}$$

$$P_6 = \frac{2763 \text{ g} * 0,6397}{1}$$

$$P_6 = 1767,49 \text{ g de pulpa de piña}$$

Despejando P_5 de ecuación 4.7, se obtiene:

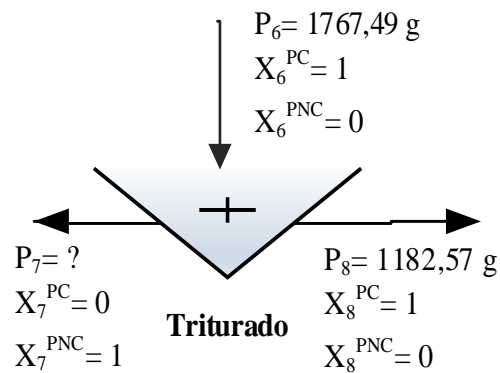
$$P_5 = P_4 - P_6 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Reemplazando valores de ecuación 4.8, se obtiene:

$$P_5 = 2763 \text{ g} - 1767,49 \text{ g} = 995,51 \text{ g de cáscaras y corazón de la piña}$$

4.5.3 Balance de materia en la etapa de triturado de la piña

En la figura 4.28, se muestra el balance de materia en la etapa de triturado de la piña, en donde la cantidad de pulpa de piña obtenida luego del descascarado y descorazonado fue 1767,49 g, utilizado en la etapa del triturado, obteniendo una cantidad de 1182,57 g de jugo de piña.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Balance de materia en la etapa de triturado

Balance general de materia en la etapa de triturado

$$P_6 = P_7 - P_8$$

Ecuación 4.10

Despejando P_7 y reemplazando valores se obtiene:

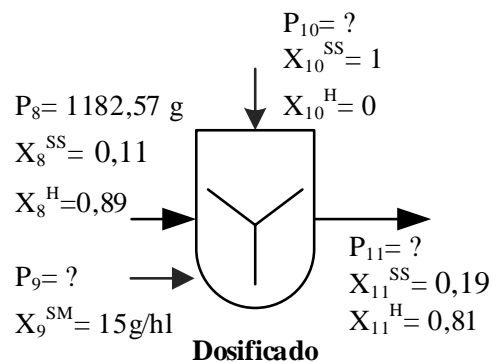
$$P_7 = P_6 - P_8$$

$$P_7 = 1767,49 \text{ g} - 1182,57 \text{ g}$$

$$P_7 = 584,92 \text{ g de residuos de pulpa de piña}$$

4.5.4 Balance de materia en la etapa de dosificación

En la figura 4.29, se muestra el balance de materia en la etapa de dosificación para 1182,57 g de jugo de piña adicionando metabisulfito de potasio tomando en cuenta 15g/hl (Ficha técnica DIEMAR, 2022).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Balance de materia en la etapa de dosificación

Balance general de materia para la etapa de dosificación

$$P_8 + P_9 + P_{10} = P_{11} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Cálculo de P_9 (metabisulfito de potasio), tomando en cuenta 15g/hl (Ficha técnica DIEMAR, 2022).

$$P_9 = P_8 * X_9^{SM}$$

$$P_9 = P_8 * 15\text{g/hl}$$

Realizando conversión de unidades se obtiene:

$$P_9 = \frac{1182,57 \text{ g} * 15 \text{ g}}{1\cancel{\text{hl}}} * \frac{1\cancel{\text{hl}}}{100000 \text{ g}} = 0,17 \text{ g de metabisulfito de potasio}$$

Balance parcial de materia para componente sólidos solubles en la etapa de dosificación

$$P_8 X_8^{SS} + P_9 X_9^{SS} + P_{10} X_{10}^{SS} = P_{11} X_{11}^{SS} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Reemplazando ecuación 4.11, se obtiene:

$$P_8 X_8^{SS} + \cancel{P_9 X_9^{SS}} + P_{10} X_{10}^{SS} = P_{11} X_{11}^{SS}$$

$$P_8 X_8^{SS} + P_{10} X_{10}^{SS} = (P_8 + P_9 + P_{10}) * X_{11}^{SS} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Despejando P_{10} de ecuación 4.13 y reemplazando valores se obtiene:

$$P_{10} = \frac{(P_8 + P_9 + P_{10}) * X_{11}^{SS}}{X_{10}^{SS}} - P_8 X_8^{SS}$$

$$P_{10} = \frac{(1182,57 \text{ g} + 0,17 \text{ g} + P_{10}) * 0,19}{1} - (1182,57 \text{ g} * 0,11)$$

$$P_{10} = 224,72 \text{ g} + (P_{10} * 0,19) - 130,08 \text{ g}$$

$$P_{10}(1 - 0,19) = 224,72 \text{ g} - 130,08 \text{ g}$$

$$P_{10} = \frac{94,72 \text{ g}}{0,81} = 116,94 \text{ g de azúcar}$$

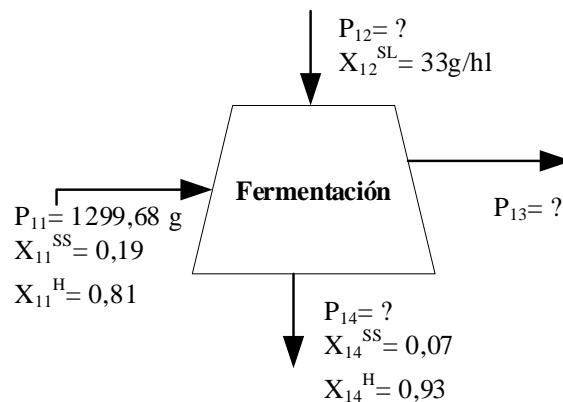
Reemplazando valores de ecuación 4.11, se obtiene:

$$P_{11} = 1182,57 \text{ g} + 0,17 \text{ g} + 116,94 \text{ g}$$

$$P_{11} = 1299,68 \text{ g de jugo dosificado}$$

4.5.5 Balance de materia en la etapa de fermentación

En la figura 4.30, se muestra el balance de materia para la etapa de fermentación del jugo de piña dosificado con levadura tomando en cuenta 33g/hl (Ficha técnica DIEMAR, 2022).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30: Balance de materia en la etapa de fermentación

Balance general de materia para la etapa de fermentación

$$P_{11} + P_{12} = P_{13} + P_{14} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Cálculo de P_{12} (Levadura activada) tomando en cuenta 33g/hl (Ficha técnica DIEMAR, 2022).

$$P_{12} = P_{11} * P_{12}^{SL}$$

$$P_{12} = P_{11} * 33\text{g/hl}$$

Realizando conversión de unidades se obtiene:

$$P_{12} = \frac{1299,68 \text{ g} * 33 \text{ g}}{\cancel{1\text{hl}}} * \frac{\cancel{1\text{hl}}}{100000 \text{ g}} = 0,428 \text{ g de levadura activada}$$

Para determinar la cantidad de azúcar fermentable (Az), se considera la expresión matemática de la ecuación 4.14, según (Adams, 2006).

Af= Azúcar fermentable a 19°Brix: 183,5 [g/L] de datos extraídos del Anexo D

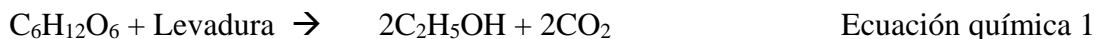
$$Az = (P_{11} + P_{12}) * Af \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$Az = (P_{11} + P_{12}) * 183,5 \text{ g/L}$$

$$Az = (1299,68 \text{ g} + 0,428 \text{ g}) * \frac{183,5 \text{ g}}{1\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ g}} =$$

$$Az = 238,56 \text{ g de azúcar fermentable}$$

Ecuación química de la reacción de fermentación alcohólica:



Para calcular P_{13} , se considera la siguiente expresión matemática de la ecuación 4.16, según Adams (2006).

$$P_{13} = \left(\frac{Az}{PM_{sacarosa}} \right) * 4 * (PM_{CO_2}) \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Reemplazando valores de ecuación 4.15, se obtiene:

$$P_{13} = \left(\frac{238,56 \text{ g}}{342 \text{ g/mol}} \right) * 4 * (44 \text{ g/mol})$$

$$P_{13} = 122,76 \text{ g de } CO_2$$

Despejando P_{14} de ecuación 4.13, se obtiene:

$$P_{14} = P_{11} + P_{12} - P_{13} \quad \text{Ecuación 4.17}$$

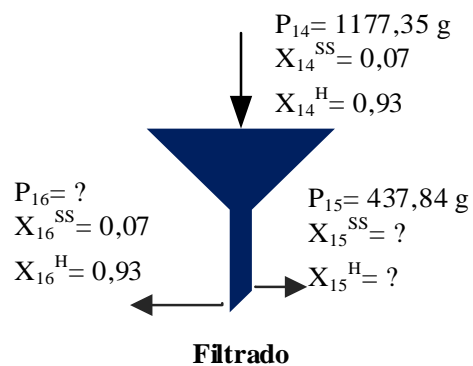
Reemplazando valores de ecuación 4.16, se obtiene:

$$P_{14} = 1299,68 \text{ g} + 0,428 \text{ g} - 122,76 \text{ g}$$

$$P_{14} = 1177,35 \text{ g de vino de piña}$$

4.5.6 Balance de materia en la etapa de filtrado

En la figura 4.31, se muestra el balance de materia en la etapa de filtrado del vino de piña, filtrando 437,84 g de borras y levaduras.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Balance de materia en la etapa de filtrado

Balance general de materia en la etapa de filtrado

$$P_{14} = P_{15} + P_{16} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Despejando P_{16} de ecuación 4.17, se obtiene:

$$P_{16} = P_{14} - P_{15} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

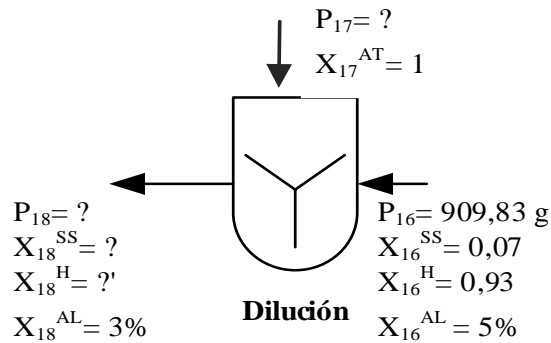
Reemplazando valores, se obtiene:

$$P_{16} = 1177,35 \text{ g} - 267,52 \text{ g}$$

$$P_{16} = 909,83 \text{ g de vino de piña filtrado}$$

4.5.7 Balance de materia en la etapa de dilución

En la figura 4.32, se muestra el balance de materia en la etapa de dilución del vino de piña filtrado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Balance de materia en la etapa de dilución

Balance general de materia en la etapa de dilución

$$P_{16} + P_{17} = P_{18} \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Balance parcial de materia para fracción porcentaje de alcohol

$$P_{16} X_{16}^{AL} = P_{18} X_{18}^{AL} \quad \text{Ecuación 4.21}$$

Despejando P_{18} y reemplazando valores, se obtiene:

$$P_{18} = \frac{P_{16} X_{16}^{AL}}{X_{18}^{AL}}$$

$$P_{18} = \frac{909,83 \text{ g} * 5\%}{3\%}$$

$$P_{18} = 1516,38 \text{ g vino diluido}$$

Despejando P_{17} de ecuación 4.20 y reemplazando valores, se obtiene:

$$P_{17} = P_{18} - P_{16}$$

$$P_{17} = 1516,38 \text{ g} - 909,83 \text{ g} = 606,55 \text{ g de agua tratada}$$

Balance parcial de materia para sólidos solubles en la etapa de dilución

$$P_{16} X_{16}^{SS} = P_{18} X_{18}^{SS} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Despejando X_{18}^{SS} de ecuación 4.22, se obtiene:

$$X_{18}^{SS} = \frac{P_{16} X_{16}^{SS}}{P_{18}}$$

$$X_{18}^{SS} = \frac{909,83 \text{ g} * 0,07}{1516,38 \text{ g}}$$

$X_{17}^{SS} = 0,04$ fracción del componente sólidos solubles en el vino diluido

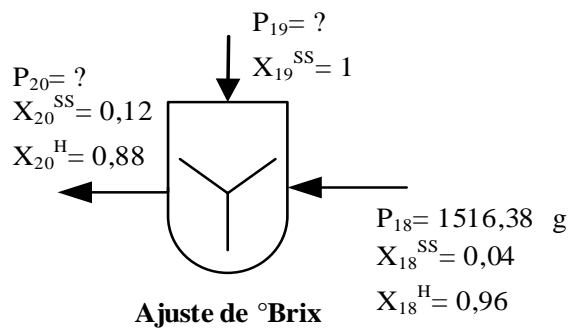
Cálculo para la fracción del componente líquido del vino diluido

$$X_{18}^H = 1 - X_{18}^{SS}$$

$X_{18}^H = 1 - 0,04 = 0,96$ fracción del componente líquido del vino diluido

4.5.8 Balance de materia en la etapa de ajuste de °Brix

En la figura 4.33, se muestra el balance de materia en la etapa de ajuste de °Brix (sólidos solubles) a la sidra diluida.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33: Balance de materia en la etapa de ajuste de °Brix

Balance general de materia en la etapa de ajuste de °Brix

$$P_{18} + P_{19} = P_{20} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Balance parcial de materia para componente líquidos en la etapa de ajuste de °Brix

$$P_{18} X_{18}^H + \cancel{P_{19} X_{19}^H} = P_{20} X_{20}^H \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Despejando P_{20} de ecuación 4.24, se obtiene:

$$P_{20} = \frac{P_{18} X_{18}^H}{X_{20}^H}$$

$$P_{20} = \frac{1516,38 \text{ g} * 0,96}{0,88}$$

$P_{20} = 1654,23$ g de sidra corregida

Despejando P_{18} de ecuación 4.23, se obtiene:

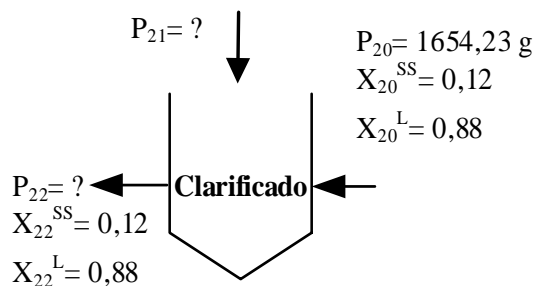
$$P_{19} = P_{20} - P_{18} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Reemplazando valores de ecuación 4.25

$$P_{19} = 1654,23 \text{ g} - 1516,38 \text{ g} = 137,85 \text{ g de azúcar}$$

4.5.9 Balance de materia en la etapa de clarificado

En la figura 4.34, se muestra el balance de materia en la etapa de clarificado, tomando en cuenta la cantidad de 1654,23g de sidra corregida.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34: Balance de materia en la etapa de clarificado

Balance general de materia en la etapa de clarificado

$$P_{20} + P_{21} = P_{22} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Cálculo para P_{21} (bentonita), tomando en cuenta 30g/hl (Ficha técnica DIEMAR, 2022).

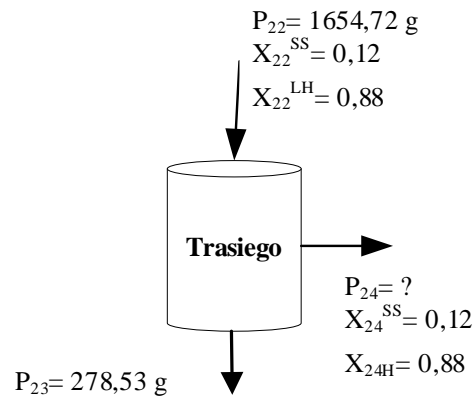
$$P_{21} = \frac{1654,23 \text{ g} * 30 \text{ g}}{\cancel{1 \text{ hl}}} * \frac{\cancel{1 \text{ hl}}}{100000 \text{ g}} = 0,49 \text{ g de bentonita}$$

Reemplazando valores de ecuación 4.26, se obtiene:

$$P_{22} = 1654,23 \text{ g} + 0,49 \text{ g} = 1654,72 \text{ g de sidra con clarificante}$$

4.5.10 Balance de materia en la etapa de trasiego

En la figura 4.35, se muestra el balance general de materia en la etapa de trasiego, tomando en cuenta la cantidad de 1654,72 g de sidra con clarificante, obteniendo 278,53 g de sedimentos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35: Balance de materia en la etapa de trasiego

Balance general de materia en la etapa de trasiego

$$P_{22} = P_{23} + P_{24}$$

Ecuación 4.27

Despejando P_{23} , se obtiene:

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

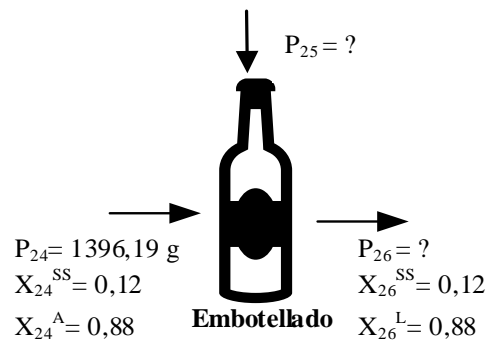
Ecuación 4.28

Reemplazando valores, se obtiene:

$$P_{24} = 1654,72 \text{ g} + 258,53 \text{ g} = 1396,19 \text{ g de sidra clarificada}$$

4.5.11 Balance de materia en la etapa de embotellado

En la figura 4.36, se muestra el balance de materia en la etapa de embotellado



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36: Balance de materia en la etapa de embotellado

Balance general de materia en la etapa de embotellado

$$P_{24} + P_{25} = P_{26} \quad \text{Ecuación 4.29}$$

Cálculo de P_{25} (ácido ascórbico) tomando en cuenta 10g/hl (Ficha técnica DIEMAR, 2022).

$$P_{25} = P_{24} * 10\text{g/hl}$$

Realizando conversión de unidades se obtiene:

$$P_{25} = \frac{1396,19 \text{ g} * 10 \text{ g}}{1\cancel{\text{hl}}} * \frac{1\cancel{\text{hl}}}{100000 \text{ g}} = 0,14 \text{ g de ácido ascórbico}$$

Reemplazando valores de ecuación 4.29, se obtiene:

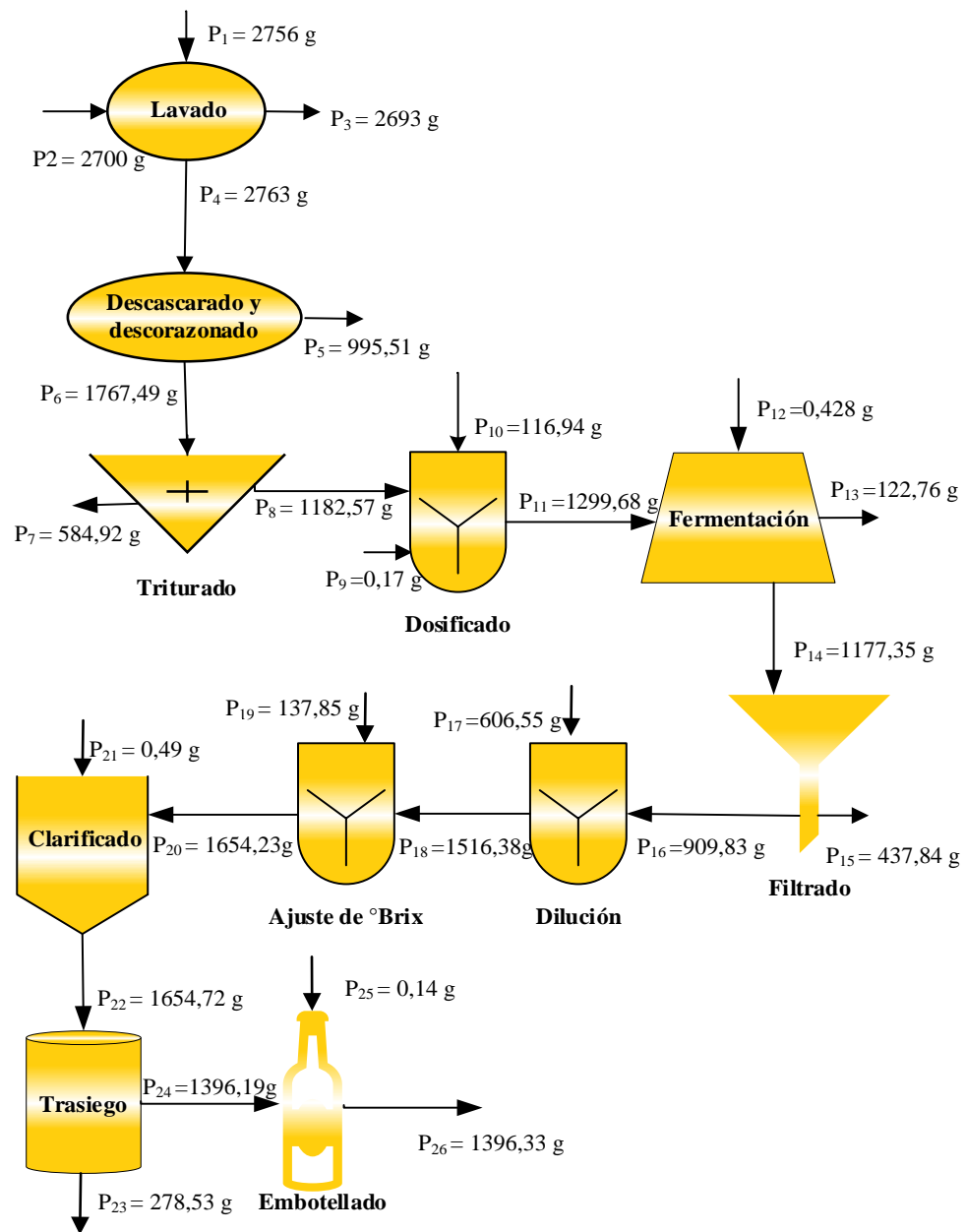
$$P_{26} = 1396,19 \text{ g} + 0,14 \text{ g}$$

$$P_{26} = 1396,33 \text{ g de sidra natural de piña}$$

De acuerdo al resultado obtenido, se consigue emplear dos envases de vidrio con la capacidad de almacenar 750ml de sidra natural de piña cada uno.

4.6 Resumen general del balance de materia en el proceso de elaboración de sidra natural de piña

En la figura 4.37, se muestra el resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de sidra natural de piña.

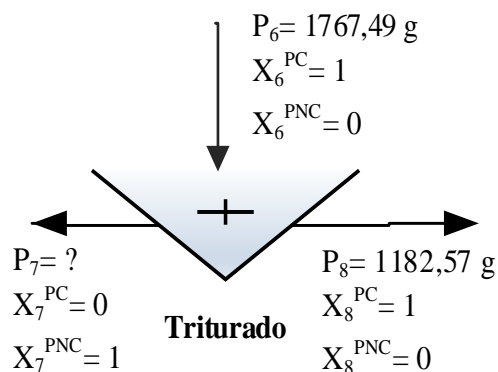


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37: Resumen general del balance de materia

4.7. Balance de energía en el proceso de elaboración de sidra natural de piña

La figura 4.38, muestra el balance de energía para el proceso de elaboración de sidra natural de piña en la etapa de triturado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Balance de energía en la etapa de triturado

Para la etapa de triturado se utilizó un extractor de jugo (Anexo H), con una potencia de 900W por un tiempo de 0,03 h, donde se tomó en cuenta la ecuación 4.28 citado por Alcalde (2008).

$$P = \frac{\text{Energía (E)}}{\text{Tiempo } (\Theta)} \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Despejando E para el cálculo de energía eléctrica, se obtiene:

$$E = P * \Theta \quad \text{Ecuación 4.31}$$

$$E = 900 \text{ W} * \left(\frac{\frac{1\text{kcal}}{1\text{h}}}{1,163\text{W}} \right) * 0,03 \text{ h}$$

$$E = 23,2158 \text{ kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida para llevar a cabo la etapa de triturado por un tiempo de 0,03 horas es de 23,2158 kcal.

4.7.1 Balance de energía en la etapa de fermentación alcohólica

Para la determinación del calor desprendido en el proceso de fermentación alcohólica se considera la siguiente expresión según Salinas (2000):

$$\Delta H = \frac{Q}{L} \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Datos para la reacción química de fermentación alcohólica:

$$X_{11}^{SS} = 0,19 \text{ fracción de componente sólidos solubles}$$

$L = AM =$ Cantidad molar de azúcar

$\Delta H^{\circ}_R =$ Calor de reacción estándar

$\Delta H_C =$ Calor de combustión

$\Delta H_{(\text{sacarosa})} = -2221,2 \text{ kJ/mol}$ (Quimitube, 2013)

$\Delta H_{(\text{glucosa})} = -1274,4 \text{ kJ/mol}$ (Quimitube, 2013)

$\Delta H_{(\text{etanol})} = -277,7 \text{ kJ/mol}$ (Quimitube, 2013)

Para determinar el calor de reacción de la fermentación alcohólica a partir de los calores de combustión se considera la expresión matemática de la ecuación 4.33, según Salinas (2000).

$$\Delta H^{\circ}_{\text{Reacción}} = \sum \Delta H^{\circ}_{\text{Formación de productos}} - \sum \Delta H^{\circ}_{\text{Formación de reactantes}} \quad \text{Ecuación 4.33}$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{Reacción}} = -2\Delta H_{\text{glucosa}} - 2\Delta H_{\text{CO}_2} - 2\Delta H_{\text{etanol}} - \Delta H_{\text{sacarosa}} + \Delta H_{\text{glucosa}} + \Delta H_{\text{agua}}$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{Reacción}} = -2 * 1274,4 - 2 * 0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 2 * 277,7 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + 2221,2 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + 1274,4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + 0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{Reacción}} = 391,4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Realizando conversión de KJ a Kcal, se obtiene:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{Reacción}} = 391,4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} * \frac{1 \text{ Kcal}}{4,184 \text{ KJ}}$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{Reacción}} = 93,54 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}$$

Para el cálculo de AM, se utiliza la ecuación 4.34, según Adams (2006).

$$AM = \frac{P_{11} * X_{11}^{SS}}{PM_{\text{sacarosa}}} \quad \text{Ecuación 4.34}$$

$$AM = \frac{1299,68 \text{ g} * 0,19}{342 \text{ g/mol}}$$

$AM = 0,72 \text{ mol}$ de azúcar

De la ecuación 4.32, se despeja Q

$$Q = \Delta H * AM$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$Q = 93,54 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} * 0,72 \text{ mol}$$

$$Q = 67,348 \text{ kcal} \approx 67348,8 \text{ calorías (calor desprendido en el proceso de fermentación)}$$

Cantidad total de energía en el proceso de elaboración de sidra natural de piña

$$E_T = E + Q$$

Donde:

E = Energía eléctrica

Q = Calor desprendido en el proceso de fermentación

Reemplazando valores se tiene:

$$E_T = 23,2158 \text{ kcal} + 67,348 \text{ kcal}$$

$E_T = 90,56 \text{ kcal}$ cantidad de energía en el proceso de elaboración de sidra natural de piña

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En base a los resultados del análisis físicos e índice de madurez de la piña variedad *Cayena Lisa*, se concluye que tiene: altura 19,23 cm; diámetro 12,48 cm; peso total 1913,16 g; porción comestible (PC) 63,97%; porción no comestible (PNC) 36,03% e índice de madurez 18,63 °Brix/acidez; sólidos solubles 10,48 (°Brix); acidez 0,58% y pH 3,83.
- Según los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la piña, contiene: ceniza 0,25%; fibra 0,26%; grasa 0,03%; hidratos de carbono 10,18%; hierro 0,20mg/100g; humedad 88,84%; potasio 128mg/100g; proteína total 0,44%; pH 4,71; sólidos solubles 11,09 °Brix y valor energético 42,75Kcal/100g. En el caso de *escherichia coli* $<1,0 \times 10^1$ UFC/g (*); *salmonella* PA/25g ausencia y *staphylococcus aureus* $<1,0 \times 10^1$ UFC/g (*). Donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.
- De acuerdo a los resultados de la evaluación sensorial de las pruebas preliminares de sidra natural de piña, se consideró la muestra SP1 como la más aceptada por los jueces siendo seleccionada para el diseño experimental en el proceso de elaboración de sidra natural de piña.
- Según la observación del comportamiento de las variables (pH, acidez y °Brix) en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares de sidra natural de piña en un tiempo de siete días, se estableció las condiciones adecuadas para el proceso de elaboración del producto.
- En base al diseño factorial 2^3 en el proceso de fermentación alcohólica, se determinó que entre las variables; porcentaje de levadura (A), concentración de sacarosa (B) y tiempo de fermentación (C), e interacciones existe significancia para las variables respuesta; acidez total, pH y grado alcohólico, siendo el factor (C) tiempo de fermentación el que más influye sobre las variables.

- Según los resultados de la evaluación sensorial de las pruebas experimentales del factor tiempo de fermentación y prueba ideal, se evidencia que existe diferencia estadística para el atributo sabor para un nivel de significancia $\alpha=0,05$. Así mismo, considerando el análisis estadístico de caja y bigote, de acuerdo al valor de las medianas y la selección de los jueces, se eligió la muestra MF1 como muestra final de sidra natural de piña.
- En base a los resultados del análisis fisicoquímico de la sidra natural de piña, presenta: acidez total (como ác. cítrico) 5,01g/L; anhídrido sulfuroso 122,24mg/L; azúcares reductores 7,93 g/L; azúcares totales 58,05g/L; ceniza 0,12%; fibra n.d (no detectado); grado alcohólico 6%(v/v); hidratos de carbono 11,51%; hierro 0,09mg/100ml; humedad 88,23%; metanol < 53mg/L; potasio 25,3 mg/100ml; proteína total 0,14%; pH 3,60; sólidos solubles 12,70°Brix y valor energético 79,78 kcal/100g.
- Según los resultados del análisis microbiológico de la sidra natural de piña, presenta: bacterias aerobias mesófilas $2,3 \times 10^4$ UFC/ml; coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/ml (*); mohos y levaduras $2,8 \times 10^3$ UFC/ml. Donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.
- De acuerdo al balance de materia y energía del proceso de elaboración de sidra natural de piña aplicado a 2756 g de piña variedad *Cayena Lisa*, se obtuvo 1396,33 g de sidra natural de piña y la cantidad de energía total en el proceso de elaboración fue de 90,56 kcal.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar piña en buenas condiciones (color de piel amarillo o dorado, hoja verde oscura) ya que, si es muy verde, demuestra inmadurez y no debe mostrarse deteriorada ya que afectaría al proceso de fermentación si ésta presenta una acidez elevada inhibiendo el desarrollo de las levaduras alterando así al proceso de fermentación alcohólica.

- Se recomienda llevar a cabo un control periódico en los diferentes parámetros (°Brix, temperatura, acidez y pH) del proceso de fermentación alcohólica puesto que, si no se realiza un control en condiciones estables de temperatura y acidez, el producto va degradando sus cualidades organolépticas (color, olor, aroma, sabor).
- Adquirir un turbidímetro para la medida del grado de transparencia del producto, siendo un indicador simple y básico de la calidad de la sidra.