

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Bolivia produce más de un millón de toneladas de papa (*Solanum tuberosum*) anuales. La Paz es el primer departamento productor, con 335.520 toneladas anuales y una superficie cultivada de 55.195 hectáreas. El segundo es Cochabamba, con 298.069 toneladas anuales y 47.571 hectáreas cultivadas. En tercer lugar, aparece Potosí, con 138.525 toneladas y 30.757 hectáreas, y en cuarto Chuquisaca, con 112.287 toneladas anuales y 22888 hectáreas cultivadas (IBCE, 2018).

Según los datos del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal de Bolivia, los lugares donde se producen la semilla de papa (*Solanum tuberosum*) son Iscayachi, Rejará, la Huerta y Huacata. Entre las asociaciones, está la Asociación de Productores de Semillas de Papa Iscayachi (APROPAIS), la Asociación de Productores de Semillas de Huacata (APROSHU) entre otros (El País, 2014).

El abastecimiento de papa (*Solanum tuberosum*) en el mercado interno cuenta con una producción de 175.000 toneladas, de las siembras de invierno y temprana. De cual, el departamento de Tarija aporta más de 30.000 toneladas de papa para el consumo y la producción de semilla alcanzó los 20.000 quintales este año (El País, 2017). Alcanzando el segundo lugar en producción nacional de papa, punto que fue destacado en el tradicional encuentro de productores y expositores de este producto en la comunidad de San Andrés, donde presentaron diversas variedades de papa (El Periódico, 2018).

La trigésima quinta versión de la Feria Departamental de la Papa (*Solanum tuberosum*), inició en la comunidad de San Andrés, donde los expositores presentaron diferentes variedades de este producto. Las variedades de papa presentadas en esta feria fueron: desiré, jaspe, yungay, cardinal, Marcela, runa criolla, americana, collareja, alpha, runa iscayachi y revolucionaria (El Periódico, 2018).

1.2 Justificación

- El presente trabajo de investigación, pretende elaborar una bebida alcohólica destilada a base de papa Variedad Marcela, con la finalidad de ofrecer un subproducto novedoso en el mercado local de Tarija, de este modo fomentar el consumo de papa variedad Marcela.
- El vodka a partir de papa tiene beneficios importantes para la salud, cardiovascular, aumentando el flujo sanguíneo y la circulación en el cuerpo ayudando a prevenir niveles altos de colesterol, embolias y hasta infartos si es consumido con moderación.
- La papa es un alimento importante en la dieta de las personas, además contiene almidón el cual puede ser utilizado para la producción de alcohol, mediante un proceso de fermentación alcohólica aprovechando sus propiedades de este tubérculo.
- San Andrés es una comunidad productora de papa, por lo cual el presente trabajo de investigación puede constituirse en una alternativa para darle un valor agregado a la papa variedad Marcela que no se comercializa.

1.3 Objetivo

Para elaborar el proyecto de investigación vodka a partir de papa variedad Marcela, se tienen los siguientes objetivos.

1.3.1 Objetivo general

Aplicar la metodología experimental de fermentación alcohólica para elaborar vodka a partir de papa variedad Marcela (*Solanum andigena*) con la finalidad de obtener un producto novedoso para la provincia Cercado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas de la papa variedad Marcela, con la finalidad de conocer sus características.
- Realizar análisis fisicoquímico y microbiológico del puré de papa variedad Marcela, 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 elaborará el producto final.
- Aplicar un diseño factorial en el proceso de fermentación alcohólica en la elaboración de vodka a partir de papa, con objeto de fijar las variables de control en el proceso.
- Realizar análisis sensorial del producto terminado con el fin de analizar las propiedades organolépticas del vodka y aceptabilidad del mismo.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del producto terminado, con la finalidad de establecer su composición final.
- Realizar balance de materia y energía a nivel experimental.

1.4 Objeto de estudio

Aplicación de la metodología experimental del proceso de fermentación alcohólica para elaborar vodka a partir del puré de papa variedad Marcela para la provincia Cercado del departamento de Tarija – Bolivia.

1.5 Campo de acción

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

➤ **Espacial**

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

➤ **Temporal**

El campo temporal en que se desarrolló el presente trabajo de investigación fueron en las gestiones 2022-2023.

➤ **Institucional**

Las instituciones en donde se elaboró el presente trabajo de investigación fueron: el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA) y Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.6 Planteamiento de problema

En el departamento de Tarija no existe vodka a partir de papa (variedad Marcela), tomando en cuenta que en la comunidad de San Andrés se produce altas cantidades de esta variedad y sus cosechas no son aprovechadas en su totalidad, por esta razón elaborar vodka a partir de papa (variedad marcela) se presenta como una alternativa para ofrecer un valor agregado a este producto, que mediante la metodología de fermentación alcohólica logrará aprovechar los beneficios para la salud cardiovascular y reducir el riesgo de diabetes en la población.

1.7 Formulación de problema

¿Cuál será la metodología experimental de fermentación alcohólica que permita obtener vodka a partir de puré de papa variedad Marcela para obtener un producto novedoso para la población en la provincia Cercado?

1.8 Hipótesis

La aplicación de la metodología experimental de fermentación alcohólica, permite obtener un vodka a partir de papa variedad Marcela para obtener un producto novedoso para la población en la provincia Cercado.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del vodka

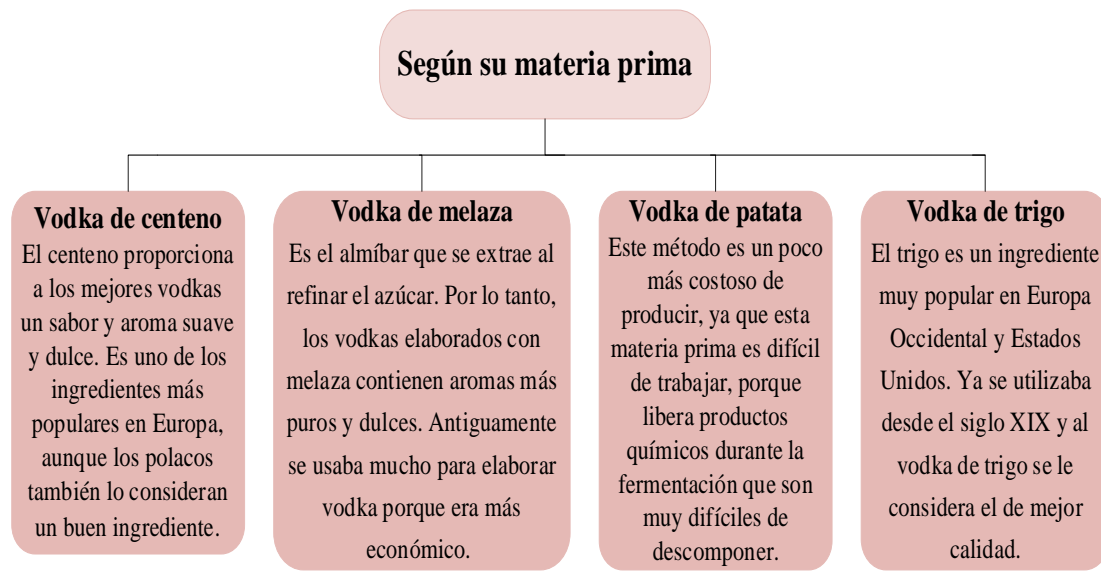
Según Benavides & Pozo, (2008) el vodka o 'wodka', es la bebida alcohólica nacional de Rusia y Polonia. Su significado es de 'agüita', una forma delicada y diminutiva de llamar al agua. Originariamente la producción de esta bebida era a partir de los productos de agricultura locales más baratos y abundantes como el trigo, maíz, papas, caña de azúcar o la combinación de cualquiera de estos. Los vodkas producidos en Rusia contenían 40% de alcohol y los de Polonia alcanzaban los 45 °C de graduación alcohólica. Actualmente la graduación típica es de 40 °GL.

2.2 Definición del vodka

Según CODEX STAN, (1995) define a los licores destilados que contengan más de un 15 °GL: Comprende todos los licores destilados derivados de granos (p. ej. maíz, cebada, centeno, trigo), tubérculos (como la patata (papa)), frutas (como uvas, bayas) o caña de azúcar que contengan más del quince por ciento de alcohol. En estos se encuentra el vodka.

2.3 Clasificación del vodka

Según la materia prima vegetal seleccionado para su elaboración y por los grados de pureza los cuales dependen de las impurezas después de la filtración y la calidad de la materia prima que se usa, además de la procedencia del agua (Rodrigo, 2020). En la figura 2.1 podemos diferenciar la clasificación del vodka.

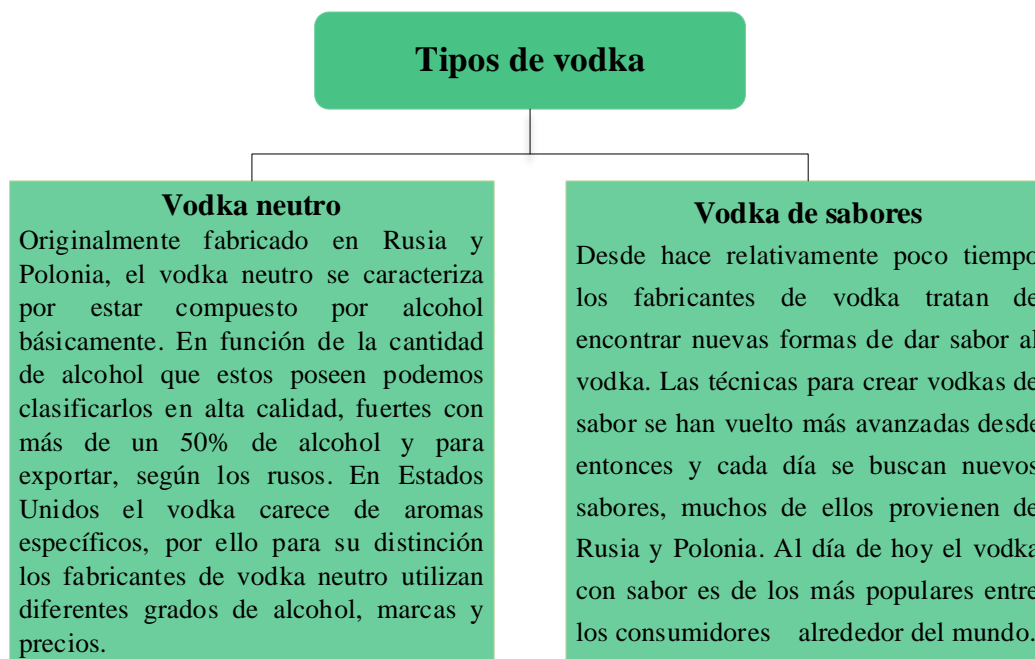


Fuente: Rodrigo, 2020

Figura 2.1 Clasificación del vodka

2.3.1 Tipos de vodkas

Si bien no hay una clasificación estándar de vodka aceptada internacionalmente (en distintos países varía la graduación alcohólica necesaria para calificar una bebida destilada como vodka), se puede clasificar en **distintos tipos de vodka** de acuerdo al proceso de su elaboración, su lugar de origen o sus componentes. De acuerdo a estas características, el vodka se puede dividir en dos grandes grupos: vodka neutro y vodka saborizado (Univisión, 2012). En la figura 2.2, se muestran los tipos de vodka.



Fuente: Univisión, 2018

Figura 2.2 Tipos de vodka

2.4 Composición fisicoquímica del vodka de papa

Las características fisicoquímicas de tres muestras destiladas de papa tipo vodka son expresadas en la tabla 2.1.

Tabla 2.1

Evaluación fisicoquímica de la bebida alcohólica tipo vodka

Componentes	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Grado alcohólico	38,00	40,00	38,00
Acidez total (ácido acético)	1,14	1,09	1,11
Metanol	2,08	2,05	2,12
Ésteres totales (acetato de etilo)	1,97	1,83	1,95
Componentes volátiles	6,35	6,33	6,42

Fuente: Anaya & Mantero, 2019

2.4.1 Propiedades nutricionales del vodka de papa

El vodka es una bebida alcohólica destilada que no contienen proteínas, tampoco contiene carbohidratos, grasas y azúcares, por lo que aporta cerca de 235 calorías a la dieta si se consume de forma controlada. Sin embargo, contiene propiedades

nutricionales que debemos conocer (Los vinos, 2019). En la tabla 2.2 se muestra su composición nutricional.

Tabla 2.2

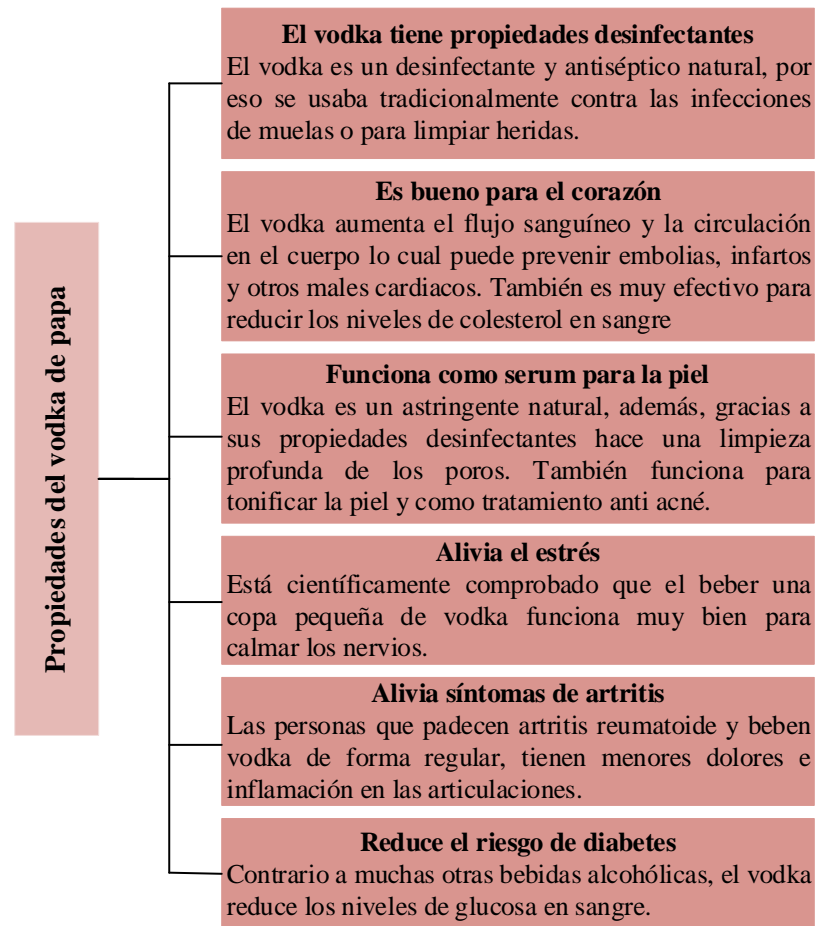
Propiedades nutricionales del vodka de papa

Componentes	Cantidad	Unidad
Hierro	0,01	mg
Vitamina B1	0,01	mg
Vitamina B2	0,01	mg
Fósforo	5,00	mg
Potasio	1,00	mg
Sodio	1,00	mg

Fuente: Los vinos, 2019

2.5 Aplicaciones del vodka en el ser humano

El **vodka** es una bebida de tradición rusa, muy popular en el mundo y que está compuesta por agua y etanol que se combina a la perfección en numerosos cócteles y, además, tiene varios **beneficios para la salud** siempre y cuando, claro está, que su consumo sea controlado (Esquire, 2018). En la figura 2.3, se muestran las propiedades del vodka de papa.



Fuente: Esquire, 2018

Figura 2.3 Propiedades del vodka en el ser humano

2.6 Caracterización de las materias primas utilizadas para elaborar vodka a partir de papa

La materia prima para la elaboración del vodka a partir de papa es la siguiente:

2.6.1 Papa variedad Marcela (*Solanum andigena*)

El Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal de Bolivia (INIAF) presentó una nueva variedad de papa denominada Marcela, una mezcla de las conocidas huaycha y alfa, que tiene su origen en el departamento de Tarija y se reproduce dos veces al año. Esta papa tiene similares características a cualquier otra, es de rápida cocción, de buen sabor y tamaño normal. Todas estas cualidades hacen muy atractivo su cultivo y consumo (Agronomía, 2011).

La variedad Marcela reacciona de forma más consistente a factores adversos, es resistente al tizón tardío de la papa y presenta mayor tolerancia a las heladas, factores que comúnmente ocasionan importantes pérdidas en las parcelas de cultivo y afectan la producción y la economía de los agricultores (Agronomía, 2011).

2.6.2 Composición fisicoquímica de la papa (*Solanum andigena*)

La Tabla 2.3 muestra la composición fisicoquímica que presenta la papa en 100g de porción comestible.

Tabla 2.3

Composición fisicoquímica de papa (Solanum andigena)

Componentes	Cantidad	Unidad
Agua	76,7	%
Proteína	1,9	%
Grasas	0,1	%
Carbohidratos	19,3	%
Fibra	1,0	%
Cenizas	1,0	%

Fuente: Benavides & Pozo, 2008

2.6.3 Propiedades nutricionales de la papa (*Solanum andigena*)

La composición de minerales y vitaminas que presenta 100 g de papa porción comestible se detallan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4

Composición nutricional de papa

Componentes	Cantidad	Unidad
Energía	97,00	Kcal
Minerales		
Calcio	9,00	mg
Fósforo	47,00	mg
Hierro	0,50	mg
Vitaminas		
Riboflavina	0,09	mg
Niacina	1,67	mg
Vitamina C	14,00	mg

Fuente: Burgos, 2019

2.6.4 Aplicaciones del puré de papa en la elaboración de vodka a partir de papa

Ante la imposibilidad de producir vino en estos países donde la climatología es tan adversa para la uva, estos encontraron en el vodka una opción que se adaptaba más al territorio y que solo requería una materia prima barata y disponible, como cereal y patatas, y su elaboración era muy sencilla (El Siglo, 2022).

2.7 Caracterización de los insumos utilizados en la elaboración de vodka a partir de papa

Los insumos alimentarios utilizados para la elaboración del vodka a partir de papa, se describen a continuación:

2.7.1 Agua potable de mesa (agua mía)

Según NB512 (2004), define el agua potable, por sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la presente norma (Pág. 12).

El agua juega un papel muy importante en la elaboración y el sabor final de las bebidas, ésta afecta a su calidad, porque el agua es parte de sus ingredientes, siendo además fundamental para garantizar la seguridad de ellos.

2.7.2 Levadura vinífera

Según Vázquez & Vázquez (2009), levadura es el nombre genérico dado a un grupo de hongos Ascomycetes pertenecientes al orden Endomicetales. Las levaduras son microhongos que se encuentran generalmente en forma de células únicas y que se reproducen mediante gemación, interviene en la fermentación alcohólica; se trata de un proceso de fermentación en el que la levadura, en ausencia de oxígeno, transforma el azúcar de la materia prima en alcohol y en dióxido de carbono gaseoso. Además, utilizan partes de las proteínas y azúcares para desarrollarse y multiplicarse.

La *Saccharomyces*, es una levadura que constituye el grupo de microorganismos más íntimamente asociado al progreso y bienestar de la humanidad; su nombre deriva del

vocablo Saccharo (azúcar), myces (hongo). La levadura de recuperación de cerveza la componen las células inviables deshidratadas de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Esta levadura históricamente ha sido utilizada en la producción de alcohol con resultados satisfactorios (ICIDCA, 2016).

2.7.3 Malta base

La malta base son las más utilizadas debido que son maltas claras porque el tueste dura menos tiempo y se somete a menor temperatura. Al contener gran cantidad de azúcares fermentables aportan enzimas necesarias para la transformación de almidón en azúcares fermentescibles. **Pale Ale** es una malta muy recurrida para las cervezas tipo pale ale, las IPAs, hasta las Stout o Porter. Tiene un color un poco más profundo (Perfect Draft, 2018).

Hay dos enzimas, llamadas alfa y beta amilasa, que tienen el efecto de degradar por completo el almidón en azúcares simples. La beta-amilasa favorecerá la formación de azúcar fermentable por su levadura, es decir, azúcar de maltosa (2 unidades de glucosa) que está completamente destinada a convertirse en alcohol (Perfect Draft, 2018).

2.7.4 Azúcar (sacarosa)

El azúcar cumple una función importante, estandariza el mosto a una concentración adecuada para que pueda efectuarse la fermentación alcohólica. Se denomina azúcar, en el uso más extendido de la palabra, a la sacarosa, cuya fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$, también llamada «azúcar común» o «azúcar de mesa». La sacarosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa, que se obtiene principalmente de la caña de azúcar o de la remolacha (Bon Viveur, 2022).

2.8 Tipo de proceso tecnológico a ser utilizado en el trabajo de investigación

El tipo de proceso tecnológico durante la elaboración de vodka a partir de papa, es el siguiente:

2.8.1 Fermentación alcohólica

Es una forma de respiración anaeróbica. El término fermentación generalmente se reserva para la actividad de algunos microorganismos, como ciertos hongos y bacterias. Los productos de la fermentación son muy variados, según el sustrato, el microorganismo y los factores que gobiernan el proceso. Para la fermentación se acondiciona el sustrato a una temperatura entre 28 y 32 °C. Tras añadir la levadura, la fermentación requiere un tiempo aproximado de 68 a 72 horas. Durante este proceso se produce dióxido de carbono (CO₂), lo cual se recomienda que los tanques para fermentación cuenten con un cierre mecánico. Algunos de los productos más conocidos de la fermentación son: alcohol etílico, ácido láctico, ácido butírico, ácido cítrico y ácido acético; el tipo de fermentación se designa de acuerdo con el producto obtenido (Alcívar et al., 2019).

2.8.2 Destilación al vacío

La destilación es el proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles (Orozco, 2010).

Según Vásquez & Vásquez, (2009) el proceso de destilación, se deduce que los mayores componentes de las bebidas destiladas son el alcohol etílico (C₂H₅OH) y el agua. A los componentes más volátiles se le denomina flema y al residuo agotado se le denomina vinazas (Pág. 29).

CAPÍTULO III
DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación experimental elaboración de vodka a partir de papa variedad Marcela, se realizó en los ambientes de la Carrera Ingeniería de Alimentos: Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A.) y Laboratorio Académico Carrera Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A.); dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 Tipo de intervención experimental

La metodología que se utilizó para la obtención de resultados experimentales del presente trabajo de investigación, se detalla a continuación:

- ✓ Análisis físico de la papa variedad (*Marcela*).
- ✓ Análisis fisicoquímico y microbiológico del puré de papa variedad *Marcela*.
- ✓ Análisis diseño factorial 2^3 para la etapa de fermentación alcohólica
- ✓ Análisis sensorial del vodka a partir de papa variedad Marcela.
- ✓ Análisis fisicoquímico del vodka
- ✓ Operacionalización de las variables para el proceso de elaboración del vodka

3.3 Tipo de investigación experimental

Según Bernal (2010), “la investigación explicativa tiene como fundamento la prueba de hipótesis y busca que las conclusiones lleven a la formulación o al contraste de leyes o principios científicos” (Pág. 115). Para Hernández et al., (2014) “indica que la investigación explicativa se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables” (Pág. 98).

3.4 Paradigma

El paradigma positivista según Ricoy (2006), se califica de cuantitativo, empírico-analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico”. Por tanto, sustentará a la investigación que tenga como objetivo comprobar una hipótesis por medios estadísticos o determinar los parámetros de una determinada variable mediante la expresión numérica. Según (Field, 2009), para el positivismo la realidad es absoluta y totalmente aprehensible por el ser humano, es regida por las leyes y mecanismos naturales. Desde este paradigma se pueden determinar los diferentes factores que se encuentran alrededor de un fenómeno de estudio.

3.5 Enfoque de investigación

El enfoque cuantitativo según (Hernández et al., 2014) utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Pág. 4). Según Behar (2008), recoge información empírica (de cosas o aspectos que se pueden contar, pesar o medir) y que por su naturaleza siempre arroja números como resultado (Pág. 38).

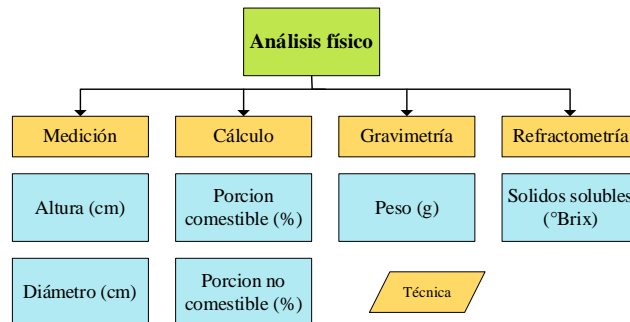
3.6 Métodos, técnicas e instrumentos

El método según (Baena, 2017), significa el camino por seguir mediante una serie de operaciones y reglas prefijadas de antemano para alcanzar el resultado propuesto, ya que procura establecer los procedimientos que deben seguirse, en el orden de las observaciones y la esfera de los objetos a los cuales se aplica. Las técnicas (Baena, 2017) se vuelven respuestas al “cómo hacer” y permiten la aplicación del método en el ámbito donde se aplica. Hay técnicas para todas las actividades que tienen como fin alcanzar ciertos objetivos, las técnicas son prácticas conscientes y reflexivas dirigidas al apoyo del método.

Los métodos y técnicas que fueron utilizados en el presente trabajo de investigación se muestran a continuación:

3.6.1 Análisis físico de la papa variedad *Marcela*

En la figura 3.1, se muestran los métodos y técnicas utilizados para determinar el análisis físico de la papa variedad *Marcela*, 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”.

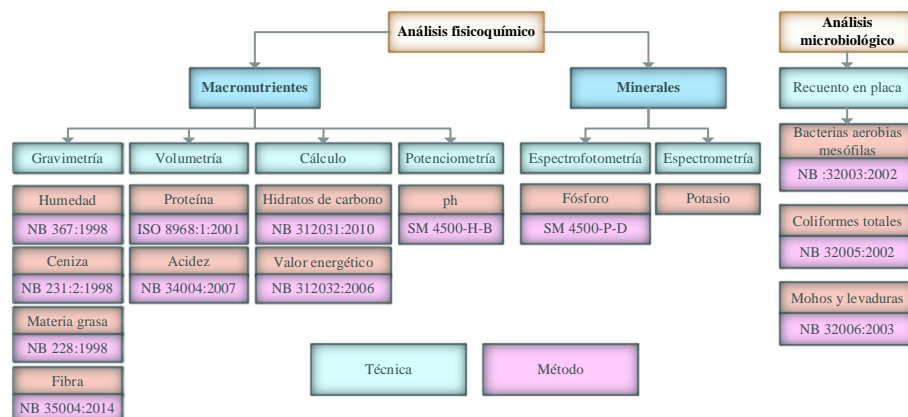


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1 Métodos y técnicas utilizados en la papa variedad *Marcela*

3.6.2 Análisis fisicoquímico y microbiológico del puré de papa variedad *Marcela*

En la figura 3.2, se muestra los métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico, que se realizaron en el puré de papa variedad *Marcela*, realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

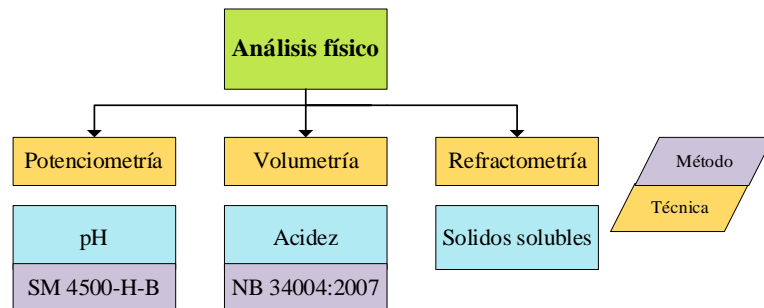


Fuente: CEANID, 2022 (Ver Anexo A)

Figura 3.2 Métodos y técnicas realizados en el puré de papa variedad *Marcela*

3.6.3 Análisis físico en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de papa

En la figura 3.3, se muestran los métodos y técnicas del análisis físico realizados durante el proceso de fermentación alcohólica del mosto de papa, en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

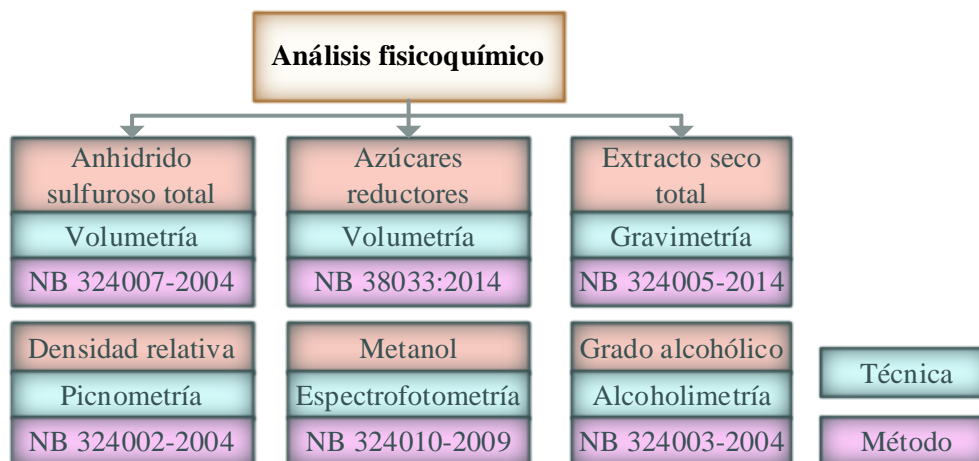


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3 Métodos y técnicas realizados en el mosto.

3.6.4 Análisis fisicoquímico del vodka a partir de papa variedad *Marcela*

En la figura 3.4, se muestran los métodos y técnicas del análisis fisicoquímico, que se realizaron al vodka a partir de papa, en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

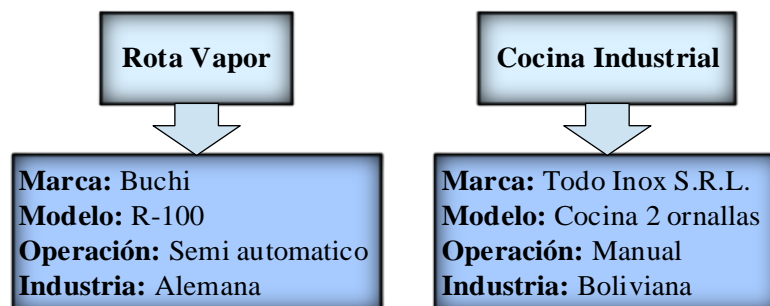


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.4 Métodos y técnicas realizados al vodka a partir de papa

3.6.5 Equipos utilizados en la elaboración de vodka a partir de papa variedad *Marcela*

En la figura 3.5, se detallan las especificaciones técnicas de los equipos utilizados en el proceso de elaboración de vodka a partir de papa variedad *Marcela*.

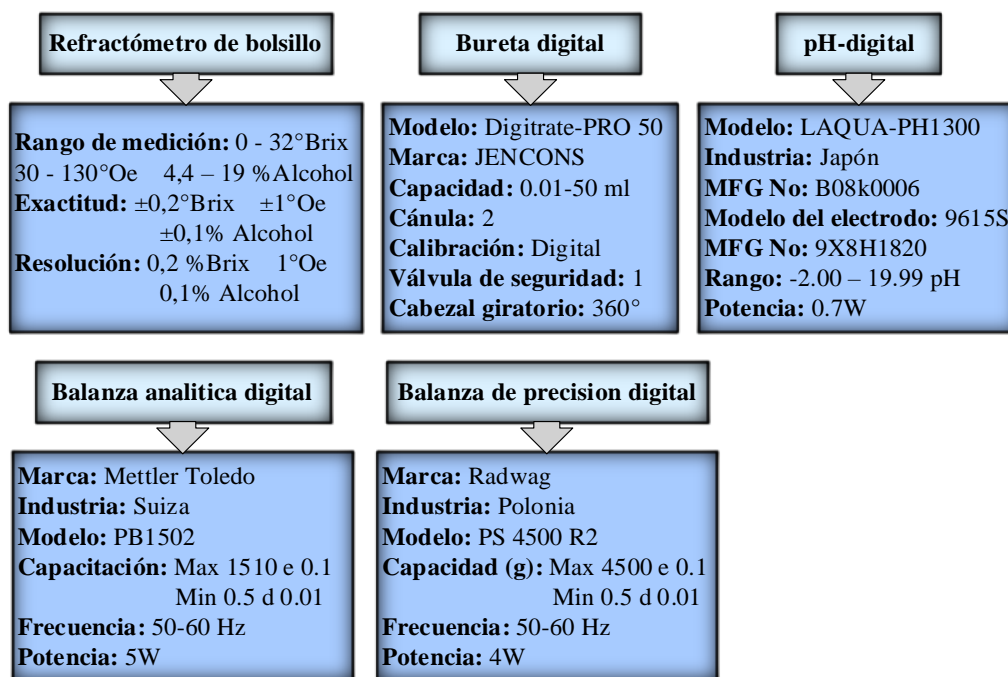


Fuente: LACIA, 2022

Figura 3.5 Equipos de proceso de elaboración de vodka a partir de papa variedad *Marcela*.

3.6.6 Instrumentos de laboratorio utilizados en la elaboración de vodka a partir de papa variedad *Marcela*

En la figura 3.6, se muestran los instrumentos de laboratorio que se utilizaron en el proceso de elaboración de vodka de papa variedad *Marcela*.



Fuente: LACIA, 2022

Figura 3.6 Instrumentos de laboratorio

3.6.7 Material de laboratorio utilizados en la elaboración de vodka a partir de papa variedad *Marcela*

- **Probeta de vidrio:** capacidad 100 ml.
- **Termómetro de alcohol:** material de vidrio, capacidad (0 - 100) °C.
- **Vaso de precipitado:** material de vidrio, capacidad 100 ml.
- **Piseta:** material plástico, tamaño mediano.
- **Vidrio reloj:** tamaño mediano.
- **Vernier:** material metálico.
- **Alcoholímetro:** material de vidrio, capacidad (0 – 100) °GL.
- **Picnómetro:** material de vidrio, capacidad 50 ml.

3.6.8 Utensilios de cocina utilizados en la elaboración de vodka a partir de papa variedad *Marcela*

- **Olla:** material de acero inoxidable, capacidad 4l.
- **Cuchillo:** material de acero inoxidable, tamaño mediano.
- **Jarra graduada:** material plástico, capacidad 2 l.
- **Cuchara:** material de madera, tamaño mediano.
- **Aplastador de papa:** material acero inoxidable.
- **Fuentes:** material de aluminio, tamaño mediano.
- **Colador:** material de aluminio.
- **Repasadores:** material tela, tamaño mediano.
- **Frasco:** material de vidrio, capacidad 3 l.
- **Botellas:** material de vidrio, capacidad 300 ml.

3.6.9 Reactivos químicos

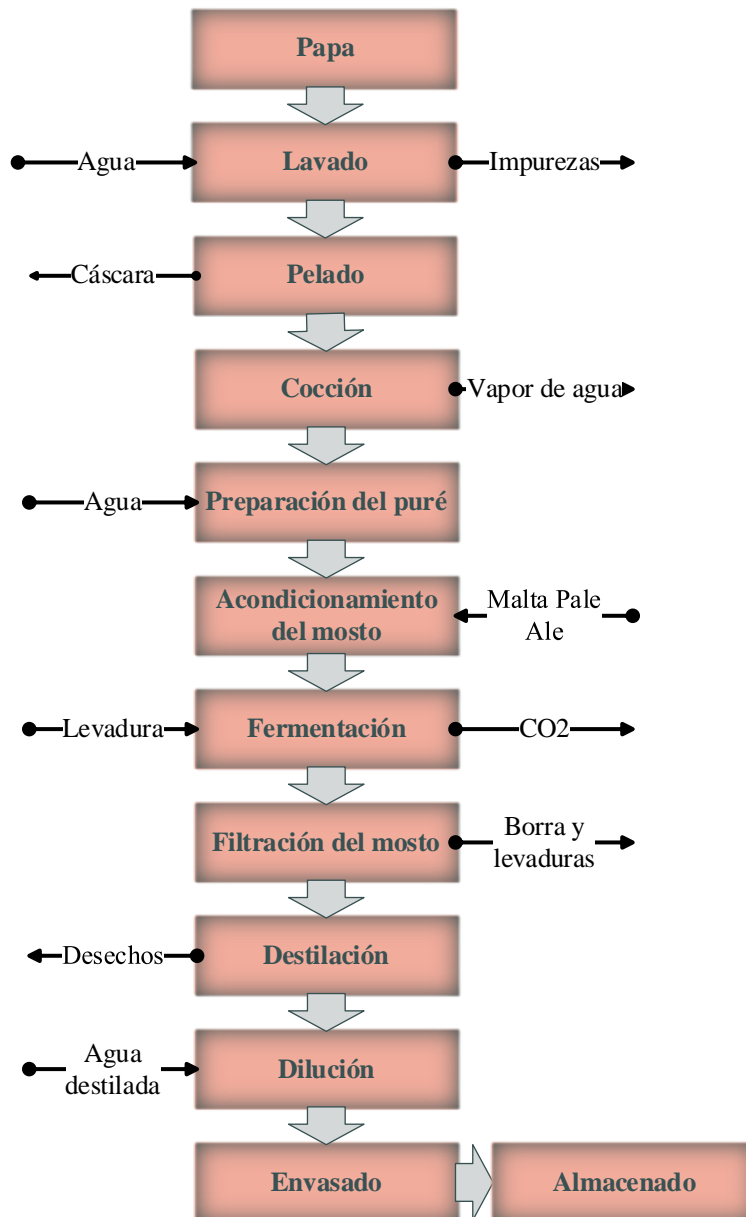
- **Hidróxido de sodio:** marca Biopack, concentración 0.1N.
- **Azul de bromotimol:** marca Biopack, concentración 0.1%.

3.6.10 Insumos alimentarios

- **Agua de mesa:** marca agua mía.
- **Levadura vinífica:** marca Laffort.
- **Malta:** marca Pale Ale.
- **Azúcar:** marca IABSA.

3.7 Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de vodka de papa variedad *Marcela*

En la figura 3.7, se muestra el diagrama del proceso de elaboración de vodka a partir de papa variedad Marcela.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 3.7 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de vodka a partir de papa

3.7.1 Descripción del diagrama de flujo para la elaboración de vodka a partir de papa variedad *Marcela*

A continuación, se describen las etapas del proceso de elaboración de vodka a partir de papa variedad *Marcela*.

3.7.1.1 Papa

La papa que se utilizó para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue de la variedad *Marcela*, que fue obtenida de la comunidad de San Andrés de la provincia Cercado del Departamento de Tarija (figura 3.8).



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.8 Papa variedad *Marcela*

3.7.1.2 Lavado

El lavado de la papa se realizó quitando la suciedad que estaba adherida a la superficie de la papa, esto se realizó por inmersión en agua potable para eliminar todas las impurezas al exterior de la papa, luego se escurrió toda el agua adherida en el lavado.

3.7.1.3 Pelado

Se procedió a quitar la parte no comestible como la cáscara, utilizando una pela papa y un cuchillo de acero inoxidable, dejando solo la pulpa (figura 3.9).



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9 Pelado de la papa

3.7.1.4 Cocción

Las papas limpias y sin cáscara se someten a un proceso de cocción a temperatura de ebullición (94°C) por un tiempo de 60 minutos; el proceso de cocción es de gran importancia para la elaboración de vodka, ya que, permite gelatinizar los almidones para que luego las enzimas puedan actuar sobre estos y liberar glucosa (Ordoñez, 2022).

3.7.1.5 Preparación del puré de papa

Para la preparación del puré se utilizó entre (30 - 32) % de papa cocida la cual se trituraron con la ayuda de un aplastador de papa, luego se agregó agua de mesa entre (68 - 70) % para lograr obtener una mezcla homogénea.

3.7.1.6 Acondicionamiento del mosto

Después de tener la mezcla homogénea se lleva a calentar en la estufa industrial, alcanzada la temperatura de 35°C se agrega malta (*malta molida*) y azúcar blanca agitando constantemente para evitar la formación de grumos, la cual se homogeniza con la mezcla hasta llegar los 70°C, donde se debe mantener esta temperatura por 60 minutos, luego se dejar reposar para que inicie el proceso de sacarificación de almidones donde la beta-amilasa convierte el almidón en dextrinas, estas dextrinas son

cadenas largas de azúcares sencillos, como la maltosa, fácilmente asimilable por la levadura (figura 3.10).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Acondicionamiento del mosto

3.7.1.7 Fermentación

Una vez completada la sacarificación de los almidones, se bajó la temperatura hasta 27°C una temperatura ideal para que se activen las levaduras, se adicionó levadura de vinificación entre (0,048 – 0,063) % agitando suavemente para disolverla en el mosto.

La fermentación alcohólica del mosto se llevó a cabo durante un periodo de siete días utilizando un pequeño fermentador para mantener la temperatura controlada entre (26-31)°C, se utilizó en un frasco de vidrio cerrado, contando con un airlock de plástico como válvula de fermentación por donde se libera CO₂, realizando control de °Brix, pH y acidez total durante el proceso fermentativo, al observar que no hay presencia de burbujas en el mosto se asume que los azúcares se consumieron y el proceso de fermentación alcohólica finalizó (figura 3.11).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11 Proceso de fermentación alcohólica del mosto de papa

3.7.1.8 Filtración del mosto

Pasado los siete días de fermentación alcohólica se realizó el filtrado del vino base, utilizando una tela gasa de seda, separando las borras y levaduras del fondo del frasco, llevando el vino base a unas botellas limpias y desinfectadas (figura 3.12).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12 Filtración del mosto

3.7.1.9 Destilación

Una vez obtenido el vino base se procedió a la destilación, para ello se empleó un Rota vapor Buchi R-100. La destilación se llevó a cabo a una temperatura entre (68 - 70) °C y una presión de 110 Torr por un tiempo de 14 minutos, haciendo los cortes de cabeza, cuerpo y cola para separar el metanol del etanol, obteniendo etanol de grado alcohólico 46°GL (figura 3.13).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13 Destilación del vino base de papa

3.7.1.10 Dilución

Una vez obtenido el producto destilado, se realizó la medición del grado alcohólico (°GL) mediante picnometría, para realizar la dilución correspondiente con agua destilada, hasta obtener el grado alcohólico deseado entre (38 - 40) °GL.

3.7.1.11 Envasado

El envasado, se realizó en botellas de vidrio transparentes con capacidad de 240 ml previamente esterilizadas con agua caliente y alcohol al 70%, se procedió a envasar el vodka a partir de papa.

3.7.1.12 Almacenamiento

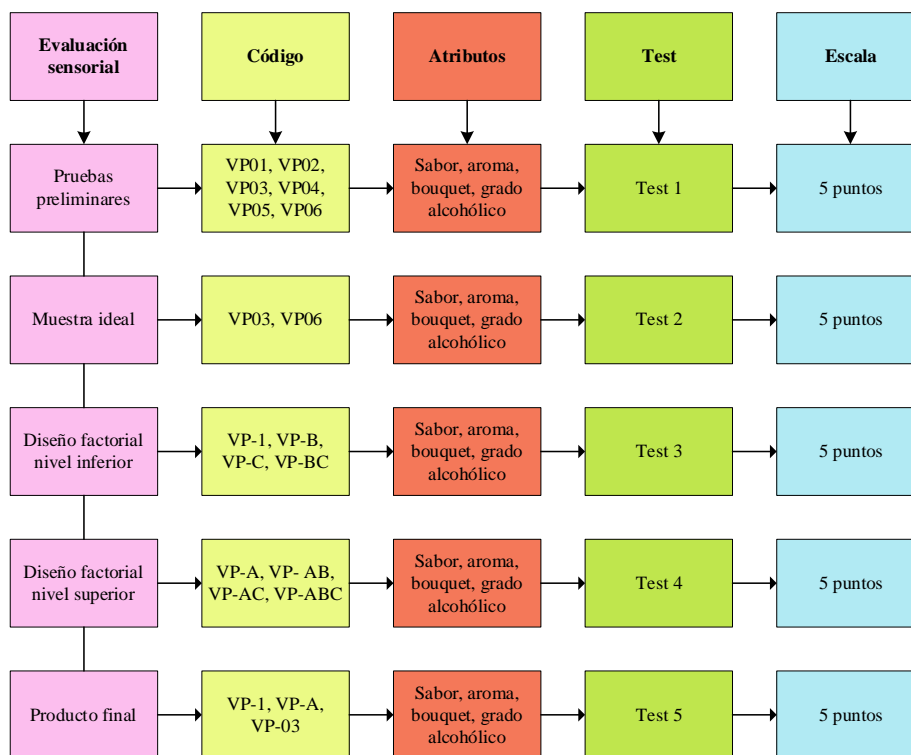
El almacenamiento del producto se realizó en un ambiente fresco entre 20 – 22°C, aislado de la luz para no alterar sus propiedades organolépticas del vodka a partir de papa.

3.8 Evaluación sensorial

El Instituto de Alimentos de EEUU (IFT), define la evaluación sensorial como “la disciplina científica utilizada para evocar, medir analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído” (Hernández, 2005). La valoración

sensorial es una función que la persona realiza desde la infancia que la lleva de manera consciente o inconsciente, al aceptar o rechazar los alimentos de acuerdo con las sensaciones experimentadas al observarlos o ingerirlos (Sancho et al., 1999, Pág. 23).

En la figura 3.14, se detalla las evaluaciones sensoriales que se realizaron al presente trabajo experimental para la elaboración de vodka a partir de papa, con la finalidad de caracterizar sus propiedades organolépticas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14 Evaluación sensorial del vodka a partir de papa variedad *Marcela*

3.9 Diseño experimental

Los diseños experimentales en los que el plan experimental requiere estudiar el efecto sobre una respuesta de k factores, cada uno en dos niveles. A éstos se les conoce como experimentos factoriales 2^k . Es frecuente que los niveles se denoten por “alto” y “bajo”, aunque esa notación podría ser arbitraria en el caso de variables cualitativas. Un diseño experimental bien planeado corresponde a una etapa de lo que en realidad es el plan secuencial de la experimentación (Walpole et al., 2012).

3.9.1 Diseño factorial 2^k

Con el diseño factorial 2^3 se estudian tres factores en dos niveles cada uno. Consta de $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ tratamientos diferentes. Sean A, B y C los factores que se quieren estudiar y sean (I), a, b, ab, c, ac, bc y abc, los totales observados en cada uno de los ocho tratamientos escritos en su orden estándar (Gutiérrez & De la Vara, 2018). Este diseño factorial corresponde a la ecuación 3.1.

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Dónde:

2 = Número de niveles

k = Número de variables

Según (Gutiérrez & De la Vara, 2018), un modelo de regresión permite expresar los resultados de una variable respuesta en función de las variables independientes de forma matemática (Pág. 130). En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión a ser aplicado:

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

Dónde:

β = coeficientes de regresión

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

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

En la tabla 3.1, se muestran los niveles de variación del diseño factorial (nivel inferior y nivel superior), que se aplicó en el proceso de fermentación alcohólica de vodka a partir de papa variedad Marcela.

Tabla 3.1*Niveles de variación de los factores de la fermentación alcohólica del vodka*

Variables	Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
Porcentaje de malta (A)	%	4,815	6,296
Porcentaje de levadura (B)	%	0,048	0,063
Tiempo de fermentación (C)	Días	5,000	9,000

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica para la elaboración de vodka a partir de papa variedad Marcela se aplicó la ecuación 3.3.

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

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

Porcentaje de malta (A) = 2 niveles

Porcentaje de levadura (B) = 2 niveles

Tiempo de fermentación (C) = 2 niveles

En la tabla 3.2, se presenta la matriz del diseño factorial aplicado en la etapa de fermentación alcohólica para la elaboración de vodka a partir de papa, conformado por tres variables o factores.

Tabla 3.2

Matriz de variables para el proceso de fermentación alcohólica

Combinación de tratamientos	Variables			Interacciones				Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC			
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y _{i1}	Y _{i1}	Y _{i1}
a	+	-	-	-	-	+	+	Y _{i2}	Y _{i2}	Y _{i2}
b	-	+	-	-	+	-	+	Y _{i3}	Y _{i3}	Y _{i3}
ab	+	+	-	+	-	-	-	Y _{i4}	Y _{i4}	Y _{i4}
c	-	-	+	+	-	-	+	Y _{i5}	Y _{i5}	Y _{i5}
ac	+	-	+	-	+	-	-	Y _{i6}	Y _{i6}	Y _{i6}
bc	-	+	+	-	-	+	-	Y _{i7}	Y _{i7}	Y _{i7}
abc	+	+	+	+	+	+	+	Y _{i8}	Y _{i8}	Y _{i8}

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Y_{i1} = Variable respuesta grado alcohólico (°GL)

Y_{i2} = Variable respuesta pH

Y_{i3} = Variable respuesta acidez total (% ácido acético)

3.10 Operacionalización de variables para la elaboración de vodka a partir de papa variedad *Marcela*

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 vodka a partir de papa.

Cuadro 3.1

Operacionalización de las variables para la elaboración de vodka a partir de papa

Hipótesis	Variables	Descripción de variable	Subvariables	Indicadores	
La aplicación de la metodología experimental de fermentación alcohólica, permite obtener un vodka a partir del puré de papa variedad Marcela para obtener un producto novedoso para la población en la provincia Cercado.	Variable independiente	Proceso de fermentación alcohólica	El término fermentación generalmente se reserva para la actividad de algunos microorganismos, como ciertos hongos y bacterias (Alcívar, 2017).	Control de acidez	%
				Control de pH	-
				°Brix	°Brix
				Tiempo de fermentación	Días
	Variable dependiente	Vodka a partir de papa variedad Marcela	Según CODEX STAN, (1995) define a los licores destilados que contengan más de un 15 °GL: Comprende todos los licores destilados derivados de granos, tubérculos o caña de azúcar que contengan más del 15 por ciento de alcohol. En estos se encuentra el vodka.	Anhidrido sulfuroso total	mg/l
				Azúcares reductores	g/l
				Densidad relativa	-
				Extracto seco	g/l
				Grado alcohólico	°GL
				Metanol	mg/l

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1 Caracterización de la papa

Para caracterizar la papa variedad Marcela, se tomaron en cuenta la determinación de las siguientes propiedades.

4.1.1 Análisis físico de la papa

Para determinar el análisis físico de la papa variedad Marcela, se utilizaron doce muestras elegidas aleatoriamente, donde se tomaron en cuenta los parámetros de altura, diámetro, peso total, peso de la cáscara (porción no comestible) y peso de pulpa (porción comestible). En la tabla 4.1 se muestran los resultados del análisis físico de la papa variedad Marcela.

Tabla 4.1

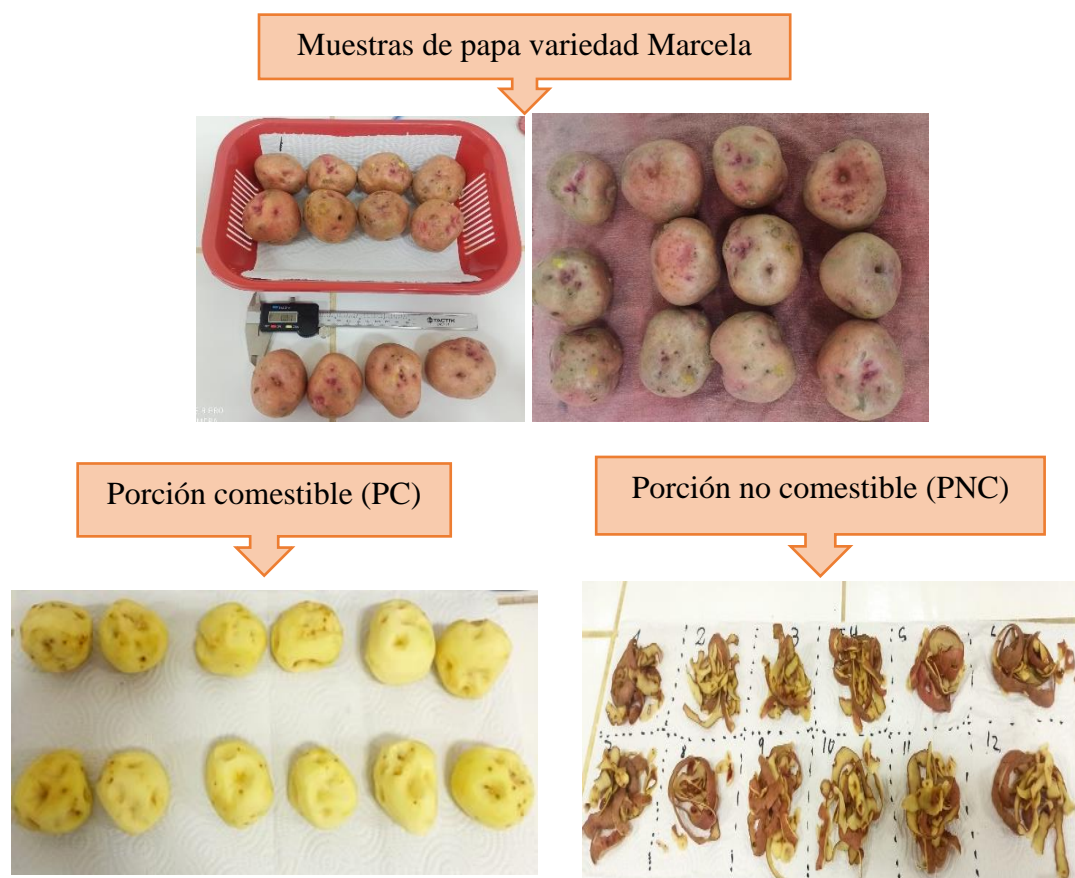
Análisis físico de la papa variedad Marcela

Muestras	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso total (g)	PC (g)	PNC (g)	% PC	%PNC
1	49,93	47,40	80,52	69,73	10,92	86,59	13,56
2	38,22	50,30	65,34	55,51	9,50	84,95	14,54
3	43,53	50,32	80,80	69,56	10,89	86,09	13,48
4	38,16	51,20	81,53	67,72	13,53	83,06	16,59
5	44,86	58,59	105,07	91,97	13,40	87,53	12,75
6	56,14	55,36	101,55	87,34	14,02	86,01	13,81
7	42,28	51,43	80,31	64,76	15,42	80,64	19,20
8	42,11	49,01	65,71	55,97	9,70	85,17	14,76
9	44,83	52,50	86,41	73,58	12,90	85,15	14,93
10	43,32	50,43	79,29	66,69	12,40	84,11	15,64
11	49,21	49,11	100,44	83,96	16,42	83,59	16,35
12	44,05	56,13	93,27	78,92	14,37	84,61	15,41
\bar{X}	44,72	47,62	85,02	72,14	13,06	84,79	15,08

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1, se pueden observar los resultados promedios de las propiedades físicas que la papa variedad Marcela presenta.

Así la figura 4.1 se observa el esquema para determinar el análisis físico de la papa variedad Marcela los cuales fueron realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1 Esquema de determinación del análisis físico

4.1.2 Análisis fisicoquímico del puré de papa variedad *Marcela*

En la tabla 4.2, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico y minerales del pure de papa variedad Marcela, datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.2

Análisis fisicoquímico del puré de papa variedad *Marcela*

Componentes	Unidad	Resultado
Macronutrientes		
Acidez (como ácido ascórbico)	%	0,26
Ceniza	%	0,36
Fibra	%	0,03
Hidratos de carbono	%	7,29
Humedad	%	91,43
Materia grasa	%	n.d.
pH (20°C)	-	6,13
Proteína total	%	0,89
Valor energético	%	32,72
Minerales		
Fósforo	mg/100g	29,40
Potasio	mg/100g	170,00

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados de los análisis fisicoquímicos del puré de papa variedad *Marcela* que presenta: Acidez (como ácido ascórbico) 0,26 %, Ceniza 0,36 %, Fibra 0,03 %, Hidratos de carbono 7,29 %, Humedad 91,43 %, Materia grasa n.d, pH (20 °C) 6,13, Proteína total 0,89 %, Valor energético 32,72 Kcal/100g, Fósforo 29,4 mg/100g y Potasio 170,0 mg/100g.

4.1.3 Análisis microbiológico del puré de papa variedad *Marcela*

En la tabla 4.3, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico del pure de papa variedad *Marcela*, datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.3

Análisis Microbiológico del pure de papa variedad *Marcela*

Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesofilas	UFC/g	$1,7 \times 10^2$
Coliformes totales	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
(*) no se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2022

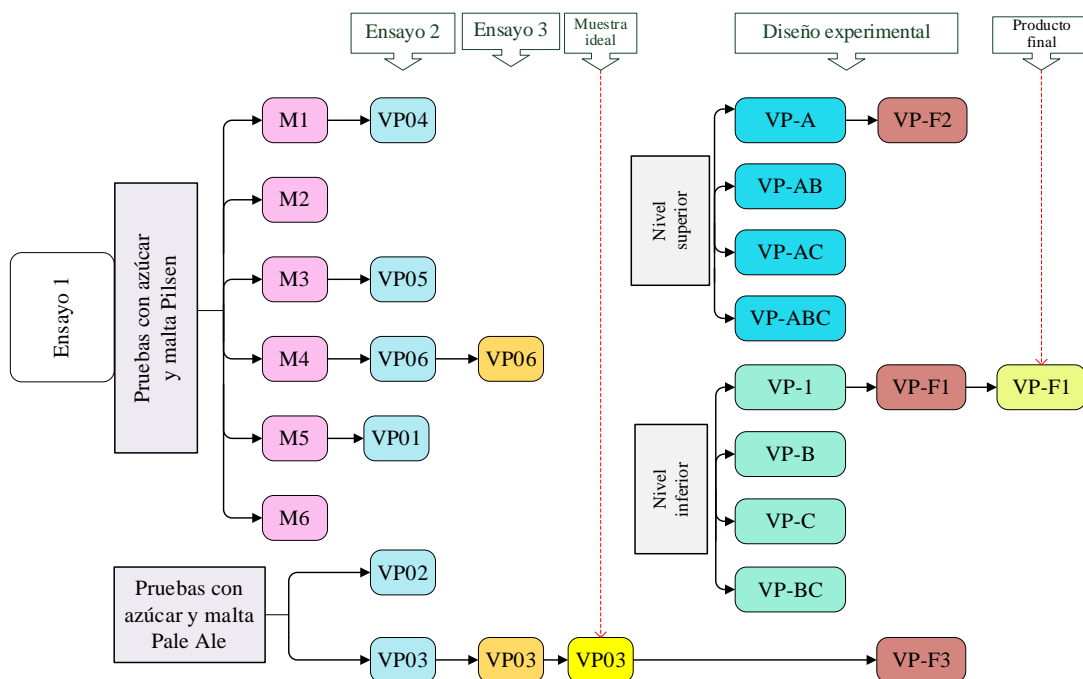
En la tabla 4,3 se observa que el puré de papa variedad *Marcela* presenta: Bacterias aerobias mesófilas $1,7 \times 10^2$ UFC/g, Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*), Mohos y levaduras $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*). Donde: (*) = no se observa desarrollo de colonias.

4.2 Caracterización de las variables del proceso de elaboración de vodka a partir de papa

Para la caracterización de las variables del proceso de elaboración de vodka a partir de papa, se tomaron en cuenta las siguientes pruebas experimentales que se detallan a continuación:

4.2.1 Pruebas experimentales para la obtención de vodka a partir de papa variedad *Marcela*

Para el desarrollo de la parte experimental del presente Trabajo de Investigación, se realizaron tres ensayos; El ensayo 1 se realizó con seis muestras de papa variedad *Marcela* (M1, M2, M3, M4, M5 y M6) agregando diferente dosificación de (puré de papa, malta pilsen, azúcar, agua y levadura), en base a las seis muestras, se tomaron en cuenta las muestras M1, M3, M4 y M5 para el ensayo 2, recodificadas como VP04, VP05, VP06 y VP01, a este ensayo se añadieron dos muestras VP02 y VP03 reemplazando la malta Pilsen por la malta Pale Ale. Finalmente, para el ensayo 3 se tomó en cuenta las muestras VP03 y VP06 realizando una variación porcentual en la formulación de dosificación de insumos obteniendo como muestra ideal VP03. En la figura 4.2, se muestran las pruebas preliminares realizadas a nivel de laboratorio para la obtención de vodka a partir de papa.



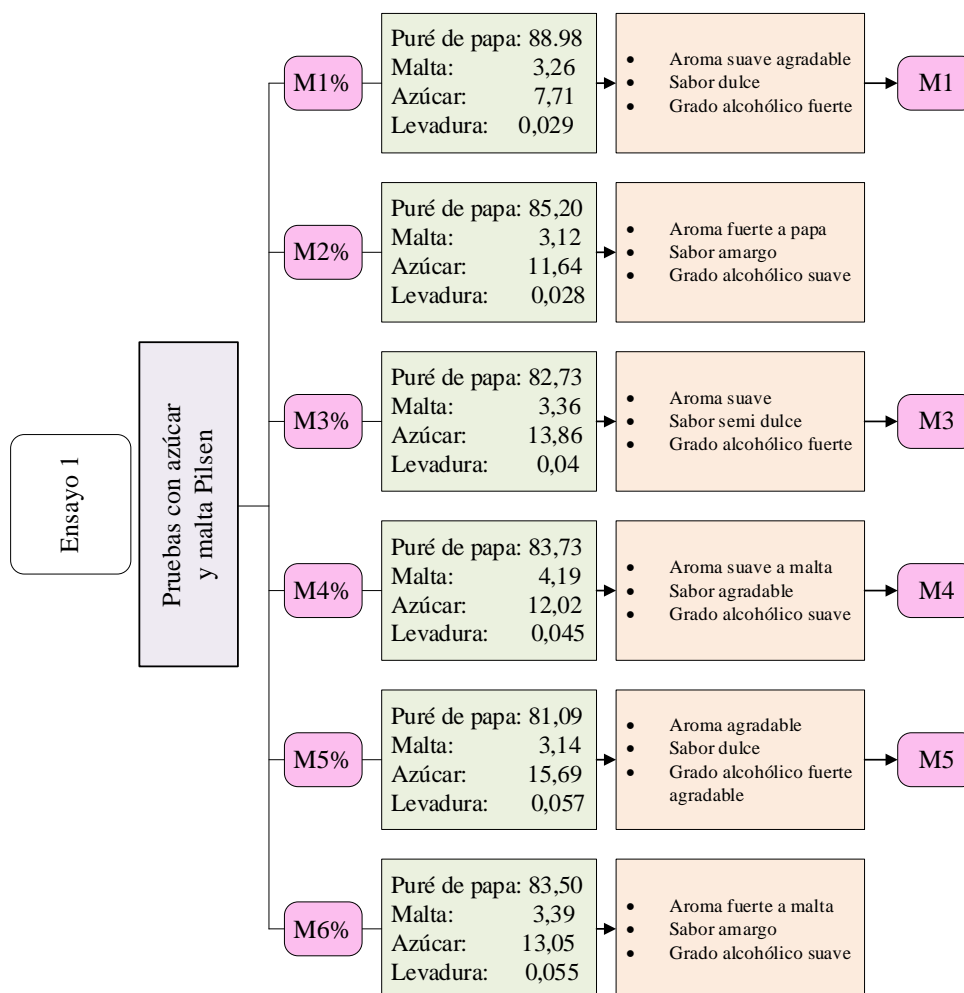
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Pruebas preliminares en la obtención de vodka a partir de papa variedad *Marcela*

4.2.2 Pruebas preliminares de vodka a partir de papa variedad *Marcela*

Para desarrollar el ensayo 1, se procedió con la preparación de seis muestras utilizando como base principal puré de papa variedad *Marcela*, incorporando malta Pilsen, azúcar y levadura vinífera, según Benavides & Pozo (2008) “el proceso de elaboración del vodka se resume en tres pasos bien diferenciados: elaboración del puré, fermentación y destilación” donde se hizo variar la dosificación de los insumos en todas las muestras.

Las seis muestras de vodka a partir de papa fueron sometidas a evaluación sensorial, evaluadas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, como se detalla en la figura 4.3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Variación en la dosificación de insumos para el ensayo 1

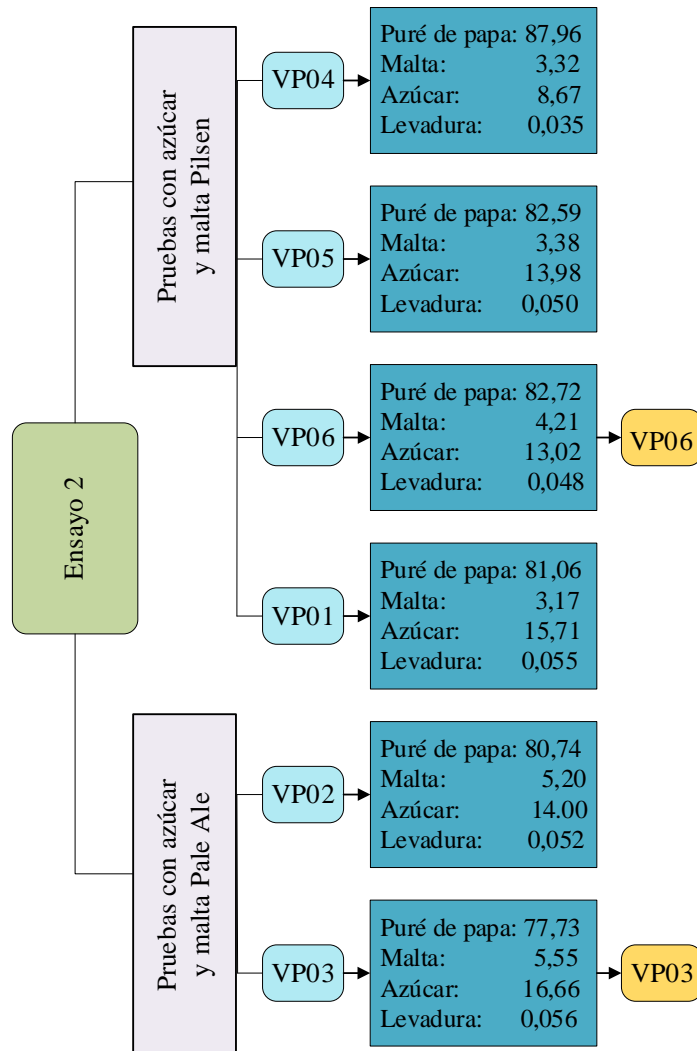
En base a la figura 4.3, se puede observar que las muestras M1, M3, M4 y M5 son de mayor aceptación por presentar un mejor aroma, sabor y un grado alcohólico fuerte agradable a comparación de las muestras M2 y M6, que presentan un grado alcohólico suave, sabor amargo y un aroma fuerte a papa.

4.2.3 Pruebas preliminares en la dosificación de insumos para el ensayo 2

Para llevar a cabo el desarrollo del ensayo 2, se tomaron en cuenta las muestras M1, M3, M4 y M5 del ensayo 1 siendo recodificadas como VP04, VP05, VP06, VP01, efectuando la variación de dosificación de insumos (puré de papa variedad *Marcela*, malta Pilsen, azúcar y levadura) en cada muestra de acuerdo a las observaciones que

se realizaron en la evaluación sensorial, partiendo de éstas observaciones se realizaron dos muestras VP02 y VP03 reemplazando la malta Pilsen por la malta Pale Ale con la finalidad de mejorar el aroma y sabor de las muestras.

En la figura 4.4, se muestra las variaciones de dosificación de insumos para las muestras del ensayo 2.

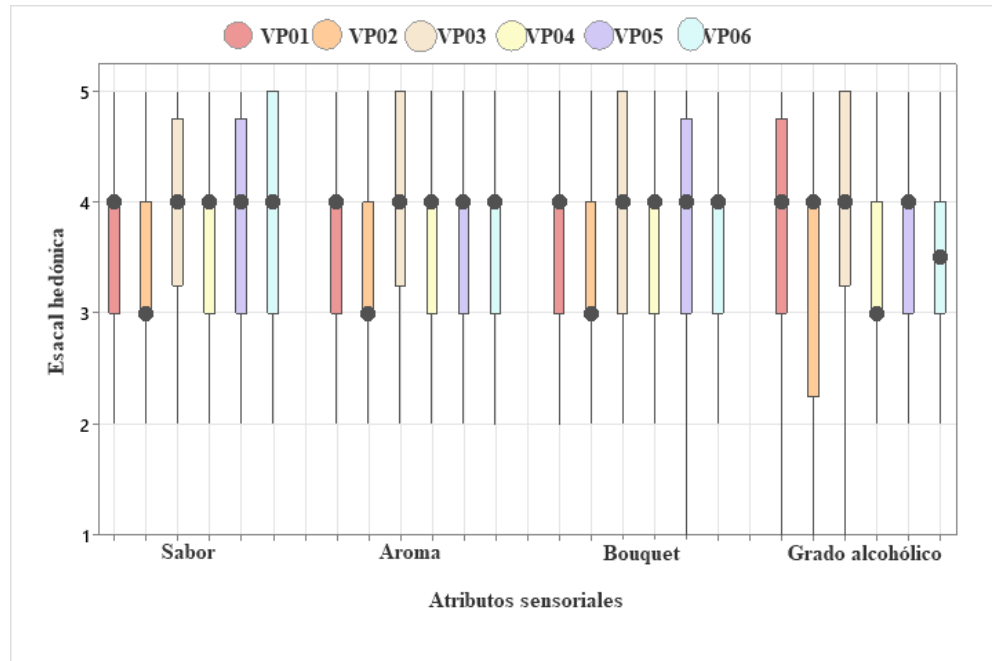


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4 Variación en la dosificación de insumos para el ensayo 2

4.2.3.1 Estadístico de caja y bigote para la dosificación de insumos para las muestras del ensayo 2

En la figura 4.5, se muestra el estadístico de caja y bigote en la dosificación de insumos del ensayo 2 de datos extraídos del Anexo C, para los atributos de Sabor (Tabla C.1), aroma (Tabla C.2), bouquet (Tabla C.3) y grado alcohólico (Tabla C.4).



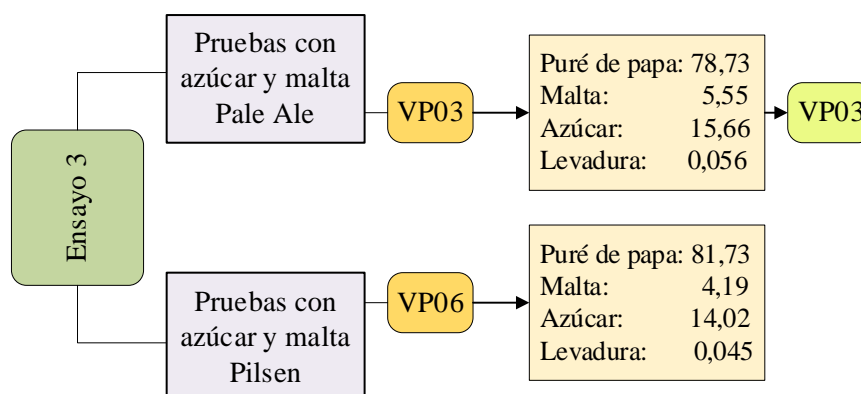
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Caja y bigote en la variación de dosificación de insumos para las muestras del ensayo 2

Según la figura 4.5, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas: sabor 4 (VP01, VP03, VP04, VP05 y VP06), aroma 4 (VP01, VP03, VP04, VP05 y VP06), bouquet 4 (VP01, VP03, VP04, VP05, VP06) y grado alcohólico 4 (VP01, VP02, VP03 y VP05). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza donde se pudo evidenciar que no existe diferencias significativas entre los atributos de las muestras. Por lo tanto, se concluyó que las muestras VP03 y VP06 son las que cumplen con la mayoría de los atributos sensoriales en base a sus medianas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.4 Pruebas preliminares en la dosificación de las muestras del ensayo 3

En base a las muestras elegidas del ensayo 2 (VP03 y VP06), se modifica la dosificación porcentual de insumos variando (puré de papa, malta, azúcar y levadura), con el propósito de mejorar los atributos: sabor, aroma, bouquet y grado alcohólico del vodka a partir de papa. En la figura 4.6, se muestran las variaciones de dosificación de insumos para las muestras del ensayo 3.



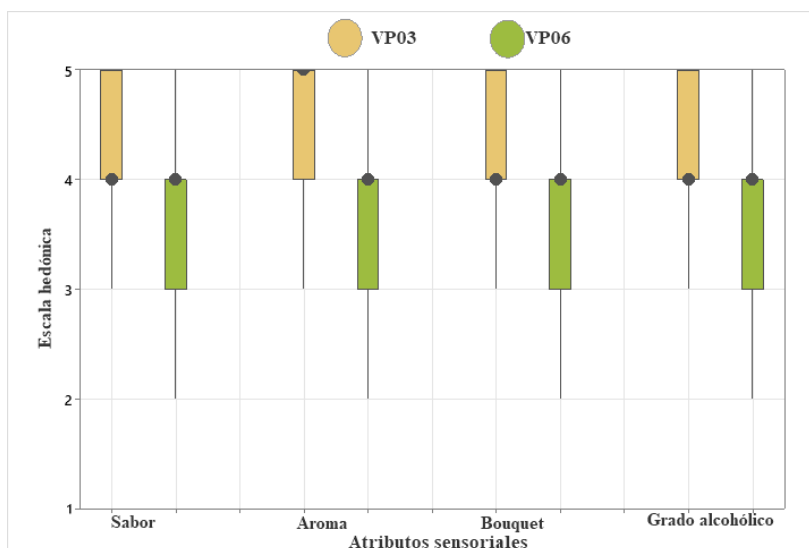
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Variación en la dosificación de insumos para el ensayo 3

En base a las muestras de la figura 4.6, se procede a realizar evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos, en función de los atributos: sabor, aroma, bouquet y grado alcohólico.

4.2.4.1 Estadístico de caja y bigote para las muestras del ensayo 3

En la figura 4.7, se muestra el estadístico de caja y bigote en la dosificación de insumos para el ensayo 3 de datos extraídos del Anexo C, en función de los atributos de sabor (Tabla C.5), aroma (Tabla C.6), bouquet (Tabla C.7) y grado alcohólico (Tabla C.8).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Caja y bigote en la variación de dosificación de insumos de las muestras para el ensayo 3

Según la figura 4.7, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas: sabor 4 (VP03, VP06), aroma 5 (VP03), bouquet 4 (VP03, VP06) y grado alcohólico 4 (VP03, VP06). 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 sabor de las muestras del ensayo 3

En la tabla 4.4, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de las muestras del ensayo 3 de datos extraídos del (Anexo C.5.2).

Tabla 4.4

Estadístico de Tukey para el atributo sabor del ensayo 3

Factor	N	Mediana	Agrupación
VP03	20	4,40	A
VP06	20	3,75	B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.4, se puede observar que existe diferencia significativa entre la muestra VP03 y VP06 para un nivel de significancia del $\alpha = 0.05$.

4.2.4.3 Estadístico de Tukey para el atributo aroma de las muestras del ensayo 3

En la tabla 4.5, se muestran los resultados de análisis estadístico de tukey para el atributo aroma de las muestras del ensayo 3 de datos extraídos del (Anexo C.6.2).

Tabla 4.5

Estadístico de Tukey para el atributo aroma del ensayo 3

Factor	N	Mediana	Agrupación
VP03	20	4,60	A
VP06	20	3,75	B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.5, se puede observar que existe diferencia significativa entre la muestra VP03 y VP06 para un nivel de significancia del $\alpha = 0.05$.

4.2.4.4 Estadístico de Tukey para el atributo bouquet de las muestras del ensayo 3

En la tabla 4.6, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo bouquet de las muestras del ensayo 4 de datos extraídos del (Anexo C.7.2).

Tabla 4.6

Estadístico de Tukey para el atributo bouquet del ensayo 3

Factor	N	Mediana	Agrupación
VP03	20	4,20	A
VP06	20	3,60	B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.6, se puede observar que existe diferencia significativa entre la muestra VP03 y VP06 para un nivel de significancia del $\alpha = 0.05$.

4.2.4.5 Estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico de las muestras del ensayo 3

En la tabla 4.7, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico de las muestras del ensayo 3 de datos extraídos del (Anexo C.8.2).

Tabla 4.7*Estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico del ensayo 3*

Factor	N	Mediana	Agrupación
VP03	20	4,25	A
P06	20	3,50	B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.7, se puede observar que existe diferencia significativa entre la muestra VP03 y VP06 para un nivel de significancia del $\alpha = 0.05$.

En base al estadístico de caja y bigote de la evaluación sensorial en la dosificación de insumos del ensayo 3 y de acuerdo al estadístico de Tukey realizado en cada atributo, se pudo evidenciar que existe diferencia estadística significativa entre los atributos de las muestras, predominando la muestra VP03 en función a sus medianas; sabor (4,40), aroma (4,60), bouquet (4,20) y grado alcohólico (4,25), siendo la seleccionada por los jueces.

4.2.4.6 Control de factores: °Brix, pH, acidez en el proceso de fermentación alcohólica de la papa

Durante el proceso de desarrollo de las muestras preliminares para la elaboración de vodka a partir de papa, se realizó el control de los factores: °Brix, pH y acidez total, de las muestras VP03 y VP06, realizando el seguimiento al proceso de fermentación alcohólica en un tiempo de siete días, cada muestra en un frasco de vidrio cerrado válvula de escape de aire a temperatura de (26-31)°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.

4.2.4.7 Control de °Brix en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de papa

En la tabla 4.8, se muestran los resultados obtenidos de la variación de los °Brix en función del tiempo de fermentativo de las muestras VP03 y VP06 del mosto de papa. Para tal efecto, se utilizó un refractómetro de bolsillo, cuya técnica utilizada se muestra en el (Anexo D.1) y los resultados son extraídos del Anexo (E.1).

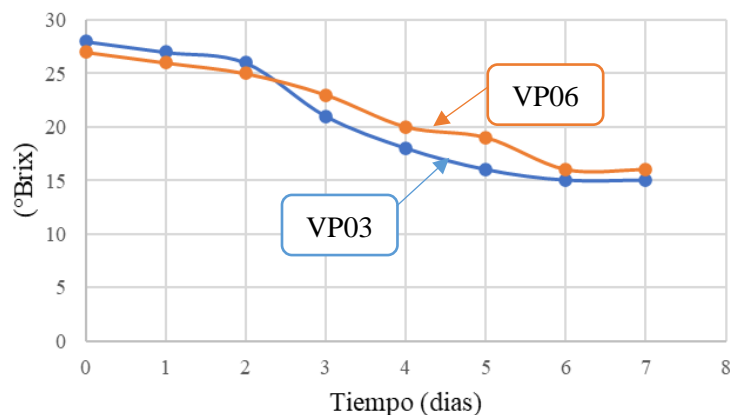
Tabla 4.8

Variación de °Brix en función al tiempo de fermentación alcohólica

Tiempo (días)	Muestras	
	VP03	VP06
	°Brix	°Brix
0	28	27
1	27	26
2	26	25
3	21	23
4	18	20
5	16	19
6	15	16
7	15	16

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.8, se observa la variación de los (°Brix) en función al tiempo en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de papa para las muestras VP03 y VP06, en base a los datos obtenidos de la tabla 4.8.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Control de °Brix en el proceso de fermentación alcohólica

En la figura 4.8, se observa que al inicio del proceso fermentativo las muestras presentan: VP03 (28°Brix) y VP06 (27°Brix), luego al transcurrir tres días se da una disminución de 21°Brix (VP03) y 23°Brix (VP06), al transcurrir un tiempo de siete días de fermentación alcohólica los °Brix de las muestras fueron disminuyendo debido al consumo de azúcares por las levaduras y se obtuvieron los siguientes datos 15°Brix (VP03) y 16°Brix (VP06).

4.2.4.8 Control del pH en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de papa

En la tabla 4.9, se muestran los valores obtenidos de la variación de pH, determinados con un pH-metro digital de acuerdo a la técnica detallada en (Anexo D.3) de las muestras VP03 y VP06, en función del tiempo del proceso fermentativo del mosto de papa obteniendo los siguientes datos extraídos del (Anexo E.2).

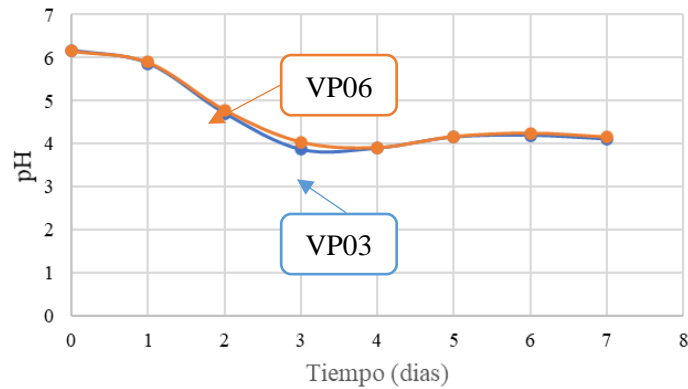
Tabla 4.9

Variación de pH en función al tiempo de fermentación alcohólica

Tiempo (Días)	Muestras	
	VP03	VP06
	pH	pH
0	6,173	6,161
1	5,868	5,897
2	4,709	4,780
3	3,869	4,033
4	3,901	3,904
5	4,158	4,164
6	4,198	4,242
7	4,113	4,154

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.9, se observa la variación del pH en función del tiempo, en el proceso de fermentación alcohólica para las muestras VP03 y VP06 de mosto de papa en base a los datos de la tabla 4.9.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Control de pH en función del tiempo de fermentación alcohólica

En la figura 4.9, se observa los datos obtenidos del pH iniciales para las muestras VP03 (6,173) y VP06 (6,161), luego de tres días se observa un deceso de pH; 3,869(VP03) y 4,033(VP06) al transcurrir el tiempo de siete días de fermentación alcohólica el pH de las muestras fue disminuyendo y haciéndose más ácida, presentando un deceso de pH; 4,113 (VP03) y 4,154 (VP06).

4.2.4.9 Control de acidez total en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de papa

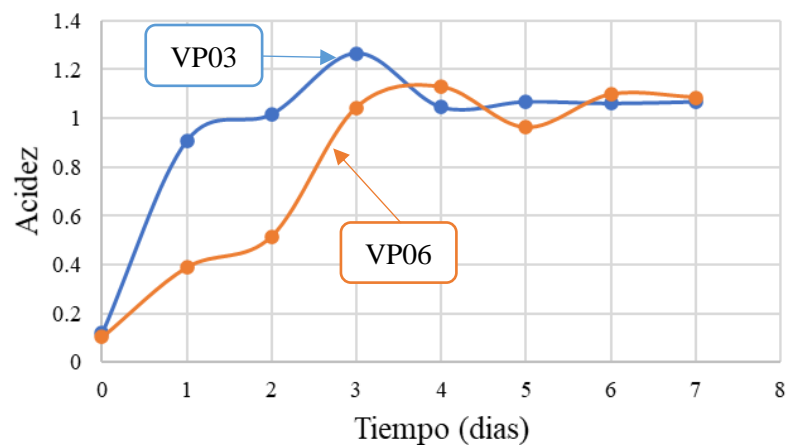
En la tabla 4.10, se muestran los resultados obtenidos de la variación de acidez expresada en ácido acético en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de papa, de las muestras VP03 y VP06, se utilizó el método de determinación de acidez que se detalla en el (Anexo D.2), obteniendo los resultados de datos extraídos del (Anexo E.3).

Tabla 4.10*Variación de acidez en función al tiempo de fermentación alcohólica*

Tiempo (días)	Muestras	
	VP03	VP06
	Acidez	Acidez
0	0,120	0,103
1	0,909	0,389
2	1,017	0,516
3	1,267	1,044
4	1,046	1,128
5	1,068	0,962
6	1,061	1,097
7	1,068	1,085

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.10, se observa la variación de la acidez total (ácido acético) en función del tiempo, en el proceso de fermentación alcohólica del mosto de papa de las muestras VP03 y VP06 en base a los datos de la tabla 4.10.

**Fuente:** Elaboración propia**Figura 4.10** Control de acidez total 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 acético de las muestras: VP03 (0,120) y VP06 (0,103) al transcurrir tres días del proceso de fermentación alcohólica sus valores incrementaron a 1,267 (VP03) y 1,044 (VP06) al transcurrir los siete días de fermentación alcohólica las

muestras VP03(1,068) y VP06(1,085) presentaron un incremento del valor de acidez total.

4.3 Diseño factorial 2³ en el proceso de fermentación alcohólica del puré de papa para la elaboración de vodka

Para la aplicación del diseño experimental en el proceso de fermentación alcohólica del puré de papa, se realizó en base a la muestra ideal VP03 (figura 4.2), considerando las variables; porcentaje de malta (A), porcentaje de levadura (B) y tiempo de fermentación (C). Tomando en cuenta como variables respuesta el grado alcohólico, pH y acidez total.

4.3.1 Variable respuesta de grado alcohólico en el proceso de fermentación alcohólica

La tabla 4,11, muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2³ aplicando el programa Statgraphics de datos extraídos del Anexo (F.1), en el proceso de fermentación alcohólica del puré de papa para la variable respuesta grado alcohólico. Para lo cual se utilizó el método de determinación por densidad relativa (picnometría), que se detalla en el (Anexo D.4).

Tabla 4.11

Análisis de varianza de la variable respuesta grado alcohólico en el proceso fermentativo

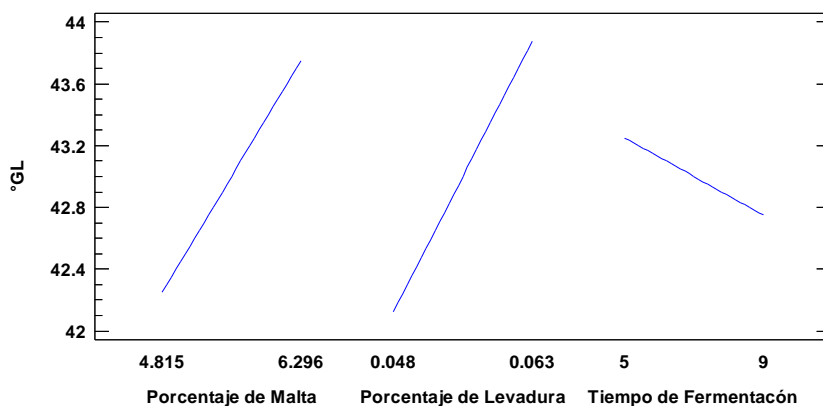
(FV)	(SC)	(GL)	(CM)	Fcal	Ftab	Valor-P
Factor A	9,00	1	9,00	7,20	5,32*	0,0278
Factor B	12,25	1	12,25	9,80	5,32*	0,0140
Factor C	1,00	1	1,00	0,80	5,32	0,3972
AB	30,25	1	30,25	24,20	5,32*	0,0012
AC	9,00	1	9,00	7,20	5,32*	0,0278
BC	2,25	1	2,25	1,80	5,32	0,2165
ABC	2,25	1	2,25	1,80	5,32	0,2165
Error total	10,00	8	1,25			
Total	76,00	15				

Fuente: Elaboración propia

Significativo (*)

Según la tabla 4.11, se observa el análisis de varianza de los factores: (A, B) e interacciones (AB, AC), presentan diferencias significativas y que $F_{cal} > F_{tab}$; por lo 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 vodka a partir de papa; a diferencia del factor (C) e interacciones (BC, ABC), que no presentan diferencias significativas debido que $F_{cal} < F_{tab}$, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.11, se puede observar los efectos principales para los factores; A (porcentaje de malta), B (porcentaje de Levadura) y C (tiempo de fermentación), con relación a la variable respuesta ($^{\circ}\text{GL}$) en el proceso fermentativo.

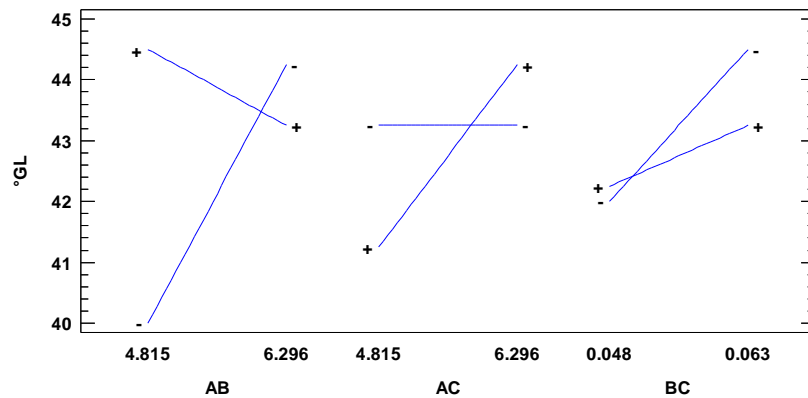


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Efectos principales para el ($^{\circ}\text{GL}$)

Según la figura 4.11 se observan que los factores de porcentaje de malta entre (4,815 – 6,296) % y porcentaje de levadura entre (0,048 – 0,063) %, influyen significativamente en el $^{\circ}\text{GL}$ cuando se encuentran en su nivel superior. Sin embargo, para el factor tiempo de fermentación entre (5 – 9) días, influye en el ($^{\circ}\text{GL}$) cuando se encuentra en su nivel inferior.

En la figura 4.12, se muestra las interacciones para los factores AB (porcentaje de malta y porcentaje de levadura), AC (porcentaje de malta y tiempo de fermentación) y BC (porcentaje de levadura y tiempo de fermentación) en función de la variable respuesta ($^{\circ}\text{GL}$) en el proceso fermentativo.

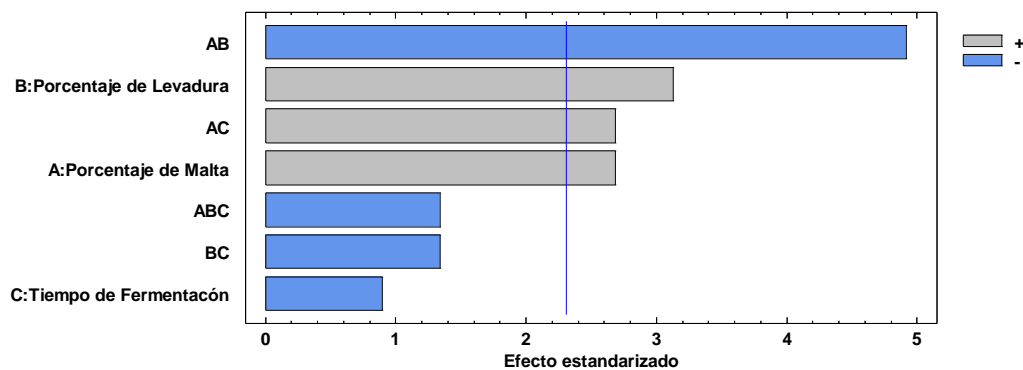


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Interacción de factores para °GL

Según la figura 4.12 se observa que las interacciones AB, AC, son significativas debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí; el porcentaje de malta influye significativamente en el grado alcohólico para un nivel alto y bajo (4,815 – 6,296) %. En la interacción BC se ve afectado cuando el factor B (porcentaje de malta) y factor C (tiempo de fermentación) interactúan en el nivel bajo existe variación significativa para la variable respuesta.

En la figura 4.13, se puede observar el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinan con una línea vertical de referencia con el valor (2,30), de tal manera, que si las barras exceden la línea referencial indican que son significativos para el nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Diagrama de Pareto estandarizado para el (°GL)

Según la figura 4.13 se observa que el factor B (porcentaje de levadura), factor A (porcentaje de malta), la interacción AB (porcentaje de malta – porcentaje de levadura), AC (porcentaje de malta – tiempo de fermentación), se encuentra por encima de la línea vertical de referencia lo que indica que existe diferencia significativa con la variable respuesta ($^{\circ}\text{GL}$); mientras que para el factor C (tiempo de fermentación), interacción ABC (porcentaje de malta – porcentaje de levadura – tiempo de fermentación), BC (porcentaje de levadura – tiempo de fermentación) no influyen significativamente en la variable respuesta ($^{\circ}\text{GL}$).

4.3.2 Variable respuesta de pH en el proceso de fermentación alcohólica

La tabla 4.12, muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2^3 aplicando el programa Statgraphics de datos extraídos del Anexo (F.2), en el proceso de fermentación alcohólica del puré de papa para la variable respuesta pH. Para lo cual se utilizó el método de potenciometría que se detalla en el (Anexo D.3).

Tabla 4.12

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

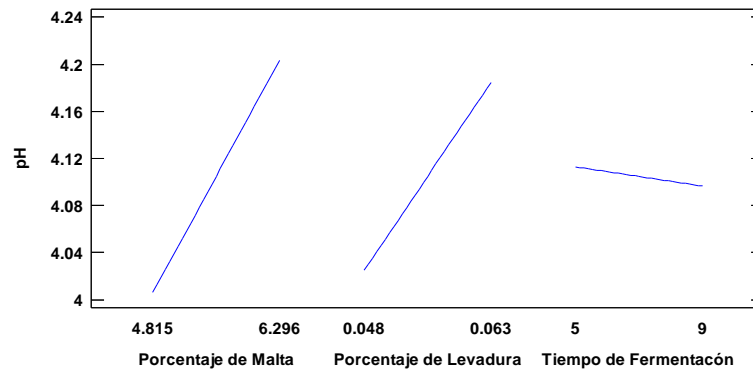
(FV)	(SC)	(GL)	(CM)	Fcal	Ftab	Valor-P
Factor A	0,155828	1	0,155828	22,46	5,32*	0,0015
Factor B	0,101921	1	0,101921	14,69	5,32*	0,0050
Factor C	0,001073	1	0,001073	0,15	5,32	0,7045
AB	0,209535	1	0,209535	30,20	5,32*	0,0006
AC	0,031773	1	0,031773	4,58	5,32	0,0648
BC	0,000689	1	0,000689	0,10	5,32	0,7607
ABC	0,029670	1	0,029670	4,28	5,32	0,0725
Error total	0,055509	8	0,006939			
Total	0,585997	15				

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.12, se observa el análisis de varianza de los factores: (A, B) e interacción (AB) existe diferencia significativas ya que $F_{cal} > F_{tab}$; por lo 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 vodka a

partir de papa; a diferencia del factor (C) e interacciones (AC, BC, ABC), que no existe diferencia significativa debido que $F_{cal} < F_{tab}$, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.14, se muestran los efectos principales para los factores; A (Porcentaje de malta), B (Porcentaje de Levadura) y C (Tiempo de fermentación), con relación a la variable respuesta pH en el proceso fermentativo.

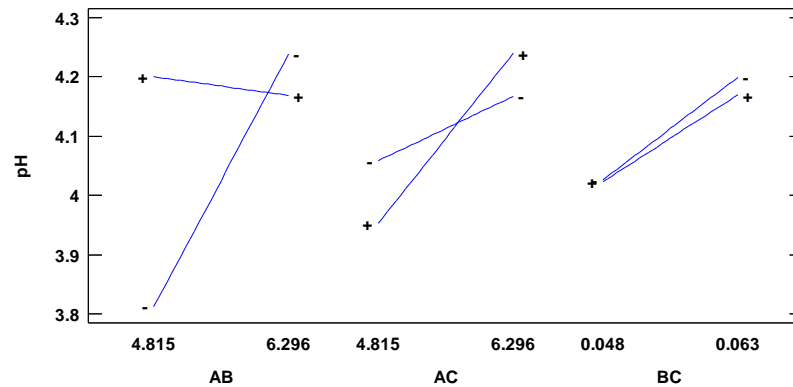


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Efectos principales con relación al pH

Según la figura 4.14 se observan que los factores de porcentaje de malta entre (4,815 – 6,296) % y porcentaje de levadura (0,048 – 0,063) %, influyen significativamente en el pH cuando se encuentran en su nivel superior. Sin embargo, para el factor tiempo de fermentación entre (5 – 9) días, no influye significativamente sobre la variable respuesta pH.

En la figura 4.15, se muestran las interacciones para los factores con relación a la variable respuesta pH en el proceso fermentativo.

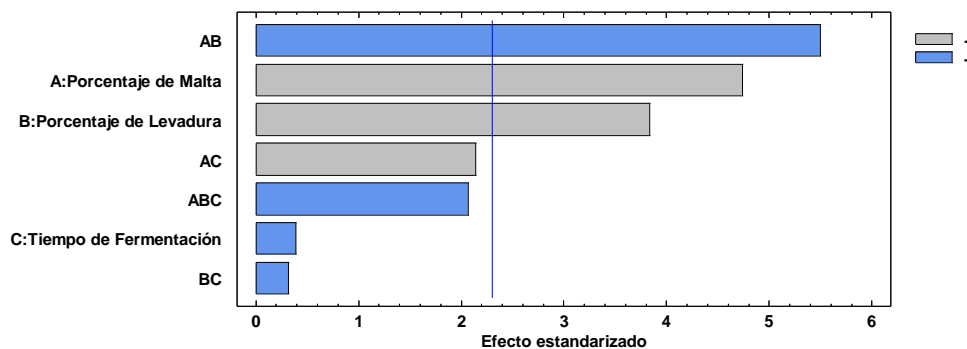


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Interacciones con relación al pH

Según la figura 4.15 se observa que las interacciones AB y AC son significativas debido a que los factores de las variables interactúan entre sí; el porcentaje de malta influye significativamente en el pH para un nivel alto y bajo (4,815 – 6,296) %. Así mismo en el factor BC no se observa interacción para un nivel alto de porcentaje de levadura (0.063 %) a diferencia que en el nivel bajo (0,048 %) se aproxima una interacción entre los factores.

En la figura 4.16, se observa el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinan con una línea vertical de referencia con el valor (2,30), de tal manera, que si las barras exceden la línea referencial son estadísticamente significativos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Diagrama de Pareto estandarizado para el pH

Según la figura 4.16 se observa que los factores: A (porcentaje de malta), B (porcentaje de levadura), e interacción AB (porcentaje de malta – porcentaje de levadura), se encuentran por encima de la línea vertical de referencia lo que indica que existe diferencia significativa con la variable respuesta pH; mientras que para el factor C (tiempo de fermentación), interacción AC (porcentaje de malta – tiempo de fermentación), ABC (porcentaje de malta – porcentaje de levadura – tiempo de fermentación), BC (porcentaje de levadura – tiempo de fermentación) no influyen significativamente en el pH.

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

La tabla 4.13, muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2^3 aplicando el programa Statgraphics de datos extraídos del Anexo (F.3), en el proceso de fermentación alcohólica del puré de papa para la variable respuesta acidez total (%ácido acético). Para lo cual se utilizó el método de titulación directa por viraje de color que se detalla en el (Anexo D.2).

Tabla 4.13

Análisis de varianza de la acidez total en el proceso fermentativo

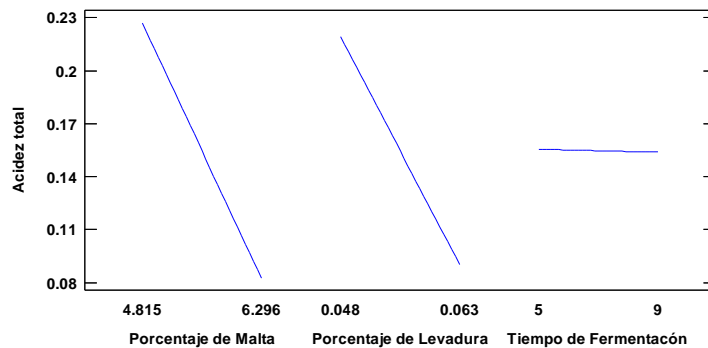
(FV)	(SC)	(GL)	(CM)	Fcal	Ftab	Valor-P
Factor A	0,083376	1	0,083376	271,86	5,32*	0,0000
Factor B	0,066435	1	0,066435	216,62	5,32*	0,0000
Factor C	0,000011	1	0,000011	0,03	5,32	0,8574
AB	0,074393	1	0,074393	242,57	5,32*	0,0000
AC	0,000033	1	0,000033	0,11	5,32	0,7511
BC	0,000452	1	0,000452	1,47	5,32	0,2596
ABC	0,000163	1	0,000163	0,53	5,32	0,4873
Error total	0,002453	8	0,000307			
Total	0,227315	15				

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.13, se observa el análisis de varianza de los factores: (A, B) e interacción (AB) presentan diferencias significativa y que $F_{cal} > F_{tab}$; por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones son significativos para el contenido de acidez total (ácido acético) en las muestras; en

comparación del factor (C) e interacciones (AC, BC, ABC), que no existe diferencia significativa debido que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.17, se muestran los efectos principales para los factores; A (Porcentaje de malta), B (Porcentaje de levadura) y C (Tiempo de fermentación), con relación a la variable respuesta acidez total.

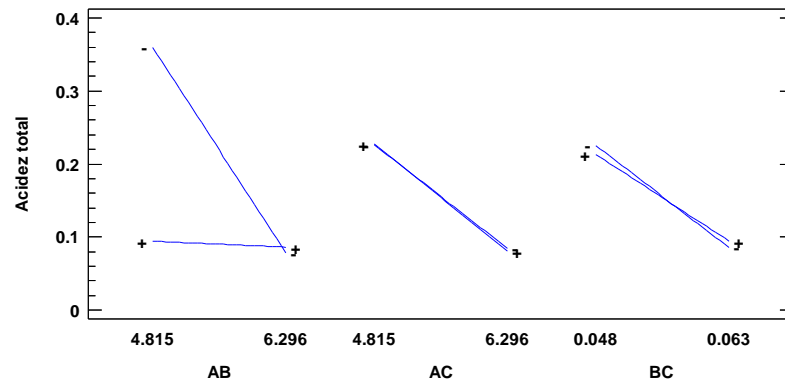


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17 Efectos principales con relación a la acidez total

Según la figura 4.17 se observan que los factores: porcentaje de malta (A) y porcentaje de levadura (B), influyen significativamente en el porcentaje de acidez total en un nivel alto a comparación del factor tiempo de fermentación (C) que no influye significativamente sobre la variable respuesta.

En la figura 4.18, se muestra las interacciones para los factores con relación a la variable respuesta acidez total en el proceso fermentativo.

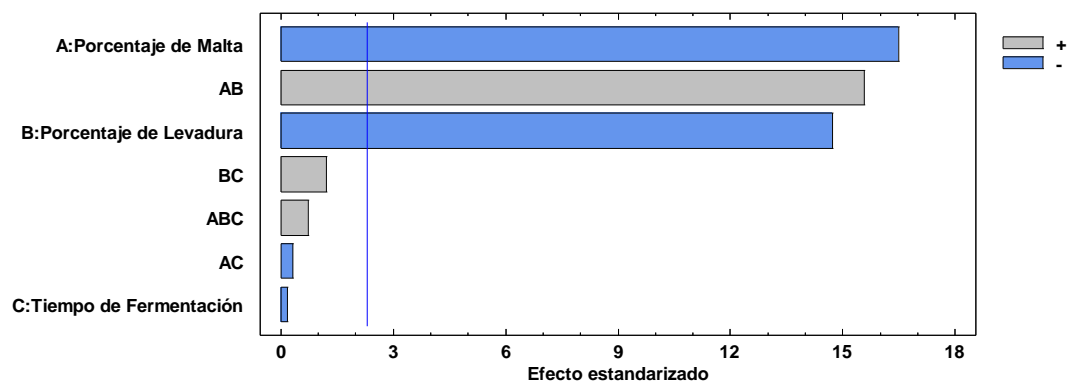


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Interacciones con relación a la acidez total

Según la figura 4.18, se observa la interacción AB, cuando el factor A (porcentaje de malta) y factor B (porcentaje de levadura) presentan una interacción en el nivel bajo influirá significativamente en la acidez total. En la interacción AC se ve afectado cuando el factor A (porcentaje de malta) y factor C (tiempo de fermentación) se encuentran en un nivel alto y bajo, presentando así una variación no significativa en la variable respuesta. En la interacción BC se ve afectado cuando el factor B (porcentaje de malta) y factor C (tiempo de fermentación) interactúan en un nivel alto y bajo existe variación no significativa en la acidez total.

En la figura 4.19, se observa el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinan con una línea vertical de referencia con el valor (2,30), de tal manera, que si las barras exceden la línea referencial indican que son significativos para el nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19 Diagrama de Pareto estandarizado para la acidez total

En base a la figura 4.19, se observa que el factor A (porcentaje de malta), factor B (porcentaje de levadura), la interacción AB (porcentaje de malta – porcentaje de levadura), se encuentran por encima de la línea vertical de referencia lo que indica que existe diferencia significativa con la variable respuesta acidez total, mientras que para el factor C (tiempo de fermentación), interacción BC (porcentaje de levadura – tiempo de fermentación), ABC (porcentaje de malta – porcentaje de levadura – tiempo de fermentación), AC (porcentaje de malta – tiempo de fermentación), no influyen significativamente en la acidez total.

4.3.4 Pruebas experimentales del factor porcentaje de malta en el proceso de fermentación alcohólica

Se realizó la evaluación sensorial del ocho muestras experimentales en función del factor porcentaje de malta Pale Ale, para observar si existe diferencia o no entre la combinación de tratamientos del proceso de fermentación alcohólica en la elaboración de vodka a partir de papa. En el cuadro 4.1, se muestra la combinación de tratamientos en función al factor porcentaje de malta.

Cuadro 4.1***Combinación de tratamientos en función al porcentaje de malta***

Combinación de tratamientos	Codificación	Factor Porcentaje de malta	Niveles
(1)	VP-1	4,815	Nivel inferior
b	VP-B	4,815	
c	VP-C	4,815	
bc	VP-BC	4,815	
a	VP-A	6,296	Nivel superior
ab	VP-AB	6,296	
ac	VP-AC	6,296	
abc	VP-ABC	6,296	

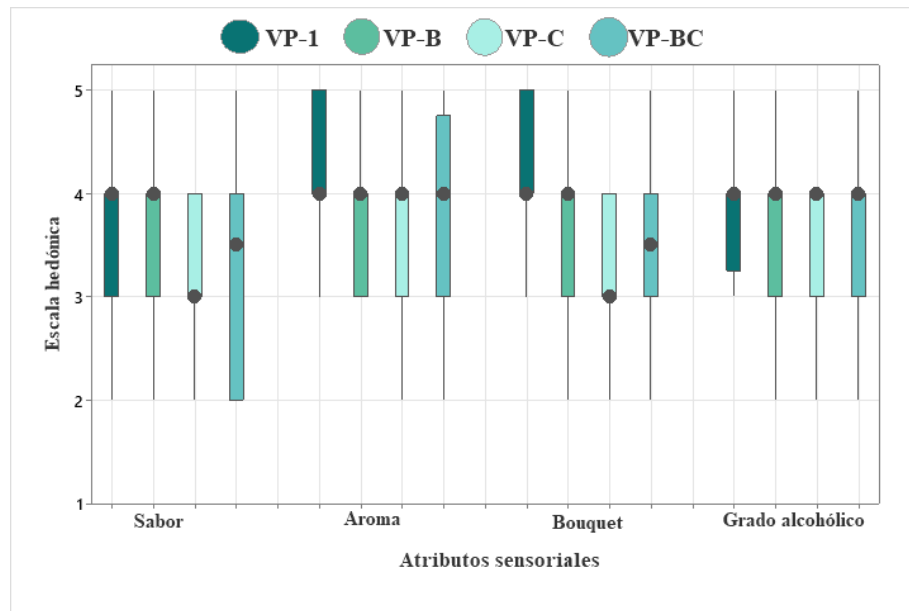
Fuente: Elaboración propia

Según el cuadro 4.1, se puede observar la combinación de los tratamientos para las pruebas experimentales codificadas del nivel inferior (VP-1, VP-B, VP-C y VP-BC) del nivel superior (VP-A, VP-AB, VP-AC y VP-ABC) en función del factor porcentaje de malta en el proceso de fermentación alcohólica.

Se procedió a realizar evaluación sensorial de las muestras experimentales del factor porcentaje de malta en el proceso de fermentación alcohólica en la elaboración de vodka a partir de papa, utilizando escala hedónica de cinco puntos, tomando en cuenta los atributos (sabor, aroma, bouquet y grado alcohólico) con jueces no entrenados, con el propósito de observar el efecto del factor considerado.

4.3.4.1 Estadístico de caja y bigote del factor porcentaje malta del nivel inferior en la elaboración de vodka a partir de papa

La figura 4.20, se muestra los resultados del estadístico de caja y bigote de las muestras (VP-1, VP-B, VP-C y VP-BC) de datos extraídos del Anexo C, para los atributos: sabor (Tabla C.9), aroma (Tabla C.10), bouquet (Tabla C.11) y °GL (Tabla C.12).



Fuente: Elaboración propia

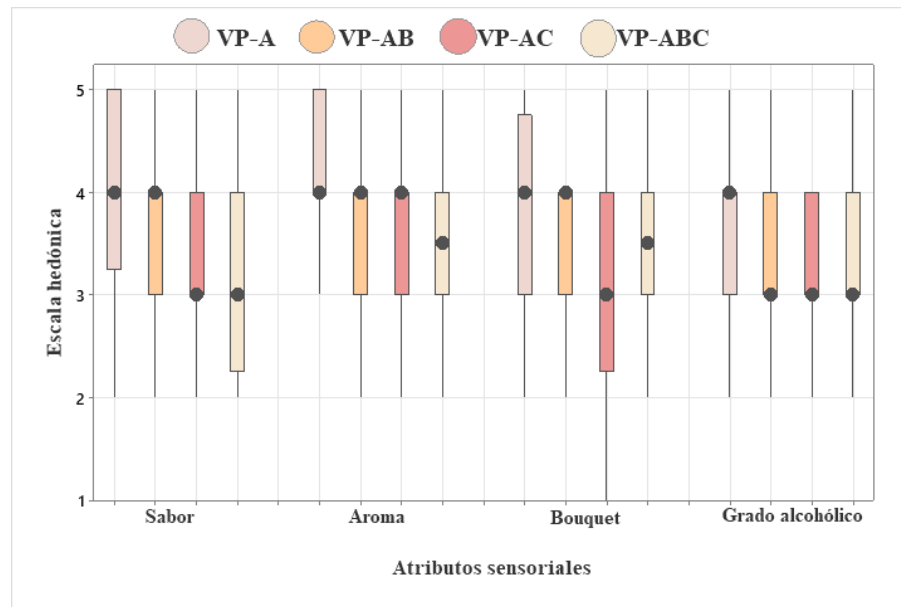
Figura 4.20 Estadístico de caja y bigote del factor porcentaje de malta del nivel inferior

Según la figura 4.20, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras: sabor 4 (VP-1 y VP-B), aroma 4 (VP-1, VP-B, VP-C, VP-BC), bouquet 4 (VP-1 y VP-B) y grado alcohólico 4 (VP-1, VP-B, VP-C, VP-BC).

Realizado el análisis de caja y bigote se pudo evidenciar en el nivel inferior que no existe diferencia significativa, sin embargo, se tomó en cuenta la muestra VP-1, con una mediana de (4) en los atributos aroma y bouquet, no existiendo diferencia significativa para un $\alpha = 0,05$.

4.3.4.2 Estadístico de caja y bigote del factor porcentaje malta del nivel superior en la elaboración de vodka a partir de papa

La figura 4.21, se muestra los resultados del estadístico de caja y bigote en función de las muestras (VP-A, VP-AB, VP-AC y VP-ABC) de datos extraídos del Anexo C, en base a los atributos: sabor (Tabla C.13), aroma (Tabla C.14), bouquet (Tabla C.15) y grado alcohólico (Tabla C.16).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21 Estadístico de caja y bigote del factor porcentaje de malta del nivel superior

Según la figura 4.21, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras: sabor 4 (VP-A y VP-AB), aroma 4 (VP-A, VP-AB, VP-AC), bouquet 4 (VP-A y VP-AB) y °GL 4 (VP-A). Así mismo, realizando el análisis de varianza, se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los atributos sabor y aroma, sin embargo, no existe diferencia estadística para los atributos bouquet y grado alcohólico para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.4.2.1 Estadístico de Tukey para el atributo sabor del factor porcentaje de malta del nivel superior

En la tabla 4.14, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de las muestras del factor porcentaje de malta de datos extraídos de (Anexo C13.2).

Tabla 4.14*Estadístico de Tukey para el atributo sabor de las muestras del nivel superior*

Factor	N	Mediana	Agrupación	
VP-A	20	4,10	A	
VP-AB	20	3,60	A	B
VP-AC	20	3,45	A	B
VP-ABC	20	3,15		B

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.14, se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos VP-A – VP-ABC. Sin embargo, para las muestras; VP-A – VP-AB, VP-A – VP-AC y VP-AB – VP-AC, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia del $\alpha = 0,05$.

4.3.4.2.2 Estadístico de caja y bigote para el atributo aroma del factor porcentaje malta del nivel superior

En la tabla 4.15, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de las muestras del factor porcentaje de malta de datos extraídos del (Anexo C.14.2).

Tabla 4.15*Estadístico de Tukey para el atributo aroma de las muestras del nivel superior*

Factor	N	Mediana	Agrupación	
VP-A	20	4,15	A	
VP-AC	20	3,60	A	B
VP-AB	20	3,60	A	B
VP-ABC	20	3,35		B

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.15, se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos VP-A – VP-ABC. Sin embargo, para las muestras; VP-A – VP-AC, VP-A – VP-AB y VP-AC – VP-AB, no existe diferencia significativa para un nivel de significancia del $\alpha = 0,05$.

En base al estadístico de caja y bigote de la evaluación sensorial del factor porcentaje de malta y el estadístico de Tukey realizado a cada atributo de las muestras, se pudo

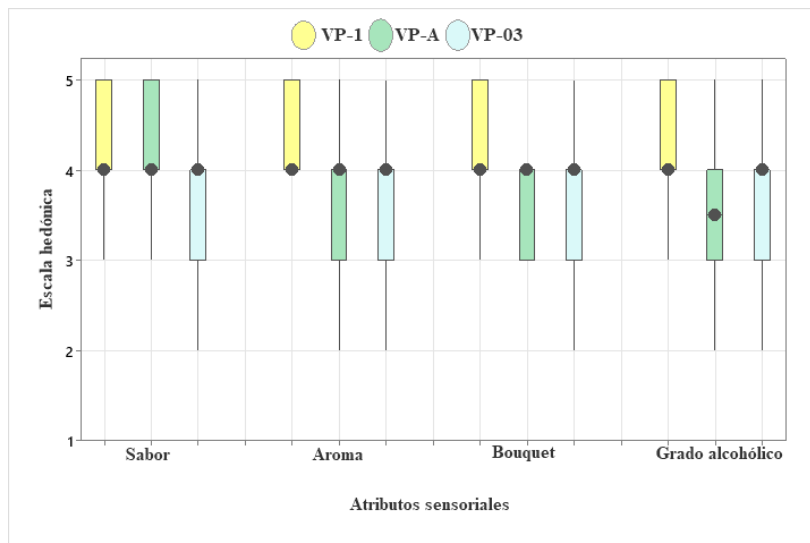
evidenciar que existe diferencia estadística significativa entre los atributos de las muestras evaluadas, siendo la muestra VP-A seleccionada por los jueces y en base a sus medianas; sabor (4,10) y aroma (4,15).

4.4 Selección del vodka a partir de papa variedad *Marcela*

Se realizó una evaluación sensorial entre las muestras VP-1 (nivel inferior), VP-A (nivel superior) y VP-03 (muestra ideal), con la finalidad de elegir el producto final (vodka a partir de papa variedad Marcela).

4.4.1 Estadístico de caja y bigote para la selección de la muestra final

En la figura 4.22, se observa los resultados del estadístico de caja y bigote en función de las muestras (VP-1, VP-A y VP-03) de datos extraídos del Anexo C, en base a los atributos de sabor (Tabla C.17), aroma (Tabla C.18), bouquet (Tabla C.19) y grado alcohólico (Tabla C.20).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22 Estadístico de caja y bigote para la selección de la muestra final

Según la figura 4.22, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas: sabor 4,0 (VP-1, VP-A, VP-03), aroma 4,0 (VP-1, VP-A, VP-03), bouquet 4,0 (VP-1, VP-A, VP-03) y °GL 4,0 (VP-1 y VP-03).

Así mismo, se realizando el análisis estadístico de varianza se puede evidenciar que existe diferencia significativa entre los atributos sensoriales para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.4.1.1 Estadístico de Tukey para el atributo sabor de la muestra final

En la tabla 4.16, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de la selección del vodka a partir de papa de datos extraídos del (Anexo C.17.2).

Tabla 4.16

Estadístico Tukey para atributo sabor de la muestra final

Factor	N	Mediana	Agrupación
VP-1	20	4,20	A
VP-03	20	3,55	B
VP-A	20	3,55	B

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.16, se puede observar que existen diferencias significativa estadística entre las muestras VP-1 – VP-03, y VP-1 – VP-A, sin embargo, para las muestras VP-03 – VP-A no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.4.1.2 Estadístico de Tukey para el atributo aroma de la muestra final

En la tabla 4.17, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de la selección del vodka a partir de papa de datos extraídos del (Anexo C.18.2).

Tabla 4.17

Estadístico de Tukey para el atributo aroma de la muestra final

Factor	N	Mediana	Agrupación
VP-1	20	4,35	A
VP-03	20	3,60	B
VP-A	20	3,50	B

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.17, se puede observar que existen diferencias significativa estadística entre las muestras VP-1 – VP-03, y VP-1 – VP-A, sin embargo, para las muestras VP-03 – VP-A no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.4.1.3 Estadístico de Tukey para el atributo bouquet de la muestra final

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo bouquet de la selección del vodka a partir de papa de datos extraídos del (Anexo C.19.2).

Tabla 4.18

Estadístico de Tukey para el atributo bouquet de la muestra final

Factor	N	Mediana	Agrupación	
VP-1	20	4,40	A	
VP-A	20	3,65		B
VP-03	20	3,60		B

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.18, se puede observar que existen diferencias significativa estadística entre las muestras VP-1 – VP-03, y VP-1 – VP-A, sin embargo, para las muestras VP-03 – VP-A no existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.4.1.4 Estadístico de Tukey para el atributo °GL de la muestra final

En la tabla 4.19, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico de la selección del vodka a partir de papa de datos extraídos del (Anexo C.20.2).

Tabla 4.19*Estadístico de Tukey para el atributo grado alcohólico de la muestra final*

Factor	N	Media	Agrupación	
VP-1	20	4,30	A	
VP-03	20	3,55		B
VP-A	20	3,50		B

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.19, se puede observar que existen diferencias significativa estadística entre las muestras VP-1 – VP-03, y VP-1 – VP-A, sin embargo, para las muestras VP-03 – VP-A 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 de la selección del vodka a partir de papa y del estadístico de Tukey realizado a cada atributo, se pudo evidenciar que existe diferencia estadística significativa entre los atributos sensoriales evaluados de las muestras VP-1, VP-A y VP-03, siendo la muestra VP-1 la seleccionada por los jueces y en función de sus medianas; sabor (4,20), aroma (4,35), bouquet (4,40) y grado alcohólico (4,30).

4.5 Características del vodka a partir de papa variedad *Marcela*

Para la caracterización del vodka a partir de papa variedad Marcela, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos del vodka a partir de papa que se detallan a continuación.

4.5.1 Análisis fisicoquímico del vodka a partir de papa variedad *Marcela*

En la tabla 4.20, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del vodka a partir de papa variedad Marcela, de los datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.20***Análisis fisicoquímico de vodka a partir de papa variedad Marcela***

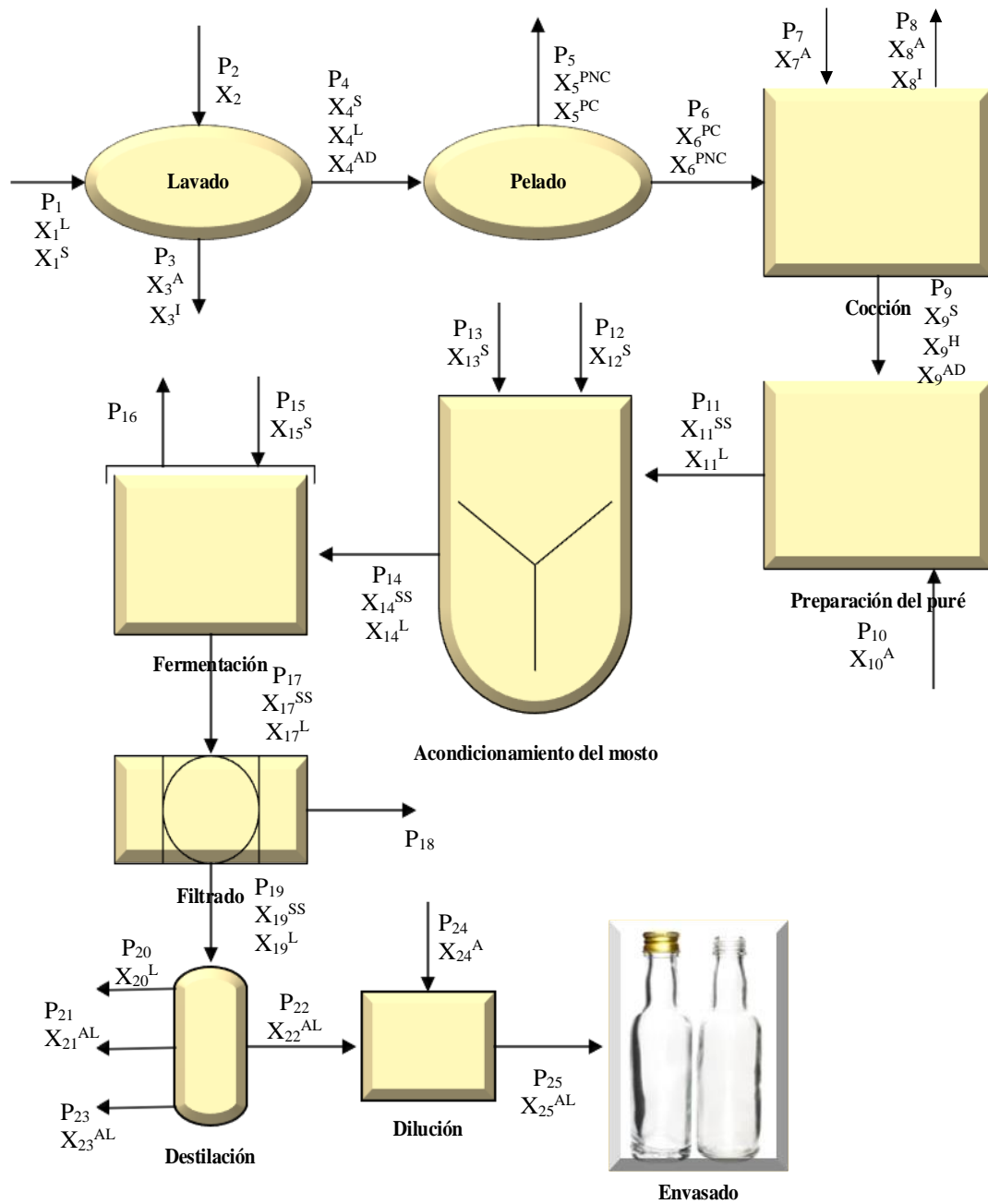
Parámetros	Unidad	Resultado
Anhídrido sulfuroso total	mg/L	6,380
Azúcares reductores	g/L	n.d
Densidad relativa	-	0,953
Extracto seco total	g/L	0,050
Grado alcohólico	%(v/v)	38,600
Metanol	mg/L	<53,000

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.20, se puede observar los datos obtenidos del análisis fisicoquímico realizado al vodka a partir de papa variedad Marcela, que presenta: Anhídrido sulfuroso 6,38 mg/L, Azúcares reductores n.d, Densidad relativa 0,9533, Extracto seco total 0,05 g/L, Grado alcohólico 38,6 %, Metanol <53 mg/L.

4.6 Balance de materia para el proceso de elaboración de vodka a partir de papa variedad *Marcela*

En la figura 4.23, muestra el balance de materia general para el proceso de vodka a partir de papa, para una cantidad de 1000g de papa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23 Balance de materia en el proceso de elaboración de vodka a partir de papa

Donde:

P_1 = Papa entera (g)

P_2 = Agua (g)

P_3 = Agua residual de lavado (g)

P_4 = Papa lavada (g)

P_5 = Cáscara de papa (g)

P_6 = Pulpa de papa (g)

P_7 = Agua (g)

P_8 = Agua residual de cocción (g)

P_9 = Papa cocida (g)

P_{10} = Agua de mesa (g)

P_{11} = Puré de papa (g)

P_{12} = Malta (g)

P_{13} = Azúcar (g)

P_{14} = Mosto (g)

P_{15} = Levadura (g)

P_{16} = Dióxido de carbono CO_2 (g)

P_{17} = Mosto fermentado (g)

P_{18} = Borras y levaduras (g)

P_{19} = Vino de papa filtrado (g)

P_{20} = Desechos de vinaza (g)

P_{21} = Metanol “cabeza” (g)

P_{22} = Etanol “cuerpo” (g)

P_{23} = Cola (g)

P_{24} = Agua destilada (g)

P_{25} = Vodka a partir de papa (g)

X^S = Fracción solida de la papa

X^A = Fracción de agua

X^I = Fracción de impurezas

X^L = Fracción liquida

X^{PC} = Fracción de porción comestible de la papa

X^{PNC} = Fracción de porción no comestible de la papa

X^{SS} = Fracción de sólidos solubles de la papa

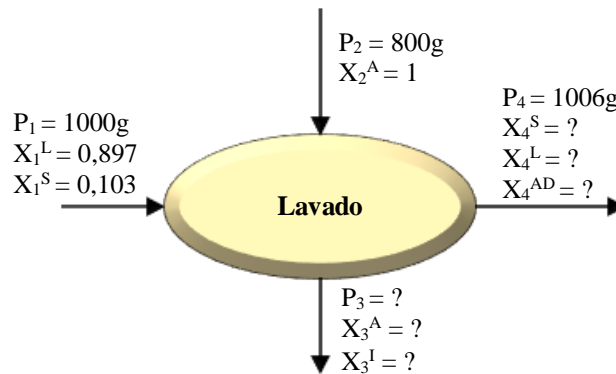
X^H = fracción de humedad de la papa

X^{AD} = Fracción de agua adherida en la papa

X^{AL} = Fracción de grado alcohólico

4.6.1 Balance de materia en la etapa de lavado de la papa

En la figura 4.24, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de lavado de la papa que se utilizó para la elaboración de vodka a partir de papa, donde el peso de la papa es 1000g.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24 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:

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

$$P_3 = 1000 \text{ g} + 800\text{g} - 1006\text{g} = 794\text{g de agua residual de lavado}$$

Balance parcial de materia para fracción sólida de papa 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:

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

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

$$X_4^S = \frac{1000\text{g} \times 0,103}{1006\text{g}} = 0,102 \text{ fracción sólida de papa}$$

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

$$P_1X_1^L + P_2X_2^L = P_3X_3^L + P_4X_4^L \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Despejando X_4^L de ecuación 4.4

$$P_1X_1^L + \cancel{P_2X_2^L} = \cancel{P_3X_3^L} + P_4X_4^L$$

$$X_4^L = \frac{P_1X_1^L}{P_4}$$

$$X_4^L = \frac{1000\text{g} \times 0,897}{1006\text{g}} = 0,892 \text{ g de fracción líquida de papa}$$

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

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

Reemplazando valores se obtiene

$$X_4^{AD} = 1 - 0,892 - 0,102 = 0,006 \text{ fracción de agua adherida a la papa}$$

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

$$P_1X_1^A + P_2X_2^A = P_3X_3^A + P_4X_4^A \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Despejando X_3^A de ecuación 4.6

$$\cancel{P_1X_1^A} + P_2X_2^A = P_3X_3^A + P_4X_4^A$$

$$X_3^A = \frac{P_2X_2^A - P_4X_4^A}{P_3}$$

$$X_3^A = \frac{800\text{g} \times 1 - 1006\text{g} \times 0,006}{794\text{g}} = 0,999 \text{ g de fracción de agua residual}$$

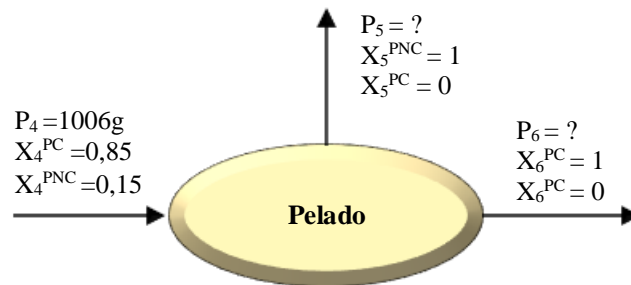
Cálculo para la fracción X_3^I impurezas en el agua en la etapa de lavado

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

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

4.6.2 Balance de materia en la etapa de pelado de la papa

En la figura 4.25, se muestra el balance de materia en la etapa de descascarado de la papa, tomando en cuenta los datos de porcentaje de la porción comestible y no comestible de la papa de la tabla 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25 Balance de materia en la etapa de pelado

Balance general en la etapa de descascarado

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

Balance parcial de materia para la porción comestible de la papa

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

Despejando P_6 de la ecuación 4.8, se obtiene:

$$P_4 X_4^{PC} = \cancel{P_5 X_5^{PC}} + P_6 X_6^{PC}$$

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

$$P_6 = \frac{1006 \text{ g} \times 0,85}{1} = 855,1 \text{ g de pulpa de papa}$$

Despejando P_5 de la ecuación 4.7, se obtiene

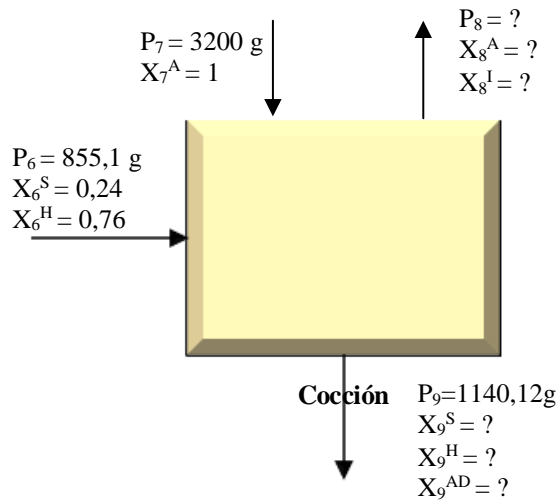
$$P_5 = P_4 - P_6 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Reemplazando valores de ecuación 4.8 en la ecuación 4.9, se obtiene

$$P_5 = 1006 \text{ g} - 855,1 \text{ g} = 150,9 \text{ g de cáscara y pérdidas de la papa}$$

4.6.3 Balance de materia en la etapa de cocción de la papa

En la figura 4.26, se muestra el balance de materia en la etapa de cocción de la papa, donde la cantidad de pulpa de papa obtenida luego del descascarado fue 855,1 g, utilizado en la etapa de cocción.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26 Balance de materia en la etapa de cocción

Balance general de materia en la etapa de cocción

$$P_6 + P_7 = P_8 + P_9 \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Despejando P_8 y reemplazando valores, se obtiene:

$$P_8 = P_6 + P_7 - P_9$$

$$P_8 = 855,1\text{g} + 3200\text{g} - 1140,12\text{g} = 2914,98\text{g de agua residual}$$

Balance parcial de materia para la fracción sólida de papa en la etapa de cocción

$$P_6 X_6^S + P_7 X_7^S = P_8 X_8^S + P_9 X_9^S \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Despejando X_9^S de ecuación 4.11 se obtiene

$$P_6 X_6^S + \cancel{P_7 X_7^S} = \cancel{P_8 X_8^S} + P_9 X_9^S$$

$$P_6 X_6^S = P_9 X_9^S$$

$$X_9^S = \frac{P_6 X_6^S}{P_9} = \frac{855,1g \times 0,24}{1140,12g} = 0,18 \text{ fracción sólida de papa cocida}$$

Balance parcial de materia para la fracción humedad en la etapa de cocción

$$P_6 X_6^H + P_7 X_7^H = P_8 X_8^H + P_9 X_9^H \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Despejando X_9^H de ecuación 4.12 se obtiene

$$P_6 X_6^H + P_7 X_7^H = P_8 X_8^H + P_9 X_9^H$$

$$P_6 X_6^H = P_9 X_9^H$$

$$X_9^H = \frac{P_6 X_6^H}{P_9} = \frac{855,1g \times 0,76}{1140,12g} = 0,57 \text{ fracción de humedad de papa}$$

Cálculo para la fracción X_9^{AD} de agua adherida a la papa en la etapa de cocción

$$X_9^{AD} = 1 - X_9^S - X_9^H$$

Reemplazando valores se obtiene

$$X_4^{AD} = 1 - 0,18 - 0,57 = 0,25 \text{ fracción de agua adherida a la papa cocida}$$

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

$$P_6 X_6^A + P_7 X_7^A = P_8 X_8^A + P_9 X_9^A \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Despejando X_8^A

$$P_6 X_6^A + P_7 X_7^A = P_8 X_8^A + P_9 X_9^A$$

$$X_8^A = \frac{P_7 X_7^A - P_9 X_9^A}{P_8}$$

$$X_8^A = \frac{3200g \times 1 - 1140,12g \times 0,25}{2914,98g} = 0,999 \text{ g de fracción de agua residual}$$

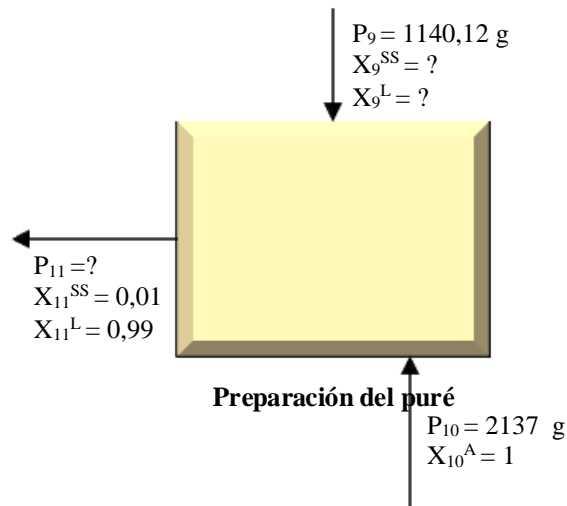
Cálculo para la fracción X_8^I impurezas en el agua en la etapa de cocción

$$X_8^I = 1 - X_8^A$$

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

4.6.4 Balance de materia en la etapa de preparación del puré de papa

En la figura 4.27, se muestra el balance de materia en la etapa de preparación del puré de papa, donde la cantidad de papa obtenida luego de la cocción fue 1140,12 g, utilizado en la etapa de preparación del puré.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27 Balance de materia en la etapa de preparación del puré

Balance de materia en la etapa de preparación del puré

$$P_9 + P_{10} = P_{11} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.14, se obtiene

$$P_{11} = 1140,12\text{g} + 2137\text{g} = 3277,12\text{g de puré de papa}$$

Balance parcial de materia para la fracción sólidos solubles de papa cocida

$$P_9 X_9^S + P_{10} X_{10}^S = P_{11} X_{11}^S \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Despejando $P_9 X_9^S$ de la ecuación 4.15, se obtiene

$$P_9 X_9^S + \cancel{P_{10} X_{10}^S} = P_{11} X_{11}^S$$

$$X_9^S = \frac{P_{11} X_{11}^S}{P_9}$$

$$X_9^S = \frac{3277,12 \text{ g} \times 0,01}{1140,12} = 0,03 \text{ fracción de sólidos solubles de la papa cocida}$$

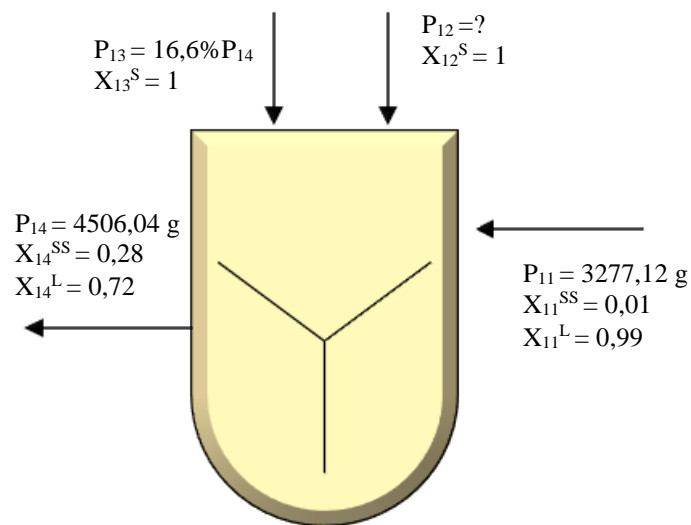
Cálculo para la fracción X_9^L líquida de papa cocida

$$X_9^L = 1 - X_9^{SS}$$

$$X_9^L = 1 - 0,03 = 0,97 \text{ fracción líquida de papa cocida}$$

4.6.5 Balance de materia en la etapa de acondicionamiento del mosto

En la figura 4.28, se muestra el balance de materia en la etapa de acondicionamiento del mosto, donde la cantidad de puré de papa obtenido es 3277,12 g, utilizado en la etapa de acondicionamiento del mosto, tomando en cuenta que la cantidad de azúcar es el 16,6% del mosto.



Acondicionamiento del mosto

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28 Balance de materia en la etapa de acondicionamiento del mosto

Balance general de materia en la etapa de acondicionamiento del mosto

$$P_{11} + P_{12} + P_{13} = P_{14} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Balance parcial de materia para la fracción líquida en la etapa de acondicionamiento

$$P_{11}X_{11}^L + P_{12}X_{12}^L + P_{13}X_{13}^L = P_{14}X_{14}^L \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Despejando P_{14} de ecuación 4.17, se obtiene

$$P_{11}X_{11}^L + P_{12}X_{12}^L + P_{13}X_{13}^L = P_{14}X_{14}^L$$

$$P_{14} = \frac{P_{11}X_{11}^L}{X_{14}^S}$$

$$P_{14} = \frac{3277,12\text{g} \times 0,99}{0,72} = 4506,04 \text{ g de mosto}$$

Para calcular la cantidad en g del azúcar, se asume la relación de la ecuación 4.18

$$P_{13} = 16,6\%(P_{14}) \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.18, se obtiene

$$P_{13} = \frac{16,6 \times 4506,04\text{g}}{100} = 748 \text{ g de azúcar}$$

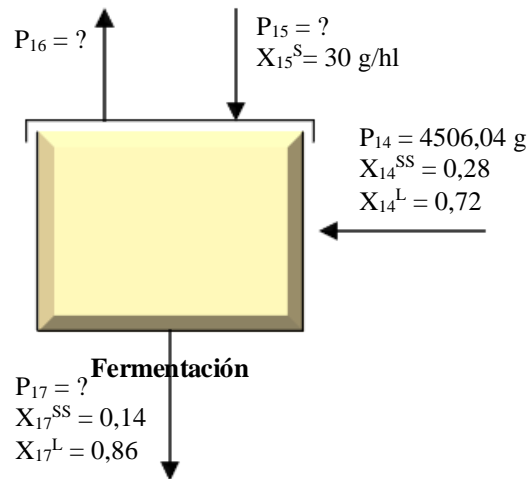
Despejando P_{12} de la ecuación 4.16 y reemplazando datos, se obtiene

$$P_{12} = P_{14} - P_{11} - P_{13}$$

$$P_{12} = 4506,04 \text{ g} - 3277,12 \text{ g} - 748 \text{ g} = 480,92 \text{ g de malta}$$

4.6.6 Balance de materia en la etapa de fermentación

En la figura 4.29, se muestra el balance de materia para la etapa de fermentación del mosto de papa acondicionado, la dosificación de levadura se realizó tomando en cuenta 30g/hl (Ficha técnica AGROVIN, 2022).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29 Balance de materia en la etapa de fermentación

Balance general de materia para la etapa de fermentación

$$P_{14} + P_{15} = P_{16} + P_{17}$$

Ecuación 4.19

Cálculo de P_{15} (Levadura) tomando en cuenta 30g/hl

$$P_{15} = P_{14} \times X_{15}^S$$

$$P_{15} = P_{14} \times \frac{30g}{hl}$$

Realizando conversión de unidades se obtiene:

$$P_{15} = \frac{4506,04g + 30g}{1hl} = \frac{1hl}{100000} = 1,352 \text{ g de levadura}$$

Para determinar la cantidad de azúcar fermentable (A_Z), se considera la expresión matemática de la ecuación 4.20, según (Adams, 2006).

A_f = Azúcar fermentable a 28 °Brix: 270,4 [g/L]

$$A_Z = (P_{14} - P_{15}) \times A_f$$

Ecuación 4.20

$$A_Z = (P_{14} - P_{15}) \times \frac{270,4 \text{ g}}{L}$$

$$A_Z = (4506,04 \text{ g} - 1,352 \text{ g}) \times \frac{270,4 \text{ g}}{1L} \times \frac{1L}{1000 \text{ g}}$$

$A_Z = 1218,067 \text{ g de azúcar fermentable}$

Ecuación química de la reacción de fermentación alcohólica



Para calcular P_{16} , se considera la siguiente expresión matemática de la ecuación 4.21, según Adams (2006).

$$P_{16} = \left(\frac{A_Z}{PM_{\text{sacarosa}}} \right) \times 4 \times (PM_{CO_2}) \quad \text{Ecuación 4.21}$$

Reemplazando valores de ecuación 4.21, se obtiene

$$P_{16} = \left(\frac{1218,067 \text{ g}}{342 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \right) \times 4 \times \left(\frac{44 \text{ g}}{\text{mol}} \right)$$

$$P_{16} = 626,84 \text{ g de } CO_2$$

Despejando P_{17} de la ecuación 4.19, se obtiene:

$$P_{17} = P_{14} + P_{15} - P_{16} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

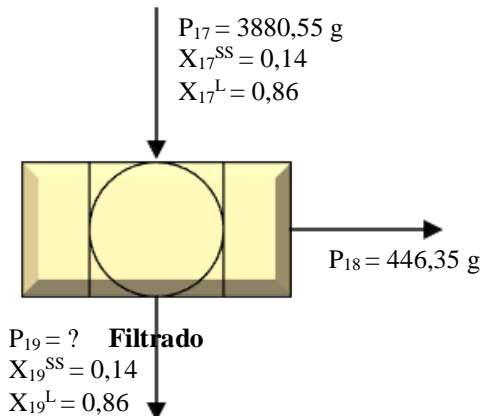
Reemplazando valores de ecuación 4.22, se obtiene:

$$P_{17} = 4506,04 \text{ g} + 1,352 \text{ g} - 626,84 \text{ g}$$

$$P_{17} = 3880,55 \text{ g de vino de papa}$$

4.6.7 Balance de materia en la etapa de filtrado

En la figura 4.30, se muestra el balance de materia en la etapa de filtrado del vino de papa, filtrando 446,35 g de borras y levaduras.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30 Balance de materia en la etapa de filtrado

Balance general de materia en la etapa de filtrado

$$P_{17} = P_{18} + P_{19} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Despejando P_{19} de ecuación 4.23, se obtiene:

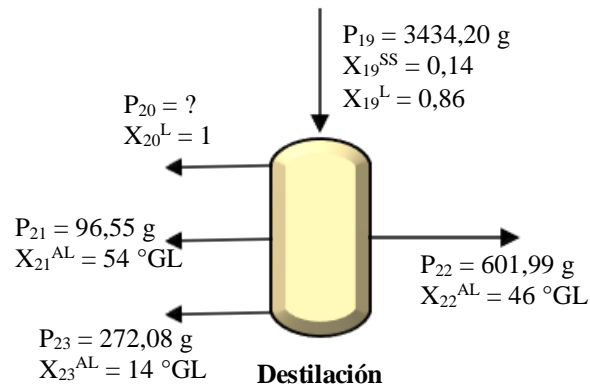
$$P_{19} = P_{17} - P_{18} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Reemplazando valores, se obtiene:

$$P_{19} = 3880,55 \text{ g} - 446,35 \text{ g} = 3434,20 \text{ g de vino de papa filtrado}$$

4.6.8 Balance de materia en la etapa de destilación

En la figura 4.31, se muestra el balance de materia en la etapa de destilación del vino de papa realizando los cortes de cabeza, cuerpo y cola.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31 Balance de materia en la etapa de destilación

Balance general de materia en la etapa de destilación

$$P_{19} = P_{20} + P_{21} + P_{22} + P_{23} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Despejando P_{20} de ecuación 4,26, se obtiene:

$$P_{20} = P_{19} - P_{21} - P_{22} - P_{23} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

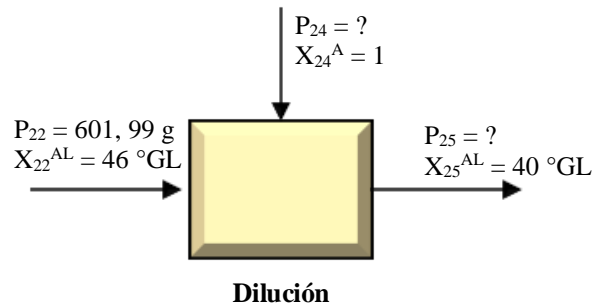
Reemplazando valores, se obtiene:

$$P_{20} = 3434,20 \text{ g} - 96,55 \text{ g} - 601,99 \text{ g} - 272,08 \text{ g}$$

$$P_{20} = 2463,58 \text{ g de residuos de la destilación}$$

4.6.9 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 destilado, el cual se encuentra en 46°GL, y el °GL deseado es de 40°GL.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32 Balance de materia en la etapa de dilución

Balance general de materia en la etapa de dilución

$$P_{22} + P_{24} = P_{25} \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Según Palma (2020), en la preparación de una disolución diluida, la etapa más importante es calcular claramente el volumen de la alícuota que hay que tomar de la disolución estándar. Para ello se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$V_1 C_1 = V_2 C_2 \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Para reemplazar valores en ecuación 4,28, se calcula el volumen del destilado mediante su densidad relativa (0,937 g/ml) datos extraídos del anexo D4.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ecuación 4.29}$$

Despejando v de ecuación 4.30, se obtiene:

$$v = \frac{m}{\rho} \quad \text{Ecuación 4.30}$$

$$v = \frac{601,99\text{g}}{\frac{0,937\text{g}}{\text{ml}}} = 642,46 \text{ ml de destilado}$$

$$P_{22} = 642,46 \text{ ml de destilado a } 46 \text{ °GL}$$

Reemplazando valores en ecuación 4,28, se obtiene:

$$\frac{642,46 \text{ ml} \times 46 \text{ °GL}}{40 \text{ °GL}} = 738,83 \text{ ml de agua destilada}$$

$$P_{24} = 738,83 \text{ ml de agua destilada}$$

Reemplazando valores en ecuación 4.27, se obtiene:

$$P_{25} = 642,46 \text{ ml} + 738,83 \text{ ml} = 1381,29 \text{ ml de destilado diluido a } 40^{\circ}\text{GL}$$

4.6.10 Balance de materia en la etapa de envasado

En la figura 4.33, se muestra la etapa de envasado del vodka a partir de papa variedad Marcela. A partir de 4506.04 g de mosto acondicionado de papa se obtuvo 1381,29 ml o 1,38 L de vodka a partir de papa variedad Marcela.

Para el envaso del producto final se empleó botellas de vidrio con la capacidad de almacenar 250 ml de vodka a partir de papa.

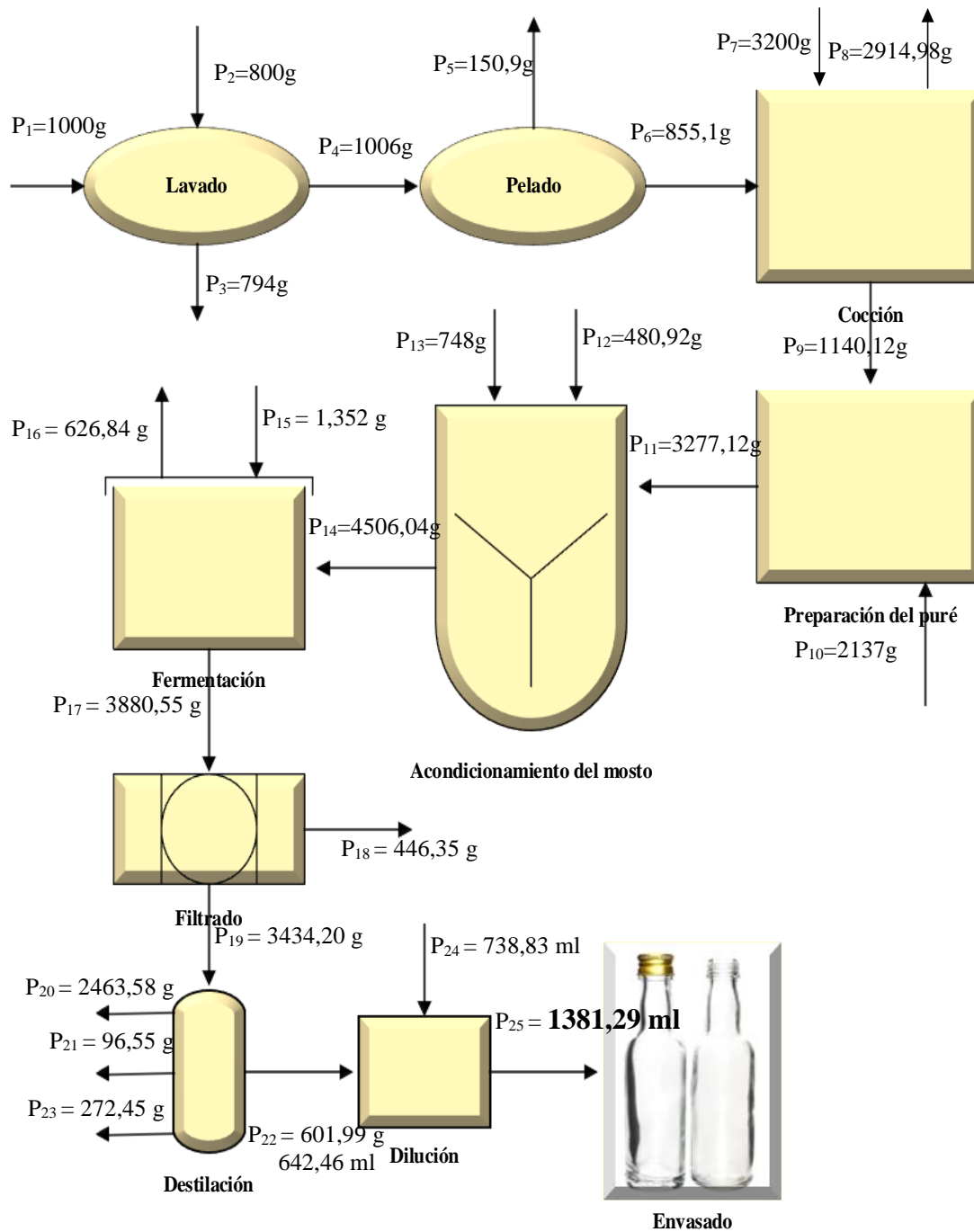


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33 Balance de materia en la etapa de envasado

4.7 Resumen del balance de materia

En la figura 4.34, se muestra el resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de vodka a partir de papa variedad Marcela.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34 Resumen general del balance de materia

4.8 Balance de energía para el proceso de elaboración de vodka a partir de papa

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

$$L_1(\varepsilon C_1 + \varepsilon P_1 + P_{V_1}) + Q - L_2(\varepsilon P_2 + \varepsilon C_2 + \mu_2 + P_{V_2}) = T + 2F + \frac{d\theta v_4}{d\theta}$$

$$L_1(\mu_1 + P_{V_1}) + Q = L_2(\mu_2 + P_{V_2}) = 0$$

$$L_1(H_1 - H_2) = -Q$$

$$Q = L_1 \Delta H$$

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

$$Q = L_1 C_p \Delta H \quad \text{Ecuación 4.31}$$

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

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

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

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

$$Q_T = Q_{\text{cedido}} + Q_{\text{ganado}}$$

$$\text{Ecuación 4.32}$$

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

$$Q_1 = \Delta H L = L * \lambda \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Para el cálculo del balance de energía en las diferentes etapas de elaboración de vodka a partir de papa, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Según (Lewis, 1993), manifiesta que: si se conoce la composición fisicoquímica del alimento se puede utilizar para calcular las capacidades caloríficas, como se detalla en la ecuación 4.34, de tal forma en el presente trabajo se determinó el C_p del puré de papa.

$$C_p = X_W C_W + X_C C_C + X_P C_P + X_A C_A + X_F C_F \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde:

X_W = Fracción de peso del agua

X_C = Fracción en peso de carbohidratos

X_P = Fracción en peso de proteínas

X_F = Fracción en peso de grasa

X_A = Fracción en peso de cenizas

Las capacidades caloríficas en función a la composición fisicoquímica de los alimentos se detallan en la tabla 4.21.

Tabla 4.21

Capacidades caloríficas en función a la composición de alimentos

Calor específico	Unidad KJ/Kg°C
C_W (agua)	4,18
C_C (carbohidratos)	1,40
C_P (proteínas)	1,60
C_F (grasa)	1,70
C_A (ceniza)	0,80

Fuente: Lewis, 1993

En la tabla 4.22, se observa los resultados de la composición fisicoquímica del pure de papa variedad Marcela, para poder calcular C_p del puré de papa variedad Marcela, datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.22

Resultados de la composición fisicoquímica del puré de papa

Componentes	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,36
Hidratos de carbono	%	7,29
Humedad	%	91,43
Materia grasa	%	n.d.
Proteína total	%	0,89

Fuente: CEANID, 2022

Para la determinación del calor específico del pure de papa variedad Marcela C_p , se tomó en cuenta la ecuación 4.34.

Según el S.I (Sistema Internacional de Unidades) el valor de $1\text{KJ} = 0,23884\text{ Kcal}$ mencionado por (Fernández, 2004).

Reemplazando valores en la ecuación 4.34, se obtiene:

$$C_p = 0,9143 \times 0,9983512 + 0,0729 \times 0,334376 + 0,0089 \times 0,382144 \\ + 0 \times 0,406028 + 0,0036 \times 0,191072$$

$C_p = 0,9413\text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$ calor específico del puré de papa

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

Tabla 4.23

Capacidad calorífica del agua, acero inoxidable y aluminio

Capacidad calorífica	Unidad	Valor
Aluminio	Kcal/Kg $^\circ\text{C}$	0,22
Acero inoxidable	Kcal/Kg $^\circ\text{C}$	0,12
Agua	Kcal/Kg $^\circ\text{C}$	1,00

Fuente: Diaz et al., 2006

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

Tabla 4.24

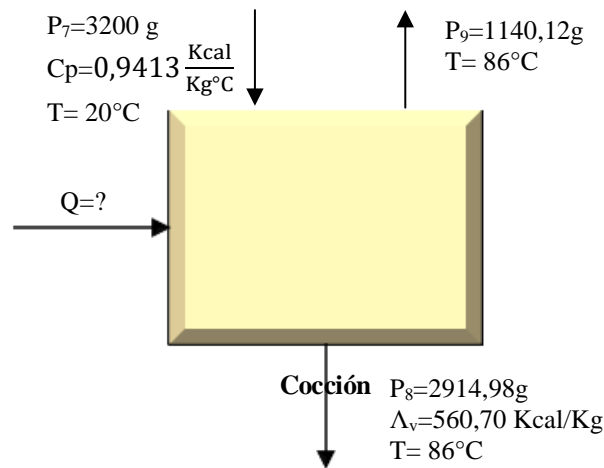
Entalpías de vaporización del agua saturada

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Unidad	Entalpías de vaporización
65	Kcal/kg	560,27
86	Kcal/kg	547,79
90	Kcal/kg	545,41

Fuente: UTN, 2020

4.8.1 Balance de energía en la etapa de cocción

En la figura 4.35, se muestra el sistema utilizado en la etapa de cocción de la papa para la obtención de vodka a partir de papa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35 Balance de energía en la etapa de cocción

Para el cálculo del calor requerido para calentar la olla se tomó en cuenta la ecuación 4.35:

Datos:

$$M_{\text{olla}} = 2,300 \text{ Kg}$$

$$Q = m_{\text{olla}} \times c_{p_{\text{olla}}} \times (T_f - T_i) \quad \text{Ecuación 4.35}$$

Reemplazando datos se obtiene:

$$Q = 2,300 \text{ Kg} \times 0,22 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (94 - 20)^\circ\text{C} = 37,44 \text{ Kcal}$$

Para la determinación del calor requerido para la cocción de la papa se tomó en cuenta la ecuación 4.36

$$Q = m_p \times c_{p_p} \times (T_f - T_i) + m_{P8} \times \lambda_v \quad \text{Ecuación 4.36}$$

$$Q_P = 0,8551 \text{ Kg} \times 0,9413 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (94 - 20)^\circ\text{C} + 2,91 \text{ Kg} \times 560,70 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = 1691,20 \text{ Kcal}$$

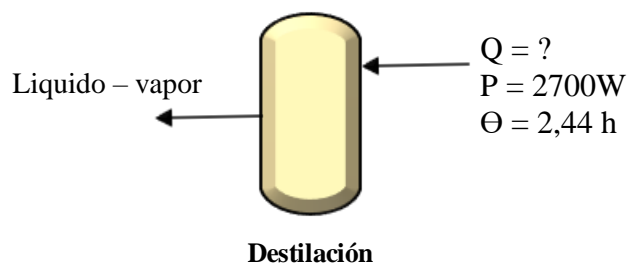
Para determinar el requerimiento total de calor se tomó en cuenta la ecuación 4.37.

$$Q_T = Q_{\text{olla}} + Q_{\text{papa}} \quad \text{Ecuación 4.37}$$

$$Q_T = 37,44 \text{ Kcal} + 1691,20 \text{ Kcal} = 1728,64 \text{ Kcal}$$

4.8.2 Balance de energía en la etapa de destilación

En la figura 4.36, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de destilación del vino de papa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36 Balance de energía en la etapa de destilación

Para la etapa de destilación se utilizó un Rota-vapor Buchi R-100 con una potencia de 2700 W por un tiempo de 2,44 horas tiempo que dura la destilación.

$$P = \frac{\text{Energía (E)}}{\text{Tiempo } (\Theta)} \quad \text{Ecuación 4.38}$$

Para la determinación de la energía eléctrica requerida se tomó en cuenta la ecuación 4.38, despejando E se obtiene:

$$E = P \times \Theta$$

$$E = 2700W \times \frac{1Kcal/h}{1,163 W} \times 2,44h = 5664,66Kcal$$

La cantidad de energía eléctrica requerida para llevar a cabo la destilación al vacío durante un tiempo de 2,44 horas es de 5664,66 Kcal.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En base a los resultados del análisis físico de la papa variedad Marcela, se concluye que tiene altura 44,74 cm; diámetro 47,62 cm; peso total 85,02 g; porción comestible (PC) 84,79 %; porción no comestible (PNC) 15,08%.
- Según los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del puré de papa variedad Marcela contiene: Acidez (como ac. ascórbico) 0,26 %, Ceniza 0,36 %, Fibra 0,03 %, Fósforo 29,4 mg/100 g, Materia grasa n.d, Hidratos de carbono 7,29 %, Humedad 91,43 %, Potasio 170,0 mg/100 g, Proteína total (Nx6,25) 0,89 %, pH (20°C) 6,13, Valor energético 32,72 Kcal/100 g, y Bacterias aerobias mesófilas $1,7 \times 10^2$ UFC/g, Coliformes Totales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*), Mohos y levaduras $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*). Donde: (*) = no se observa desarrollo de colonias.
- De acuerdo a los resultados de la evaluación sensorial de las pruebas preliminares de vodka a partir de papa variedad Marcela, se consideró la muestra VP03 como la más aceptada por los jueces siendo seleccionada para el diseño experimental en el proceso de elaboración de vodka a partir de papa variedad Marcela.
- Según la observación del comportamiento de las variables (°Brix, pH y acidez total) en el proceso de fermentación alcohólica de las pruebas preliminares de vodka a partir de papa variedad Marcela 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 malta (A), porcentaje de levadura (B) y tiempo de fermentación (C), e interacciones existe significancia para las variables respuesta; grado alcohólico, pH y acidez total, siendo el factor (A) porcentaje de malta el que más influye sobre las variables.

- Según los resultados de la evaluación sensorial de las pruebas experimentales del factor porcentaje de malta y muestra 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 VP-1 como producto final de vodka a partir de papa.
- Según los resultados del análisis fisicoquímico del vodka a partir de papa presenta: Anhídrido sulfuroso 6,38 mg/L, Azúcares reductores n.d, Densidad relativa 0,9533, Extracto seco total 0,05 g/L, Grado alcohólico 38,6 % y Metanol <53 mg/L.
- De acuerdo al balance de materia y energía del proceso de elaboración de vodka a partir de papa aplicado a 1000g de papa variedad Marcela, se obtuvo 1381,2 ml de vodka a partir de papa y la cantidad de energía total en el proceso de elaboración fue de 7393,30 Kcal.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar papa variedad Marcela en buenas condiciones (color de piel rosada) ya que es importante tomar en cuenta estas características debido que afectará al proceso de fermentación ya sea en el aroma o sabor del producto.
- Se recomienda llevar a cabo un control periódico en los diferentes parámetros ($^{\circ}$ Brix, pH y acidez total) del proceso de fermentación alcohólica puesto que, si no se realiza un control en condiciones controlada de temperatura, el producto va degradando sus cualidades (sabor, aroma, bouquet y grado alcohólico).
- Se recomienda realizar la fermentación a una temperatura controlada, con la finalidad de obtener un grado alcohólico más alto y así obtener un mayor rendimiento de alcohol en el vodka a partir de papa variedad Marcela.