

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**OBTENCIÓN DE AJO NEGRO A PARTIR DE AJO FRESCO**  
**(*ALLIUM SATIVUM L.*)**

**POR:**

**FROILÁN MIGUEL RODRÍGUEZ BURGOS**

Trabajo final de grado presentado a consideración de la universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

**OCTUBRE, 2023**

**TARIJA – BOLIVIA**

V.B.

.....  
M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez  
**DECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGIA**

.....  
M.Sc. Lic. Gustavo Succi Aguirre  
**VICEDECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGIA**

.....  
Ing. Jesús Zamora Gutiérrez  
**DIRECTOR**  
**DPTO. DE BIOTECNOLOGÍA Y**  
**CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS**

.....  
M.Sc. Ing Erick Ramírez Ruiz  
**DOCENTE GUÍA**

.....  
Ing. Adolfo Valentín Trigo Dimitrov  
**TRIBUNAL**

.....  
Ing. Weimar Torrejón Aguirre  
**TRIBUNAL**

.....  
Ing. Judith Carolina Miranda Condori  
**TRIBUNAL**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo estas responsabilidades del autor.

## **PENSAMIENTO**

“Acepta las cosas que no puedes cambiar, ten el valor de cambiar las cosas que puedes y ten la sabiduría para conocer la diferencia”

(Nora Allen)

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme dado el aliento de vida.

A mis padres, José Rodríguez y Francisca Burgos, por su apoyo incondicional durante toda mi formación.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por acompañarme en cada paso que di durante mi formación académica, por ser mi fortaleza en mis momentos difíciles y por darme la sabiduría para realizar este trabajo.

A mi familia por su cariño y todo su apoyo.

A todos mis docentes cuyas enseñanzas impartidas a lo largo de mi formación, inspiraron la realización de este trabajo.

A mi docente guía, Ing. Erick Ramírez por su asesoría, consejos y recomendaciones durante la realización de este trabajo.

A mis docentes tribunales, Ing. Adolfo Valentín Trigo Dimitrov, Ing. Weimar Torrejón Aguirre e Ing. Judith Carolina Miranda Condori por haberme brindado de su conocimiento para la culminación de este trabajo.

A todos los compañeros y amigos incondicionales que me acompañaron durante toda mi etapa universitaria.

## ÍNDICE

### CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos .....	3
1.3.1	Objetivo general .....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
1.4	Objeto de estudio.....	4
1.5	Campo de acción .....	4
1.6	Planteamiento del problema.....	4
1.7	Formulación del problema .....	5
1.8	Formulación de hipótesis .....	5

### CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Origen del ajo negro.....	6
2.2	Definición de ajo negro .....	6
2.3	Clasificación del ajo negro.....	6
2.4	Caracterización del ajo negro.....	7
2.4.1	Características físicas del ajo negro .....	7
2.4.2	Composición fisicoquímica del ajo negro .....	8
2.4.3	Composición nutricional del ajo negro .....	9
2.5	Usos y aplicaciones del ajo negro .....	10
2.5.1	Uso gastronómico.....	10
2.5.2	Uso medicinal.....	10
2.6	Caracterización del ajo fresco .....	11
2.6.1	Características botánicas del ajo fresco.....	12
2.6.1.1	Morfología del ajo fresco morado.....	12
2.6.1.2	Taxonomía del ajo fresco .....	12
2.6.2	Composición fisicoquímica del ajo fresco .....	13

2.6.3	Composición nutricional del ajo fresco.....	13
2.6.4	Propiedades microbiológicas del ajo fresco .....	14
2.6.5	Aplicaciones del ajo fresco.....	15
2.6.5.1	Uso medicinal del ajo fresco .....	15
2.6.5.2	Uso gastronómico del ajo fresco .....	16
2.7	Fermentación de alimentos en cámara fermentativa .....	16
2.7.1	Pardeamiento no enzimático .....	16
2.7.2	Reacción de Maillard.....	16
2.7.2.1	Parámetros que afectan la reacción de Maillard.....	17
2.7.2.2	Etapas de la reacción de Maillard .....	17
2.7.3	Pirolisis de azúcares .....	18
2.7.4	Oxidación del ácido ascórbico .....	19

### **CAPITULO III**

#### **DISEÑO METODOLOGICO**

3.1	Desarrollo de la parte experimental .....	20
3.2	Tipo de intervención experimental.....	20
3.3	Tipo de investigación .....	20
3.3.1	Investigación experimental.....	20
3.4	Paradigma positivista .....	21
3.5	Enfoque cuantitativo .....	21
3.6	Métodos, técnicas e instrumentos.....	21
3.6.1	Propiedades físicas del ajo fresco.....	22
3.6.2	Propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y nutricionales del ajo fresco..	22
3.6.3	Propiedades fisicoquímicas durante la etapa de tratamiento fermentativo ....	23
3.6.4	Propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y nutricionales del ajo negro .....	23
3.6.5	Equipo experimental de laboratorio .....	24
3.6.7	Materiales de laboratorio.....	25
3.6.8	Utensilios de cocina .....	26
3.7	Diagrama de flujo del proceso de obtención de ajo negro .....	26
3.7.1	Descripción del proceso .....	27

3.8	Operacionalización de las variables para el proceso de obtención de ajo negro.....	31
3.9	Evaluación sensorial.....	32
3.10	Diseño experimental.....	33
3.10.1	Diseño factorial $2^k$ .....	33
3.10.2	Diseño factorial $2^2$ en la etapa de tratamiento fermentativo .....	34

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUCIÓN**

4.1	Caracterización del ajo fresco .....	36
4.1.1	Propiedades físicas del ajo fresco.....	36
4.1.2	Análisis fisicoquímico del ajo fresco .....	37
4.1.3	Análisis de micronutrientes del ajo fresco .....	38
4.1.4	Análisis microbiológico del ajo fresco.....	38
4.2	Caracterización de las variables del proceso para la obtención de ajo negro.....	38
4.2.1	Pruebas preliminares para la obtención de ajo negro.....	38
4.2.1.1	Pruebas preliminares del tipo de cobertura para el ensayo 1 .....	39
4.2.1.1.1	Valoración sensorial subjetiva para las muestras del ensayo 1.....	40
4.2.1.1.2	Análisis fisicoquímico de las muestras del ensayo 1.....	41
4.2.1.1.3	Representación gráfica de los análisis fisicoquímicos del ensayo 1.....	42
4.2.1.1.4	Selección de las muestras preliminares de ajo negro del ensayo 1.....	45
4.2.1.2	Pruebas preliminares del tipo de cobertura para el ensayo 2 .....	45
4.2.1.2.1	Análisis fisicoquímico de las muestras del ensayo 2.....	45
4.2.1.2.2	Representación gráfica de los análisis fisicoquímicos del ensayo 2.....	46
4.2.1.2.3	Selección de las muestras preliminares de ajo negro del ensayo 2.....	48
4.2.1.3	Pruebas preliminares del tipo de cobertura para el ensayo 3 .....	49
4.2.1.3.1	Análisis fisicoquímico de las muestras del ensayo 3.....	49
4.2.1.3.2	Representación gráfica de los análisis fisicoquímicos del ensayo 3.....	50
4.2.1.3.3	Selección de las muestras preliminares de ajo negro en el ensayo 3.....	53

4.3	Diseño factorial 2 <sup>2</sup> en las variables del proceso fermentativo de ajo negro.....	54
4.3.1	Análisis de varianza en el tratamiento fermentativo de la variable respuesta azúcares reductores.....	54
4.3.2	Análisis de varianza en el tratamiento fermentativo de la variable respuesta acidez titulable.....	56
4.3.3	Análisis de varianza en el proceso fermentativo de la variable respuesta pH.....	58
4.4	Evaluación sensorial de muestras experimentales para el factor temperatura.....	61
4.4.1	Estadístico caja y bigote para las muestras experimentales del nivel inferior del factor temperatura.....	61
4.4.2	Estadístico de caja y bigote de las muestras experimentales del nivel superior del factor temperatura.....	62
4.5	Caracterización del ajo negro.....	63
4.5.1	Análisis fisicoquímico del ajo negro.....	63
4.5.2	Análisis de micronutrientes del ajo negro.....	64
4.5.3	Análisis microbiológico del ajo negro.....	64
4.6	Balance de materia en el proceso de obtención de ajo negro.....	65
4.6.1	Balance de materia en la etapa de selección.....	68
4.6.2	Balance de materia en la etapa de pelado parcial.....	70
4.6.3	Balance de materia en la etapa de tratamiento fermentativo.....	71
4.6.4	Balance de materia en la etapa de oreado.....	73
4.6.5	Rendimiento general del proceso de obtención de ajo negro.....	74
4.6.6	Resumen general del balance de materia para el proceso de obtención de ajo negro.....	74
4.7	Balance de energía en el proceso de obtención de ajo negro.....	75
4.7.1	Balance de energía en la etapa de tratamiento fermentativo.....	75

4.7.2	Balance de energía en la etapa de envasado.....	83
-------	---	----

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones .....	84
5.2	Recomendaciones.....	85

### **INDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1	Composición fisicoquímica del ajo negro.....	1
Tabla 2.2	Aminoácidos presentes en el ajo negro.....	9
Tabla 2.3	Propiedades nutricionales del ajo negro.....	10
Tabla 2.4	Beneficios del ajo negro y sus efectos en la salud del ser humano.....	11
Tabla 2.5	Clasificación taxonómica del ajo fresco.....	12
Tabla 2.6	Composición fisicoquímica del ajo fresco.....	13
Tabla 2.7	Composición nutricional del ajo fresco.....	14
Tabla 2.8	Propiedades microbiológicas del ajo fresco.....	15
Tabla 3.1	Operacionalización de las variables del proceso de obtención de ajo negro.....	32
Tabla 3.2	Niveles de variación de las variables en la etapa de tratamiento fermentativo para la obtención de ajo negro.....	34
Tabla 3.3	Matriz de variables para la etapa de tratamiento fermentativo para la obtención de ajo negro.....	35
Tabla 4.1	Propiedades físicas del ajo fresco.....	36
Tabla 4.2	Análisis fisicoquímico del ajo fresco.....	37
Tabla 4.3	Análisis de micronutrientes del ajo fresco.....	38
Tabla 4.4	Análisis microbiológico del ajo fresco.....	38
Tabla 4.5	Análisis fisicoquímicos de la muestra patrón.....	40
Tabla 4.6	Análisis fisicoquímicos de las muestras del ensayo 1.....	42
Tabla 4.7	Análisis fisicoquímicos de las muestras del ensayo 2.....	46
Tabla 4.8	Análisis fisicoquímicos de las muestras del ensayo 3.....	50
Tabla 4.9	Análisis de varianza de la variable respuesta de azúcares	

	reductores.....	54
Tabla 4.10	Análisis de varianza de la variable respuesta de acidez titulable.....	56
Tabla 4.11	Análisis de varianza de la variable respuesta de pH.....	59
Tabla 4.12	Muestras del diseño experimental.....	61
Tabla 4.13	Análisis fisicoquímico del ajo negro.....	64
Tabla 4.14	Análisis de micronutrientes del ajo negro.....	64
Tabla 4.15	Análisis microbiológico del ajo negro.....	65
Tabla 4.16	Datos de la composición fisicoquímica del ajo fresco.....	79
Tabla 4.17	Datos de la composición fisicoquímica del ajo negro.....	79

### **INDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1	Clasificación del ajo negro como subproducto del ajo fresco.....	7
Figura 2.2	Características físicas del ajo negro.....	8
Figura 2.3	Corte transversal y partes que componen un ajo fresco .....	12
Figura 2.4	Usos medicinales del ajo negro.....	15
Figura 3.1	Métodos y técnicas para el análisis físico del ajo fresco.....	22
Figura 3.2	Métodos y técnicas para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de micronutrientes del ajo fresco.....	23
Figura 3.3	Método y técnicas de los análisis fisicoquímicos durante la etapa de tratamiento fermentativo.....	23
Figura 3.4	Métodos y técnicas para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de micronutrientes del ajo negro.....	24
Figura 3.5	Características de la cámara experimental de fermentación.....	24
Figura 3.6	Instrumentos de laboratorio.....	25
Figura 3.7	Materiales de laboratorio.....	25
Figura 3.8	Utensilios de cocina.....	26
Figura 3.9	Diagrama de flujo de obtención de ajo negro.....	26
Figura 3.10	Ajo fresco.....	27
Figura 3.11	Selección de bulbos no aptos para el proceso.....	27
Figura 3.12	Clasificación de los bulbos de ajo fresco.....	28

Figura 3.13	Pelado parcial de los bulbos de ajo fresco.....	28
Figura 3.14	Acondicionamiento de los bulbos de ajo fresco.....	29
Figura 3.15	Tratamiento fermentativo de los bulbos de ajo acondicionado.....	30
Figura 3.16	Oreado de los bulbos de ajo negro.....	30
Figura 3.17	Envasado de los bulbos de ajo negro.....	31
Figura 3.18	Evaluación sensorial de ajo negro.....	33
Figura 4.1	Pruebas preliminares para la obtención de ajo negro.....	39
Figura 4.2	Valoración sensorial subjetiva de las muestras del ensayo 1.....	40
Figura 4.3	Análisis de laboratorio de las muestras del ensayo 1.....	41
Figura 4.4	Análisis de contenido de humedad del ensayo 1.....	42
Figura 4.5	Análisis de contenido de sólidos solubles del ensayo 1.....	43
Figura 4.6	Análisis de pH del ensayo 1.....	43
Figura 4.7	Análisis del contenido de acidez titulable del ensayo 1.....	44
Figura 4.8	Análisis del contenido de azúcares reductores del ensayo 1.....	44
Figura 4.9	Muestras seleccionadas del ensayo 1.....	45
Figura 4.10	Análisis de laboratorio de las muestras del ensayo 2.....	46
Figura 4.11	Análisis de contenido de humedad del ensayo 2.....	47
Figura 4.12	Análisis de contenido de sólidos solubles del ensayo 2.....	47
Figura 4.13	Análisis de pH del ensayo 2.....	48
Figura 4.14	Muestras seleccionadas del ensayo 2.....	48
Figura 4.15	Análisis de laboratorio de las muestras del ensayo 3.....	50
Figura 4.16	Análisis de contenido de humedad del ensayo 3.....	51
Figura 4.17	Análisis de contenido de sólidos solubles del ensayo 3.....	51
Figura 4.18	Análisis de pH del ensayo 3.....	52
Figura 4.19	Análisis de contenido de acidez titulable del ensayo 3.....	52
Figura 4.20	Análisis de azúcares reductores del ensayo 3.....	53
Figura 4.21	Muestras seleccionadas del ensayo 3.....	53
Figura 4.22	Efectos principales para azúcares reductores.....	55
Figura 4.23	Diagrama de Pareto estandarizado para azúcares reductores.....	56
Figura 4.24	Efectos principales para acidez titulable.....	57

Figura 4.25	Diagrama de Pareto estandarizado para acidez titulable.....	58
Figura 4.26	Efectos principales para pH.....	60
Figura 4.27	Diagrama de Pareto estandarizada para pH.....	60
Figura 4.28	Estadístico caja y bigote para el nivel inferior del factor temperatura.....	62
Figura 4.29	Estadístico caja y bigote para el nivel superior del factor temperatura.....	63
Figura 4.30	Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de ajo negro.....	66
Figura 4.31	Etapa de selección.....	68
Figura 4.32	Etapa de pelado parcial.....	70
Figura 4.33	Etapa de tratamiento fermentativo.....	71
Figura 4.34	Etapa de oreado.....	73
Figura 4.35	Resumen general de balance de materia.....	74
Figura 4.36	Balance de energía en la etapa de tratamiento fermentativo.....	75
Figura 4.37	Cámara de fermentación.....	80