

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El ajo (*Allium sativum L.*) es una planta herbácea y bulbosa que pertenece a la familia de las Liliáceas y puede alcanzar alturas de hasta 70 centímetros, esta provisto de hojas planas y delgadas y en el bulbo contienen dientes en forma de capsula triangular. Por sus características singulares, la época de siembra de esta planta es en invierno y su cosecha se realiza a inicios del verano además es muy resistente al ataque de plagas y enfermedades. (Zas y Tejero, 2020)

De acuerdo con la información proporcionada por la FAO, los ajos frescos son originarios de Asia Central, su uso como condimento y planta medicinal se ha generalizado en el mundo, de manera que su cultivo se realiza en más de cien países, en especial en los países del Asia. Sin embargo, también ha llegado al continente americano y se extiende desde los Estados Unidos hasta Chile, pero en menor escala. (Romero, 2020)

La principal región productora es China que representa en promedio el 78 % del total producido en el mundo, le sigue en importancia, aunque en una menor proporción, la India (6 %) y más abajo otros países asiáticos como Bangladesh (1,6 %), República de Corea (1,2 %), etc. (Romero, 2020)

Según la Dirección General de Análisis Productivo (DAPRO) dependiente del Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural (2020) “el cultivo de ajo en Bolivia se encontró alrededor de 2.7 mil toneladas en la campaña agrícola 2018 -2019. Siendo el departamento de Chuquisaca el productor de ajo que reportó la mayor tasa de rendimiento de 5.13 toneladas por hectárea, a partir del cual obtuvo 261 toneladas de ajo en dicha campaña agrícola. En Bolivia el mayor productor de ajo es el departamento de Potosí, siendo su producción en dicha campaña de 877 toneladas y constituyéndose en el 40 % de la producción de total del país, seguido por Cochabamba con 495 toneladas y Tarija con 413 toneladas, siendo el 22 % y el 19 % de la producción total del país respectivamente.

En el departamento de Tarija según datos recogidos por la Federación Sindical Única de Comunidades Campesinas de Tarija (FSCCT), en la gestión 2021 la producción de ajo se incrementó en un 30 % debido a la demanda que provocó la pandemia de Covid-19. Siendo los municipios de El Puente y Yunchará los mayores productores, contando con un aproximado de 2000 familias dedicadas al cultivo de este alimento. (Díaz, 2022)

Según investigaciones realizadas por Vázquez (2021) el **ajo negro** se descubrió en Japón, como una manera de hacer más fácil de digerir el ajo y también de conservarlo. Se logra sometiendo la cabeza de ajo al calor durante varios días y controlando la humedad. Además, indica que “el ajo negro aporta muchos beneficios a la salud: es rico en antioxidantes, tiene vitamina C y flavonoides, facilita la circulación y previene los dolores de cabeza”.

En Bolivia el año 2017 la empresa Eco Valle de Cochabamba lanzo al mercado su novedoso producto, el ajo transformado en ajo negro, con la marca de “ajo negro” además de otros subproductos, El propietario de dicha empresa señala en una entrevista que emprendió esta iniciativa pensando en su salud ya que a recomendación médica necesitaba consumir ajo para disminuir síntomas de enfermedad cardiovascular, entre ellos, su hipertensión arterial. (Leyva, 2017)

En el departamento de Tarija el propietario y encargado del laboratorio RIMH, la empresa dedicada a la obtención y comercialización de ajo negro, dicho sea de paso, es la única en la región, da cuenta de que innovar en el mercado con este producto es una alternativa para generar ingresos económicos y darle un valor agregado a la producción local. Actualmente esta empresa procesa diez quintales de ajo al año. (Castillo, 2021)

1.2 Justificación

- El consumo de ajo fresco es altamente recomendado debido a sus propiedades benéficas, tanto que es catalogado como un alimento funcional, ya que tiene un efecto potencialmente positivo en la salud de las personas más allá de la nutrición básica.

- El ajo negro potencia los beneficios del ajo fresco al aumentar tanto sus propiedades nutricionales como medicinales, por lo cual, se convierte en una excelente opción para aquellos que deseen incluir en su dieta un alimento rico en proteínas y aminoácidos. Al tiempo, que reducen el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y cancerígenas.
- El departamento de Tarija destaca por su abundante producción de ajo en Bolivia, por lo tanto, la obtención de ajo negro a partir de esta materia prima representa una oportunidad para que los productores den un valor agregado a la producción local a la vez que mejoran su economía y fortalecen la industria agrícola de la región.
- El presente trabajo pretende ser una referencia para incentivar la investigación en el campo de la ingeniería de alimentos, con el desarrollo de este producto y el estudio de sus propiedades funcionales, mediante el método de cámaras de fermentación.

1.3 Objetivos

A continuación, se detallan los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación.

1.3.1 Objetivo general

Obtener ajo negro a partir de ajo fresco en la provincia Cercado del departamento de Tarija, aplicando la metodología experimental del proceso de fermentación en cámara fermentativa para darle valor agregado a la producción agrícola regional.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas del ajo fresco con la finalidad de garantizar la calidad de la materia prima.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del ajo fresco, con el fin de conocer su composición.

- Analizar los parámetros fisicoquímicos pertinentes a las muestras preliminares para conocer su funcionalidad y el efecto que causaría en los consumidores.
- Aplicar diseño experimental en el proceso de elaboración del ajo negro para establecer las variables que intervienen en el proceso.
- Realizar evaluación de parámetros fisicoquímicos de las muestras del diseño experimental con el objetivo de elegir la muestra final
- Realizar evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental, con el objetivo de elegir la muestra final.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del ajo negro con el fin de determinar su calidad nutricional e inocuidad.
- Realizar el balance de materia y energía en el proceso de obtención de ajo negro con la finalidad de conocer las corrientes de entrada y salida involucradas.

1.4 Objeto de estudio

Aplicar la metodología experimental del proceso de fermentación en cámara fermentativa que permita obtener ajo negro a partir de ajo fresco en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.5 Campo de acción

El campo de acción propuesto para el presente trabajo de investigación, se detalla a continuación:

- **Espacial:** provincia Cercado del departamento de Tarija.
- **Temporal:** entre las gestiones 2022 – 2023.
- **Institucional:** Laboratorio Taller de Alimentos (LTA), y Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

1.6 Planteamiento del problema

En el departamento de Tarija se puede evidenciar la falta de oferta de productos alimenticios funcionales como el ajo negro, el cual es una fuente importante de nutrientes como proteínas y aminoácidos. Además, de ser un potente antioxidante,

anticancerígeno y puede ayudar a la disminución de padecimientos cardiovasculares. Por otro lado, si bien se cuenta con una importante cantidad de producción de ajo en la zona alta del departamento, dicha producción esta netamente destinada al consumo directo y no se cuenta con otro tipo de aplicación, siendo transformada solo una pequeña cantidad en productos derivados.

1.7 Formulación del problema

¿Será posible obtener ajo negro a partir de ajo fresco en la provincia Cercado del departamento de Tarija, aplicando la metodología experimental del proceso de fermentación en cámara fermentativa para darle valor agregado a la producción agrícola regional?

1.8 Formulación de hipótesis

La metodología experimental de fermentación en cámara fermentativa permitirá la obtención de ajo negro a partir de ajo fresco en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del ajo negro

Aunque el origen de este producto es aún desconocido, se presume que el ajo negro ya era consumido durante siglos en países como Corea del Sur, Tailandia y Japón, para posteriormente ser introducido a Taiwán y por último a países como España y Estados Unidos donde es uno de sus ingredientes básicos. (Kimura et al., 2016)

Se puede otorgar el crédito de la invención del ajo negro a un investigador anónimo japonés que realizaba pruebas con la finalidad de eliminar el sabor fuerte del ajo dando como resultado el ajo negro bajo ciertas condiciones de calor y humedad controlados, obteniendo así un producto con sabor umami. (Cuzco, 2019)

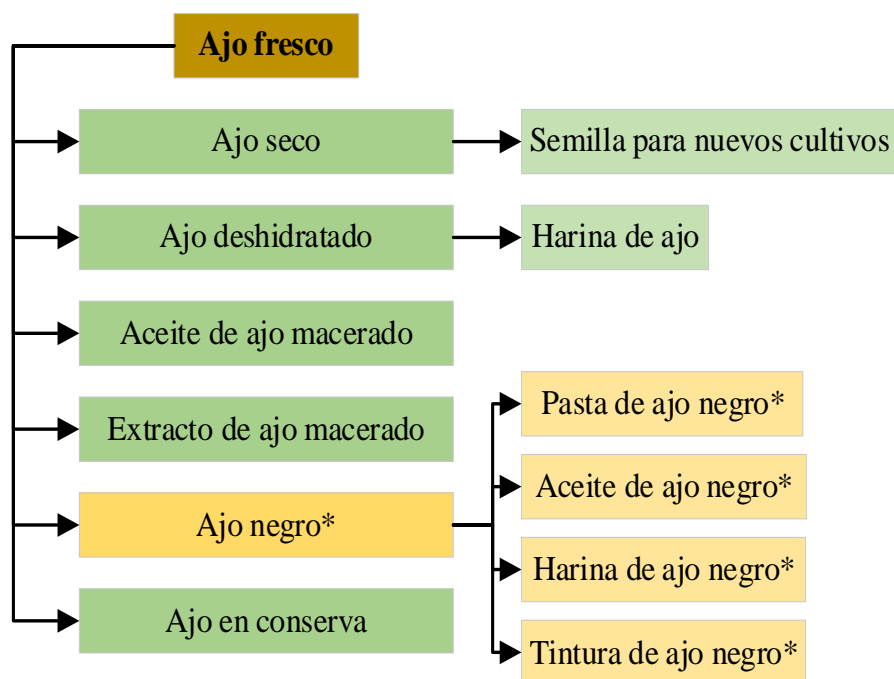
2.2 Definición de ajo negro

Según Kimura et al., (2016), el ajo negro es un producto obtenido del proceso de fermentación del ajo fresco durante un determinado periodo de tiempo con temperatura controlada (60 – 90) °C y bajo una humedad controlada (80 – 90) %, sin embargo, Repzepi y Zilber (2018) difieren y expresan que no puede llamarse “fermentación” al proceso de obtención del ajo negro ya que el pardeamiento se debe a la descomposición de los azúcares del ajo fresco mediante la reacción de Maillard, aunque mantiene la misma postura en cuanto a la temperatura y humedad involucradas en el proceso.

Por otro lado, Toledano (2017) define al ajo negro como el producto obtenido a partir del ajo fresco mediante un proceso tecnológico que implica una temperatura y humedad controlada en un periodo prolongado de tiempo. También indica que a medida que el ajo evoluciona dentro del proceso, este va transformando sus compuestos en una gama totalmente diferente.

2.3 Clasificación del ajo negro

En la figura 2.1, se puede apreciar la clasificación del ajo negro dentro de la división de los productos elaborados a partir del ajo fresco como materia prima.



Fuente: MACA, 2003; Cuzco, 2019*

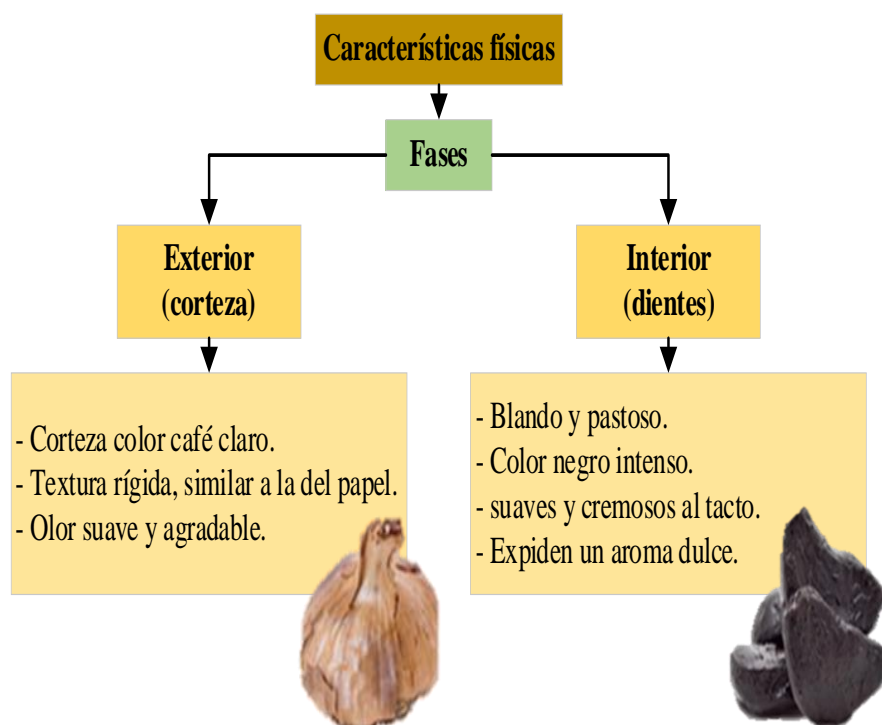
Figura 2.1 Clasificación del ajo negro como subproducto del ajo fresco

2.4 Caracterización del ajo negro

A continuación, se detalla la caracterización del ajo negro en cuanto a sus propiedades físicas, composiciones fisicoquímicas y nutricional

2.4.1 Características físicas del ajo negro

Según Cuzco (2019), las características físicas del ajo negro son tomadas en cuenta en dos fases observables, la primera es la parte exterior o corteza del bulbo, la cual presenta una corteza de color café claro, una textura rígida similar a la del papel, además de un olor suave y dulce, en segunda instancia los dientes interiores, que presentan una textura blanda y pastosa, un color negro intenso y un aroma dulce. En la figura 2.2, se puede observar estas características tanto en la corteza como en los dientes del producto.



Fuente: Cuzco, 2019

Figura 2.2 Características físicas del ajo negro

2.4.2 Composición fisicoquímica del ajo negro

La composición fisicoquímica del ajo aborda una serie de macro y micro componentes, además de los aminoácidos tanto esenciales como no esenciales presentes en el producto los cuales son muy importantes para tomarlos en cuenta por sus aportes funcionales en el organismo. En la tabla 2.1, se puede observar los principales componentes fisicoquímicos presentes en 100 gramos de ajo negro.

Tabla 2.1

Composición fisicoquímica del ajo negro

Composición	Unidades	Valor
Energía	Kcal	227,10
Agua	%	45,10
Proteínas	%	9,10
Lípidos	%	0,30
Carbohidratos	%	47,00
Cenizas	%	2,10

Fuente: Sasaki et al., 2007

En la tabla 2.2, se pueden observar los aminoácidos tanto esenciales y no esenciales presentes en 100 g de ajo negro, haciendo énfasis en que dicho producto cuenta en su composición con 18 tipos de aminoácidos de los cuales ocho son los aminoácidos esenciales.

Tabla 2.2

Aminoácidos presentes en el ajo negro

Aminoácidos	Unidades	Valor
Esenciales		
Triptófano	mg	80
Lisina	mg	385
Treonina	mg	270
Valina	mg	410
Metionina	mg	90
Fenilalanina	mg	300
Leucina	mg	460
Isoleucina	mg	250
No esenciales		
Cistina	mg	60
Tiroxina	mg	340
Arginina	mg	970
Histidina	mg	110
Alanina	mg	410
Ácido Aspártico	mg	510
Ácido Glutámico	mg	1200
Glicina	mg	360
Prolina	mg	210
Serina	mg	330

Fuente: Cuzco, 2019

2.4.3 Composición nutricional del ajo negro

En la tabla 2.3, se puede observar la composición nutricional del ajo negro presentes en 100 g de este producto.

Tabla 2.3

Propiedades nutricionales del ajo negro

Composición	Unidades	Valor
Energía	Kcal	1109,000
Agua	g	22,600
Proteína	g	10,400
Lípidos	g	5,100
Carbohidratos	%	47,000
Sacáridos	g	41,400
Fibra dietética	g	1,260
Minerales		
Sodio	mg	53,920
Calcio	mg	13,000
Hierro	mg	2,100
Vitaminas		
Vitamina B12	mg	126,000
Vitamina B6	mg	10,726
Otros		
Ácido nicotínico	mg	14,048

Fuente: Cuzco, 2019

2.5 Usos y aplicaciones del ajo negro

Entre los usos y aplicaciones del ajo negro se pueden considerar tanto los usos gastronómicos como los usos medicinales de este producto.

2.5.1 Uso gastronómico

Dossier (2015), afirma que el ajo negro como ingrediente es muy usado en la alta cocina ya que en los últimos tiempos está siendo utilizado por grandes chefs en el mundo. También acota que el ajo negro se puede usar para sustituir el ajo normal como condimento, aplicándolo en una gran variedad de recetas como ser: salsas, ensaladas, guisos, refritos, etc. Además, por ser dulzón también puede usarse en postres.

2.5.2 Uso medicinal

Ahmed y Wang (2021), exponen que a lo largo de los años se logró documentar que las modificaciones de las actividades biológicas de los compuestos bioactivos, resultado de la transformación del ajo fresco en ajo negro han dado lugar a un sinnúmero de

estudios e investigaciones preclínicas y clínicas las cuales han logrado demostrar el efecto terapéutico del ajo negro contra una gran variedad de enfermedades humanas.

Por otro lado, Santamaria (2018), caracteriza los efectos del ajo negro producto de sus actividades biológicas, las cuales son beneficiosas para la salud del ser humano, dicha caracterización se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4

Beneficios del ajo negro y sus efectos en la salud del ser humano

Beneficios	Razón
Antioxidante	Es una gran fuente de vitamina C, además de contener 5-7 veces más polifenoles que el ajo fresco, los cuales reducen el desarrollo de los radicales libres que son los que ocasionan el envejecimiento.
Prevención de enfermedades cardiovasculares	Disminuye la cantidad de triglicéridos y de colesterol en la sangre, en otras palabras, es útil para limpiar las arterias y mantenerlas en buen estado.
Aumenta las defensas	Tiene propiedades anticepticas y anti-bacterianas, es muy efectivo contra virus y bacterias.
Da energía y vigor	Un diente de ajo negro tiene el mismo poder energizante que una cabeza de ajo fresco entera.
Fuente de aminoácidos esenciales	Existen 18 aminoácidos dentro de la composición del ajo negro, de los cuales 8 son los aminoácidos esenciales que el cuerpo humano necesita para desarrollar sus funciones vitales.
Regula la presión arterial	Inhibe la acción de la enzima ECA (enzima convertidora de angiotensina) lo que provoca que los niveles de tensión arterial disminuyan.
Fuente de proteínas y colágeno	Aporta una gran cantidad de proteínas, las cuales se potencian gracias al proceso de obtención, también es una gran fuente de colágeno.
Diurético	El potasio presente en el ajo negro ayuda a combatir la retención de líquidos del cuerpo.

Fuente: Santamaria, 2018

2.6 Caracterización del ajo fresco

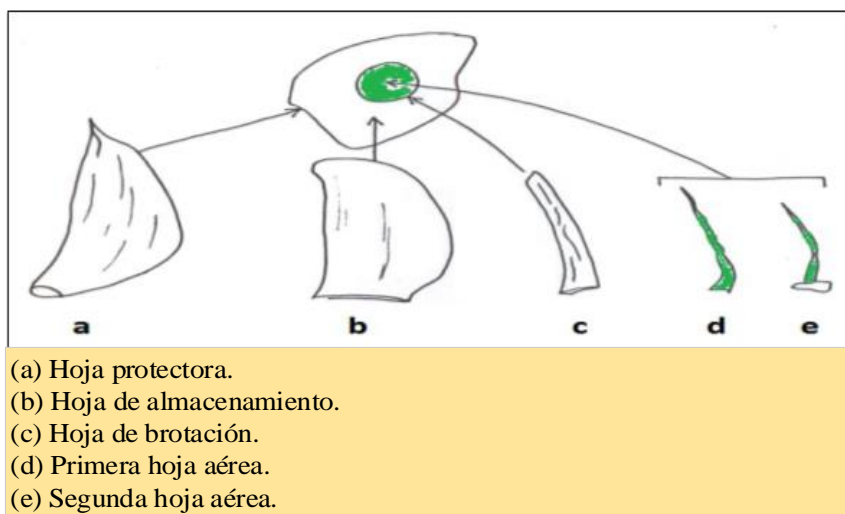
A continuación, se detallan las características del ajo fresco común tomando en cuenta sus características botánicas, su composición fisicoquímica, nutricional y microbiológica.

2.6.1 Características botánicas del ajo fresco

Entre las características botánicas más importantes del ajo fresco se tienen las siguientes:

2.6.1.1 Morfología del ajo fresco morado

Zamora (2016), identifica las partes de las cuales esta conformados los dientes de ajo fresco, en las cuales se destacan, una hoja protectora, una hoja de almacenamiento, una hoja de brotación y dos hojas aéreas. En la figura 2.3, se puede observar un corte transversal y las partes de las cuales están compuestos los dientes de ajo fresco común.



Fuente: Zamora, 2016

Figura 2.3 Corte transversal y partes que componen un ajo fresco

2.6.1.2 Taxonomía del ajo fresco

En la tabla 2.5, se puede observar la clasificación taxonómica del ajo fresco.

Tabla 2.5

Clasificación taxonómica del ajo fresco

Clase	Monocotiledóneas
Orden	Liliforme
Familia	Amaryllidaceae (Liliáceas)
Género	Allium
Especie	Sativum
Nombre científico	<i>Allium sativum L.</i>
Nombre común	Ajo

Fuente: Toledano, 2017

2.6.2 Composición fisicoquímica del ajo fresco

En la tabla 2.6, se puede observar la composición fisicoquímica en 100 gramos del ajo fresco, como ser los niveles energéticos que contiene esa cantidad de alimento, agua, proteínas, lípidos, fibra, carbohidratos, calcio, hierro, yodo, zinc, sodio, potasio, tiamina, riboflavina, equivalentes de niacina y ácido ascórbico.

Tabla 2.6

Composición fisicoquímica del ajo fresco

Componentes	Unidades	Valor
Energía	Kcal	110,00
Agua	g	70,30
Proteínas	g	5,30
Lípidos	g	0,30
Carbohidratos	g	23,00
Fibra	g	1,10
Calcio	mg	14,00
Hierro	mg	1,50
Yodo	µg	94,00
Zinc	mg	1,00
Sodio	mg	19,00
Potasio	mg	529,00
Tiamina	mg	0,16
Riboflavina	mg	0,02
Equivalentes de niacina	mg	1,30
Ácido ascórbico	mg	11,00

Fuente: Moreiras et al., 2013

2.6.3 Composición nutricional del ajo fresco

En la tabla 2.7, se muestran los compuestos nutricionales más importantes en 100 g del ajo fresco.

Tabla 2.7

Composición nutricional del ajo fresco

Componentes	Unidades	Valor
Energía	Kcal	149,000
Agua	g	58,580
Proteínas	g	6,360
Lípidos totales (grasa)	g	0,500
Carbohidratos (por diferencia)	g	33,060
Fibra total dietética	g	2,100
Azúcares totales	g	1,000
Minerales		
Calcio	mg	181,000
Hierro	mg	1,700
Magnesio	mg	25,000
Fosforo	mg	153,000
Potasio	mg	401,000
Sodio	mg	17,000
Zinc	mg	1,160
Vitaminas		
Vitamina C	mg	31,200
Tiamina	mg	0,200
Riboflavina	mg	0,110
Niacina	mg	0,700
Vitamina B6	mg	1,235
Folato	µg	3,000
Vitamina A	µg	9,000
Vitamina E	mg	0,080
Vitamina K	µg	17,000
Lípidos		
Ácidos grasos saturados	g	0,089
Ácidos grasos monoinsaturados	g	0,011
Ácidos grasos poliinsaturados	g	0,249
Colesterol	mg	0,000
Otros		
Cafeína	mg	0,000

Fuente: Cuzco, 2019 **Adaptado de:** USDA, 2018

2.6.4 Propiedades microbiológicas del ajo fresco

En la tabla 2.8, se puede observar las propiedades microbiológicas del ajo fresco.

Tabla 2.8

Propiedades microbiológicas del ajo fresco

Microorganismo	Unidades	Valor
Bacterias aerobias mesófilas	Ufc/g	<100,000
Coliformes totales	Ufc/g	<100
Escherichia coli	Ufc/g	<100
Positivo aureaus	Ufc/g	<100
Salmonella	Ufc/25g	-
Listeria monocytogenes	Ufc/25g	-
Bacterias sulfito reductores	Ufc/g	<100
Mohos	Ufc/g	<100
Levaduras	Ufc/g	<100

Fuente: Ajopel, 2022

2.6.5 Aplicaciones del ajo fresco

El ajo fresco tiene diferentes aplicaciones tanto medicinales como gastronómicas en las cuales se pueden evidenciar las que se detallan a continuación.

2.6.5.1 Uso medicinal del ajo fresco

En la figura 2.4 se pueden observar los diferentes usos medicinales del ajo fresco

Beneficios del ajo fresco				
Posee acción	Depurativa	Desinfectante	Tonificante	Vermífuga
	Anticatarral	Antirreumática	Anticongestionante	Antihipertensiva
	Antiinflamatoria	Anticoagulante	Vasodilatadora	Antiséptica
Combate	Diabetes	Tos	Bronquitis	Sinusitis
	Estreñimiento	Dolor de cabeza	Hemorroides	Escorbuto
Contrarresta		Escherichia coli	Sthaphylococcus aureus	Otros patógenos

Fuente: Alpizar, 2020

Figura 2.4 Usos medicinales del ajo negro

2.6.5.2 Uso gastronómico del ajo fresco

Según Cuzco (2019), el ajo es utilizado en las cocinas de numerosos países alrededor del mundo como ser: la mexicana, la china, la cocina italiana, etc. El ajo es un ingrediente fundamental en la cocina oriental tanto como la cebolla y el jengibre y con los años se convirtió en un ingrediente elemental de la cocina occidental. Según Jumique (2023), la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una dosis diaria de 2 a 5 g de ajo fresco al día.

2.7 Fermentación de alimentos en cámara fermentativa

Villén (2012), indica que en términos generales “la fermentación es un proceso que degrada moléculas para transformarlas en otras moléculas más simples” (pág. 1).

También acota que, para que la fermentación de los alimentos sea efectiva necesita de unas determinadas condiciones que se deben tomar en cuenta, como: la temperatura, la cantidad de azúcares y la humedad.

2.7.1 Pardeamiento no enzimático

Según Cardona (2020), se conoce como pardeamiento no enzimático al fenómeno de oscurecimiento de los alimentos debido a causas de naturaleza química, este oscurecimiento tiende a generar melanoidinas mediante tres mecanismos importantes, los cuales son: la reacción de Maillard, la caramelización de azúcares, también llamada pirolisis y la degradación u oxidación de compuestos con dobles enlaces conjugados a grupos carbonilo como el ácido ascórbico.

2.7.2 Reacción de Maillard

La reacción de Maillard es el resultado de productos reductores, primariamente azúcares, que reaccionan con proteínas o con grupos amino libres. Esta reacción cambia tanto las propiedades químicas como fisiológicas de las proteínas. En general la acumulación de pigmentos de color marrón indica que la reacción se ha producido en alimentos que contienen hidratos de carbono y proteínas. (Rosas y Hernández, 2017)

Badui (2013) define la reacción de Maillard como un complejo conjunto de reacciones en las cuales se generan varios compuestos, como ser las melanoidinas que presenta un color que va de amarillo a un café oscuro y hasta negro, estas melanoidinas son responsables de que el sabor, el aroma y el valor nutritivo de los alimentos se vea afectado. Así mismo, Barreiro y Sandoval (2006), exponen que la reacción de Maillard puede presentarse en cualquier etapa del procesamiento de un alimento debido a un calentamiento. También que esta reacción se genera por reacciones secundarias de grupos aminos presentes con azúcares reductores, aldehídos y cetonas.

2.7.2.1 Parámetros que afectan la reacción de Maillard

Entre los parámetros más influyentes que afectan la reacción de Maillard, se encuentran:

- **Temperatura**

Barreiro y Sandoval (2006) expresan que “la tasa de reacción aumenta al aumentar la temperatura” (pág. 35).

Por otro lado, Badui (2013) expresa que “la reacción de Maillard se puede observar incluso en refrigeración” (pág. 62).

- **pH**

“La reacción de Maillard se puede presentar indistintamente en medios ácidos como alcalinos, pero favoreciendo más un pH alcalino”. (Badui, 2013, pág. 62)

- **Presencia de azúcares**

Barreiro y Sandoval (2006), indican que “los azúcares que favorecen la reacción son los azúcares reductores, los cuales actúan junto a los aminoácidos” (pág. 35).

2.7.2.2 Etapas de la reacción de Maillard

Las etapas que conforman la reacción de Maillard son las siguientes:

- **Condensación del azúcar reductor con el grupo amino**

Esta es la primera etapa de la reacción de Maillard, la cual consiste en la condensación del grupo carbonilo de un azúcar reductor con un grupo amino libre de un aminoácido, el aminoácido involucrado debe tener una estructura abierta, lo cual posibilitara el ataque al grupo carbonilo del azúcar reductor, formando de esta manera la base de schiff. (Badui, 2013)

Luego “la base de schiff se cicla formando de esta manera una glucosilamina que dependiendo de azúcar presente puede ser aldosa o cetosa en caso de ser una aldosa o una cetona respectivamente”. (Badui, 2013, pág. 64)

- **Transposición de los productos de condensación**

Las aldosaminas y cetoaminas producidas anteriormente son inestables en este punto, las aldosaminas se isomerizan mediante el mecanismo de Amadori y las cetoaminas por la transposición de Heyns. (Badui, 2013, pág. 65)

- **Reacción de los productos de transposición**

La reacción que se presenta en primer lugar en esta etapa es la deshidratación de azúcares a través de isomerización enólica, sintetizándose furfural, además de reductonas y dehidrorreductonas. Seguidamente también aparecen mecanismos de fragmentación de los azúcares enólicos, favoreciendo compuestos como: ácidos, aldehídos, cetonas y alcoholes. (Badui, 2013)

- **Polimerización y formación de sustancias coloreadas**

En esta etapa se polimerizan una gran cantidad de compuestos los cuales se formaron en etapas previas, dichos compuestos son insaturados generando las melanoidinas; su estructura química es muy compleja. (Badui, 2013, pág. 68)

2.7.3 Pirolisis de azúcares

La caramelización o pirólisis, es producida cuando los carbohidratos sencillos son expuestos a temperatura mayores a su punto de fusión. Se presenta tanto a pH ácidos

como también alcalinos, además, se acelera en presencia de ácidos carboxílicos y puede orientarse al desarrollo del aroma o de color. (Arias y López 2019, pág. 129)

2.7.4 Oxidación del ácido ascórbico

Bastian y Cepero (2016) indican que el ácido ascórbico es muy susceptible a la degradación a causa de su composición química, esta degradación se debe a varios factores como el pH, concentración de oxígeno, enzimas, catalizadores metálicos y la concentración inicial de ácido.

Existen tres vías de degradación del ácido ascórbico.

- **Vía oxidativa catalizada**

Se encuentra influenciada por el oxígeno y iones metálicos presentes, tales como el cobre y hierro que aumentan la reacción. En esta vía de degradación se forma un complejo metal-anión que a su vez se une con el oxígeno, para generar el anión ascorbato, anión metálico inicial y agua. De esta manera el anión ascorbato reacciona con el oxígeno y se forma ácido dehidroascorbato. (Serra y Cafaro, 2007, pág. 1)

- **Vía oxidativa no catalizada**

Es en la cual el anión ascorbato es atacado directamente por el oxígeno, produciendo el radical amino y peróxido de hidrogeno que inmediatamente se convierten ácido dehidroascorbato y peróxido de hidrogeno. (Serra y Cafaro, 2007, pág. 1)

- **Degradación anaeróbica**

Presenta una rotura directa del puente 1, 4 de la lactana sin una oxidación anterior de ácido dehidroascorbato. (Serra y Cafaro, 2007, pág. 1)

CAPÍTULO III

DISEÑO

METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación experimental, obtención de ajo negro, se realizó en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) y Laboratorio Taller de Alimentos (LTA), los cuales son dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 Tipo de intervención experimental

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

- Análisis de los parámetros físicos del ajo fresco.
- Análisis fisicoquímico, microbiológico y de micronutrientes del ajo fresco.
- Análisis fisicoquímico de las muestras preliminares
- Análisis del diseño experimental en la etapa de tratamiento térmico del proceso de obtención de ajo negro.
- Evaluación de parámetros fisicoquímicos de las muestras del diseño experimental.
- Evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental.
- Análisis fisicoquímico, microbiológico y de micronutrientes del ajo negro.
- Operacionalización de las variables dependiente e independiente.

3.3 Tipo de investigación

El tipo de investigación propuesta para el presente trabajo fue del tipo experimental a nivel de laboratorio.

3.3.1 Investigación experimental

Tamayo (2003), explica que “la investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental en condiciones controladas, con la finalidad de describir de qué modo o por que causa se produce un acontecimiento particular, a este proceso se le llama experimento (pág. 47).

Así mismo, Fidias (2012), sostiene que “la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)” (pág. 34).

3.4 Paradigma positivista

Según Gallardo (2017), “el paradigma positivista es secuencial y probatorio” (pág. 21). Por otro lado, Hernández, (2014. pág. 4) expone que “los paradigmas positivistas usan la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”.

3.5 Enfoque cuantitativo

Hernández (2014), propone el concepto de enfoque de investigación cuantitativo como una representación de un conjunto de procesos, este tipo de enfoque parte de una idea para posteriormente acotarse a otras las cuales forman una base teórica de la cual se puede establecer un problema, y de este, una hipótesis y determinar variables. En otras palabras, se puede decir que el enfoque cuantitativo es aquel enfoque que utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

Sánchez (2019), rescata el concepto de enfoque cuantitativo planteado anteriormente por Kerlinger (2002), quien dice que la investigación bajo el enfoque cuantitativo trata con fenómenos los cuales son medibles, para lo cual se usan técnicas estadísticas para el análisis de los datos recogidos, el objetivo principal de este enfoque radica en la descripción, explicación, predicción y control objetivo de sus causas y la predicción de sus ocurrencia a partir del desvelamiento de las mismas, fundamentando las conclusiones sobre el uso de la cuantificación.

3.6 Métodos, técnicas e instrumentos

Martínez (2013), indica que la palabra método da idea de orden y de pasos a seguir para lograr un objetivo, por lo tanto, se puede decir que los pasos en la investigación

son consecuencia del método elegido y este se implica en el sistema de investigación, además del uso de técnicas y de algún instrumento.

Por otro lado, Hernández (2014) define técnica como el conjunto de herramientas y procedimientos disponibles para un investigador para obtener información y conocimiento. Se utilizan de acuerdo a los protocolos establecidos en cada metodología determinada (pág. 195).

Por último, Martínez (2013) conceptualiza al instrumento como “aquella herramienta la cual permite operativizar a la técnica” (pág. 3).

3.6.1 Propiedades físicas del ajo fresco

En la figura 3.1, se puede apreciar los métodos y técnicas utilizados para el análisis de los parámetros físicos del ajo fresco, realizados en el Laboratorio Académico de la carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Análisis físicos		
Altura (cm)	Diámetro mayor (cm)	Diámetro menor (cm)
Medición manual	Medición manual	Medición manual
Medición con vernier	Medición con vernier	Medición con vernier
Peso total (g)	Peso aprovechable (g)	Peso no aprovechable (g)
Gravimetría	Gravimetría	Gravimetría
Pesado	Pesado	Pesado
Número de dientes por bulbo	Porción comestible (%)	Porción no comestible (%)
Conteo	Gravimetría	Gravimetría
Medición directa	Pesado y calculo	Pesado y calculo
		Método
		Técnica

Fuente: LACIA, 2022

Figura 3.1 Métodos y técnicas para el análisis físico del ajo fresco

3.6.2 Propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y nutricionales del ajo fresco

En la figura 3.2, se pueden apreciar los métodos y técnicas utilizados por el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), para el análisis de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y de micronutrientes del ajo fresco.

Análisis fisicoquímicos			Análisis microbiológicos	Análisis micronutricionales
Azúcares totales (%)	Humedad (%)	Ceniza (%)	Mohos y levaduras	Sodio (mg/100g)
Volumetría	Gravimetría	Gravimetría	Placa fluida	Espectrofotometría de absorción atómica
Reactivo de Fehling NB 38033:2014	Secado en estufa NB 367:1998	Calcinción en mufla NB 231:2:1998	Recuento en placa NB 32006:2003	-
Azúcares reductores (%)	Materia grasa (%)	Fibra cruda (%)	Escherichia coli	Calcio (mg/100g)
Volumetría	Gravimetría	Gravimetría	Placa fluida	Espectrofotometría de absorción atómica
Reducción de iones de cobre NB 38053:2014	Soxhelt NB 228:1998	Digestión ácido – base NB:35004:2014	Confirmación bioquímica NB 32005:2002	-
pH	Proteína total (%)	Valor energético kcal/100g	Salmonella	
Electrometría	Kjeldahl	Cálculo	Placa fluida	
Medición digital SM-4500-H-B	Digestión Destilación Valoración ISO 8968:1:2001	Cálculo indirecto NB 312032:2006	Investigación (P/A) NB 32007:2003	
Acidez (%)		Hidratos de carbono (%)		
Volumetría		Cálculo		
Valoración NB 229:98		Cálculo indirecto NB 312031:2010		
				Método
				Técnica y norma

Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.2 Métodos y técnicas para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de micronutrientes del ajo fresco

3.6.3 Propiedades fisicoquímicas durante la etapa de tratamiento fermentativo

En la figura 3.3, se pueden apreciar los parámetros fisicoquímicos controlados durante la etapa de tratamiento fermentativo del proceso de obtención de ajo negro, en el Laboratorio de Análisis de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Análisis fisicoquímicos		
Humedad (%)	pH	Método
Gravimetría	Electrometría	
Pesado en termobalanza	Medición digital SM-4500-H-B	Técnica

Fuente: LACIA, 2022

Figura 3.3 Método y técnicas de los análisis fisicoquímicos durante la etapa de tratamiento fermentativo

3.6.4 Propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y nutricionales del ajo negro

En la figura 3.4, se pueden apreciar los métodos y técnicas utilizados por el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), para el análisis de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y de micronutrientes del ajo negro.

Análisis fisicoquímicos			Análisis microbiológicos	Análisis micronutricionales
Azúcares totales (%)	Humedad (%)	Ceniza (%)	Mohos y levaduras	Sodio (mg/100g)
Volumetría	Gravimetría	Gravimetría	Placa fluida	Espectrofotometría de absorción atómica
Reactivo de Fehling NB 38033:2014	Secado en estufa NB 367:1998	Calcínación en mufla NB 231:2:1998	Recuento en placa NB 32006:2003	-
Azúcares reductores (%)	Materia grasa (%)	Fibra cruda (%)	Escherichia coli	Calcio (mg/100g)
Volumetría	Gravimetría	Gravimetría	Placa fluida	Espectrofotometría de absorción atómica
Reducción de iones de cobre NB 38053:2014	Soxhelt NB 228:1998	Digestión ácido – base NB:35004:2014	Confirmación bioquímica NB 32005:2002	-
pH	Proteína total (%)	Valor energético kcal/100g	Salmonella	
Electrometría	Kjeldahl	Cálculo	Placa fluida	
Medición digital SM-4500-H-B	Digestión Destilación Valoración ISO 8968:1:2001	Cálculo indirecto NB 312032:2006	Investigación (P/A) NB 32007:2003	
Acidez (%)		Hidratos de carbono (%)		
Volumetría		Cálculo		
Valoración NB 229:98		Cálculo indirecto NB 312031:2010		
				Método
				Técnica y norma

Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.4 Métodos y técnicas para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de micronutrientes del ajo negro

3.6.5 Equipo experimental de laboratorio

En la figura 3.5 se observan las especificaciones técnicas de la cámara fermentativa experimental (Anexo G).

Equipo experimental
Cámara de fermentación
Especificaciones técnicas
Fuentes de calor: 1
Medidas: 40 cm x 40 cm x 50 cm
Potencia: 220 V
Material: Metal galvanizado

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5 Características de la cámara experimental de fermentación

3.6.6 Instrumentos de laboratorio

En la figura 3.6, se observan los instrumentos de laboratorio utilizados para la obtención de ajo negro a partir de ajo fresco, los mismos se encuentran en el Laboratorio de Análisis de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Instrumentos de laboratorio		
Balanza analítica Especificaciones Marca: RADWAG Industria: Polonia. Modelo: PS 4500.R2 Capacidad (g): 4500/ Min: 0.5 Error: 0.1g. Frecuencia: 50 – Hz. Potencia: 4 W.	Termo - higrómetro digital Especificaciones Marca: Aideepen Modelo: STC-3028 Tensión: 220 V Rango de humedad: (0-100) % Rango de temperatura: (0-80) °C Precisión de humedad: 0,1 % Precisión de temperatura: ± 1 °C	pHmetro digital Especificaciones Marca: HORIBA LAQUA Modelo: Ph1300 Rango de temperatura: -30.0-130±0.1°C Rango de pH: -2.00 a 19.99 pH
Termobalanza digital Especificaciones Marca: RADWAG Industria: Polonia Modelo: PM 60.3Y.WH Número de serie: 579775 Tensión: 230 V Potencia: 420 W Frecuencia: 50 Hz División de lectura: 0.1 mg Carga máxima: 60 g Precisión de humedad: 0.0001 % Rango de temperatura: 160-250 °C	Selladora eléctrica Especificaciones Marca: Alfonsin Industria: Bolivia Tensión: 220 V Potencia: 500 W Termonizador: 0-10	
	Refractómetro digital Especificaciones Marca: KRUSS Industria: Alemania Modelo: DR301-95 Tensión: 9 V Rango de medición: 0-95 °Brix Precisión: ± 0.1 °Brix Rango de temperatura: 0-40 °C Precisión de temperatura: ± 1 °C	

Fuente: LACIA, 2022

Figura 3.6 Instrumentos de laboratorio

3.6.7 Materiales de laboratorio

En la figura 3.7, se pueden observar los materiales de laboratorio utilizados para la obtención de ajo negro a partir de ajo fresco, los mismos se encuentran en el Laboratorio de Laboratorio de Análisis de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Material de laboratorio		
Vernier manual Especificaciones Capacidad: Pequeño. Calidad: Porcelana. Cantidad: 1.	Vidrio de reloj Especificaciones Capacidad: Grande. Calidad: Vidrio. Cantidad: 1.	Mortero Especificaciones Capacidad: Pequeño. Calidad: Porcelana. Cantidad: 1.
Desecador Especificaciones Capacidad: Grande. Calidad: Vidrio. Cantidad: 1.	Vaso de precipitado Especificaciones Capacidad: 50 ml. Calidad: Vidrio. Cantidad: 4.	Pinza metálica Especificaciones Tamaño: Mediano. Calidad: Metal. Cantidad: 1.
Varilla de vidrio Especificaciones Tamaño: Mediano. Calidad: Vidrio. Cantidad: 1.	Espátula Especificaciones Tamaño: Mediano. Calidad: Metal. Cantidad: 1.	Piseta Especificaciones Capacidad: 500 ml. Calidad: Plástico. Cantidad: 1.

Fuente: LACIA, 2022

Figura 3.7 Materiales de laboratorio

3.6.8 Utensilios de cocina

En la figura 3.8, se pueden observar los utensilios de cocina utilizados para la obtención de ajo negro a partir de ajo fresco, los mismos se encuentran en el Laboratorio de Laboratorio de Análisis de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

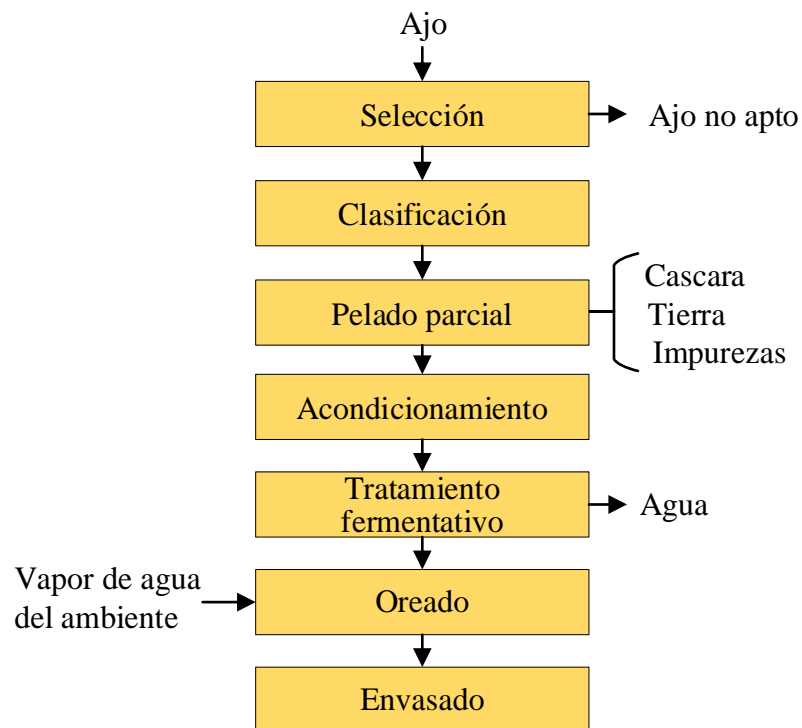
Utensilios de cocina			
Jarra graduada	Charola	Cuchillo	Fuentes
Especificaciones	Especificaciones	Especificaciones	Especificaciones
Capacidad: 500 ml. Calidad: Plástico. Cantidad: 1.	Tamaño: Grande. Calidad: Metal. Cantidad: 1.	Tamaño: Mediano. Calidad: Acero inoxidable. Cantidad: 1.	Tamaño: Mediano. Calidad: Metal. Cantidad: 2.

Fuente: LACIA, 2022

Figura 3.8 Utensilios de cocina

3.7 Diagrama de flujo del proceso de obtención de ajo negro

En la figura 3.9 se puede observar el diagrama de flujo de proceso de elaboración del ajo negro a partir de ajo fresco.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9: Diagrama de flujo de obtención de ajo negro

3.7.1 Descripción del proceso

A continuación, se detalla el proceso de elaboración de ajo negro a nivel de laboratorio.

Ajo fresco

El ajo fresco que se utilizó en la parte experimental fue de la variedad “morado” fue adquirido en la comunidad de Rancho Norte de la provincia Méndez del departamento de Tarija. En la figura 3.10, se muestra el ajo utilizado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Ajo fresco

Selección

Se procedió a seleccionar los bulbos de ajo que se encontraban en óptimas condiciones de madurez y sin defectos visibles, además de tomar en cuenta el tamaño de los mismos. Se descartaron aquellos bulbos que presentaron golpes, enfermedades, manchas, signos de deterioro y un tamaño demasiado pequeño. En la figura 3.11, se muestra la selección de los bulbos no aptos para el proceso.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11 Selección de bulbos no aptos para el proceso

Clasificación

La clasificación de los bulbos de ajo fresco se realizó tomando en cuenta su tamaño, esto con la finalidad de obtener una uniformidad en el tamaño de los ajos negros obtenidos, para esto, se procedió a separar grupos de ajos en dos categorías (grandes y medianos), sabiendo que los ajos más pequeños fueron descartados en la etapa anterior. En la figura 3.12, se muestra la etapa de clasificación de los bulbos de ajo fresco.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12 Clasificación de los bulbos de ajo fresco

Pelado parcial

Se colocó los bulbos de ajo en una charola metálica de acero inoxidable, en la cual, se procede a remover manualmente las capas superiores de la cáscara de sus bulbos, dejando intacta la mayor parte de las capas internas. En esta etapa, es importante mantener la integridad de los bulbos y evitar dañar los dientes de ajo. En la figura 3.13, se muestra la etapa de pelado parcial de los bulbos de ajo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13 Pelado parcial de los bulbos de ajo fresco

Acondicionamiento

En esta etapa se procedió a colocar los ajos clasificados en grupos de seis en bolsas de plástico (poliamida y polietileno) de 90 micras y una dimensión de 200 mm x 300 mm. En la figura 3.14, se muestra la etapa de acondicionamiento de los bulbos de ajo fresco pelado parcialmente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14 Acondicionamiento de los bulbos de ajo fresco

Tratamiento fermentativo

Para esta etapa se utilizó una cámara de fermentación experimental construida de acero galvanizado de 0.60 mm de espesor y de medidas, (40cm x 40 cm x 50 cm), dicha cámara cuenta con una lámpara incandescente de 150 watts de potencia como fuente de calor conectada a un termostato programador de temperatura modelo STC-3028 y que funciona conectada a la red eléctrica de 220 V. (Anexo G).

Primeramente, se procedió a programar el termostato de la cámara a una temperatura de $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, con una humedad relativa medida de 34 % y se esperó a que la cámara elevara la temperatura en su interior.

Luego de que alcanzó la temperatura adecuada se llevó los bulbos de ajo acondicionados a la cámara sobre una malla plástica de 0,28 mm de espesor y se dejaron fermentar por un tiempo de 14 días.

Los bulbos se retiraron de la cámara una vez presentaron una coloración oscura y un $\text{pH } 4 \leq \text{pH} < 5$, los cuales son indicadores de que los bulbos han alcanzado sus

características tanto fisicoquímicas como organolépticas óptimas, propias del producto deseado. En la figura 3.15, se muestra la etapa de tratamiento térmico de los bulbos de ajo acondicionado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15 Tratamiento fermentativo de los bulbos de ajo acondicionado

Oreado

Se procedió a orear los bulbos en una bandeja metálica de acero inoxidable a temperatura ambiente por 24 horas con la finalidad de acentuar la textura y los sabores del ajo negro. En la figura 3.16, se muestra la etapa de oreado de los bulbos de ajo negro.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16 Oreado de los bulbos de ajo negro

Envasado

El ajo negro obtenido se envasó en bolsas plásticas (polipropileno de alta densidad) de 90 micras como empaque primario las cuales fueron selladas herméticamente con la selladora eléctrica en cantidades en peso de 100 gramos aproximadamente, seguida de una caja de cartón para darle una buena presentación y protección de la luz y contaminantes externos. En la figura 3.17, se muestra la etapa de envasado de los bulbos de ajo negro.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17 Envasado de los bulbos de ajo negro

3.8 Operacionalización de las variables para el proceso de obtención de ajo negro

En la tabla 3.1, se muestra la operacionalización de las variables para el proceso de obtención de ajo negro.

Tabla 3.1
Operacionalización de las variables del proceso de obtención de ajo negro

Hipótesis	Variables		Contextualización	Parámetros	Indicadores	Escala
La metodología experimental de fermentación en cámara fermentativa permitirá la obtención de ajo negro a partir de ajo fresco en la provincia Cercado del departamento de Tarija.	Variable independiente	Fermentación en cámara fermentativa	Proceso que degrada moléculas para transformarlas en otras moléculas más simples, bajo condiciones de temperatura y humedad controladas (Villén 2012)	Parámetros físicos	Peso	g
					Anchura mayor - menor	cm
					Altura	cm
					Número de dientes	-
					Peso útil comestible – no comestible	g
					Porción comestible – no comestible	(%)
				Parámetros de exposición	Temperatura	(65-75) °C
					Recubrimiento	BP BPA BPM BPK
					Tiempo	14 días aprox.
					Humedad	(%)
	pH	-				
	Variable dependiente	Ajo negro	Producto obtenido del proceso de fermentación del ajo fresco (<i>Allium sativum</i> L.) durante un determinado periodo de tiempo con temperatura controlada bajo una cierta humedad relativa (Kimura, et al., 2016)	Parámetros fisicoquímicos	Valor energético	Kcal/100 g
					Proteínas	(%)
					Hidratos de carbono	(%)
					Fibra	(%)
					Grasa	(%)
					Humedad	(%)
					Cenizas	(%)
					Acidez titulable	(%)
					Azúcares reductores	(%)
Sólidos solubles				(%)		
Parámetros microbiológicos	Mohos y levaduras	Ufc/g				
	Escherichia coli	Ufc/g				
	Salmonella	Ufc/g				
Minerales	Sodio	(%)				
	Calcio	(%)				
Evaluación sensorial	Color	Escala hedónica de 7 puntos				
	Aroma					
	Sabor					
	Textura					

Nota: (BP: bolsa plástica), (BPA: bolsa plástica con papel aluminio), (BPM: bolsa plástica con papel madera), (BPK: bolsa plástica con papel kraft)

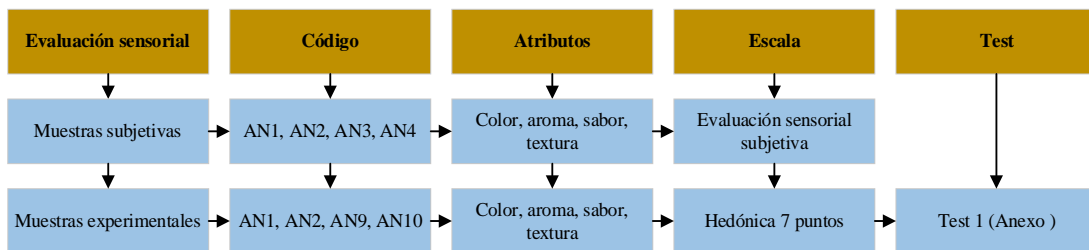
Fuente: Elaboración propia

3.9 Evaluación sensorial

Espinosa (2007), indica que “la evaluación sensorial es la disciplina científica mediante la cual se evalúan las propiedades organolépticas a través del uso de uno o más sentidos humanos” (pág. 1).

Por su parte Hernandez (2014), explica que “otro concepto que se le da a la evaluación sensorial es el de la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después lo consume”.

En la figura 3.18, se detalla las evaluaciones sensoriales realizadas, durante el presente trabajo de investigación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18 Evaluación sensorial de ajo negro

3.10 Diseño experimental

Según Badii et al., (2007), un diseño experimental es un esquema de cómo realizar un experimento, el cual tiene como objetivo principal determinar si existe o no una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos del experimento, en caso de que la respuesta sea afirmativa también se encarga de identificar cual sería la magnitud de esa diferencia. También indica como una segunda finalidad de los diseños experimentales el verificar la existencia de una tendencia derivado del análisis de los datos del experimento.

3.10.1 Diseño factorial 2^k

El diseño factorial es aquel en el que el conjunto de tratamientos consiste en todas las combinaciones posibles de los niveles de varios factores, donde el factor, es una clase de tratamiento y en experimentos factoriales, todo factor proporciona varios tratamientos y el nivel es aquel que hace referencia a los diferentes tratamientos dentro de un factor (Badii et al., 2007).

Fernández (2020), sostiene que los diseños factoriales 2^k son aquellos diseños los cuales cuentan con dos niveles en cada uno de sus factores, esto quiere decir que,

cuando se realiza un experimento con un número de factores k , estos solo pueden adoptar dos niveles por factor.

Por otro lado, Gutiérrez y Vara (2008), acotan que los diseños factoriales 2^k son útiles principalmente cuando el número de factores a estudiar están entre 2 y 5 ($2 \leq k \leq 5$), en dicho rango su tamaño se encuentra entre 4 y 32 tratamientos, los cuales son manejables en muchas situaciones experimentales.

3.10.2 Diseño factorial 2^2 en la etapa de tratamiento fermentativo

Para realizar el diseño experimental en la etapa de tratamiento fermentativo de ajo negro, se utilizó el diseño factorial 2^k , con k variables y dos niveles de variación de cada variable. En este trabajo de investigación se tiene 2 variables con 2 niveles cada uno. A continuación, se muestra la ecuación 3.1 y ecuación 3.2.

$$2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

2 = Número de niveles

k = Número de variables

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ pruebas / réplicas} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

En la tabla 3.2, se muestra los niveles de variación de las variables (nivel inferior y nivel superior), que se aplicaron en la etapa de tratamiento fermentativo y conformado por dos variables: temperatura y método de exposición.

Tabla 3.2

Niveles de variación de las variables en la etapa de tratamiento fermentativo para la obtención de ajo negro

Variables	Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
Temperatura (A)	°C	70	75
Método de exposición (B)	-1	BP	
	1		BPA

Fuente: Elaboración propia

Donde

BP: Tipo de cobertura (bolsa plástica)

BPA: Tipo de cobertura (bolsa plástica con papel aluminio)

En la tabla 3.3, se muestra la matriz del diseño experimental que se aplicó en la etapa de tratamiento fermentativo, conformado por 2 variables con 2 niveles cada uno.

Tabla 3.3

Matriz de variables para la etapa de tratamiento fermentativo para la obtención de ajo negro

Combinación	Variables		Interacciones	Variables Y_{ij}		
	A	B	AB	Y_{1j}	Y_{2j}	Y_{3j}
(1)	-	-	+	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}
a	+	-	-	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}
b	-	+	-	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}
ab	+	+	+	Y_{14}	Y_{24}	Y_{34}

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Y_{1j} = Azúcares reductores (%)

Y_{2j} = Contenido de acidez titulable (%)

Y_{3j} = pH

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y
DISCUSIÓN

4.1 Caracterización del ajo fresco

Para la caracterización del ajo fresco se tomaron en cuenta las propiedades físicas, análisis fisicoquímico y microbiológico, los cuales se detallan a continuación:

4.1.1 Propiedades físicas del ajo fresco

En la tabla 4.1 se muestra los resultados obtenidos del análisis de las propiedades físicas del ajo fresco.

Tabla 4.1

Propiedades físicas del ajo fresco

Muestra	Peso total (g)	Peso útil en el proceso (g)	Descarte (cáscara) (g)	Altura (cm)	Diámetro mayor de bulbos (cm)	Diámetro menor de bulbos (cm)	Nº de dientes	Peso útil comestible (dientes) (g)	Peso útil no comestible (tronco) (g)	Peso útil no comestible (cáscara) (g)	PC (%)	PNC (%)
1	66,41	62,81	3,60	7,465	5,665	4,670	10	54,63	1,55	6,63	82,26	17,74
2	69,45	65,71	3,74	7,760	6,165	4,920	11	54,00	1,75	9,96	77,76	22,24
3	75,01	70,54	4,47	6,860	6,140	5,000	19	53,30	2,19	15,05	71,06	28,94
4	63,44	59,97	3,47	7,590	5,350	3,020	16	43,73	2,45	13,79	68,93	31,07
5	94,09	84,74	9,35	7,900	5,940	5,625	13	62,70	1,97	20,07	66,64	33,36
6	60,39	57,83	2,56	7,480	5,600	4,680	16	50,06	0,88	6,89	82,89	17,11
7	75,75	72,01	3,74	7,040	6,035	5,635	20	62,31	1,25	8,45	82,26	17,74
8	79,39	73,62	5,77	7,745	6,045	5,665	15	57,63	1,92	14,07	72,59	27,41
9	64,20	60,30	3,90	6,955	5,560	4,845	12	50,34	1,94	8,02	78,41	21,59
10	67,00	62,92	4,08	7,320	5,560	5,150	16	49,44	1,01	12,47	73,79	26,21
11	62,73	58,86	3,87	7,085	5,305	4,760	18	45,98	1,43	11,45	73,30	26,70
12	77,94	75,35	2,59	8,300	6,100	5,110	17	63,66	1,21	10,48	81,68	18,32
13	81,69	78,00	3,69	9,755	5,850	5,055	10	60,28	2,50	15,22	73,79	26,21
14	55,97	53,91	2,06	6,720	5,610	4,700	10	43,23	0,84	9,84	77,24	22,76
15	57,00	54,53	2,47	7,150	5,310	4,760	16	44,30	1,20	9,03	77,72	22,28
16	71,67	67,78	3,89	8,045	5,735	4,965	12	54,76	2,17	10,85	76,40	23,60
17	73,63	69,79	3,84	8,070	5,550	5,170	10	51,08	3,21	15,50	69,37	30,63
18	66,40	63,27	3,13	7,345	5,705	4,425	10	51,04	0,86	11,37	76,87	23,13
T	1262,16	1191,94	70,22	136,585	103,225	88,155	251	952,47	30,33	209,14	1362,96	437,04
\bar{X}	70,12±0,01	66,21±0,01	3,90±0,01	7,588±0,05	5,734±0,05	4,898±0,05	14	52,92±0,01	1,68±0,01	11,52±0,01	75,72	24,28

Fuente: Elaboración propia

Donde:**PC** = Porción comestible (%)**PCN** = Porción no comestible (%)

En la tabla 4.1, se puede observar los promedios del peso total de $70,12 \pm 0,01$ g, donde, peso útil en el proceso es $66,21 \pm 0,01$ g y descarte $3,90 \pm 0,01$ g; la altura del bulbo es $7,588 \pm 0,05$ cm; el diámetro mayor del bulbo $5,734 \pm 0,05$ cm; el diámetro menor del bulbo es $4,898 \pm 0,05$ cm. El número de dientes promedio en cada bulbo es 14; el peso útil comestible (diente) es $52,92 \pm 0,01$ g, lo cual, significa 75,72 % del total del peso de los bulbos; y los pesos útiles no comestibles (tronco) y (cascara) son $1,68 \pm 0,01$ g y $11,52 \pm 0,01$ g, lo cual, significan el 24,28 % del peso total de los bulbos.

4.1.2 Análisis fisicoquímico del ajo fresco

La tabla 4.2, muestra los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del ajo fresco, cuyos datos fueron extraídos del anexo A.

Tabla 4.2*Análisis fisicoquímico del ajo fresco*

Componentes	Unidad	Resultados
Ceniza	%	1,26
Fibra	%	0,88
Grasa	%	0,48
Hidratos de carbono	%	31,68
Humedad	%	60,88
Proteína total (Nx6,25)	%	4,82
Valor energético	Kcal/100g	150,32
Azúcares totales	%	2,78
Azúcares reductores	%	0,55
Acidez titulable	%	0,50
pH		5,80

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del ajo fresco: cenizas 1,26 %; fibra 0,88 %; grasa 0,48 %; hidratos de carbono 31,68 %; humedad 60,88 %; proteína total (Nx6,25) 4,82 %; valor energético 150,32 Kcal/100g; azúcares totales 2,78 %; azúcares reductores 0,55 %; acidez titulable 0,50 y pH 5,8.

4.1.3 Análisis de micronutrientes del ajo fresco

La tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes del ajo fresco, de datos extraídos del anexo A.

Tabla 4.3

Análisis de micronutrientes del ajo fresco

Minerales	Unidad	Resultados
Calcio	mg/100g	17,4
Sodio	mg/100g	11,1

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados del análisis de minerales del ajo fresco: calcio 17,4 mg/100g y sodio 11,1 mg/100g.

4.1.4 Análisis microbiológico del ajo fresco

La tabla 4.4 muestra los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos del ajo fresco, de datos extraídos del anexo A.

Tabla 4.4

Análisis microbiológico del ajo fresco

Microorganismos	Unidad	Resultados
Escherichia coli	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$2,0 \times 10^1$
Salmonella	P/A/25g	Ausencia
(*) No se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.4 se puede observar los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos del ajo fresco: Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*), donde no se observa desarrollo de colonias; mohos y levaduras $2,0 \times 10^1$; y presenta ausencia de salmonella.

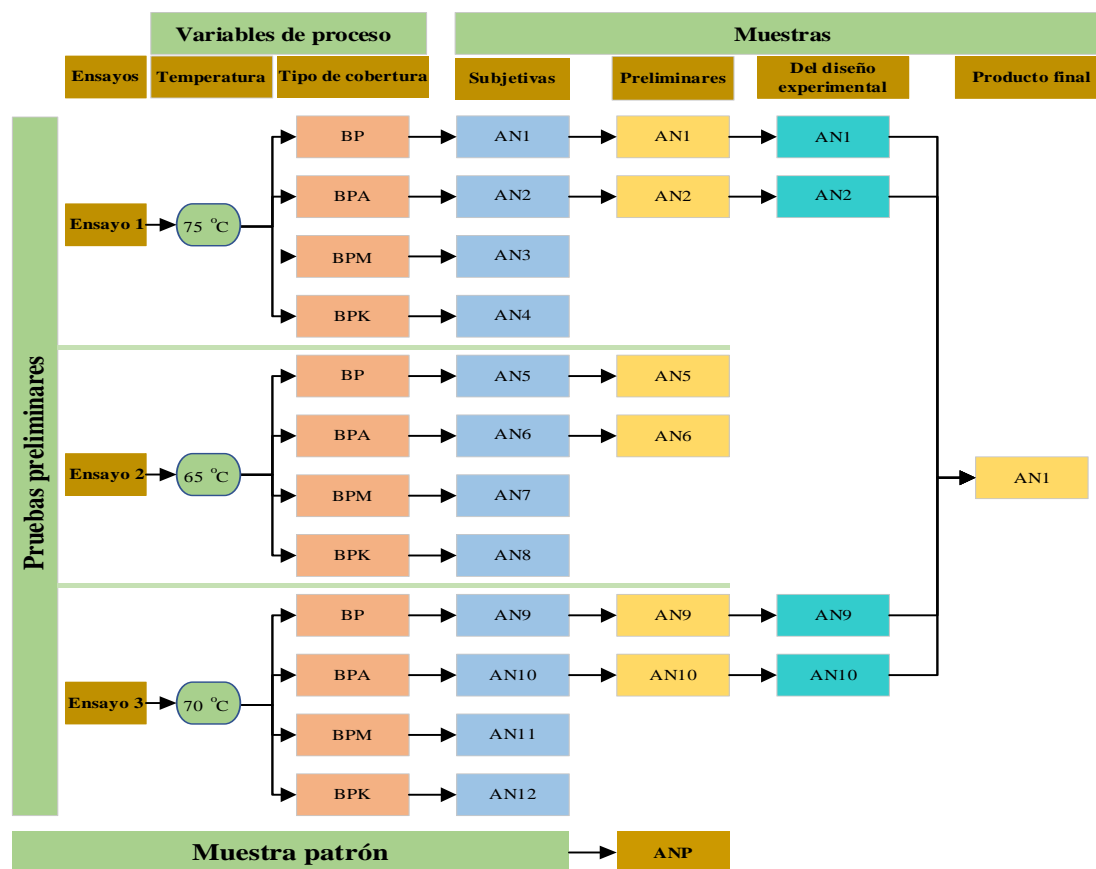
4.2 Caracterización de las variables del proceso para la obtención de ajo negro

Para la caracterización de las variables del proceso de obtención de ajo negro, se tomaron en cuenta los aspectos que se presentan a continuación.

4.2.1 Pruebas preliminares para la obtención de ajo negro

Para el desarrollo de la parte experimental, se procedió a elaborar doce muestras subjetivas del producto, las cuales, se dividieron en tres ensayos de cuatro muestras en

cada ensayo, y se colocaron en la cámara experimental de fermentación, caracterizada en el anexo G, tomando en cuenta las variables involucradas en el proceso, como ser: temperaturas entre 65, 70 y 75 °C, propuestas por Herlina et al., (2019) y diferentes tipos de cobertura, tales como BP: (bolsa plástica), BPA: (bolsa plástica con papel aluminio), BPM: (bolsa plástica con papel madera) y BPK: (bolsa plástica con papel kraft), las cuales, se muestran en el anexo C. Seguidamente, se procedió a realizar un análisis desde el punto de vista organoléptico y fisicoquímico de las muestras subjetivas, para seleccionar seis muestras preliminares, las cuales fueron las que se asemejaron más a la muestra patrón (ANP), como se detalla en la figura 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1 Pruebas preliminares para la obtención de ajo negro

4.2.1.1 Pruebas preliminares del tipo de cobertura para el ensayo 1

Para la realización de las pruebas preliminares del ensayo 1, se procedió a elaborar cuatro muestras, las cuales fueron obtenidas a temperatura constante de 75 °C y por

medio de cuatro distintos tipos de cobertura (BP, BPA, BPM y BPK), dentro de la cámara experimental de fermentación, la cual se detalla en el anexo G. Posteriormente, se realizó una valoración sensorial subjetiva (color, aroma, sabor y textura) y análisis de laboratorio (humedad, sólidos solubles, pH, acidez y azúcares reductores); con la finalidad de seleccionar las muestras cuyas características fisicoquímicas se asemejaron más a las de la muestra patrón (ANP), las cuales se muestran en la tabla 4.5, con datos extraídos del anexo A.

Tabla 4.5

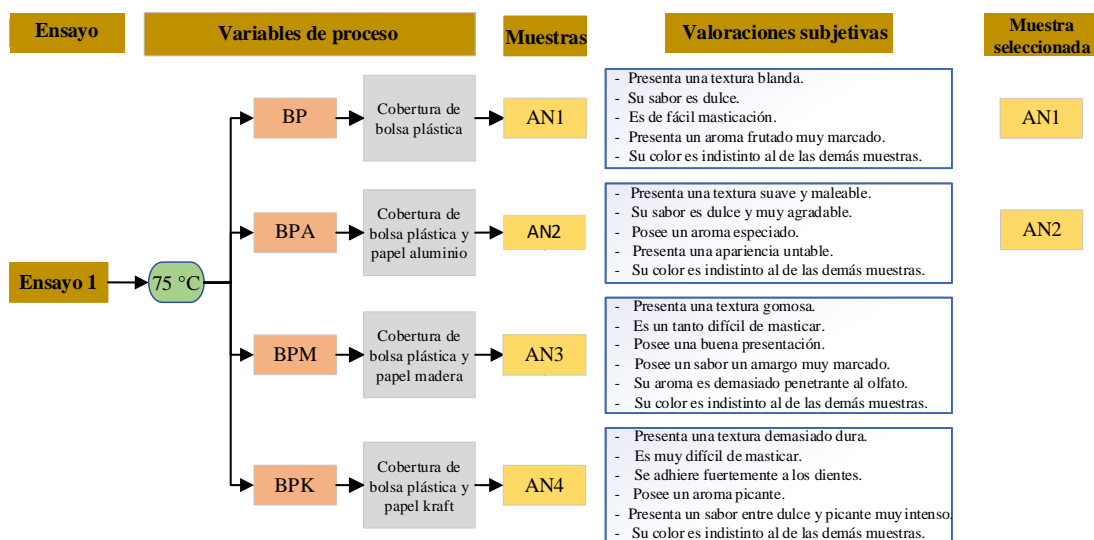
Análisis fisicoquímicos de la muestra patrón

Muestra	Parámetros fisicoquímicos analizados				
	Humedad (%)	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Acidez (%)*	Azúcares reductores (%)*
ANP	10,1471	83,59	4,0155	2,15	33,54

Fuente: LACIA,2023; CEANID,2023*

4.2.1.1.1 Valoración sensorial subjetiva para las muestras del ensayo 1

La valoración sensorial subjetiva se muestra en la figura 4.2 y fue realizada por miembros del plantel docente, administrativos y estudiantes del laboratorio taller de alimentos (LTA) y el laboratorio académico de la carrera de ingeniería de alimentos (LACIA) con la finalidad de seleccionar las muestras cuyos atributos organolépticos sean más aceptados.



Fuente: Elaboración propia

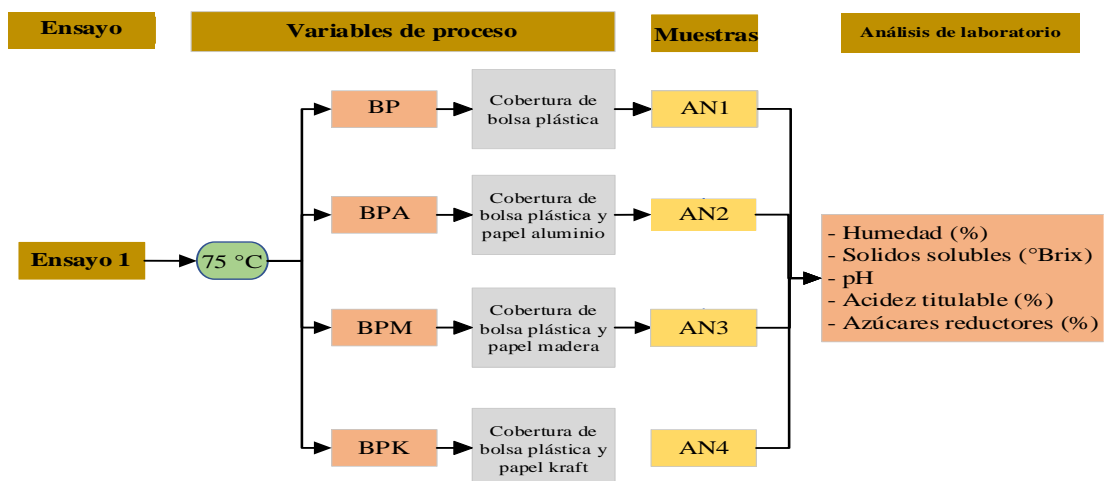
Figura 4.2 Valoración sensorial subjetiva de las muestras del ensayo 1

De acuerdo a la valoración sensorial subjetivas realizada a las muestras del ensayo 1, se pudo evidenciar una mayor aceptación de las muestras AN1 (BP) y AN2 (BPA), las cuales, presentan una textura más blanda, un sabor más dulce y un aroma más agradable, por otro lado, las muestras más rechazadas fueron las muestras AN3 (BPM) y AN4 (BPK), las cuales presentaron una textura más dura y difícil de masticar, un sabor amargo y aroma demasiado penetrante, muy parecido al ajo fresco.

4.2.1.1.2 Análisis fisicoquímico de las muestras del ensayo 1

Se procedió a realizar análisis fisicoquímicos de laboratorio para determinar los parámetros de: humedad, contenido de acidez titulable, sólidos solubles, pH y contenido de azúcares reductores en cada una de las muestras del ensayo 1, dichos análisis fisicoquímicos se tomaron como apoyo para sustentar la selección del tipo de cobertura como variable de proceso para la obtención de ajo negro. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) y el Laboratorio Académico de la carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), y se pueden apreciar en el anexo A.

En la figura 4.3 se muestra los análisis de laboratorio realizados en las muestras del ensayo 1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Análisis de laboratorio de las muestras del ensayo 1

En la tabla 4.6, se observan los análisis fisicoquímicos determinados en las muestras de ajo negro obtenidos en el ensayo 1.

Tabla 4.6

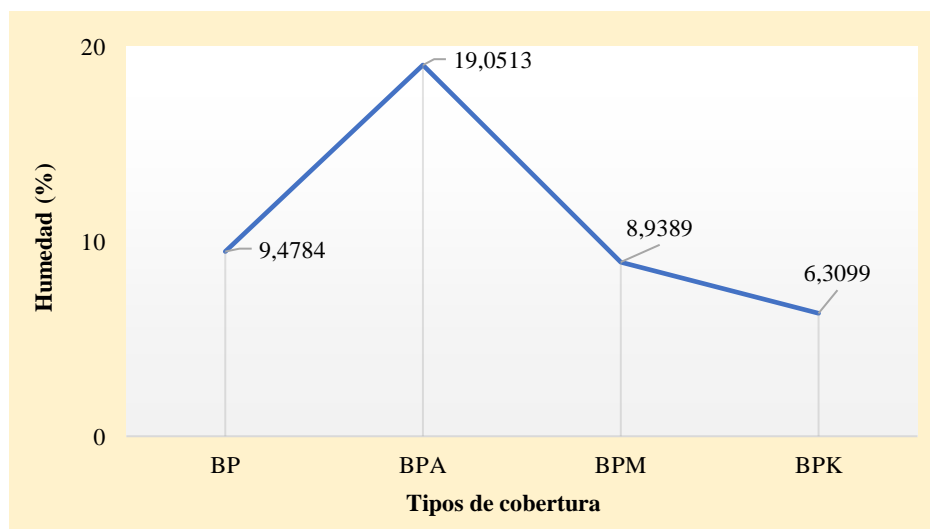
Análisis fisicoquímicos de las muestras del ensayo 1

Muestras	Parámetros fisicoquímicos analizados				
	Humedad (%)	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Acidez (%) *	Azúcares reductores (%) *
AN1	9,4784	79,95	3,9825	3,15	31,27
AN2	19,0513	66,78	3,8585	3,00	29,36
AN3	8,9389	87,77	4,1500	2,62	28,80
AN4	6,3099	82,81	4,0300	3,27	25,52

Fuente: LACIA, 2023; CEANID,2023*

4.2.1.1.3 Representación gráfica de los análisis fisicoquímicos del ensayo 1

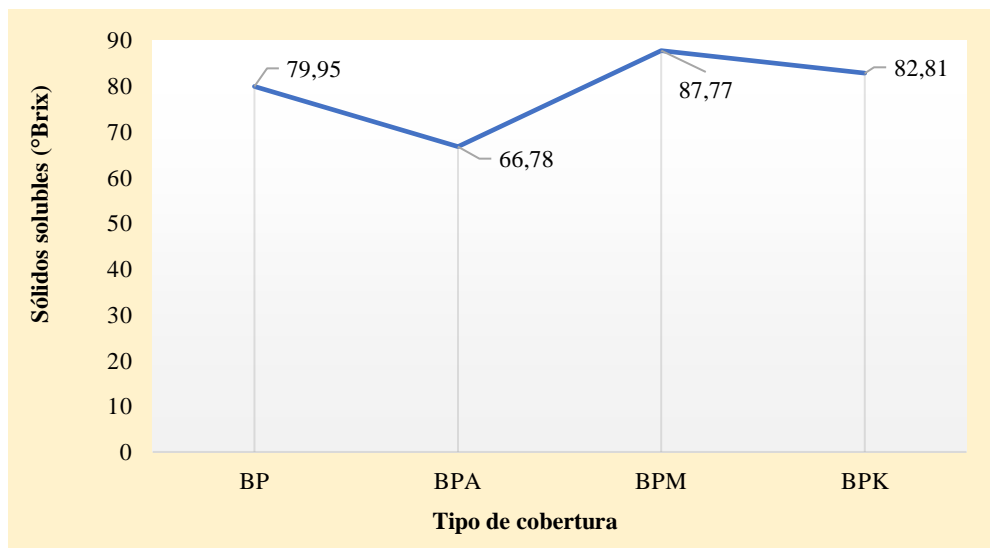
La representación gráfica de los análisis fisicoquímicos de las muestras del ensayo 1 se realizó con la finalidad de compararlos con los resultados del análisis fisicoquímico de la muestra patrón (ANP), datos extraídos de la tabla 4.5.



Fuente: LACIA, 2023

Figura 4.4 Análisis de contenido de humedad del ensayo 1

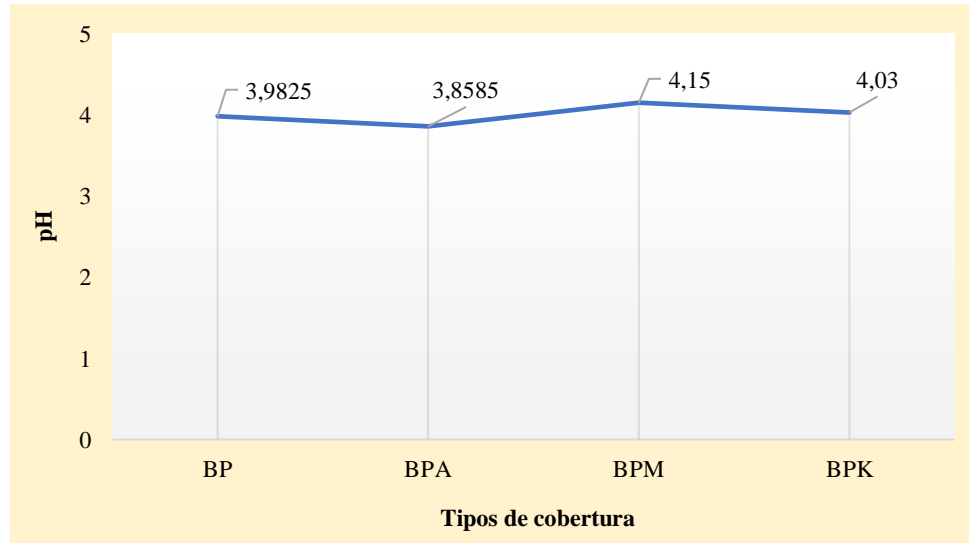
En la figura 4.4, se muestran los análisis del contenido de humedad de las muestras del ensayo 1: AN1 (BP) 9,4784 %; AN2 (BPA) 19,0513 %; AN3 (BPM) 8,9389 % y AN4 (BPK) 6,3099 %.



Fuente: LACIA, 2023

Figura 4.5 Análisis de contenido de sólidos solubles del ensayo 1

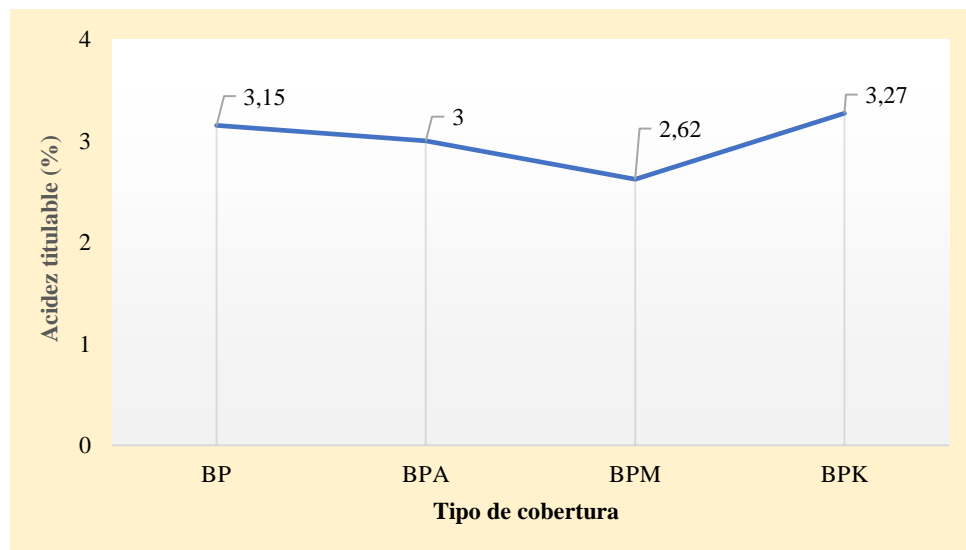
En la figura 4.5, se muestran los análisis del contenido de sólidos solubles de las muestras del ensayo 1: AN1 (BP) 79,95 °Brix; AN2 (BPA) 66,78 °Brix; AN3 (BPM) 87,77 °Brix y AN4 (BPK) 82,81 °Brix.



Fuente: LACIA, 2023

Figura 4.6 Análisis de pH del ensayo 1

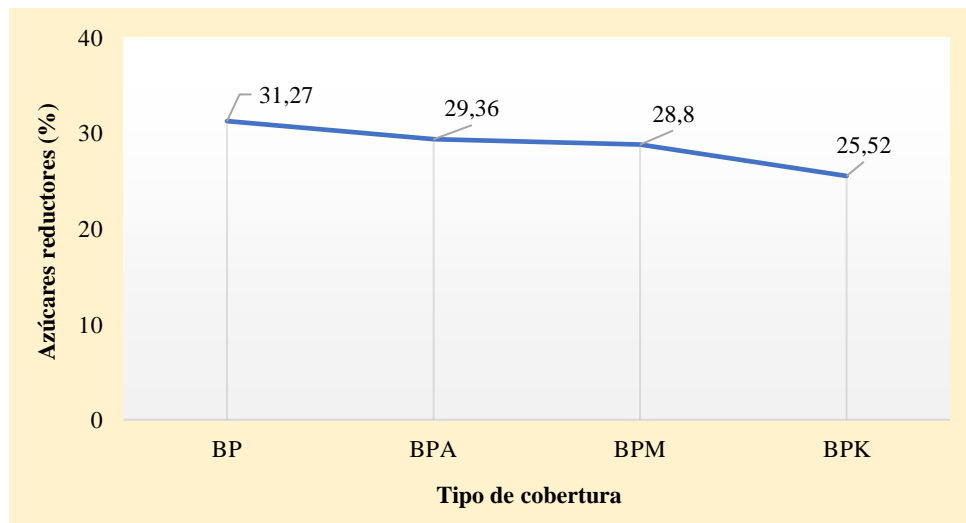
En la figura 4.6, se muestran los análisis del pH de las muestras del ensayo 1: AN1 (BP) 3,9825; AN2 (BPA) 3,8585; AN3 (BPM) 4,1500 y AN4 (BPK) 4,0300.



Fuente: CEANID, 2023

Figura 4.7 Análisis del contenido de acidez titulable del ensayo 1

En la figura 4.7, se muestran los análisis del contenido de acidez titulable de las muestras del ensayo 1: AN1 (BP) 3,15 %; AN2 (BPA) 3,00 %; AN3 (BPM) 2,62 % y AN4 (BPK) 3,27 %.



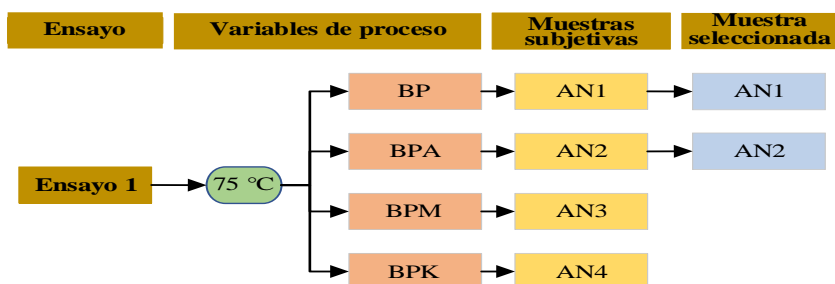
Fuente: (CEANID, 2023)

Figura 4.8 Análisis del contenido de azúcares reductores del ensayo 1

En la figura 4.8, se muestran los análisis del contenido de azúcares reductores de las muestras del ensayo 1: AN1 (BP) 31,27 %; AN2 (BPA) 29,36 %; AN3 (BPM) 28,80 % y AN4 (BPK) 25,52 %.

4.2.1.1.4 Selección de las muestras preliminares de ajo negro del ensayo 1

En la figura 4.9 se puede observar las muestras mejor valoradas del ensayo 1, tomando en cuenta los parámetros fisicoquímicos analizados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Muestras seleccionadas del ensayo 1

Según los resultados graficados en la figura 4.9, se puede concluir que las muestras mejor valoradas del ensayo 1 son las muestras AN1 Y AN2 con sus tipos de cobertura correspondientes (BP y BPA) respectivamente, ya que son las muestras cuyos resultados obtenidos para la determinación de pH, guardan relación con los de la muestra patrón (ANP) mostrada en el anexo A. Por lo tanto, dichas muestras fueron replicadas y utilizadas como muestras del diseño experimental.

4.2.1.2 Pruebas preliminares del tipo de cobertura para el ensayo 2

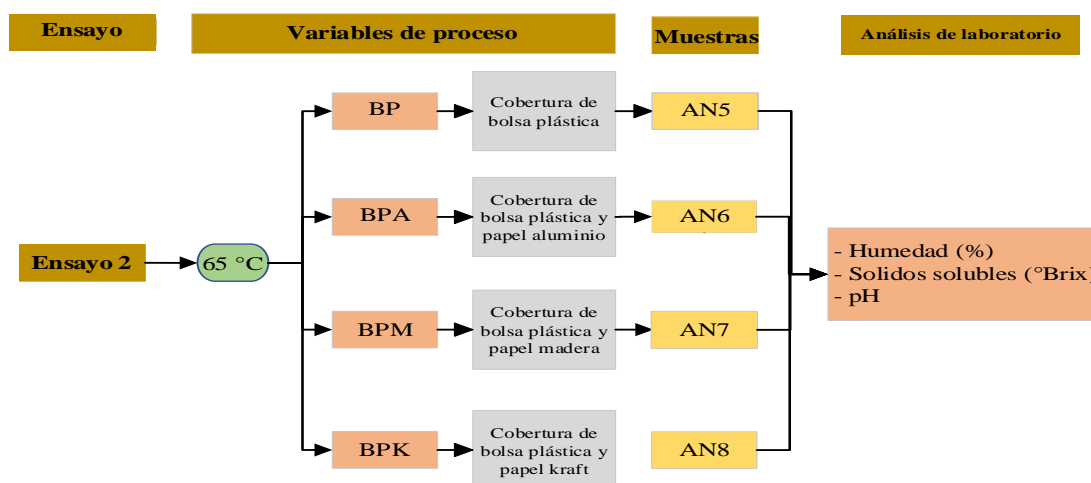
Para la realización de las pruebas preliminares del ensayo 2, se procedió a elaborar cuatro muestras, las cuales fueron obtenidas a temperatura constante de 65 °C y por medio de cuatro distintos tipos de cobertura (BP, BPA, BPM y BPK), dentro de la cámara experimental de fermentación la cual se detalla en el anexo G. Posteriormente, se realizó análisis de laboratorio (humedad, sólidos solubles y pH); con la finalidad de seleccionar las muestras cuyas características fisicoquímicas se asemejaron más a las de la muestra patrón (ANP), las cuales se muestran en la tabla 4.5, con datos extraídos del anexo A.

4.2.1.2.1 Análisis fisicoquímico de las muestras del ensayo 2

Se procedió a realizar análisis fisicoquímicos de laboratorio para determinar los parámetros de: humedad, sólidos solubles y pH en cada una de las muestras del ensayo

2, dichos análisis fisicoquímicos se tomaron como apoyo para sustentar la selección del tipo de cobertura como variable de proceso para la obtención de ajo negro. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el Laboratorio Académico de la carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), y se pueden apreciar en el anexo A.

En la figura 4.10 se muestra los análisis de laboratorio realizados en las muestras del ensayo 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 Análisis de laboratorio de las muestras del ensayo 2

En la tabla 4.7, se observan los resultados de los análisis fisicoquímicos determinados en las muestras de ajo negro obtenidos en el ensayo 2.

Tabla 4.7

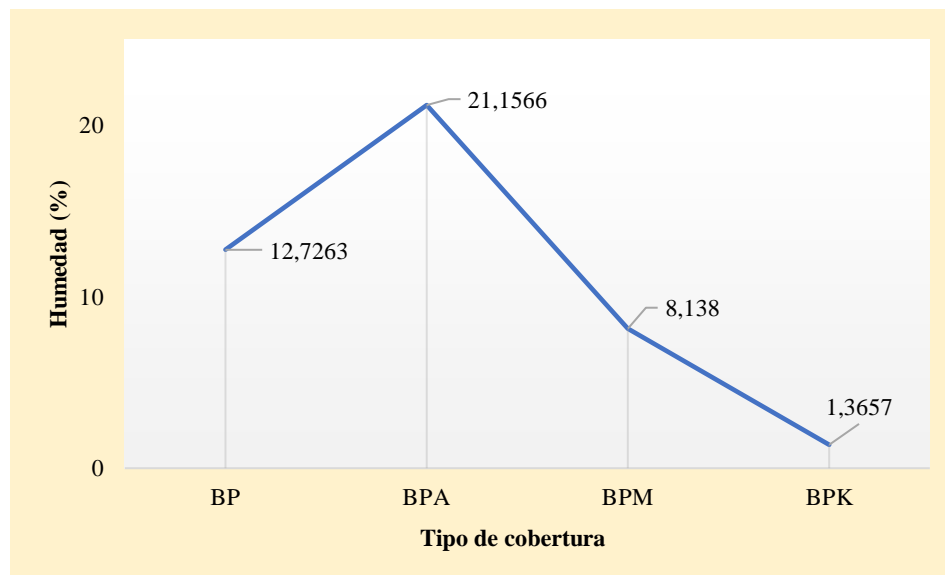
Análisis fisicoquímicos de las muestras del ensayo 2

Muestras	Parámetros fisicoquímicos analizados		
	Humedad (%)	Sólidos solubles (°Brix)	pH
AN5	12,7263	89,70	4,3244
AN6	21,1566	83,78	4,2772
AN7	8,1380	92,80	5,1021
AN8	1,3657	98,48	4,9843

Fuente: LACIA, 2023

4.2.1.2.2 Representación gráfica de los análisis fisicoquímicos del ensayo 2

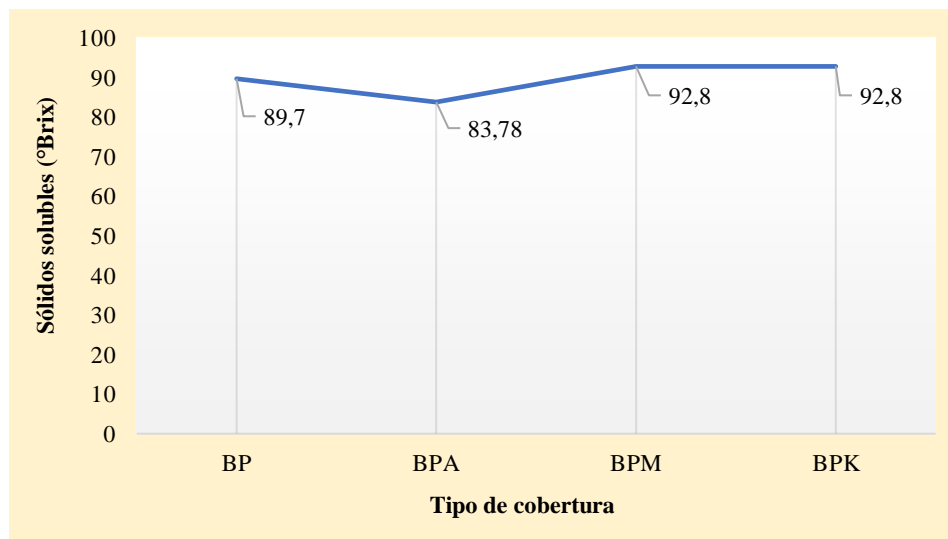
La representación gráfica de los análisis fisicoquímicos de las muestras del ensayo 2 se realizó con la finalidad de compararlos con los resultados del análisis fisicoquímico de la muestra patrón (ANP), datos extraídos de la tabla 4.5.



Fuente: LACIA, 2023

Figura 4.11 Análisis de contenido de humedad del ensayo 2

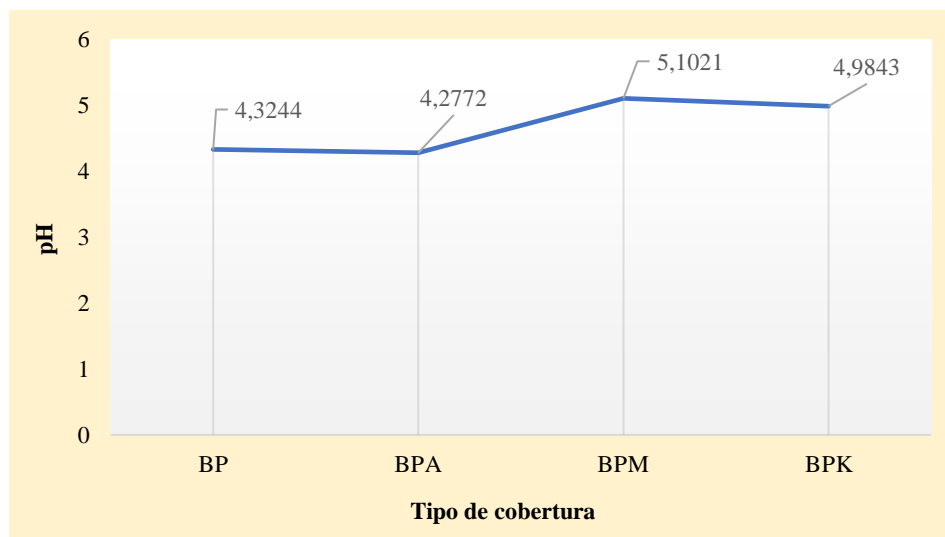
En la figura 4.11, se muestran los análisis del contenido de humedad de las muestras del ensayo 2: AN5 (BP) 12,7263 %; AN6 (BPA) 21,1566 %; AN7 (BPM) 8,1380 % y AN8 (BPK) 1,3657 %.



Fuente: LACIA, 2023

Figura 4.12 Análisis de contenido de sólidos solubles del ensayo 2

En la figura 4.12, se muestran los análisis del contenido de sólidos solubles de las muestras del ensayo 2: AN1 (BP) 89,70 °Brix; AN2 (BPA) 83,78 °Brix; AN3 (BPM) 92,80 °Brix y AN4 (BPK) 92,80 °Brix.



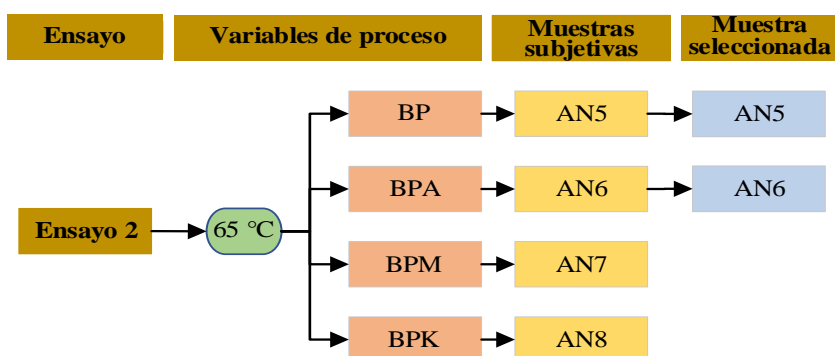
Fuente: LACIA, 2023

Figura 4.13 Análisis de pH del ensayo 2

En la figura 4.13, se muestran los análisis del pH de las muestras del ensayo 2: AN1 (BP) 4,3244; AN2 (BPA) 4,2772; AN3 (BPM) 5,1021 y AN4 (BPK) 4,9843.

4.2.1.2.3 Selección de las muestras preliminares de ajo negro del ensayo 2

En la figura 4.14, se puede observar las muestras mejor valoradas del ensayo 2, tomando en cuenta los parámetros fisicoquímicos analizados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Muestras seleccionadas del ensayo 2

Según los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados, se puede concluir que las muestras mejor valoradas del ensayo 2 son las muestras AN5 Y AN6 con sus tipos de cobertura correspondientes (BP y BPA) respectivamente, ya que son las muestras cuyos resultados obtenidos en cuanto a la determinación de pH, guardan relación con

los de la muestra patrón (ANP) mostrada en el anexo A. Sin embargo, las muestras del ensayo 2 no fueron incluidas dentro del diseño experimental por las siguientes razones: el tiempo en el que logran el pardeamiento completo dentro de la etapa de fermentación es extremadamente largo y no logran presentar las características propias de la muestra patrón (ANP), siendo esta, la razón por la cual tampoco se procedió a analizar algunos parámetros fisicoquímicos como acidez titulable y azúcares reductores.

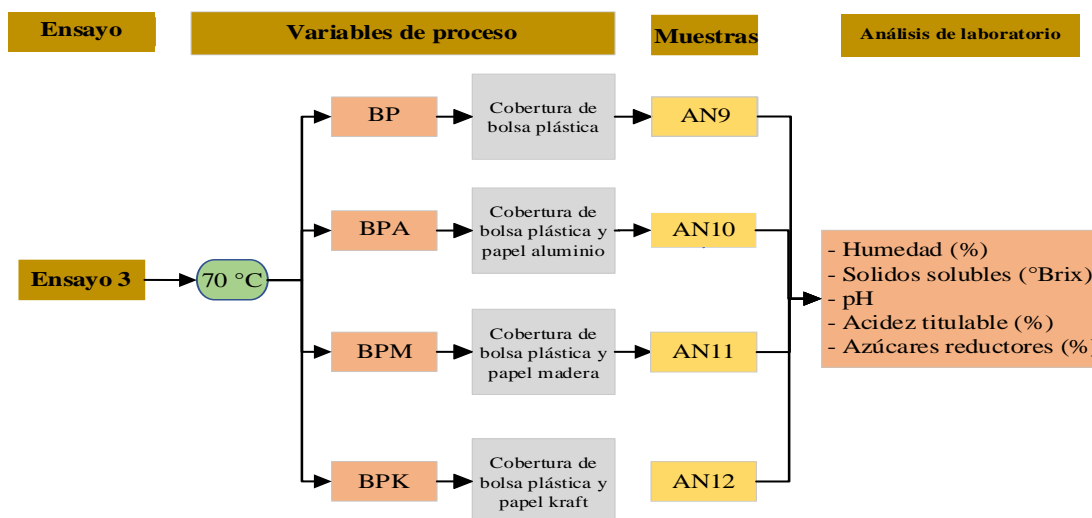
4.2.1.3 Pruebas preliminares del tipo de cobertura para el ensayo 3

Para la realización de las pruebas preliminares del ensayo 3, se procedió a elaborar cuatro muestras, las cuales fueron obtenidas a temperatura constante de 70 °C y por medio de cuatro distintos tipos de cobertura (BP, BPA, BPM y BPK), dentro de la cámara experimental de fermentación la cual se detalla en el anexo G. Posteriormente, se realizó análisis de laboratorio (humedad, sólidos solubles, pH, acidez y azúcares reductores); con la finalidad de seleccionar las muestras cuyas características fisicoquímicas se asemejaron más a las de la muestra patrón (ANP), las cuales se muestran en la tabla 4.5, con datos extraídos del anexo A.

4.2.1.3.1 Análisis fisicoquímico de las muestras del ensayo 3

Se procedió a realizar análisis fisicoquímicos de laboratorio para determinar los parámetros de: humedad, contenido de acidez titulable, sólidos solubles, pH y contenido de azúcares reductores en cada una de las muestras del ensayo 3, dichos análisis fisicoquímicos se tomaron como apoyo para sustentar la selección del tipo de cobertura como variable de proceso para la obtención de ajo negro. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) y el Laboratorio Académico de la carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), y se pueden apreciar en el (Anexo A).

En la figura 4.15 se muestra los análisis de laboratorio realizados en las muestras del ensayo 3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Análisis de laboratorio de las muestras del ensayo 3

En la tabla 4.8, se observan los resultados de los análisis fisicoquímicos determinados en las muestras de ajo negro obtenidos en el ensayo 3.

Tabla 4.8

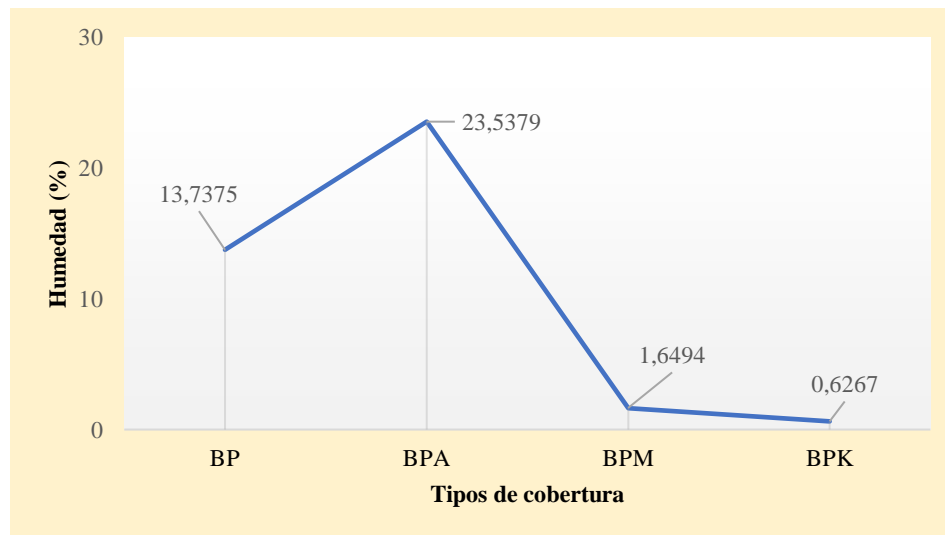
Análisis fisicoquímicos de las muestras del ensayo 3

Muestras	Parámetros fisicoquímicos analizados				
	Humedad (%)	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Acidez (%)*	Azúcares reductores (%)*
AN9	13,7375	84,84	4,7862	1,14	6,25
AN10	23,5379	72,51	4,5305	1,52	15,97
AN11	1,6494	96,80	5,3502	1,25	7,68
AN12	0,6267	98,32	5,2405	1,20	8,10

Fuente: LACIA, 2023; CEANID,2023*

4.2.1.3.2 Representación gráfica de los análisis fisicoquímicos del ensayo 3

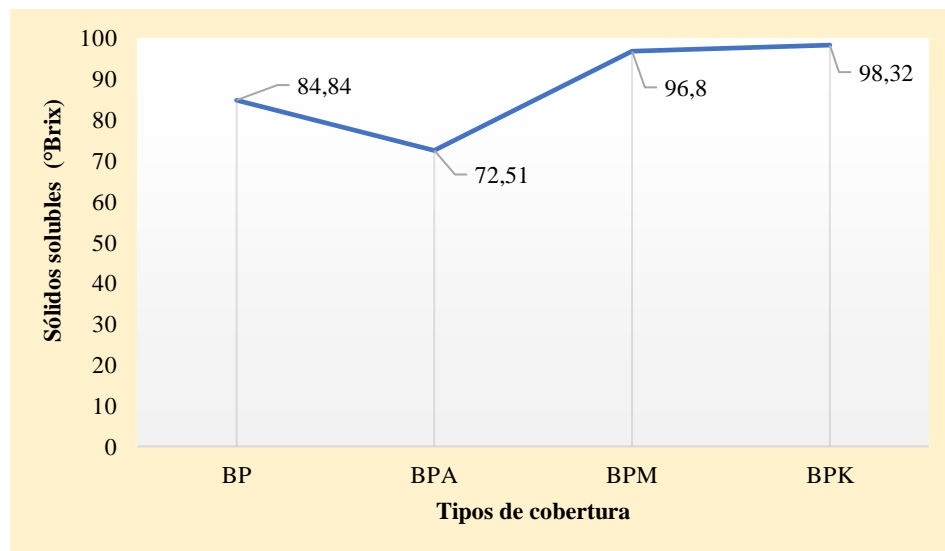
La representación gráfica de los análisis fisicoquímicos de las muestras del ensayo 3 se realizó con la finalidad de compararlos con los resultados del análisis fisicoquímico de la muestra patrón (ANP), datos extraídos de la tabla 4.5.



Fuente: LACIA, 2023

Figura 4.16 Análisis de contenido de humedad del ensayo 3

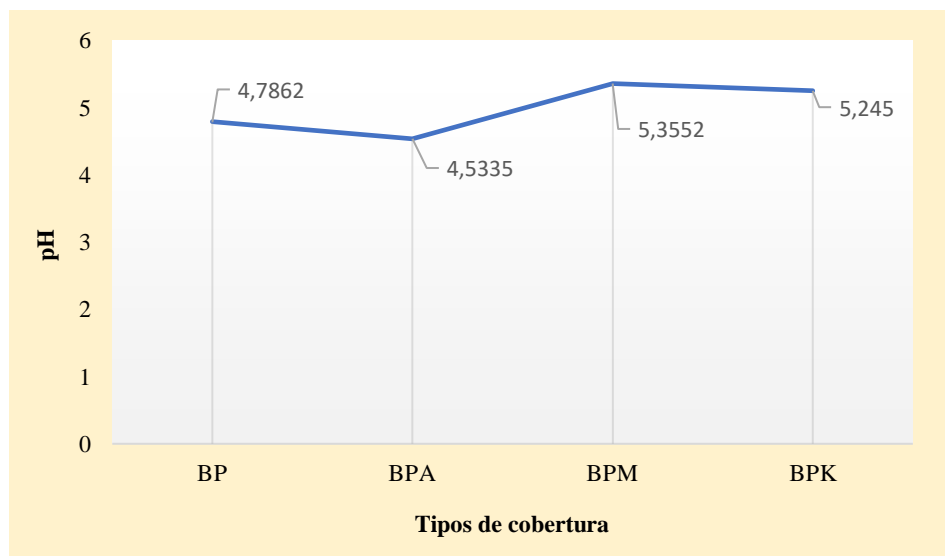
En la figura 4.16, se muestran los análisis del contenido de humedad de las muestras del ensayo 3: AN9 (BP) 13,7375 %; AN10 (BPA) 23,5379 %; AN11 (BPM) 1,6494 % y AN12 (BPK) 0,6267 %.



Fuente: LACIA, 2023

Figura 4.17 Análisis de contenido de sólidos solubles del ensayo 3

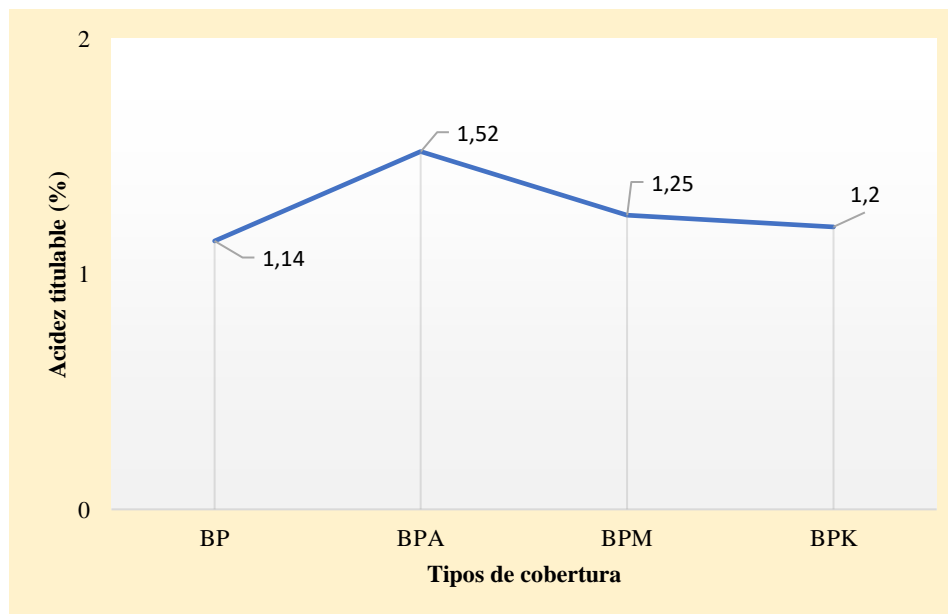
En la figura 4.17, se muestran los análisis del contenido de sólidos solubles de las muestras del ensayo 3: AN9 (BP) 84,84 °Brix; AN10 (BPA) 72,51 °Brix; AN11 (BPM) 96,8 °Brix y AN12 (BPK) 98,32 °Brix.



Fuente: LACIA, 2023

Figura 4.18 Análisis de pH del ensayo 3

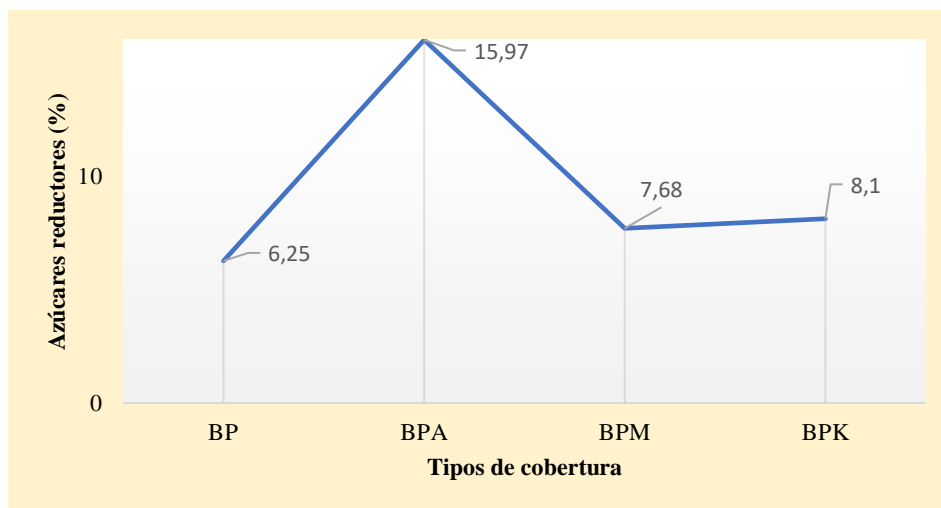
En la figura 4.18, se muestran los análisis del pH de las muestras del ensayo 3: AN9 (BP) 4,7862; AN10 (BPA) 4,5335; AN11 (BPM) 5,3552 y AN12 (BPK) 5,2450.



Fuente: CEANID, 2023

Figura 4.19 Análisis de contenido de acidez titulable del ensayo 3

En la figura 4.19, se muestran los análisis del contenido de acidez titulable de las muestras del ensayo 3: AN9 (BP) 1,14 %; AN10 (BPA) 1,52 %; AN11 (BPM) 1,25 % y AN12 (BPK) 1,20 %.



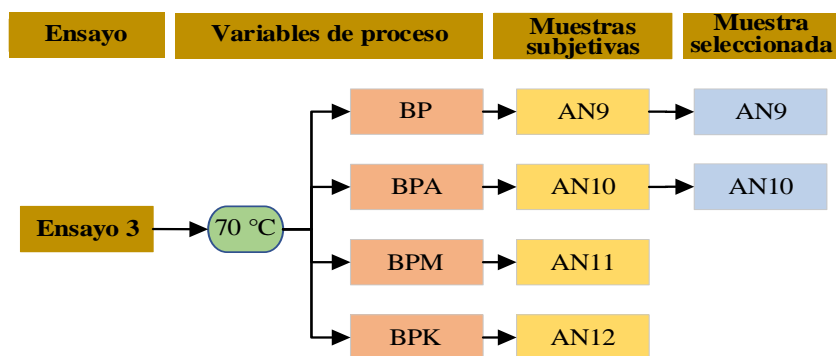
Fuente: CEANID, 2023

Figura 4.20 Análisis de azúcares reductores del ensayo 3

En la figura 4.20, se muestran los análisis del contenido de azúcares reductores de las muestras del ensayo 3: AN9 (BP) 6,25 %; AN10 (BPA) 15,97 %; AN11 (BPM) 7,68 % y AN12 (BPK) 8,10 %.

4.2.1.3.3 Selección de las muestras preliminares de ajo negro en el ensayo 3

En la figura 4.21 se puede observar las muestras mejor valoradas del ensayo 3, tomando en cuenta los parámetros fisicoquímicos analizados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21 Muestras seleccionadas del ensayo 3

Según los resultados graficados en la figura 4.21, se puede concluir que las muestras mejor valoradas del ensayo 3 son las muestras AN9 Y AN10 con sus tipos de cobertura correspondientes (BP y BPA) respectivamente, ya que son las muestras cuyos resultados obtenidos para la determinación de pH, guardan relación con los de la

muestra patrón (ANP) mostrada en el anexo A. Por lo tanto, dichas muestras fueron replicadas y utilizadas como muestras del diseño experimental.

4.3 Diseño factorial 2² en las variables del proceso fermentativo de ajo negro

Para determinar que variable influye en mayor medida en el proceso fermentativo de ajo negro, se procedió a realizar pruebas de manera experimental para las variables: temperatura (A) en un rango entre 70 – 75 °C y tipo de cobertura (B) en un rango entre (BP – BPA) y como variables respuesta el contenido de azúcares reductores (%), acidez (%) y pH.

4.3.1 Análisis de varianza en el tratamiento fermentativo de la variable respuesta azúcares reductores

En base al diseño factorial 2² aplicado en el proceso fermentativo de ajo negro mostrado en la tabla 3.3, se realizó el análisis de varianza en función de la variable respuesta del contenido de azúcares reductores (%) mostrada en la tabla 4.9. En base a los resultados obtenidos del programa STATGRAPHICS Centurión XVI para Windows y son detallados en el anexo F.1.

Tabla 4.9

Análisis de varianza de la variable respuesta de azúcares reductores

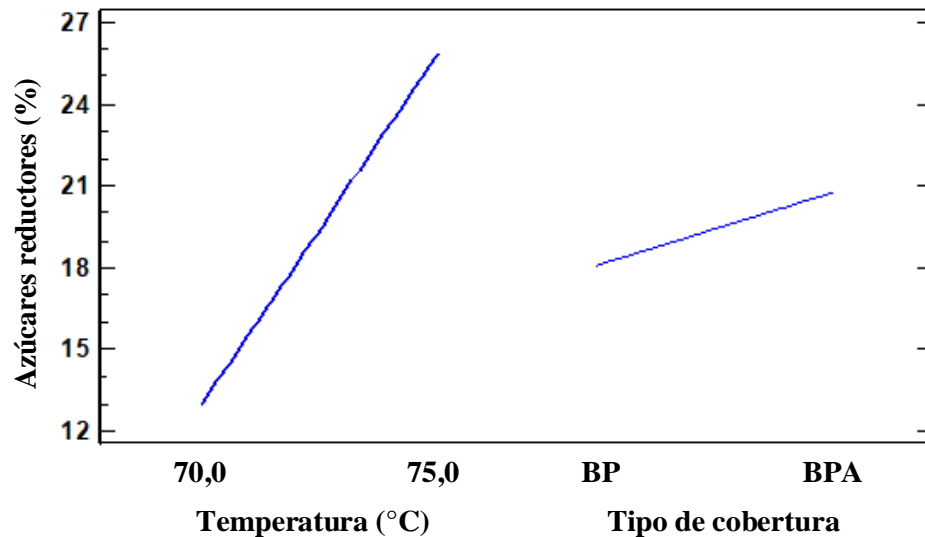
Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)	Razón-F	Razón-P
A: Temperatura	332,9490	1	332,9490	13,69	0,0208
B: Tipo de cobertura	14,1778	1	14,1778	0,58	0,4877
AB	47,7753	1	47,7753	1,96	0,2337
Error total	97,2817	4	24,3204		
Total	492,1840	7			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.9, se observa que las variables: temperatura (A) y tipo de cobertura (B), además de la interacción de ambas variables (AB), son estadísticamente significativas en las variables del proceso fermentativo de ajo negro, ya que razón-F > razón-P, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

De acuerdo al diseño factorial 2² realizado, aplicado a las variables de proceso fermentativo de ajo negro, se puede observar que las variables: temperatura (A), tipo

de cobertura (B) y la interacción (AB), son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. En la figura 4.22, se observa los efectos principales de las variables: temperatura (A) y método de recubrimiento (B) con relación al contenido de azúcares reductores de las muestras de ajo negro.

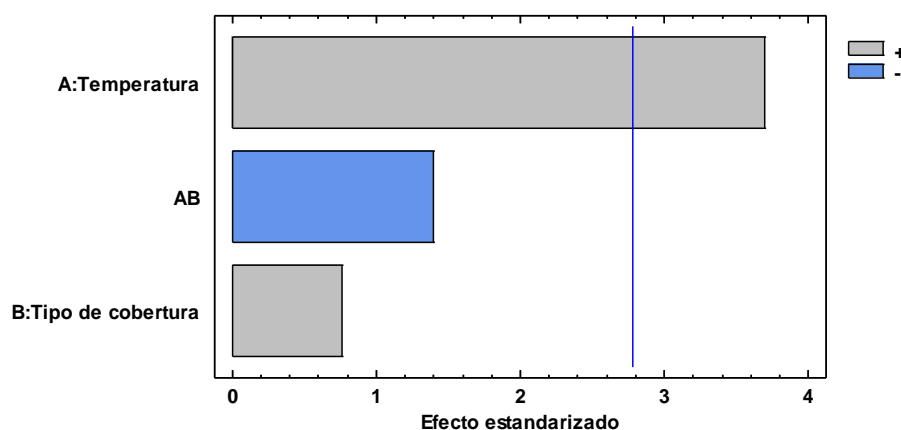


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22 Efectos principales para azúcares reductores

En la figura 4.22, se muestra que la variable (A), temperatura entre (70 – 75) °C, es la que incide más significativamente en el contenido de azúcares reductores del ajo negro en un nivel alto y bajo, a comparación de la variable (B), tipo de cobertura (BP – BPA), que incide significativamente en el contenido de azúcares reductores, pero en menor proporción en un nivel alto y bajo.

En la figura 4.23, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de las variables tomadas en cuenta para el diseño experimental, las cuales, están ordenadas de mayor a menor de datos extraídos del anexo F.1. En donde, línea vertical de referencia es la que determina la significancia estadística con un valor 2,79. Por lo tanto, los efectos que sobrepasan la línea, son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23 Diagrama de Pareto estandarizado para azúcares reductores

En la figura 4.23, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente. La variable: temperatura (A), es estadísticamente significativa; debido a que la barra del factor sobrepasa la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Mientras que la variable: tipo de cobertura (B) y la interacción (AB) no son estadísticamente significativas.

4.3.2 Análisis de varianza en el tratamiento fermentativo de la variable respuesta acidez titulable

En base al diseño factorial 2^2 aplicado en el proceso fermentativo de ajo negro mostrado en la tabla 3.3, se realizó el análisis de varianza en función de la variable respuesta del contenido de acidez titulable (%) mostrada en la tabla 4.10. En base a los resultados obtenidos del programa STATGRAPHICS Centurión XVI para Windows y son detallados en el (Anexo F.2)

Tabla 4.10

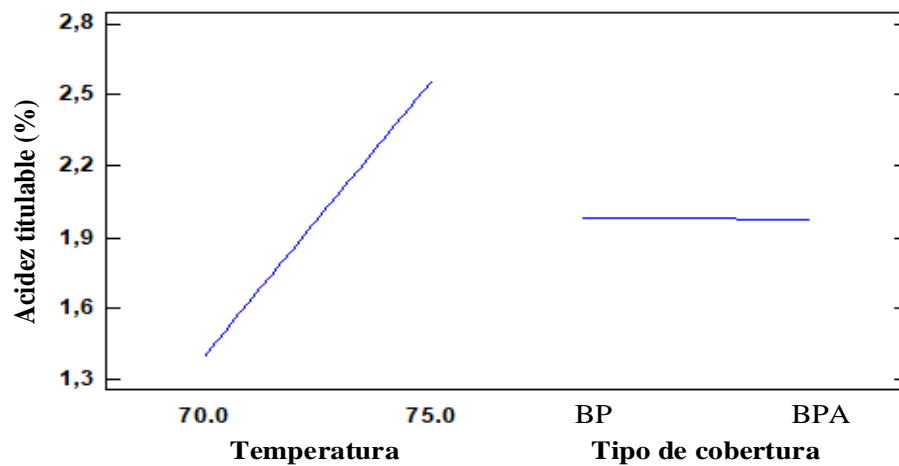
Análisis de varianza de la variable respuesta de acidez titulable

Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)	Razón-F	Razón-P
A: Temperatura	2,69120	1	2,69120	9,63	0,0361
B: Tipo de cobertura	0,00005	1	0,00005	0,00	0,9900
AB	0,13520	1	0,13520	0,48	0,5251
Error total	1,11830	4	0,27958		
Total	3,94475	7			

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4.10, muestra que la variable temperatura (A) es estadísticamente significativa en las variables de proceso fermentativo de ajo negro, ya que razón-F > razón-P, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Sin embargo, la variable tipo de cobertura (B) y la interacción de ambas variables (AB) no son estadísticamente significativas en las variables del proceso fermentativo de ajo negro ya que Razón-F < Razón-P, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

De acuerdo al diseño factorial 2^2 realizado, aplicado a las variables del proceso fermentativo de ajo negro, se puede observar que la variable temperatura (A) es estadísticamente significativa. Sin embargo, la variable tipo de cobertura (B) y la interacción (AB) no son estadísticamente significativas, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. En la figura 4.24, se observa los efectos principales de las variables: temperatura (A) y tipo de cobertura (B) con relación al contenido de acidez titulable de las muestras de ajo negro.

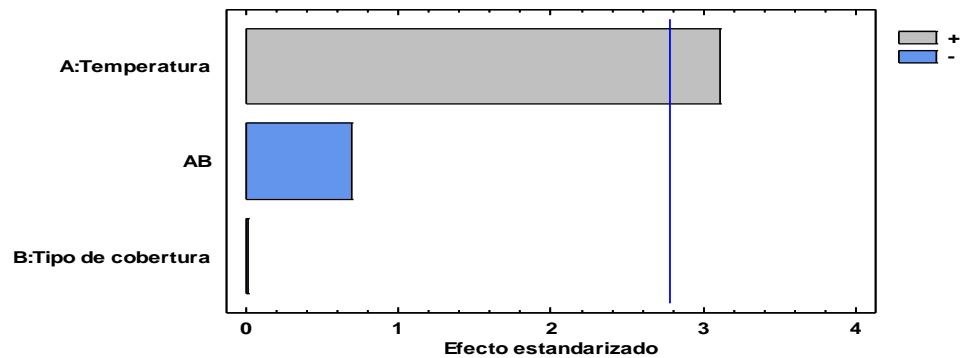


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24 Efectos principales para acidez titulable

En la figura 4.24, se muestra que la variable (A), temperatura entre (70 – 75 °C), es la que incide más significativamente en el contenido de acidez titulable del ajo negro en un nivel alto y bajo, a comparación de la variable (B), tipo de cobertura (BP – BPA), que no incide significativamente en el contenido de acidez titulable en un nivel alto y bajo.

En la figura 4.25, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de las variables tomadas en cuenta para el diseño experimental, las cuales, están ordenadas de mayor a menor de datos extraídos del anexo F.2. En donde, la línea vertical de referencia es la que determina la significancia estadística con un valor 2,79. Por lo tanto, los efectos que sobrepasan la línea, son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25 Diagrama de Pareto estandarizado para acidez titulable

En la figura 4.25, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente. La variable temperatura (A), es estadísticamente significativa; debido a que la barra del factor sobrepasa la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Mientras que la variable tipo de cobertura (B) y la interacción (AB) no son estadísticamente significativas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.3 Analisis de varianza en el proceso fermentativo de la variable respuesta pH

En base al diseño factorial 2^2 aplicado en el proceso fermentativo de ajo negro mostrado en la tabla 3.3, se realizó el analisis de varianza en función de la variable respuesta del pH tabla 4.11. En base a los resultados obtenidos del programa STATGRAPHICS Centurión XVI para Windows y son detallados en el anexo F.3.

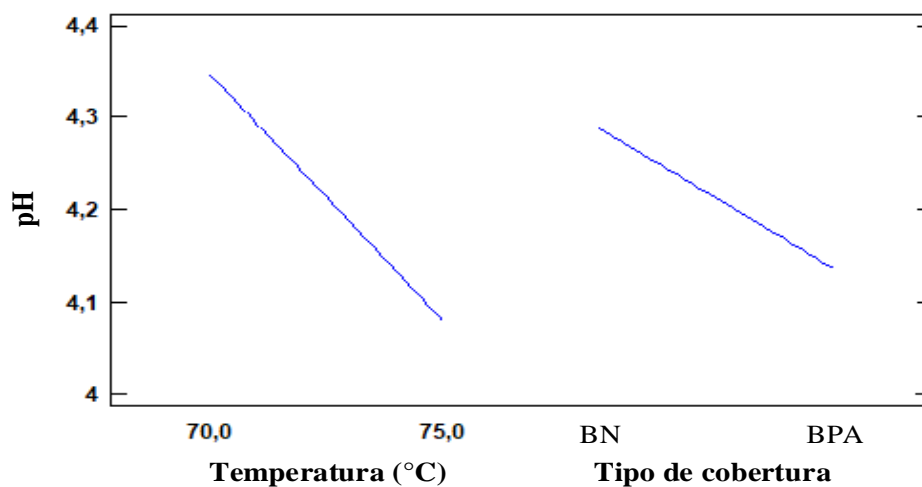
Tabla 4.11*Análisis de varianza de la variable respuesta de pH*

Fuente de variación (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)	Razón-F	Razón-P
A: Temperatura	0,142098	1	0,142098	1,05	0,3641
B: Tipo de cobertura	0,045120	1	0,045120	0,33	0,5951
AB	0,017057	1	0,017057	0,13	0,7409
Error total	0,542931	4	0,135733		
Total	0,747206	7			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.11, se observa que la variable temperatura (A) es estadísticamente significativa en las condiciones de trabajo del proceso fermentativo de ajo negro, ya que razón-F > razón-P, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Sin embargo, la variable tipo de cobertura (B) y la interacción de ambas variables (AB) no son estadísticamente significativas en las condiciones de trabajo del proceso fermentativo de ajo negro, ya que razón-F < razón-P, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

De acuerdo al diseño factorial 2^2 realizado, aplicado a las variables de proceso de obtención de ajo negro, se puede observar que la variable temperatura (A) es estadísticamente significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Sin embargo, la variable tipo de cobertura (B) y la interacción (AB) no son estadísticamente significativas, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. En la figura 4.26, se observa los efectos principales de las variables: temperatura (A) y método de recubrimiento (B) con relación al pH de las muestras de ajo negro.

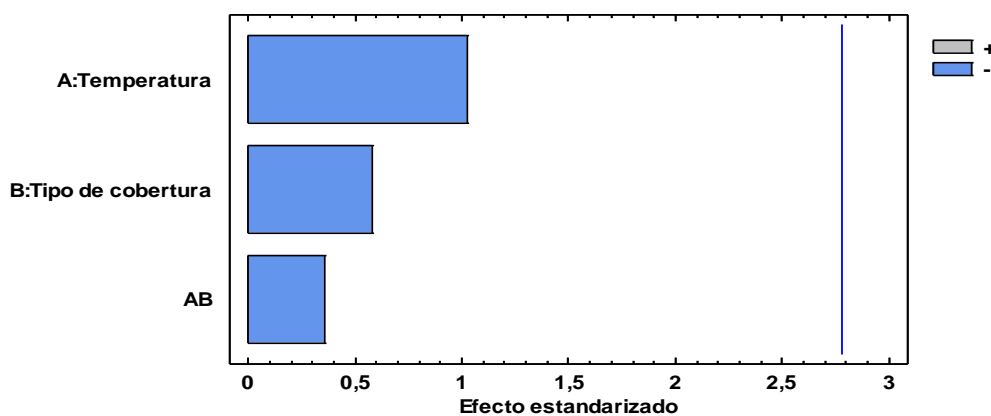


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26 Efectos principales para pH

En la figura 4.26, se muestra que la variable (A), temperatura entre (70 – 75) °C y la variable (B), tipo de cobertura (BP – BPA) no inciden significativas en el pH en un nivel alto y bajo.

En la figura 4.27, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de las variables tomadas en cuenta para el diseño experimental, las cuales, están ordenadas de mayor a menor de datos extraídos del anexo F.3. En donde, la línea vertical de referencia es la que determina la significancia estadística con un valor 2,79. Por lo tanto, los efectos que sobrepasan la línea, son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27 Diagrama de Pareto estandarizada para pH

En la figura 4.27, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente. Las variables: temperatura: (A), tipo de cobertura (B) y su interacción (AB) no son estadísticamente significativas; debido a que ninguna de las barras de los factores sobrepasa la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4 Evaluación sensorial de muestras experimentales para el factor temperatura

Se realizó una evaluación sensorial de las muestras experimentales para corroborar si existen diferencias o no entre las muestras para el factor temperatura, utilizando una escala hedónica de siete puntos con jueces no entrenados. En la tabla 4.12, se detallan las cuatro muestras experimentales para la realización de la evaluación sensorial.

Tabla 4.12

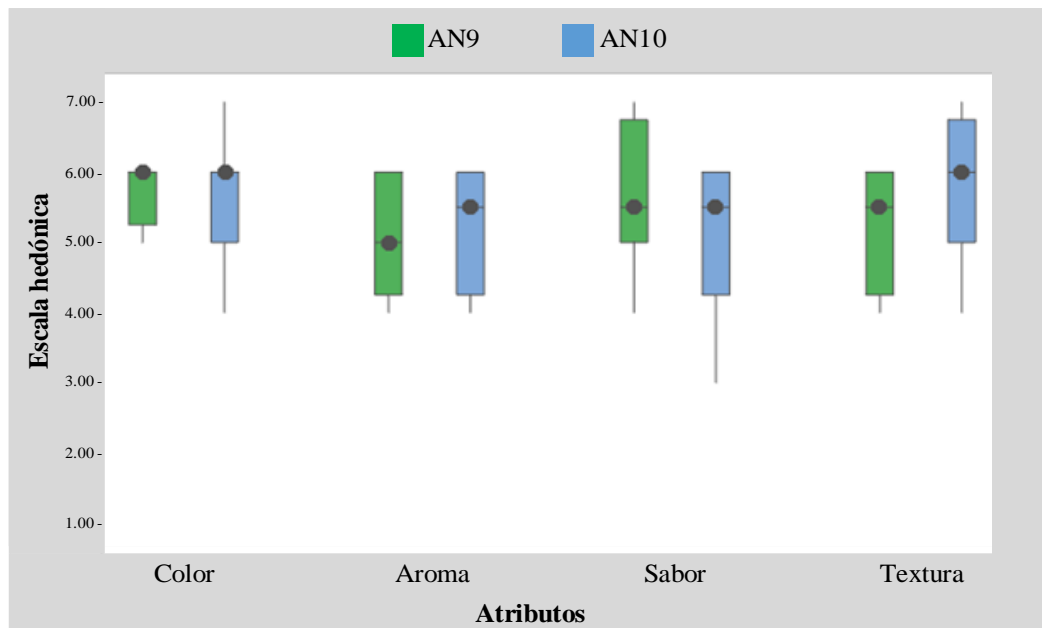
Muestras del diseño experimental

Muestras	Temperatura (°C)	Nivel	Tipo de cobertura
AN9	70	(-1)	BP (Bolsa plástica)
AN10	70	(-1)	BPA (Bolsa con papel aluminio)
AN1	75	(1)	BP (Bolsa plástica)
AN2	75	(1)	BPA (Bolsa con papel aluminio)

Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Estadístico caja y bigote para las muestras experimentales del nivel inferior del factor temperatura

En la figura 4.28, se puede observar el estadístico de caja y bigote para las muestras experimentales del nivel inferior del factor temperatura de datos extraídos del anexo D, para los atributos: color, aroma, sabor y textura.



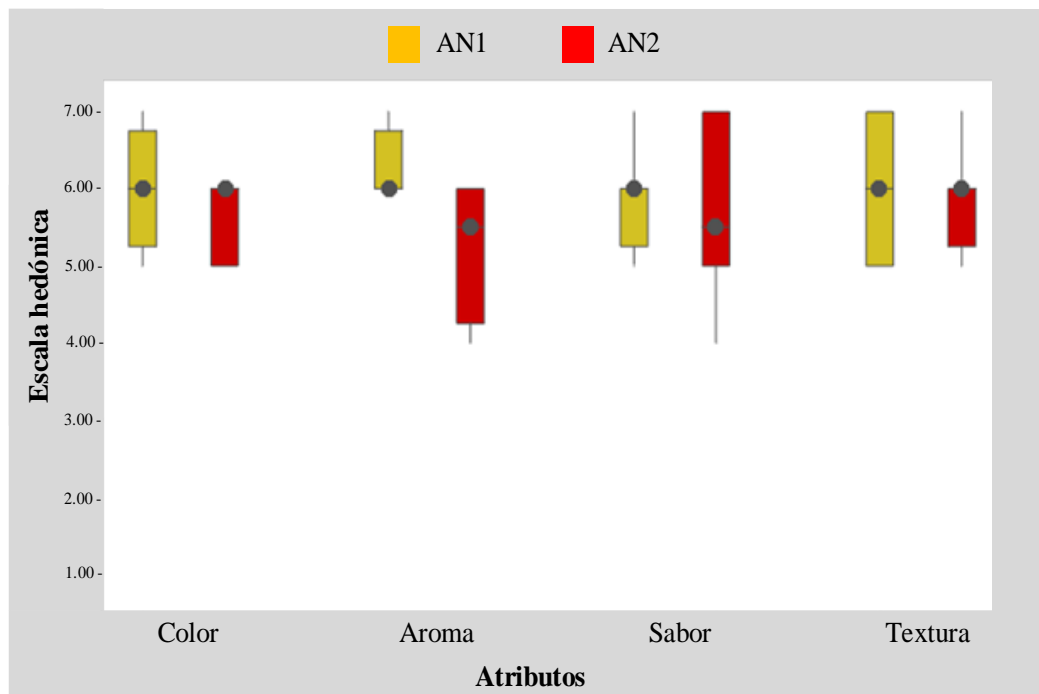
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28 Estadístico caja y bigote para el nivel inferior del factor temperatura

De acuerdo a la figura 4.28, se muestra la caja y bigote de las dos muestras evaluadas en función de los atributos donde los resultados en función de la mediana y posición de la caja: color 6,00 (AN9); aroma 5,25 (AN10); sabor 5,62 (AN9); Textura 5,75 (AN10). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa entre los atributos color, aroma, sabor y textura para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4.2 Estadístico de caja y bigote de las muestras experimentales del nivel superior del factor temperatura

en la figura 4.29, se muestra el estadístico de caja y bigote para las muestras experimentales del nivel superior del factor temperatura, extraídos del anexo D, para los atributos: color, aroma, sabor y textura.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29 Estadístico caja y bigote para el nivel superior del factor temperatura

En la figura 4.29, se muestra la caja y bigote de las dos muestras evaluadas en función de la mediana y posición de la caja: color 6,00 (AN1); aroma 6,00 (AN1); sabor 5,88 (AN1); textura 6,00 (AN1). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza, se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa en los atributos color, aroma, sabor y textura para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

De acuerdo al análisis estadístico de varianza para el nivel superior, se procedió a elegir la muestra (AN1); ya que presentó mayor aceptación por parte de los jueces en los atributos color, aroma, sabor y textura.

4.5 Caracterización del ajo negro

Para la caracterización del ajo negro, se tomaron en cuenta los análisis fisicoquímicos, de minerales y microbiológicos, y se detallan a continuación:

4.5.1 Análisis fisicoquímico del ajo negro

En la tabla 4.13, se muestra los resultados del análisis fisicoquímico del ajo negro, extraídos del anexo A.

Tabla 4.13*Análisis fisicoquímico del ajo negro*

Componentes	Unidad	Resultados
Ceniza	%	2,34
Fibra	%	1,36
Grasa	%	0,02
Hidratos de carbono	%	52,77
Humedad	%	34,96
Proteína total (Nx6,25)	%	9,91
Valor energético	Kcal/100g	250,90
Azúcares totales	%	37,60
Azúcares reductores	%	28,94
Acidez titulable	%	2,31
pH		4,19

Fuente: CEANID, 2023

La tabla 4.13, indica los resultados del análisis fisicoquímico del ajo negro: cenizas 2,34%; fibra 1,36%; grasa 0,02%; hidratos de carbono 52,77%; humedad 34,96%; Proteína total (Nx6,25) 9,91% y valor energético 250,90 Kcal/100g; azúcares totales 37,60%; azúcares reductores 28,94%; acidez titulable 2,31% y pH 4,19.

4.5.2 Análisis de micronutrientes del ajo negro

En la tabla 4.14, se detallan los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes del ajo negro, extraídos del anexo A.

Tabla 4.14*Análisis de micronutrientes del ajo negro*

Minerales	Unidad	Resultados
Calcio	mg/100g	27,1
Sodio	mg/100g	36,3

Fuente: CEANID, 2023

La tabla 4.14, indica los resultados del análisis de minerales del ajo negro: calcio 27,1 mg/100g y sodio 36,3 mg/100g.

4.5.3 Análisis microbiológico del ajo negro

La tabla 4.15 detalla los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos del ajo negro, extraídos del anexo A.

Tabla 4.15

Análisis microbiológico del ajo negro

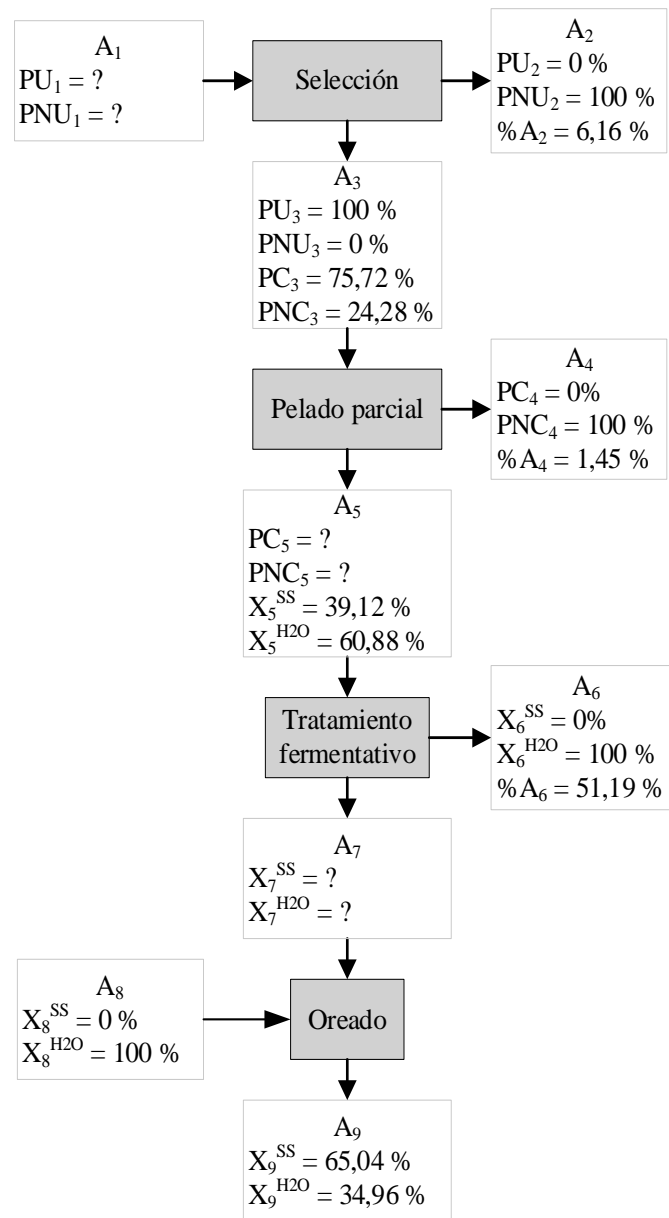
Microorganismos	Unidad	Resultados
Escherichia coli	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Salmonella	P/A/25g	Ausencia
(*) No se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2022

La tabla 4.15, indica los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos del ajo negro: Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ (*); mohos y levaduras $< 1,0 \times 10^1$ (*); y presenta ausencia de salmonella.

4.6 Balance de materia en el proceso de obtención de ajo negro

En la figura 4.30, se muestra el diagrama de flujo en el que se realizó el balance de materia para el proceso la obtención de ajo negro para una cantidad de 1011,28 g de ajo fresco, como base de cálculo.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.30 Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de ajo negro

Donde:

A_1 = Ajo fresco (g)

A_2 = Ajo rechazado (g)

A_3 = Ajo seleccionado (g)

A_4 = Cáscara (g)

A_5 = Ajo parcialmente pelado (g)

A_6 = Agua exudada (g)

A_7 = Ajo negro (g)

A_8 = Vapor de agua absorbida del ambiente (g)

A_9 = Ajo negro oreado (g)

$\%A_2$ = Porcentaje de pérdida en la etapa de selección (%)

$\%A_4$ = Porcentaje de pérdida en la etapa de pelado parcial (%)

$\%A_6$ = Porcentaje de pérdida en la etapa de tratamiento fermentativo (%)

PU_1 = Porción útil de ajo fresco fresco (%)

PNU_1 = Porción no útil del ajo fresco (%)

PU_2 = Porción útil del ajo rechazado (%)

PNU_2 = Porción no útil del ajo rechazado (%)

PU_3 = Porción útil de ajo seleccionado (%)

PNU_3 = Porción no útil de ajo seleccionado (%)

PC_3 = Porción comestible del ajo seleccionado (%)

PNC_3 = Porción no comestible del ajo seleccionado (%)

PC_4 = Porción comestible de la cáscara (%)

PNC_4 = Porción no comestible de la cáscara (%)

PC_5 = Porción comestible del ajo parcialmente pelado (%)

PNC_5 = Porción no comestible del ajo parcialmente pelado

X_5^{SS} = Componentes sólidos del ajo parcialmente pelado (%)

$X_5^{H_2O}$ = Componentes de humedad del ajo parcialmente pelado (%)

X_6^{SS} = Componentes sólidos del agua exudada (%)

$X_6^{H_2O}$ = Componentes de humedad del agua exudada (%)

X_7^{SS} = Componentes sólidos del ajo negro (%)

$X_7^{H_2O}$ = Componentes de humedad del ajo negro (%)

X_8^{SS} = Componentes sólidos del agua absorbida (%)

$X_8^{H_2O}$ = Componentes de humedad del agua absorbida (%)

X_9^{SS} = Componentes sólidos del ajo negro oreado (%)

$X_9^{H_2O}$ = Componentes de humedad del ajo negro oreado (%)

E_{Gi} = Entalpia inicial del aire de la cámara (kJ /kg de aire seco)

E_{Gf} = Entalpia final del aire dentro de la cámara (kJ /kg de aire seco)

E_{A7} = Entalpia del ajo fresco (kJ/ Kg sólido seco)

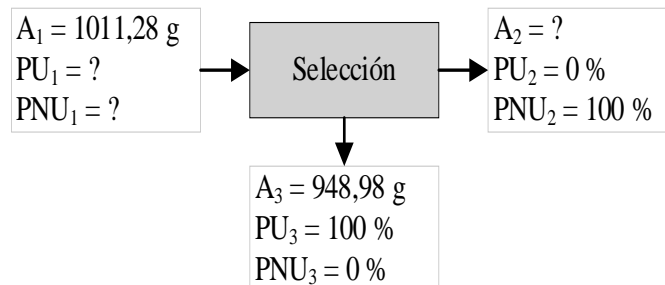
E_{A9} = Entalpia del ajo negro (kJ/ Kg sólido seco)

Q_{cob} = Calor de la cobertura (KJ)

Q_v = calor de vaporización del agua del ajo (KJ)

4.6.1 Balance de materia en la etapa de selección

En la figura 4.31, se muestra el balance de materia en la etapa de selección con una cantidad de 1011,28 g de ajo fresco.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31 Etapa de selección

Balance general de materia en la etapa de selección

$$A_1 = A_2 + A_3 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Balance de materia para la porción útil en la etapa de selección

$$A_1 \text{ PU}_1 = A_2 \text{ PU}_2 + A_3 \text{ PU}_3 \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Despejando PU_1 en la ecuación 4.2

$$\text{PU}_1 = \frac{A_3 \text{ PU}_3}{A_1}$$

$$\text{PU}_1 = \frac{948,98 \text{ g} * 100\%}{1011,28 \text{ g}}$$

$$\text{PU}_1 = 93,84\%$$

Calculando PUN_1

$$\text{PUN}_1 = 100\% - 93,84\%$$

$$\text{PUN}_1 = 6,16\%$$

Balance de materia para la porción no útil en la etapa de selección

$$A_1 \text{ PNU}_1 = A_2 \text{ PNU}_2 + A_3 \text{ PNU}_3 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Despejando A_2 y reemplazando valores

$$A_2 = \frac{A_1 \text{ PNU}_1}{\text{PNU}_2}$$

$$A_2 = \frac{1011,28 \text{ g} * 6,16\%}{100\%}$$

$$A_2 = 62,3 \text{ g}$$

Cantidad en porcentaje de pérdida en la etapa de selección

$$\% A_2 = \frac{A_2 * 100\%}{A_1} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

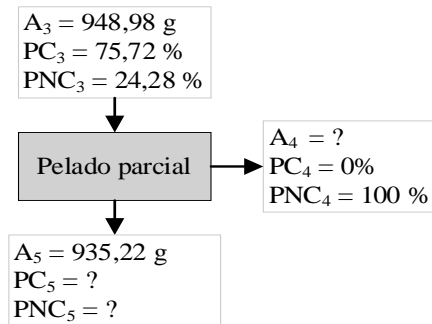
reemplazando datos en la ecuación 4.4, se obtiene:

$$\% A_2 = \frac{62,3 \text{ g} * 100\%}{1011,28 \text{ g}}$$

$\% A_2 = 6,16 \%$ de pérdida en la etapa de selección

4.6.2 Balance de materia en la etapa de pelado parcial

En la figura 4.32, se muestra la etapa de pelado parcial del ajo clasificado, la cual se realizó con 948,98 g de ajo clasificado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32 Etapa de pelado parcial

Balance general de materia en la etapa de pelado parcial

$$A_3 = A_4 + A_5 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Balance de materia para la porción comestible en la etapa de pelado parcial

$$A_3 PC_3 = A_4 PC_4 + A_5 PC_5 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Despejando PC_5 en la ecuación 4.6

$$PC_5 = \frac{A_3 PC_3}{A_5}$$

$$PC_5 = \frac{948,98 \text{ g} * 75,72 \%}{935,22 \text{ g}}$$

$$PC_5 = 76,83 \%$$

Calculando PNC_5

$$PNC_5 = 100\% - 76,83\%$$

$$PNC_5 = 23,17 \%$$

Balance de materia para la porción no comestible en la etapa de pelado parcial

$$A_3 PNC_3 = A_4 PNC_4 + A_5 PNC_5 \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Despejando A_4 y reemplazando datos en la ecuación 4.7, se obtiene:

$$A_4 = \frac{A_3 PNC_3 - A_5 PNC_5}{PNC_4}$$

$$A_4 = \frac{948,98 \text{ g} * 24,28\% - 935,22 \text{ g} * 23,17\%}{100\%}$$

$$A_4 = 13,72 \text{ g}$$

Cantidad en porcentaje de pérdida en la etapa de pelado parcial

$$\% A_4 = \frac{A_4 * 100\%}{A_3} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

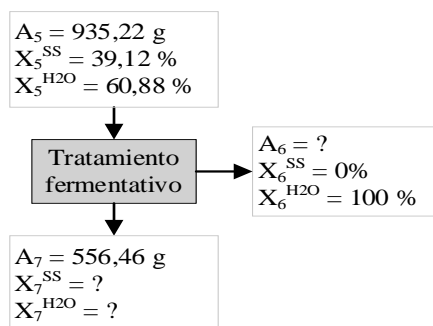
reemplazando datos en la ecuación 4.8, obtenemos:

$$\% A_4 = \frac{13,72 \text{ g} * 100\%}{948,48 \text{ g}}$$

$\% A_4 = 1,45\%$ pérdida en la etapa de selección

4.6.3 Balance de materia en la etapa de tratamiento fermentativo

En la figura 4.33, se muestra la etapa de tratamiento fermentativo del ajo acondicionado donde se realizó con 935, 22 g de ajo acondicionado con un contenido de humedad de 60,88 % que fue determinada en el Centro de Análisis, Investigación y desarrollo (CEANID), dato extraído del anexo A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33 Etapa de tratamiento fermentativo

Balance de materia general en la etapa de tratamiento fermentativo

$$A_5 = A_6 + A_7 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Balance de materia por componentes sólidos en la etapa de tratamiento fermentativo

$$A_5 X_5^{SS} = A_6 X_6^{SS} + A_7 X_7^{SS} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Despejando X_7^{SS} en la ecuación 4.10

$$X_7^{SS} = \frac{A_5 X_5^{SS}}{A_7}$$

$$X_7^{SS} = \frac{935,22 \text{ g} * 39,12 \%}{556,46 \text{ g}}$$

$$X_7^{SS} = 65,75\%$$

Calculando $X_7^{H_2O}$

$$X_7^{H_2O} = 100\% - 65,75\%$$

$$X_7^{H_2O} = 34,25 \%$$

Balance de materia por componentes líquidos en la etapa de tratamiento fermentativo

$$A_5 X_5^{H_2O} = A_6 X_6^{H_2O} + A_7 X_7^{H_2O} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Despejando A_6 y reemplazando datos en la ecuación 4.11, se obtiene:

$$A_6 = \frac{A_5 X_5^{H_2O} - A_7 X_7^{H_2O}}{X_6^{H_2O}}$$

$$A_6 = \frac{935,22 \text{ g} * 60,88\% - 556,46 \text{ g} * 34,25 \%}{100 \%}$$

$$A_6 = 478,77 \text{ g}$$

Cantidad en porcentaje de pérdida en la etapa de tratamiento fermentativo

$$\% A_6 = \frac{A_6 * 100\%}{A_5} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

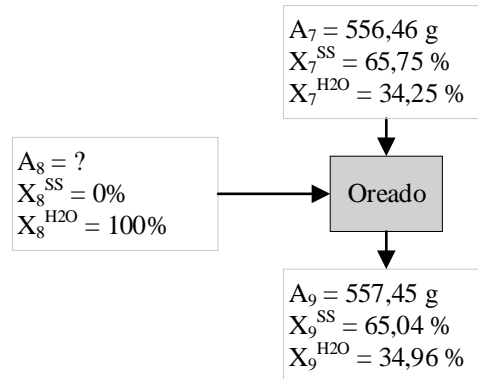
reemplazando datos en la ecuación 4,12, se obtiene:

$$\% A_6 = \frac{478,77 \text{ g} * 100\%}{935,22}$$

$$\% A_6 = 51,19 \% \text{ pérdida en la etapa de tratamiento fermentativo}$$

4.6.4 Balance de materia en la etapa de oreado

En la figura 4.34, se muestra la etapa de oreado del ajo negro, donde se realizó con 556,46 g de ajo negro y finalizó con 550,45 g de ajo negro oreado con un contenido de humedad de 34,96 % que fue determinada en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), de datos extraídos del anexo A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34 Etapa de oreado

Balance de materia general en la etapa de oreado

$$A_7 + A_8 = A_9 \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Despejando A8 de la ecuación 4.13

$$A_8 = A_9 - A_7 \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.14, se obtiene:

$$A_8 = 557,45 \text{ g} - 556,46 \text{ g}$$

$$A_8 = 0,99 \text{ g}$$

4.6.5 Rendimiento general del proceso

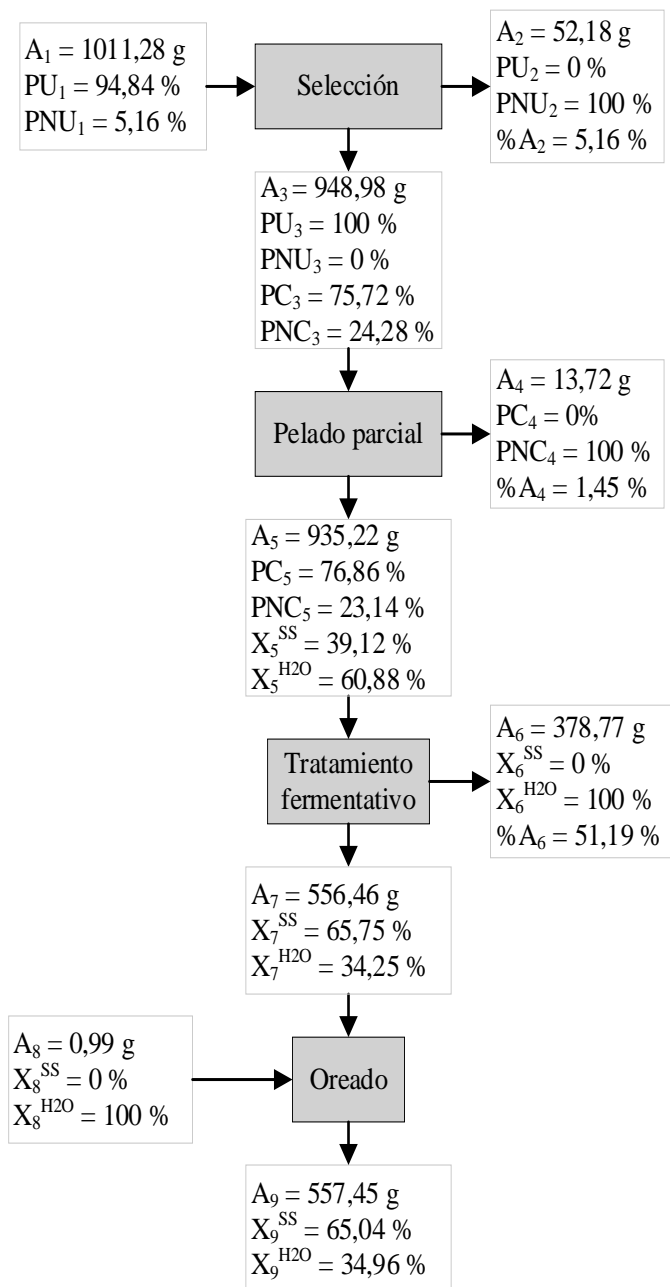
$$\% \mathbf{R} = \frac{\text{Peso del producto final (g)}}{\text{Peso de la materia prima (g)}} * 100$$

$$\% \mathbf{R} = \frac{557,45 \text{ g}}{1011,28 \text{ g}} * 100$$

$$\% \mathbf{R} = 55,12 \%$$

4.6.6 Resumen general del balance de materia para el proceso de obtención de ajo negro

En la figura 4.35, se muestra el resumen general del proceso para la obtención de ajo negro.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35 Resumen general de balance de materia

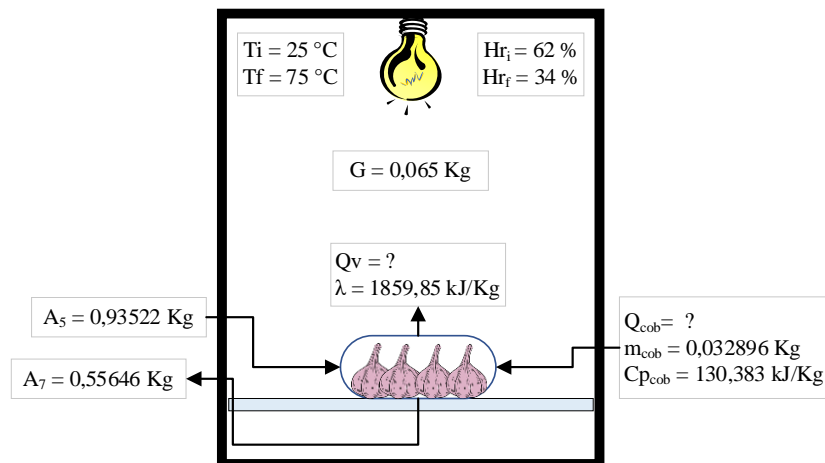
4.7 Balance de energía en el proceso de obtención de ajo negro

El balance de energía se realizó en la etapa de tratamiento fermentativo de los bulbos acondicionados de ajo fresco, tomando en cuenta los factores temperatura (75 °C) y tipo de cobertura (BP).

4.7.1 Balance de energía en la etapa de tratamiento fermentativo

Para el balance de energía, se realizó en la etapa de tratamiento fermentativo, utilizando la cámara de fermentación anexo G y se tomó como base de cálculo una cantidad de 935,22 g de ajo fresco acondicionado. Los cálculos son detallados en base a las condiciones ambientales de la ciudad de Tarija de altura: 1866 msnm (Zrazhevsky, 2018) y presión atmosférica: 609 mmHg (Jiménez 2022).

Para realizar el balance de energía, se consideró que existe una pérdida significativa de agua de los bulbos (434,89 g) y que el aire dentro de la cámara de fermentación no se encuentra en movimiento. En la figura 4.36, se muestra el balance de energía en la etapa de tratamiento fermentativo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36 Balance de energía en la etapa de tratamiento fermentativo

Balance combinado de materia y energía en el proceso de fermentación, se describe en la ecuación 4.15, según (Singh y Heldman, 2009).

$$A_5 E_{A5} + G_i E_{G_i} + Q_C + Q_P = A_7 E_{A7} + G_f E_{G_f} + Q_v \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Donde:

$G_i = G_f = G$ = Masa de aire dentro de la cámara de fermentación (Kg)

E_{Gi} = Entalpia inicial del aire de la cámara (kJ /kg de aire seco)

E_{Gf} = Entalpia final del aire dentro de la cámara de fermentación (kJ /kg de aire seco)

A = Masa del alimento (Kg sólido seco)

A_5 = Ajo parcialmente pelado (Kg)

A_7 = Ajo negro (Kg)

E_{A5} = Entalpia del ajo parcialmente pelado (kJ/ Kg sólido seco)

E_{A7} = Entalpia del ajo negro (kJ/ Kg sólido seco)

Q_{cob} = Calor de la cobertura (KJ)

Q_p = Calor aportado al sistema (KJ)

Q_v = calor de vaporización del agua del ajo (KJ)

Reemplazando variables en la ecuación 4.16, se obtiene:

$$A_5 E_{A5} + G E_{Gi} + Q_{cob} + Q_p = A_7 E_{A7} + G E_{Gf} + Q_v \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Despejando Q_p de la ecuación 4.16, se obtiene:

$$Q_p = A E_{A7} + G E_{Gf} + Q_v - A E_{A5} - G E_{Gi} - Q_{cob} \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Ordenandos variables de la ecuación 4,17, seobtiene:

$$Q_p = G (E_{Gf} - E_{Gi}) + A (E_{A7} - E_{A5}) + Q_v - Q_{cob} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Para calcular la entalpia del aire dentro de la cámara de fermentación se tomó en cuenta la ecuación 4.19, citada por (Singh y Heldman, 2009)

$$E_a = C_s (T_a - T_0) + Y H_L \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Donde:

C_s = Calor húmedo (Kj/Kg de aire seco °C)

T_a = Temperatura del aire (°C)

T_0 = Temperatura de referencia ($^{\circ}\text{C}$)

Y = Humedad absoluta (g de agua /Kg de aire seco)

H_L = Calor latente de evaporación del agua (kJ/Kg de agua)

Para calcular el calor húmedo del aire, se tomó en cuenta la ecuación 4.21, citada por (Singh y Heldman, 2009). Donde: C_p del aire seco es 1,005 (kJ/Kg de aire seco $^{\circ}\text{C}$) y el C_p del agua es 1,88 (kJ/Kg de agua $^{\circ}\text{C}$)

$$C_S = 1,005 + 1,88 Y \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.20, se obtiene:

$$E_a = (1,005 + 1,88 Y) (T_a - T_0) + Y H_L \quad \text{Ecuación 4.21}$$

Ajustando los datos de la ecuación 4.21 a presión de la ciudad de Tarija (609 mmHg), se obtiene que C_p del aire seco es 0,81 (kJ/Kg de aire seco $^{\circ}\text{C}$) y el C_p del agua 1,51 (kJ/Kg de agua $^{\circ}\text{C}$), y por lo tanto se obtiene la ecuación 4.23

$$E_a = (0,81 + 1,51 Y) (T_a - T_0) + Y H_L \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.22 para determinar la entalpia inicial del aire en la cámara

Donde:

$H_L = 2492,3$ kJ/Kg de agua a 25°C , dato obtenido del anexo H

$Y_{Gi} = 0,0155$ Kg de agua/ Kg de aire seco, dato obtenido del anexo H

$T_a = 25^{\circ}\text{C}$

$T_0 = 0^{\circ}\text{C}$

Ajustando el valor de H_L (2492,3 kJ/Kg) a la presión atmosférica de la ciudad de Tarija (609 mmHg), se obtiene que el valor ajustado es 1957,05 kJ/Kg de agua a 25°C

$E_{Gi} = (0,81 \text{ kJ/Kg} + (1,51 \text{ kJ/Kg} * 0,0155 \text{ Kg/Kg})) * 25^{\circ}\text{C} + (0,0155 \text{ Kg/Kg} * 1957,05 \text{ kJ/Kg})$

$$E_{Gi} = 51,17 \text{ kJ/Kg de aire seco}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.22 para determinar la entalpia final del aire en la cámara de fermentación

$H_L = 2321,4 \text{ kJ/Kg}$ de agua a $75 \text{ }^\circ\text{C}$, dato obtenido del anexo H

$Y_{Gf} = 0,1205 \text{ Kg}$ de agua/ Kg de aire seco, dato obtenido del anexo H

$T_a = 75 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

Ajustando el valor de H_L ($2321,4 \text{ kJ/Kg}$) a la presión atmosférica de la ciudad de Tarija (609 mmHg), se obtiene que el valor ajustado es $1859,85 \text{ kJ/Kg}$ de agua a $75 \text{ }^\circ\text{C}$

$E_{Gf} = (0,81 \text{ kJ/Kg} + (1,51 \text{ kJ/Kg} * 0,1205 \text{ Kg/Kg})) * 75^\circ\text{C} + (0,1205 \text{ Kg/Kg} * 1859,85 \text{ kJ/Kg})$

$E_{Gf} = 298,51 \text{ kJ/Kg}$ de aire seco

Para calcular la entalpia del ajo fresco acondicionado, se tiene la ecuación 4.23.

$$E_P = C_p (T_P - T_0) + X_P C_{PX} (T_P - T_0) \quad \text{Ecuación 4.23}$$

C_p = Calor específico del alimento

T_P = Temperatura del alimento

X_P = Humedad del alimento (Kg de agua/ Kg de sólido seco)

C_{PX} = Calor específico del agua (kJ/ Kg agua $^\circ\text{C}$)

Para calcular el calor específico de cualquier tipo de alimento, se tiene la ecuación 4.24, citada por (Singh y Heldman, 2009).

$$C_{pp} = X_c * C_{pc} + X_p * C_{pp} + X_f * C_{pf} + X_a * C_{pa} + X_w * C_{pw} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Donde:

$C_{pc} = 1,424 \text{ (kJ/Kg } ^\circ\text{C)}$ = Calor específico de los hidratos de carbono

$C_{pp} = 1,549 \text{ (kJ/Kg } ^\circ\text{C)}$ = Calor específico de las proteínas

$C_{pf} = 1,675 \text{ (kJ/Kg } ^\circ\text{C)}$ = Calor específico de las grasas

$C_{pa} = 0,837 \text{ (kJ/Kg } ^\circ\text{C)}$ = Calor específico de las cenizas

$C_{pw} = 4,187 \text{ (kJ/Kg } ^\circ\text{C)}$ = Calor específico del agua

X_c = Fracción másica de los hidratos de carbono

X_p = Fracción másica de la proteína

X_f = Fracción másica de las grasas

X_a = Fracción másica de las cenizas

X_w = Fracción másica del agua

Reemplazando valores en la ecuación 4.24, se obtiene:

$$C_{pp} = X_c * 1,424 + X_p * 1,549 + X_f * 1,675 + X_a * 0,837 + X_w * 4,187 \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Para calcular el calor específico del ajo fresco acondicionado se tomó en cuenta los datos de la tabla 4.16 de datos extraídos de la tabla 4.2 y del anexo A.

Tabla 4.16

Datos de la composición fisicoquímica del ajo fresco

Componentes	Símbolo	Fracción másica
Hidratos de carbono	X_c	0,3168
Proteínas	X_p	0,0482
Grasa	X_f	0,0048
Ceniza	X_a	0,0126
Humedad	X_w	0,6088

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, reemplazando datos de la tabla 4.16 en la ecuación 4.25, se obtiene:

$$C_{pA7} = 0,3168 * 1,424 + 0,0482 * 1,549 + 0,0048 * 1,675 + 0,0126 * 0,837 + 0,6088 * 4,187$$

$$C_{pA7} = 3,093 \text{ kJ / Kg } ^\circ\text{C}$$

A partir de la ecuación 4.23, reemplazando datos se obtiene la entalpía de la muestra de ajo fresco acondicionado al entrar a la cámara de fermentación:

$$E_{A5} = C_{pA5} (T_{A5} - T_0) + X_{A5} C_{pX} (T_{A5} - T_0)$$

$$E_{A5} = 3,093 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C} (25 - 0) ^\circ\text{C} + 1,556 \text{ Kg/Kg} * 4,187 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C} (25 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$E_{A5} = 240,20 \text{ kJ/Kg sólido seco}$$

Para calcular el calor específico del ajo negro se tomó en cuenta los datos extraídos de la tabla 4.17 y del anexo A.

Tabla 4.17

Datos de la composición fisicoquímica del ajo negro

Componentes	Símbolo	Fracción másica
Hidratos de carbono	X_c	0,5277
Proteínas	X_p	0,0991
Grasa	X_f	0,0002
Ceniza	X_a	0,0234
Humedad	X_w	0,3496

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, reemplazando datos de la tabla 4.17 en la ecuación 4.25, se obtiene:

$$C_{pA7} = 0,5277 * 1,424 + 0,0991 * 1,549 + 0,0002 * 1,675 + 0,0234 * 0,837 + 0,3496 * 4,187$$

$$C_{pA7} = 2,389 \text{ kJ / Kg } ^\circ\text{C}$$

A partir de la ecuación 4.23, reemplazando datos se obtiene la entalpía de la muestra de ajo negro al salir de la cámara de fermentación

$$E_{A7} = C_{pA7} (T_{A7} - T_0) + X_{A7} C_{pX} (T_{A7} - T_0)$$

$$E_{A7} = 2,389 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C} (75 - 0) ^\circ\text{C} + 0,563 \text{ Kg/Kg} * 4,187 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C} (75 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$E_{A7} = 355,97 \text{ kJ/Kg sólido seco}$$

Para determinar la masa de aire caliente dentro de la cámara de fermentación se utilizó la ecuación 4.26, propuesta por (Cromer, 2006)

$$V = a * b * c \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Donde:

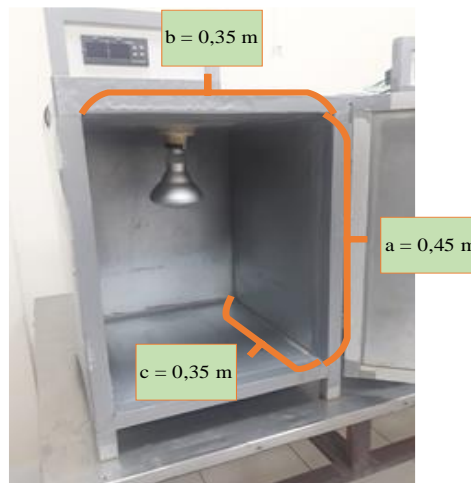
a = Altura de la cámara de fermentación (m)

b = Base de la cámara de fermentación (m)

c = Ancho de la cámara de fermentación (m)

V = Volumen del aire (m³)

En la figura 4.37, se muestran los valores de a, b y c, extraídos de las medidas internas de la cámara de fermentación.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.37 Cámara de fermentación

Reemplazando datos de la figura 4.38 en la ecuación 4.26 para determinar el volumen de aire dentro de la cámara

$$V = (0,45 * 0,35 * 0,35) \text{ m}^3$$

$$V = 0,055 \text{ m}^3$$

Para determinar la masa de aire dentro de la cámara de fermentación se utilizó la ecuación 4.27, propuesta por (Traybal, 1997)

$$\rho = m/V \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Donde:

ρ = Densidad del aire ($1,18 \text{ kg/m}^3$) (Treybal, 1997)

m = Masa del aire (kg)

V = Volumen del aire (m^3)

Despejando m_{aire} y reemplazando datos en la ecuación 4.27, se obtiene:

$$m_{\text{aire}} = \rho * V \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.28, se obtiene:

$$G = m_{\text{aire}} = 1,18 \text{ kg/m}^3 * 0,055 \text{ m}^3$$

$$G = m_{\text{aire}} = 0,065 \text{ kg}$$

Para determinar el calor de la cobertura plástica de polipropileno, se utilizó la ecuación 4.29, propuesta por (Treybal, 1997)

$$Q_{\text{cob}} = m_{\text{cob}} C_{p_{\text{cob}}} \Delta T \quad \text{Ecuación 4.29}$$

Donde:

Q_{cob} = calor que aporta la cobertura de polipropileno al sistema (kJ)

m_{cob} = masa de la cobertura de polipropileno (0,032896 Kg)

$C_{p_{\text{cob}}}$ = capacidad calorífica de la cobertura de polipropileno (130,383 kJ/kg °C) (Martinez, 2006)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ = variación de la temperatura del sistema dentro de la cámara (75 – 25)°C

Reemplazando datos en la ecuación 4.30, se obtiene:

$$Q_{\text{cob}} = 0,032896 \text{ Kg } 130,383 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C } (75 - 25) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{cob}} = 214,454 \text{ kJ}$$

Para determinar el calor necesario para evaporar el agua del ajo (calor latente), se utilizó la ecuación 4.30, propuesta por (Valiente, 1986)

$$Q_v = m \lambda \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Donde:

Q_v = calor latente de vaporización de agua

m = masa de agua evaporada (0,37482 Kg)

λ = calor latente de cambio de estado del agua (2321,4 kJ/kg) del (Anexo H)

Ajustando el valor de λ (2321,4 kJ/kg) a presión atmosférica de la ciudad de Tarija (609 mmHg), se obtiene que el valor ajustado es 1859,85 kJ/Kg de agua a 75 °C

$$Q_v = 0,37482 \text{ Kg } * 1859,85 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_v = 697,11 \text{ kJ}$$

Tenemos los siguientes datos:

$$E_{A5} = 240,20 \text{ kJ/Kg sólido seco}$$

$$E_{A7} = 355,97 \text{ kJ/Kg sólido seco}$$

$$E_{Gi} = 51,17 \text{ kJ/Kg de aire seco}$$

$$E_{Gf} = 298,51 \text{ kJ/Kg de aire seco}$$

$$G = 0,065 \text{ Kg de aire de la cámara}$$

$$A = 356,02 \text{ Kg de sólido seco}$$

$$Q_v = 697,11 \text{ kJ}$$

$$Q_{cob} = 214,454 \text{ kJ}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.19, se obtiene el calor total que se utilizó en el tratamiento fermentativo de ajo negro.

$$Q_p = 0,065 \text{ Kg} (298,51 - 51,17) \text{ kJ/Kg} + 356,02 \text{ Kg} (355,97 - 240,20) \text{ kJ/Kg} + 697,11 \text{ kJ} - 214,454 \text{ kJ}$$

$$Q_p = 41715,17 \text{ Kj}$$

$$Q_p = 9970,16 \text{ kcal}$$

Gasto de energía eléctrica en la etapa de tratamiento fermentativo, teniendo en cuenta que la cámara de fermentación consume un total de 153 W por un tiempo de 336 h

$$P = \frac{E}{Q} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Despejando E, de la ecuación 4.31 se obtiene:

$$E = P * Q \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.32, se tiene:

$$E = 153 \text{ W} * \frac{1 \text{ kcal}}{1,163 \text{ W}} * 336 \text{ h}$$

$$E = 44202,92 \text{ Kcal}$$

4.7.2 Balance de energía en la etapa de envasado

Para el balance de energía en la etapa de envasado se utilizó 557,45 g de ajo negro para un tiempo de 0.18 h.

Reemplazando valores en la ecuación 4.32, se tiene:

$$E = 500 \text{ W} * \frac{1 \text{ kcal}}{1,163 \text{ W}} * 0.18 \text{ h}$$

$$E = 77,39 \text{ Kcal}$$

El calor necesario para el proceso de fermentación de ajo acondicionado es de 54250,47 kcal para una cantidad de 935,22 g

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Según datos obtenidos en la realización del presente trabajo de investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- En base a los resultados de las propiedades físicas del ajo fresco, se tiene lo siguiente: peso total es de $70,12 \pm 0,01$ g, del cual, el peso útil en el proceso es de $66,21 \pm 0,01$ g y el descarte es de $3,90 \pm 0,01$ g; la altura de los bulbos o cabezas de ajo es de $7,588 \pm 0,05$ cm; el diámetro mayor de los bulbos es de $5,734 \pm 0,05$ cm; el diámetro menor de los bulbos es de $4,898 \pm 0,05$ cm; el número de dientes en cada bulbo es de 14; peso útil comestible (dientes) es de $52,92 \pm 0,01$ g lo cual significa un 75,72 % del total del peso de los bulbos; y los pesos útiles no comestibles (tronco y cascara) con pesos de $1,68 \pm 0,01$ g y $11,52 \pm 0,01$ g respectivamente los cuales significan el 24,28 % del peso total de los bulbos sometidos a estudio.
- En base a los resultados de los análisis fisicoquímicos del ajo fresco, se puede evidenciar que contiene: cenizas 1,26 %; fibra 0,88 %; grasa 0,48 %; hidratos de carbono 31,68 %, humedad 60,88 %; Proteína total (Nx6,25) 4,82 % y valor energético 150,32 Kcal/100g; azúcares totales 2,78 %; azúcares reductores 0,55 %; acidez titulable 0,50 y pH 5,8.
- Según los resultados de los análisis de micronutrientes del ajo fresco se puede evidenciar que contiene: calcio 17,4 mg/100g y sodio 11,1 mg/100g.
- En base a los resultados de los análisis microbiológicos del ajo fresco, se puede evidenciar que contiene: Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ (*), donde no se observa desarrollo de colonias; mohos y levaduras $2,0 \times 10^1$; y presenta ausencia de salmonella.
- Aplicado el diseño factorial 2^2 en la etapa de tratamiento fermentativo para las muestras de ajo negro del diseño experimental, se pudo establecer que las variables de proceso: temperatura (A), tipo de cobertura (B) y su interacción (AB), no influyen significativamente en las variables respuesta azúcares reductores y acidez titulable. Por otro lado, la variable temperatura (A) si

influye significativamente en la variable respuesta pH, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

- Teniendo en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos del ajo negro, se puede evidenciar que el mismo contiene: cenizas 2,34 %; fibra 1,36 %; grasa 0,02 %; hidratos de carbono 52,77 %; humedad 34,96 %; proteína total (Nx6,25) 9,91 % y valor energético 250,90 kcal/100g; azúcares totales 37,60%; azúcares reductores 28,94%; acidez titulable 2,31% y pH 4,19.
- De acuerdo a los resultados de los análisis del contenido de minerales del ajo negro, se puede evidenciar que el mismo contiene: calcio 27,1 mg/100g y sodio 36,3 mg/100g.
- Según los resultados de los análisis microbiológicos del ajo negro, se puede evidenciar que el mismo contiene: Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ (*); mohos y levaduras $< 1,0 \times 10^1$ (*) donde no se observa desarrollo de colonias y presenta ausencia de Salmonella.
- Realizada la evaluación sensorial subjetiva a las muestras iniciales y posteriormente una evaluación sensorial a las muestras del diseño experimental de obtención de ajo negro, se pudo evidenciar una mayor aceptación de la muestra AN1, la cuales fue obtenidas a una temperatura de 75 °C y el tipo de cobertura BP.
- En base al balance de energía se determinó que la cantidad de calor necesario para el proceso de obtención de ajo negro es de 54250,70 kcal para obtener una cantidad de 557,45 g de ajo negro, partiendo de una cantidad inicial de ajo fresco de 1011,28 g. Además, se evidenció que el rendimiento general del proceso para la obtención de ajo negro es del 55,12 %.

5.2 Recomendaciones

- En cuanto al proceso fermentativo se recomienda mantener la temperatura constante e invariable de 75 °C en el interior de la cámara de fermentación durante todo el tiempo que se considere necesario (14 días), ya que esto garantizará la efectividad del proceso.

- Se recomienda más estudios a nivel experimental sobre el proceso de fermentación en cámara fermentativa, aplicado a otros alimentos que se pueden encontrar disponibles en el departamento de Tarija, como la cebolla.
- Se recomienda adquirir equipos, destinados exclusivamente para este tipo de investigación, ya que es una gran alternativa para expandir el conocimiento académico de los estudiantes de la carrera de ingeniería de alimentos.
- Se recomienda la implementación de una planta piloto para la obtención de ajo negro, con el fin de coadyuvar al desarrollo productivo del departamento de Tarija.