



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Postgrado
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL FRIJOL NEGRO VOLTEADO PROCESADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

Ing. Juan Humberto Sosa Requena

Asesorado por el MA. José Haroldo Valdizón García

Guatemala, abril de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL FRIJOL NEGRO VOLTEADO PROCESADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADA EN LA CUIDAD DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. JUAN HUMBERTO SOSA REQUENA
ASESORADO POR EL MA JOSÉ HAROLDO VALDIZÓN GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

GUATEMALA, ABRIL DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Mtra. Hilda Piedad Palma de Martini
EXAMINADORA	Dra. Aura Marina Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL FRIJOL NEGRO VOLTEADO PROCESADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADA EN LA CUIDAD DE GUATEMALA


Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería, con fecha 14 de octubre de 2021.

Ing. Juan Humberto Sosa Requena

LNG.DECANATO.OI.362.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL FRIJOL NEGRO VOLTEADO PROCESADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Ing. Juan Humberto Sosa Requena**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ciencia y tecnología de alimentos después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabeia Cordova Estrada

Decana



Guatemala, abril de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, abril de 2023

LNG.EEP.OI.362.2023


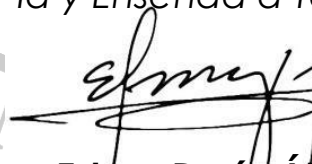
En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL FRIJOL NEGRO VOLTEADO PROCESADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA”

presentado por **Ing. Juan Humberto Sosa Requena** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ciencia y tecnología de alimentos**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cofí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 10 de noviembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL FRIJOL NEGRO VOLTEADO PROCESADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA** del estudiante **Juan Humberto Sosa Requena** quien se identifica con número de carné **201114224** del programa de Ciencia Y Tecnologia De Los Alimentos.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.




Mtra. Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
Coordinador
Ciencia Y Tecnologia De Los Alimentos
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 10 de noviembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: "**OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL FRIJOL NEGRO VOLTEADO PROCESADO EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**" del estudiante **Juan Humberto Sosa Requena** del programa de **Ciencia Y Tecnologia De Los Alimentos** identificado(a) con número de carné 201114224.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Mtro. Ing. José Haroldo Valdizón García
Colegiado No. 15345
Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Luisa Victoria Requena Oliva y Juan Humberto Sosa Jauregüi por el incondicional apoyo y guía brindados en mi vida.

Mis hermanos

Paola, Ericka, Kevin, Guillermo y Thelma Sosa quienes me han dado su apoyo e incondicional cariño.

Promoción LXI CSDB

Mis compañeros de promoción del colegio Don Bosco, por su incondicional apoyo y cariño durante tantos años de amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser parte importante de mi crecimiento profesional

Mis catedráticos

Por aportarme sus conocimientos en la maestría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XIII
OBJETIVOS	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Producción industrial de frijol volteado	5
2.1.1. Lavado de grano.....	5
2.1.2. Cocción	5
2.1.3. Molienda.....	5
2.1.4. Formulación	6
2.1.5. Llenado.....	6
2.1.6. Proceso térmico.....	6
2.2. Leguminosas	7
2.2.1. Valor nutritivo de las leguminosas.....	7
2.2.2. Aminoácidos esenciales.....	8
2.2.3. Contenido de aminoácidos esenciales en las leguminosas.....	9
2.2.4. Calidad proteínica de las leguminosas.....	9

2.3.	Factores antinutricionales.....	10
2.4.	Efectos fisiológicos en el organismo	11
2.4.1.	Efectos indeseables.....	12
2.4.2.	Efectos beneficiosos.....	12
2.5.	Propiedades fisicoquímicas del frijol	14
2.6.	Propiedades microbiológicas del frijol.....	15
2.7.	Propiedades organolépticas del frijol	16
2.8.	Transferencia de calor.....	17
2.8.1.	Capacidad calorífica	18
2.8.1.1	Agua	18
2.8.1.2	Aceite.....	18
2.8.1.3	Frijol.....	19
2.8.2.	Cocción.....	19
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	21
3.1.	Objetivo 1. Determinar el efecto que tiene el aceite vegetal en la cocción del grano de frijol mediante un análisis de calor	21
3.2.	Objetivo 2. Evaluar por medio de un panel sensorial triangular con consumidores si existe o no diferencia significativa en las características organolépticas y fisicoquímicas del producto terminado al disminuir el tiempo de cocción.....	24
3.3.	Objetivo 3. Analizar el efecto que la optimización del proceso de cocción tiene sobre el rendimiento del grano de frijol a nivel industrial.....	25
3.4.	Objetivo general. Optimizar la transferencia de calor en la etapa de cocción del grano de frijol para aumentar el rendimiento del grano de frijol para evaluar el efecto que	

presenta sobre las características organolépticas y fisicoquímicas del producto elaborado en una industria de alimentos de la ciudad de Guatemala.....	26
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	27
4.1. Análisis interno	27
4.2. Análisis externo	28
CONCLUSIONES	29
RECOMENDACIONES	31
REFERENCIAS.....	33
APÉNDICES.....	37

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de proceso de producción de frijol a nivel industrial.....	6
2.	Levantamiento de temperatura de proceso	22
3.	Tiempo requerido en cocción para alcanzar blandeza del grano de frijol	23

TABLAS

I.	Operación de variables	XX
II.	Contenido de macronutrientes en las leguminosas.....	8
III.	Contenido de aminoácidos de cada leguminosa en estudio.....	9
IV.	Comparación de condiciones de proceso	23
V.	Descripción de muestras de estudio	24
VI.	Resultados	25
VII.	Análisis fisicoquímico	25
VIII.	Comparación de rendimiento de grano de frijol.....	26
IX.	Ahorro proyectado en uso de grano de frijol anual.....	26

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
kgv	Kilogramos de vapor
kgp	Kilogramos de producto
mg	Miligramos
ml	Mililitro
min	Minutos
pH	Potencial de hidrógeno

GLOSARIO

Aminoácido	Es una sustancia química orgánica que constituye el componente básico de las proteínas que contienen nitrógeno.
Aminoácido esencial	Son aquellos que el cuerpo humano no puede generar por sí solo, su única fuente es a través de la dieta. Los aminoácidos esenciales son: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, teonina, triptófano y valina.
Calidad proteínica	Es la capacidad de una proteína para cubrir requerimientos y cantidades suficientes de aminoácidos esenciales y no esenciales para satisfacer necesidades metabólicas.
FDA	Institución estadounidense encargada de certificar normativos de inocuidad en procesos de industrias alimenticias.
Flow	Propiedad de los productos que define la viscosidad de manera indirecta.
FSSC 22000	Norma basada en la ISO 22000 combinada con especificaciones técnicas y requisitos dados por la FSSC.

<i> Holding </i>	Sistema utilizado para sostenimiento de temperatura del producto.
Inocuidad	Incapacidad de un producto para hacer daño al consumidor.
Leguminosas	Son granos o semillas secas de plantas que crecen en vaina. Entre las legumbres más frecuentes se encuentran el frijol, la lenteja, la soya y el garbanzo. Aunque las habas y las arvejas también crecen en vaina, no se consideran leguminosas porque se consumen sus granos o semillas frescas.
Límite inferior	Valor mínimo aceptado que indica si un proceso está fuera de control.
Límite superior	Valor máximo aceptado que indica si un proceso está fuera de control.
<i> Logger </i>	Dispositivo electrónico que registra datos de temperatura en un tiempo dado por medio de sensores.
RTCA	Reglamento en el cual se encuentran descritos los normativos que rigen la industria alimenticia a nivel centroamericano.

RESUMEN

La mejora continua es un factor fundamental, en cualquier industria, en búsqueda de desarrollo, crecimiento y productividad. En una planta de alimentos, se analizaron diversos de los cuales se formula el objetivo de optimizar la transferencia de calor en la etapa de cocción del grano de frijol para aumentar rendimiento y productividad al evaluar el efecto que presenta sobre las características organolépticas y fisicoquímicas del producto elaborado en una industria de alimentos de la ciudad de Guatemala, se considerará que la cocción es el cuello de botella de la producción se aborda de manera inmediata como punto de partida de análisis para búsqueda de mejora de rendimiento y productividad en el proceso productivo.

Como método de experimentación se propuso una modificación basada primordialmente en la adición del aceite, parte de la formulación, este componente se adiciona en el método actual en los tanques de formulación, la propuesta consistió en adicionar esta materia prima directamente en las marmitas de cocción para evaluar el comportamiento de la temperatura, tiempo total de cocción y dureza del grano de frijol durante el proceso.

El proceso logró reducirse 15 minutos con respecto al método existente y mostró un efecto conveniente para el proceso en la dureza del grano de frijol que permitió encontrar oportunidades para prolongar la vida útil de los equipos industriales y primordialmente una mejora sustancial en el rendimiento del grano de frijol que permite impactar directamente en temas económicos a la industria de alimentos en cuestión.

De esta manera se logró comprobar que el aceite presenta un efecto significativo en la transferencia de calor impactando directamente en el tiempo de cocción y en la dureza del grano de frijol en el proceso de cocción en una industria de alimentos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Contexto general

En Guatemala, el consumo de frijol es un hábito cultural, que representa la alimentación en Guatemala, por lo que se constituye en una fuente nutritiva de alto impacto y económicamente accesible para todos los grupos sociales.

Es de vital importancia a nivel industrial en Guatemala producir frijol que permita cumplir con las necesidades culturales, nutritivas y económicas de la población guatemalteca, es por esta razón que al realizar un análisis exhaustivo en la línea de producción de frijol de una industria alimenticia guatemalteca se determinó que existe una oportunidad de mejora en el área de cocción del proceso productivo.

La mejora que se realizó en el proceso de cocción disminuyó el tiempo de la etapa de cocción modificando las condiciones del proceso sin alterar las condiciones nutritivas, fisicoquímicas, microbiológicas u organolépticas del producto terminado.

Descripción del problema

Se determinó en una planta de alimentos la razón de la existencia de un bajo rendimiento y productividad en el proceso de producción de frijol negro volteado por lo que se procedió a realizar un análisis que permitió determinar un punto de optimización en el proceso.

Al analizar la línea de producción se determinó si existe la posibilidad de optimizar el proceso de cocción mediante el análisis de transferencia de calor que sufre el frijol durante dicho proceso, es de esta manera es que se abordará el análisis de mejora de la línea de producción sin alterar las propiedades organolépticas del producto final.

Formulación del problema

El estudio planteado se orientó hacia la búsqueda de respuestas a las siguientes preguntas:

Pregunta general

¿Qué proceso de la producción de frijol negro volteado debe optimizarse para aumentar rendimiento y productividad en una industria de alimentos de la ciudad de Guatemala sin alterar sus propiedades organolépticas?

Preguntas auxiliares

- ¿Cómo disminuir el tiempo de cocción de grano de frijol?
- ¿Cómo se optimizará la transferencia de calor en el proceso de cocción del grano de frijol?
- ¿Qué impacto tiene la disminución del tiempo de cocción en características organolépticas y fisicoquímicas?
- ¿Cómo evaluar la aceptabilidad a nivel industrial de la optimización del proceso de cocción?

Delimitación del problema

Las pruebas experimentales se desarrollaron en una Industria Alimenticia ubicada en zona 18 de la ciudad de Guatemala. El trabajo de investigación se realizó en los meses de marzo a julio de 2022. Se pusieron en práctica habilidades de las áreas profesionales de Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial y Nutrición.

OBJETIVOS

General

Optimizar la transferencia de calor en la etapa de cocción del grano de frijol para aumentar rendimiento y productividad evaluando el efecto que presenta sobre las características organolépticas y fisicoquímicas del producto elaborado en una industria de alimentos de la ciudad de Guatemala.

Específicos

1. Determinar el efecto que tiene el aceite vegetal en la cocción del grano de frijol mediante un análisis de transferencia de calor.
2. Evaluar por medio de un panel sensorial triangular con consumidores si existe o no diferencia significativa en las características organolépticas y fisicoquímicas del producto terminado al disminuir el tiempo de cocción.
3. Analizar el efecto que la optimización del proceso de cocción tiene sobre el rendimiento del grano de frijol a nivel industrial.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

- Enfoque

La base de la investigación contempló un enfoque mixto. Desde el punto de vista cuantitativo se definió el estudio de las variables de transferencia de calor del proceso de cocción. Cualitativamente por medio de estudios de análisis sensorial se determinó que no existió algún cambio significativo en las propiedades organolépticas del producto final.

- Diseño

El estudio presentó resultados de manera experimental porque se compararon el método de cocción actual vs un método con diferentes condiciones de proceso determinando el efecto que tiene el cuerpo utilizado (aceite) como medio para realizar la transferencia de calor con el fin de aumentar el rendimiento en las producciones.

- Alcance

Se realizó un estudio transversal, donde se analizaron las condiciones del proceso de cocción durante un lapso determinado

Tabla I. Operación de variables

Nombre de la variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador
Aceptabilidad de atributos sensoriales	La aceptabilidad se mide en una escala: el consumidor prueba y otorga un puntaje a un producto por vez. Puede medirse la aceptabilidad global de un producto o también la aceptabilidad por atributos (Ej. sabor y apariencia).	La aceptabilidad de un producto se mide dirigiéndolo a un grupo de consumidores por medio de una prueba hedónica, que para sabor y consistencia será en una escala de 7 puntos y para color y olor de 3 puntos.	-Escala de 7 puntos. -ANOVA -Tukey
Análisis fisicoquímicos de la formulación final	El análisis fisicoquímico es uno de los aspectos principales en el aseguramiento de su calidad. Este análisis cumple un papel muy importante en la determinación del valor nutricional de los alimentos, en el control del cumplimiento de los parámetros exigidos por los organismos de salud y también para el estudio de las posibles irregularidades como adulteraciones, falsificaciones, etc. tanto en alimentos terminados como en sus materias primas.	Los análisis fisicoquímicos de productos enlatados que normalmente se obtienen son los siguientes: consistencia, sal, pH y acidez.	Esperado en comparación a una muestra control: <ul style="list-style-type: none"> • pH: 5.7-6.1 • acidez: 0.15-0.19 • Sal: 1.1-1.3
Tiempo	El tiempo permitirá determinar la optimización del proceso de cocción.	El tiempo actualmente requerido para la cocción es de 45 minutos.	Mediciones de tiempo

Fuente: elaboración propia.

- **Población**

La población fue el total de experimentos realizados para el estudio cuantitativo (3 repeticiones) y la totalidad de las personas que participaron en el panel sensorial (30 consumidores).

- Fases del estudio
 - Fase I. Investigar propiedades caloríficas del agua, aceite y frijol

Para la ejecución de la fase inicial se buscó obtener la base teórica, se utilizaron recursos bibliográficos y documentos en internet para la realización de investigaciones requeridas.

- Fase II. Determinar el efecto del agua sobre la cocción

Se construyó en la segunda fase una curva que describió el comportamiento de la elevación de temperatura en el proceso de cocción utilizando “*logger*” como instrumento de medición.

- Fase III. Determinar el efecto del aceite sobre la cocción

Se construyó en la segunda fase una curva que describió el comportamiento de la elevación de temperatura en el proceso de cocción utilizando “*logger*” como instrumento de medición.

- Fase IV. Evaluar el efecto del proceso de cocción con nuevas condiciones sobre las características fisicoquímicas.

Por medio de análisis microbiológicos y fisicoquímicos al realizar 3 repeticiones se comparó la propuesta de cocción con aceite con el proceso de cocción actual.

- Fase V. Verificar si existe efecto del proceso de cocción propuesto sobre las características organolépticas

Por medio de un análisis estadístico ANOVA se determinó mediante un panel sensorial si existe diferencia significativa en los procesos realizados.

- Fase VI. Determinar si existió productividad en el nuevo método de cocción a lo largo del proceso de producción

Por medio de un análisis de rendimientos se determinó la productividad que se tiene con el proceso actual, se realizaron 3 repeticiones del estudio.

INTRODUCCIÓN

El presente documento se describe como una sistematización debido a su orientación hacia la búsqueda de optimización de procesos y mejora de rendimientos en el proceso de cocción de grano de frijol en una industria de alimentos.

La problemática del estudio se centró en determinar qué proceso de la producción de frijol negro volteado debe optimizarse para aumentar el rendimiento en el proceso productivo de una industria de alimentos de la ciudad de Guatemala sin alterar sus propiedades organolépticas

La importancia de mejorar los rendimientos en cualquier proceso de producción a nivel industrial garantiza la oportunidad de ser una empresa competitiva en un mercado de consumo masivo con cada vez más marcas.

El hallazgo principal de la experimentación fue la reducción de 15 minutos del proceso de cocción impactando principalmente en la dureza del grano de frijol generando un impacto sustancial en el rendimiento de esta materia prima y adicionalmente beneficiando a la maquinaria y equipos por la facilidad en el manejo del material en los procesos posteriores (molienda, formulación y llenado).

Las pruebas industriales se realizaron en un Industria de Alimentos de Guatemala, se realizaron modificaciones al proceso de cocción fundamentalmente en orden de mezclado, aceite-agua-frijol y parámetro de tiempo, para garantizar que no existiera diferencia significativa a nivel sensorial

en el producto final se realizó una prueba de aceptabilidad con personas de 25 a 60 años del área de la zona 18 de la ciudad de Guatemala. Para evaluar los parámetros fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio de la planta de alimentos mediciones de pH, acidez, % sal y consistencia para garantizar que el producto cumpliera estándares de calidad.

Este trabajo está compuesto de cuatro capítulos fundamentales, el primer capítulo denota el marco referencial que describe las referencias que presentaron la guía del presente estudio.

El segundo capítulo define los fundamentos teóricos necesarios para entender el comportamiento de los análisis a estudiar y desarrollar una metodología experimental más robusta y aplicable bajo las condiciones de proceso disponibles.

El tercer capítulo detalla los resultados obtenidos a partir de la experimentación y desarrollo de cálculos que permiten demostrar matemáticamente el comportamiento y efecto de las modificaciones propuestas al proceso de cocción.

En el cuarto capítulo y final del estudio se presenta la discusión de los resultados obtenidos en el capítulo previo sustentando las razones por las cuáles se observaron los comportamientos obtenidos.

Para finalizar se describen las conclusiones observadas y recomendaciones pertinentes para fortalecer el objetivo de la búsqueda de optimización de procesos en la industria de alimentos en la cual se desarrolló el presente trabajo.

1. MARCO REFERENCIAL

Los alimentos se consideran funcionales al momento en que proveen nutrientes y energía necesarios para alcanzar un sostenimiento diario, además son también considerados funcionales debido a su capacidad de prevenir o corregir un estado de enfermedad o estrés en una persona. (Correa, 2010) Los frijoles contienen altos niveles de variación química debido a su composición, dichos nutrientes han mostrado ser protectores para condiciones dañinas para el cuerpo, los estudios que se describen en el artículo se realizaron en base a análisis de población en Estados Unidos.

Se explica por medio del estudio realizado por este autor que trataron diversos análisis de los componentes químicos que existen en el grano del frijol y cómo estos influyen en el consumo al analizar enfáticamente enfermedades cardiovasculares, nerviosas y cáncer con lo que se concluye que, los distintos análisis realizados a nivel nutricional y químico en el frijol juegan un factor importante en la prevención de dichas enfermedades.

El consumo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) es parte de la dieta diaria en la mayor parte de latinos. Los hábitos culturales, alta disponibilidad y valor nutricional de esta leguminosa brindan oportunidades alimentarias estratégicas para la aceptabilidad y la contribución nutricional. Aunque es una fuente importante de proteínas, fibra dietética y compuestos biológicamente activos, su consumo existe básicamente en forma de cereales integrales, lo que limita su uso como alimento o ingrediente alimentario. (Granito, 2009)

Este autor indica que estudios realizados en Venezuela sobre la composición química y algunas propiedades de cuatro clases de frijol (crudos y cocidos). Se comprueba que la cocción es la transformación que más reduce el contenido de proteínas, minerales y compuestos antinutricionales; también se comprueba que la cocción aumenta el índice de absorción de agua. Las cuatro variedades de frijol fueron sometidas a procesos de molienda, cocción, fermentación y fermentación-cocción a las cuales se les estudió el valor nutricional que presentaban posteriormente a cada proceso definido, para determinar los resultados se realizó un análisis estadístico ANOVA de una vía y prueba de Duncan. La conclusión es que el procesamiento cambia las propiedades químicas y funcionales de los frijoles; reduce los componentes solubles en agua, como proteínas, minerales, algunos carbohidratos, taninos y polifenoles, y aumenta la digestibilidad de las proteínas in vitro.

Las leguminosas, familia a la que pertenece el grano de frijol también contienen una variedad de nutrientes compuestos, como polifenoles, fibra soluble, galactósidos e isoflavonas, que les confieren propiedades alimentarias funcionales. El consumo y la producción de frijoles a veces se ven limitados por el mayor tiempo de cocción que requieren. (Dávila, Sangronis y Granito, 2014)

Estos autores utilizan el proceso de germinación y fermentación como alternativa a la reducción o inactivación de factores antinutricionales, lo que preservará e incrementará el contenido de isoflavonas, lo que aumenta el potencial de las legumbres como alimento o ingrediente funcional de alimentos. Se germinaron y fermentaron semillas de soja y leguminosas y se realizaron comparaciones para determinar el impacto del proceso en las leguminosas. A partir de estos análisis, se determina que la fermentación y germinación son procesos simples y económicos que pueden aportar cambios con beneficios positivos en los frijoles, como la actividad inhibidora de enzimas, la disminución

del contenido de ácido fítico y taninos y el incremento de la digestibilidad de las proteínas. Sin embargo, debido al contenido de isoflavonas, es importante tener en cuenta que la mayoría de estos procesos han cambiado a nivel sensorial durante la investigación en curso.

Hernández y Cambos (2012) introdujeron a estudio siete variedades de leguminosas en México, con el propósito de analizar las características técnicas y nutricionales, así como los cambios en los granos de frijol provocados por el proceso de cocción, resultando cambios en la digestión. Encontraron diferencias significativas en peso, tamaño, porcentaje de cubierta de semilla, tiempo de cocción, actividad inhibidora de tripsina y digestibilidad entre diferentes variedades. También existen diferencias significativas en la concentración de componentes químicos de las leguminosas, tales como: almidón, fibra, ceniza, lisina y triptófano. En comparación con el contenido del mismo inhibidor en los frijoles verdes, la baja actividad de la tripsina en los frijoles cocidos está más relacionada con un tiempo de cocción más prolongado y un tamaño de partícula más pequeño.

Aguirre, Rodríguez, Rosales y Castro (2015) describe una investigación dirigida a utilizar el método Mattson para evaluar el tiempo de cocción en función del tiempo de cosecha de los frijoles y la determinación de la dureza del grano mediante un medidor de textura. Se definió el tiempo en la olla Mattson (ebullición, 95 ° C) en función de la resistencia de los frijoles a la penetración de la aguja de peso constante. Determinándose el tiempo de cocción como el tiempo transcurrido cuando el 100 % de granos fue atravesado por aguja. El segundo método consiste en utilizar un medidor de textura con una sonda cilíndrica de 3 mm de diámetro en las mismas condiciones para evaluar el cambio en la dureza del grano con el tiempo de cocción a una velocidad de prueba de 1 mm / seg, y detener el experimento hasta una que se obtiene el valor de dureza. Se determinó

a partir de dichos análisis que el método de olla Mattson sobreestima el tiempo necesario para llevar a cabo la cocción de frijol, ocasionándose con esto un sobreprocesamiento que conlleva al detrimento de atributos fisicoquímicos y nutricionales y generando un mayor gasto energético durante su procesamiento.

Al estudiar la relación entre la composición química y las propiedades térmicas que afectan la madurez de diferentes variedades de frijoles, la madurez (DC) y la dureza de los frijoles cocidos se estiman mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis de textura. El contenido de proteína total en semillas de frijol varió entre 19.7 y 23.6 %. Sin embargo, los componentes de globulina, albúmina y gluten muestran diferencias significativas entre variedades. El contenido de amilosa varía de 18.4 a 36.0 %.

El primer pico endotérmico está relacionado con la inactivación de la actividad enzimática, la desnaturalización del componente proteico de bajo peso molecular y la gelificación del almidón, y el segundo pico endotérmico está relacionado con la desnaturalización del componente proteico resistente al calor. El alto contenido de minerales en las semillas de leguminosas afecta el comportamiento térmico de los frijoles cocidos. La composición química entre variedades afectará el comportamiento térmico, y están relacionados con la alta dureza y baja cocción de los granos. (Sánchez *et al.*, 2014)

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Producción industrial de frijol volteado

En la industria de alimentos donde se realizó esta investigación, se cuenta con una línea de procesamiento que puede producir hasta 350 galones de frijoles por hora. Este proceso incluye las siguientes etapas:

2.1.1. Lavado de grano

En esta etapa se separa material extraño, grano podrido y se realiza un lavado al grano de frijol utilizado como materia prima.

2.1.2. Cocción

En la cocción se realiza un ablandamiento del grano de frijol con el fin de facilitar su molienda, además se busca el control de las reacciones químicas inherentes del grano de frijol.

2.1.3. Molienda

Proceso en el cual el grano de frijol se somete mediante el uso de molinos a un aplastamiento con el fin de obtener una consistencia que cumpla parámetros de calidad definidos.

2.1.4. Formulación

Etapa de preparación y mezcla del producto según fórmula definida.

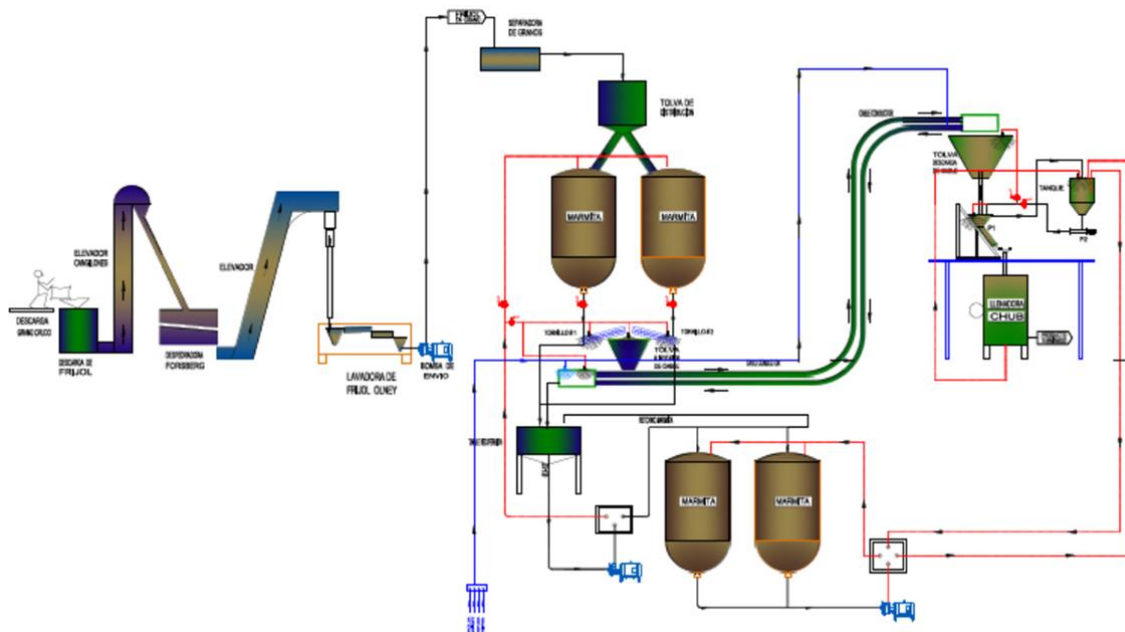
2.1.5. Llenado

Dosificación de producto según presentación y tipo de envase.

2.1.6. Proceso térmico

Etapa de aplicación de calor para eliminación de riesgos microbiológicos en alimentos.

Figura 1. Diagrama de proceso de producción de frijol a nivel industrial



Fuente: elaboración propia, utilizando Visio.

2.2. Leguminosas

El Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá y la Organización Panamericana de la Salud (2016) han determinado que las leguminosas son granos o semillas secas de algunas plantas que crecen en vainas. Las legumbres más habituales son los frijoles, las lentejas, la soja y los garbanzos. Ya que los frijoles y los guisantes también crecen en vainas, no se consideran legumbres porque sus granos o semillas se consumen frescos.

2.2.1. Valor nutritivo de las leguminosas

Los frijoles contienen un alto contenido de proteínas, que va del 17 % al 25 %, que es el doble de contenido que los cereales, similar o superior a la carne y el pescado, pero se considera que tienen un valor biológico bajo que estos.

Los aminoácidos esenciales contenidos en los frijoles, complementados con otros granos, mejoran la calidad nutricional de los alimentos, al igual que el maíz y los garbanzos. (Martinez, *et al.*, 2006)

Los frijoles son una fuente de carbohidratos, proteínas, fibra, hierro, vitamina B y una pequeña cantidad de grasa (menos del 4 %), principalmente grasas insaturadas. Además, las leguminosas contienen minerales como: hierro, calcio y magnesio. Contienen aproximadamente un 50 % de almidón y son un alimento rico en calorías, no por el aporte de grasas. (Astiasarán y Martínez, 2000, p.98)

Actualmente las leguminosas tienen importantes efectos terapéuticos por sus efectos beneficiosos cuando se consumen en grandes cantidades, principalmente utilizadas para enfermedades cardiovasculares. Además de las

proteínas, estos efectos beneficiosos también se atribuyen a otros nutrientes, como fibra, saponinas, isoflavonas, ácido fítico, entre otros. (Astiasarán y Martínez, 2000)

Se considera que los frijoles tienen un valor biológico bajo debido a su baja en metionina, cisteína y el triptófano que son los tres aminoácidos esenciales que les hace falta.

Tabla II. Contenido de macronutrientes en las leguminosas

Contenido promedio de Macronutrientes por cada 100 g de leguminosa crudo				
Nutrientes	Lenteja	Haba seca	Soya	Garbanzo
Energía, Kcal	340,0	339,0	398,0	364,0
Carbohidratos, g	60,7	58,2	35,5	61,1
Proteína, g	23,7	26,4	33,4	18,2
Grasa, g	1,3	2,2	16,4	6,2

Fuente: INCAP y OPS. (2016). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica.*

2.2.2. Aminoácidos esenciales

El aminoácido es una sustancia química orgánica que constituye un componente de las proteínas. A diferencia de otros nutrientes, contiene nitrógeno.

Los aminoácidos ayudan a las vitaminas y minerales a realizar correctamente sus funciones, ya que son sustancias químicas que transmiten información entre las células nerviosas y actúan como neurotransmisores o precursores de neurotransmisores. (Riera, 2004)

El 80 % de los aminoácidos no esenciales se producen en el hígado y el otro 20 % son aminoácidos esenciales que el cuerpo no puede sintetizar.

(Morales, *et al.*, 2017) La única fuente de estos aminoácidos es a través de la dieta.

Son considerados aminoácidos esenciales: la histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina. (Guillén, 2009)

2.2.3. Contenido de aminoácidos esenciales en las leguminosas

Los frijoles contienen aminoácidos, los cuales se expresan en mg / 100 gramos de proteína cruda, como se indica en la tabla siguiente:

Tabla III. **Contenido de aminoácidos de cada leguminosa en estudio**

mg de aminoácidos por cada 100 g de proteína bruta			
Alimento	Garbanzo	Soya	Haba
Isoleucina	22.4	21.0	24.5
Leucina	28.9	30.1	34.0
Lisina	26.9	24.7	21.9
metionina+cisteína	10.8	12.2	4.4
fenilalanina + tirosina	32.0	31.8	26.8
Treonina	13.9	15.4	12.8
Triptófano	3.2	5.4	3.6
Valina	19.3	20.5	19.6

Fuente: Medical Nutrition, (2000). *Contenido de aminoácidos.*

2.2.4. Calidad proteínica de las leguminosas

La calidad de las proteínas está determinada por su concentración y proporción entre los aminoácidos.

El 94 % es la tasa de digestibilidad y absorción de la proteína. Sin embargo, su efectividad depende de los siguientes factores: el contenido de prolina y fosfopéptidos (caseína y gluten), el tipo de proteína vegetal o animal, la presencia de azúcar y el procesamiento para conseguirlo. (Guillén, 2009)

La calidad de la proteína de animal es más alta, la proteína del huevo es del 97 %, la calidad de la proteína de la carne, el pescado y los productos lácteos es proporcionalmente más baja, la calidad de la proteína de las verduras es aún menor (maíz 90 %, proteína de trigo 85 %, diferentes clases frijoles menos del 80 %). La calidad de la proteína se mide por digestión y uso, se viene dando por el coeficiente de digestibilidad especificado por el porcentaje de proteína (o nitrógeno) absorbido en relación con la ingesta. (Licata, 1999, p.2)

2.3. Factores antinutricionales

En las leguminosas, el uso de nutrientes (proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales) está restringido por una serie de compuestos antinutricionales, que dificultan su uso y tienen efectos fisiológicos y bioquímicos adversos en humanos y animales. Pueden causar intoxicación en algunos casos. (Silveira, *et al.*, 2003; Bello, 2005)

Estudios recientes han demostrado que una porción adecuada de factores antinutricionales es beneficiosa para la salud, y no es necesario eliminarlos por completo, ya que se consideran compuestos activos con efectos biológicos, luego de ser absorbidos por el organismo por medio del intestino y otros órganos. Los beneficios nutricionales incluyen la regulación del azúcar en sangre y el colesterol, bajar la presión arterial, proteger el sistema circulatorio, prebióticos, anticancerígenos, potenciadores de la respuesta inmune, entre otros, y por ello, actualmente se les denomina “factores nutricionalmente activos”.

Estos compuestos no tienen funciones nutricionales clásicamente definidas o no se consideran esenciales para la salud, pero pueden tener un impacto significativo en el avance de ciertas enfermedades. Se identifican como

fitoquímicos, y los frijoles que los contienen se consideran alimentos funcionales. Porque brindan salud beneficios al mejorar el bienestar o reducir el riesgo de enfermedad.

Una fuente importante de fosfolípidos en el cuerpo es la lecitina, que está presente en los frijoles en concentraciones bajas, que tiene un efecto beneficioso en el cuerpo, reduce el azúcar en sangre y reduce el efecto de la insulina. Asimismo, pueden inhibir el crecimiento tumoral, actuar como adyuvantes de vacunas orales e incluso actuar como prebióticos. (Pusztai *et al.*, 2004)

Granulación, extrusión, tostado, entre otros. Son técnicas de uso común para leguminosas y tienen un bajo costo; el remojo previo de semillas y los procesos de calentamiento posteriores son mucho más costosos y no factibles. (Brenes, 1993) Sin embargo, el tratamiento térmico durante el procesamiento de leguminosas puede producir inhibidores de proteasa e inactivación de lecitina. (Elizalde, 2009)

2.4. Efectos fisiológicos en el organismo

Se han identificado varios tipos de factores antinutricionales en diferentes semillas. Aún existen pocos estudios sobre estos factores que pueden estar presentes en las leguminosas y se sabe poco sobre sus posibles efectos tóxicos. Mediante la tecnología adecuada en el procesamiento de la industria alimentaria, la presencia de antinutricionales puede inactivarse o reducirse a niveles óptimos de salud. (Martinez, 2016)

2.4.1. Efectos indeseables

Uno de los efectos más comunes de consumir leguminosas, es la formación de gas en el colon, que se debe a la falta de α -galactosidasa en la mucosa intestinal de los animales monogástricos (incluidos los humanos), necesaria para la hidrólisis de α -galactósidos. Dado que estos glucósidos no se pueden absorber y no pueden atravesar la pared gastrointestinal, ingresan intactos al colon, donde son metabolizados por bacterias anaeróbicas. Durante esta etapa metabólica denominada fermentación, se producen ácidos grasos volátiles o de cadena corta, que bajan el valor del pH, y dióxido de carbono, hidrógeno y gas metano, provocando flatulencias, náuseas, calambres abdominales, estreñimiento o diarrea.

La flatulencia no es un efecto tóxico de los frijoles, pero sí afecta a personas con problemas intestinales. Además de los glucósidos como los α -galactósidos, las semillas también contienen polisacáridos sin almidón resistente, que también producen gas cuando son fermentados por bacterias del colon. (Piotrowicz, 2004)

2.4.2. Efectos beneficiosos

Domoney, (1999) expresa que existen diferentes tipos de bacterias que son beneficiosas para el organismo y favorecen el efecto de los prebióticos, como las bifidobacterias y los lactobacilos producidos por los oligosacáridos, reduciendo así la proliferación de bacterias patógenas como: *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Listeria*, entre otras, para prevenir infecciones intestinales.

Hay otros tipos de baterías que pueden ser dañinas para el cuerpo, como el desarrollo de bacterias putrefactas (*Clostridium perfringens*), que producen

metabolitos tóxicos con la fermentación de los alimentos, como: nitrosaminas, indol, fenol y cresol (carcinógeno) o cáncer de mama (estrógeno (potenciador), sin embargo, su desarrollo puede reducir el pH del producto. Además, la falta de bacterias dañinas conduce a la pérdida de las enzimas necesarias para la conversión de ácidos biliares en ácidos biliares secundarios (un promotor del cáncer de colon) y la conversión de urea en amoníaco (un promotor del cáncer colorrectal). Es por esto por lo que la ingesta de oligosacáridos en la dieta puede prevenir el desarrollo de procesos cancerígenos, mientras que ingerir alimentos que contienen ácidos grasos volátiles puede prevenir el estreñimiento.

También explica que algunas proteínas interfieren con el metabolismo, como los inhibidores de proteasas, que se encuentran en las semillas de leguminosas y actúan sobre las enzimas digestivas: tripsina y quimotripsina, que se encargan de digerir las proteínas en el intestino delgado. En la composición de estos inhibidores, el contenido de aminoácidos azufrados es elevado, por lo que se consideran compuestos nutritivos.

También existe un inhibidor de proteasas: los inhibidores tipo Bowman-Birk, extraídos de la soja, son proteínas que contienen gran cantidad de cisteína y aminoácidos azufrados, lo que aumenta el valor nutricional de los frijoles. Al igual que otros inhibidores en otras leguminosas, el inhibidor de Bowman-Birk de soja previene y ayuda a tratar el cáncer (cáncer de colon, cáncer de mama, cáncer de hígado, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, etc.) al bloquear la acción de la quimotripsina. Se puede reducir el desarrollo de células cancerosas, al reducir la ingesta de biodisponibilidad de aminoácidos como leucina, fenilalanina o tirosina. (Gupta, 2000)

2.5. Propiedades fisicoquímicas del frijol

Hay que considerar que la alta temperatura a largo plazo acelerará el crecimiento de la planta, mientras que la baja temperatura ralentizará su tasa de crecimiento y, en casos extremos, provocará daños irreversibles, por lo que las leguminosas pueden desarrollarse plenamente a una temperatura promedio de 15 a 27 °C. También que los frijoles son variedad para sembrar en días cortos, sembrarlos en el momento adecuado puede limitar el impacto del número de días con más de 6 horas de luz, lo que puede retrasar su proceso de floración y maduración. (Ríos y Quirós, 2002)

La producción de cualquier cultivo se verá afectada por dos factores, biológicos y no biológicos. Los factores biológicos son factores en los que el ser humano puede influir de alguna manera, como semillas (variedad o cultivares), plagas (insectos, malezas, roedores, aves, microorganismos benéficos y dañinos), mientras que los factores no biológicos no pueden ser modificados a menos que sea un ambiente controlado (invernadero), como temperatura, humedad relativa, lluvia, heladas; tipo y profundidad de suelo, disponibilidad de nutrientes esenciales, viento, fuego, salinidad, luz, duración del día, topografía y valor de pH (una medida de la acidez o alcalinidad de suelo y agua).

En el ensayo titulado *Producción de frijol en dos épocas de siembra* realizado por la Universidad Autónoma de Chapingo, México (2022) se plantea que los resultados muestran que, en regiones con climas cálidos, la producción de biomasa y la producción de frijol varían según la fecha y temporada de siembra, y también indican que existen diferencias en la producción de biomasa y frijol sembrado en invierno y verano. El peso y el volumen son mayores debido a la menor evaporación y radiación solar en invierno.

La diversidad de formas de siembra, diferentes variedades y ecotipos de semillas, condiciones de almacenamiento y transferencia, y la existencia de plagas y enfermedades en el área de cosecha siempre han sido las variables que controlan el frijol.

Las propiedades físicas del frijol se clasifican según sus variedades y hay que tomar en cuenta variables como: forma, tamaño, peso y capacidad de absorción de agua, Este último es muy importante en los cereales porque debe tener un punto de contenido de humedad adecuado para la recolección y posterior almacenamiento. La veta es lisa, rugosa o angulosa, según la variedad. (Ospina, 2001)

2.6. Propiedades microbiológicas del frijol

En cuanto a sus propiedades, el frijol tiene las características ideales de crecimiento de los microorganismos botulínicos, es un bacilo grampositivo con un extremo redondo de 3 a 8 micrones y un grosor de 0,5 a 0,8 micrones. Es ligeramente móvil y tiene de 4 a 8 flagelos. *Bacillus* se aísla o se agrega en cadenas cortas, que están ampliamente distribuidas en la naturaleza y a menudo existen en los intestinos del ganado.

La toxina botulínica produce ácidos y gases a partir de glucosa, fructosa, maltosa, sacarosa, dextrina, glicerina, adonol e inositol. No fermenta lactosa, xilosa ni salicina. Las esporas botulínicas pueden tolerar condiciones ambientales adversas durante mucho tiempo sin perder la capacidad de germinar.

El organismo puede crecer sin aire ni oxígeno. Su capacidad para formar esporas le permite sobrevivir en diversas condiciones adversas, agentes térmicos

y químicos. Las esporas son más resistentes al calor que cualquier otra bacteria anaeróbica.

2.7. Propiedades organolépticas del frijol

La calidad de los alimentos está determinada por diferentes aspectos, como la cantidad y biodisponibilidad de nutrientes y seguridad sanitaria. (Pachón *et al.*, 2009) Sin embargo, los factores que determinan su aceptación o rechazo por parte de los consumidores están relacionados con la percepción subjetiva, es decir, aspectos relacionados con las preferencias del producto como: color, sabor, textura, consistencia y apariencia. (Liria, 2007). Por esta razón, al llevar un alimento al mercado o cambiar cualquier aspecto de este, es importante realizar pruebas sensoriales en la población objetivo del alimento.

Se pueden utilizar diferentes técnicas para evaluar el aroma y el sabor de los frijoles. Se conocen dos categorías principales y métodos diferentes, que no son necesariamente únicos: la química física o los métodos analíticos y los métodos sensoriales. El nivel de objetividad en ambos casos ha sido ampliamente discutido y existe una tendencia creciente a combinar los dos métodos. El sabor y el aroma son fenómenos fisiológicos y solo pueden evaluarse mediante métodos sensoriales, por lo que medirlos directamente con técnicas físicas y químicas puede resultar muy complicado.

Color: característica más importante que determina la calidad de los granos. En el caso de los frijoles, este parámetro varía según la variedad y puede ser blanco, crema, rojo, morado, marrón, rosa, negro, amarillo, entre otros.

Olor: el grano debe estar libre de cualquier fuente de contaminación, porque el cambio en su olor característico, es decir, el olor a fermentación, moho o almacenamiento es el motivo del rechazo.

Sabor: no debe contener fermentación, vinagre u otros sabores no múltiples.

2.8. Transferencia de calor

Para definir el valor nutricional de los alimentos existen variedad de métodos, unos más exactos, pero con un costo mayor, otros métodos son teóricos pero confiables, estos se describen a continuación:

Según el flujo de calor de un objeto a otro, existen tres métodos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

Conducción: la transferencia de calor se produce mediante el intercambio de energía cinética entre moléculas. Las moléculas no tienen desplazamiento, es decir, la energía térmica se transfiere de moléculas de alto nivel a moléculas de bajo nivel. Cuando se tratan con calor alimentos envasados y se esterilizan materiales sólidos o de alta viscosidad, predomina el mecanismo de accionamiento. La velocidad de calentamiento de estos materiales es lenta, por lo que se requiere un tiempo de procesamiento más largo.

En la transferencia de calor por convección, la energía se transfiere a través de una combinación de conducción de energía almacenada y movimiento de fluido debido a la diferencia de densidad entre las regiones de temperatura más alta y baja. La convección se produce en los alimentos fluidos no pastosos y no se producen cambios significativos de viscosidad durante el procesamiento.

Este tipo de transferencia de calor se caracteriza por una velocidad de calentamiento rápida y un tiempo reducido para el aumento de temperatura del producto. (Rao y Anantheswaran, 1988)

Por su parte, la radiación es la transferencia de energía electromagnética entre dos objetos a diferentes temperaturas

2.8.1. Capacidad calorífica

La capacidad calorífica (C) de un objeto es la relación entre el calor transferido al objeto en cualquier deformación y el correspondiente cambio de temperatura. Depende de la masa, la composición química, el estado termodinámico del objeto y el tipo de transformación en el proceso de transferencia de calor. Sus unidades son $J^{\circ}K^{-1}$.

2.8.1.1 Agua

El agua posee una capacidad calorífica muy elevada, es necesaria una gran cantidad de calor para elevar su temperatura $1.0^{\circ}K$. Para los sistemas biológicos esto es muy importante pues la temperatura celular se modifica muy poco como respuesta al metabolismo. De la misma forma, los organismos acuáticos, si el agua no poseyera esa cualidad, se verían muy afectados o no existirían.

2.8.1.2 Aceite

La composición química del aceite vegetal es equivalente a una mezcla de 95 % de triglicéridos y 5 % de ácidos grasos libres, esteroides, ceras y otros componentes, en la mayoría de los casos. Los triglicéridos son triglicéridos

formados por las tres reacciones funcionales de los ácidos grasos y el glicerol. Estas características hacen que los aceites vegetales utilizados en la industria alimentaria muestren un alto poder calorífico.

2.8.1.3 Frijol

Para determinar el aporte energético requerido para elevar un grado de temperatura para un alimento se utiliza la siguiente ecuación que describe la capacidad calorífica según los componentes de un alimento:

$$C_p = 1424X_{ch} + 1549X_p + 1625X_{gr} + 847X_{cn} - 4187X_w$$

En la ecuación descrita se ven representadas las fracciones másicas de los carbohidratos, proteínas, grasas, cenizas y agua.

A partir de este cálculo se determina cómo influye el alimento en el levantamiento de temperatura que se desea alcanzar y cuánta energía requiere para alcanzar una condición específica.

2.8.2. Cocción

La cocción se considera un método de conservación de alimentos, porque los alimentos cocidos generalmente se pueden almacenar durante un período de tiempo más largo. Solo trata de minimizar la re-contaminación.

Se observan los siguientes cambios importantes en la composición de los alimentos al realizar un proceso de cocción:

- Destrucción o reducción de los microorganismos presentes en un alimento.
- Destrucción de las enzimas
- Destrucción de toxinas
- Alteración del color
- Alteración del sabor
- Alteración de la textura
- Digestibilidad mejorada de los componentes alimenticios

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

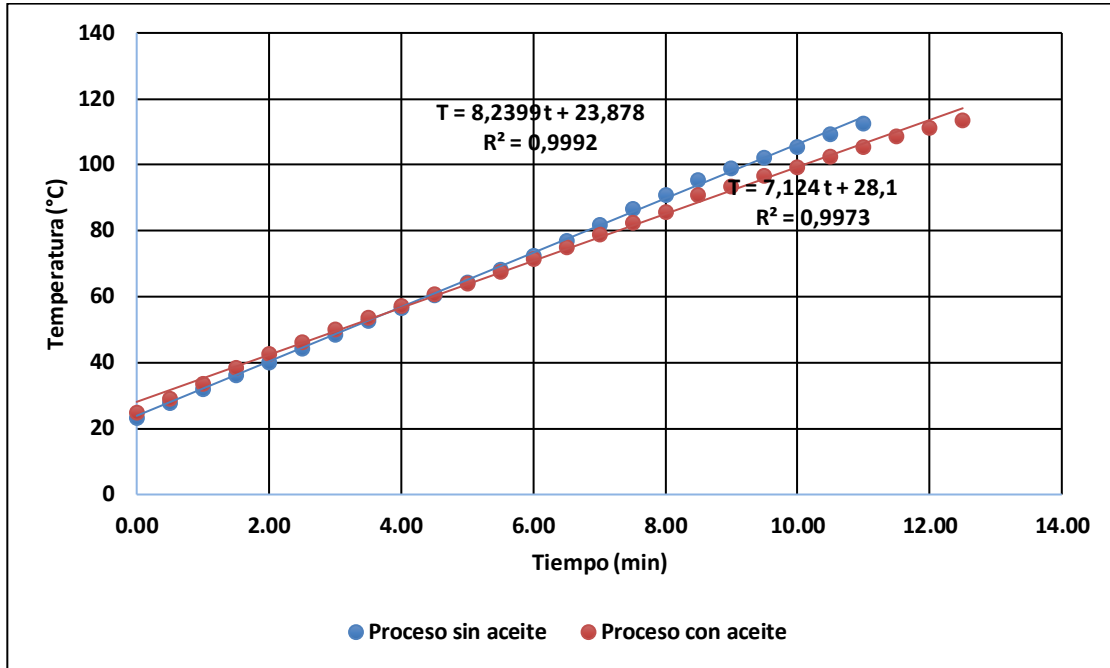
De acuerdo con los objetivos planteados, se obtuvieron los siguientes resultados:

3.1. Objetivo 1. Determinar el efecto que tiene el aceite vegetal en la cocción del grano de frijol mediante un análisis de calor

El aceite tradicionalmente se agrega en la etapa de formulación bajo el proceso actual, se realizaron repeticiones dosificando el aceite en la etapa de cocción para evaluar el comportamiento de este monitoreando las condiciones del producto, el levantamiento de temperatura hasta alcanzar condición de proceso (120 °C) se describe en la siguiente figura.

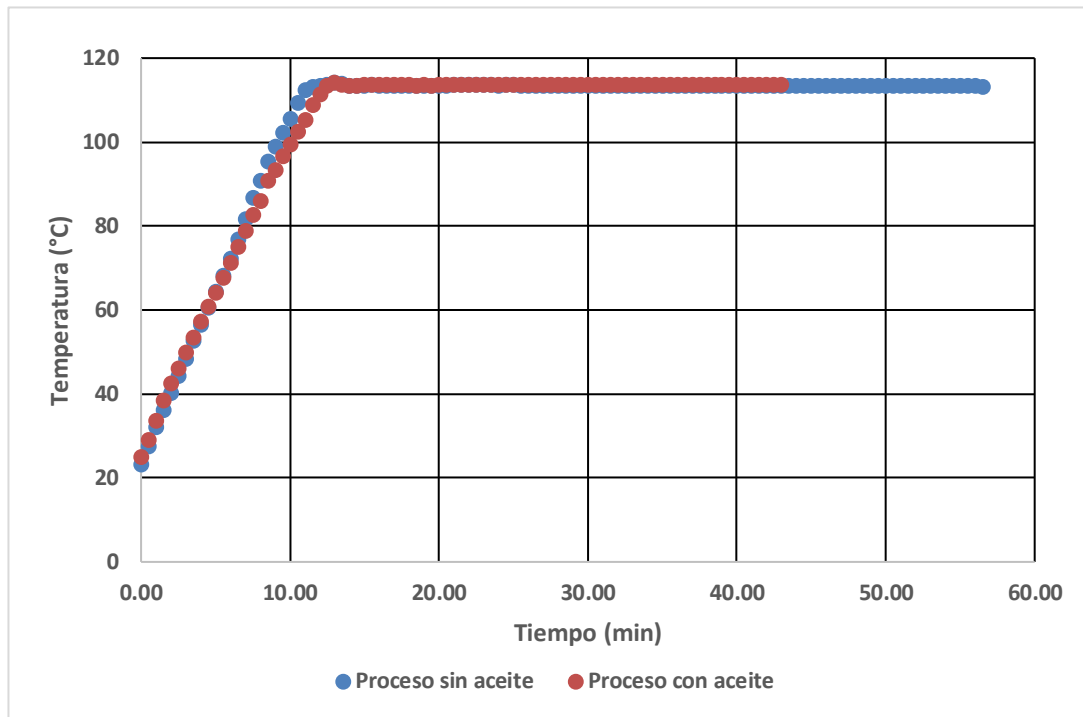
En esta se observa el comportamiento del proceso de cocción monitoreando el tiempo requerido para alcanzar la dureza mínima del grano.

Figura 2. Levantamiento de temperatura de proceso



Fuente: elaboración propia

Figura 3. **Tiempo requerido en cocción para alcanzar blandeza del grano de frijol**



Fuente: elaboración propia.

En las siguientes tablas se muestra el consumo de vapor necesario y tiempo requerido por proceso en el que se utiliza la adición de aceite en la cocción como modificador sustancial del proceso.

Tabla IV. **Comparación de condiciones de proceso**

	Consumo de vapor (kgv / kgp)	Tiempo (min)
Sin aceite	0.1322	58
Con aceite	0.1913	43

Fuente: elaboración propia.

3.2. Objetivo 2. Evaluar por medio de un panel sensorial triangular con consumidores si existe o no diferencia significativa en las características organolépticas y fisicoquímicas del producto terminado al disminuir el tiempo de cocción

Para la realización del panel sensorial se reclutó a 30 panelistas no entrenados, a los cuales se les realizó una prueba hedónica y para la evaluación de la referencia de frijol volteado y la muestra que fue procesada modificando los tiempos de cocción en el proceso.

Para la ejecución de la prueba hedónica de 5 puntos para la evaluación de las muestras, al panelista se le presentaron 3 vasos codificados de forma aleatoria, que contenían la referencia de frijol volteado y las muestras en cuestión. Se solicitó a los panelistas indicar cuanto les agradó la muestra en una escala que comprendió desde “Me gusta mucho” (5 puntos) hasta “Me gusta poco” (1 punto). El resultado fue evaluado estadísticamente a través del análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existía diferencia significativa entre el promedio de los puntajes asignados a las muestras.

Tabla V. Descripción de muestras de estudio

Muestra	Fecha de elaboración
Frijol negro volteado	11-06-2022
Frijol negro volteado (Prueba cocción)	11-06-2022

Fuente: elaboración propia

Tabla VI. Resultados

Muestra	Promedio	Probabilidad	Puntos por escala hedónica	Conclusión
Frijol negro volteado	2.90	0.182	47	No existe diferencia significativa entre las muestras
Frijol negro volteado (prueba de cocción)	3.70		59	

Fuente: elaboración propia.

Al finalizar las pruebas sensoriales se determinaron por medio de mediciones en laboratorio los parámetros fisicoquímicos de las muestras con variación en el proceso de cocción.

Tabla VII. Análisis fisicoquímico

Atributo	Parámetros de aceptación		Valor medido
	Mínimo	Máximo	
pH	5,70	6,10	6,00
Flow	8,00	9,00	9,00
%Sal	1,10	1,20	1,10
Acidez	0,15	0,19	0,18

Fuente: elaboración propia.

3.3. Objetivo 3. Analizar el efecto que la optimización del proceso de cocción tiene sobre el rendimiento del grano de frijol a nivel industrial

Se evaluó en distintos turnos el efecto que genera adicionar el aceite durante la cocción en el rendimiento del frijol negro, el mismo se describe en la siguiente tabla:

Tabla VIII. Comparación de rendimiento de grano de frijol

Ingrediente	Cocción actual	%	Nuevo tiempo de cocción	%	Rendimiento
Frijol (kg)	1338.17	27.03 %	1238.49	20.90 %	-4.18 %
Agua total (l)	3613.00	72.97 %	4304.00	72.61 %	4.90 %
Aceite (kg)	0.00	0.00 %	314.00	5.30 %	0.59 %
Total batch	5336.30	100.00%	5926.99	100.00%	

Fuente: elaboración propia.

3.4. Objetivo general. Optimizar la transferencia de calor en la etapa de cocción del grano de frijol para aumentar el rendimiento del grano de frijol para evaluar el efecto que presenta sobre las características organolépticas y fisicoquímicas del producto elaborado en una industria de alimentos de la ciudad de Guatemala

En las tablas VI y VII se describe cómo no existió diferencia a nivel sensorial ni fisicoquímico al modificar las condiciones de proceso.

A partir de la comparación de rendimiento de grano de frijol con la modificación de condiciones en el proceso de cocción descrita en la tabla VIII se realizó una proyección de reducción de costos generada por la disminución de uso de grano de frijol en el proceso, la misma se describe en la siguiente tabla:

Tabla IX. Ahorro proyectado en uso de grano de frijol anual

Ton/año frijol	15000.00
Frijol molido año	60 %
Ton frijol molido año	9000.00
Ahorro grano nueva cocción	5.88 %
Ahorro grano frijol anual (Ton)	529.00
Precio frijol split por libra	Q0.30
Precio frijol por tonelada	Q667.08
Ahorro total	Q352,881.70

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como se observó en las evaluaciones sensoriales y fisicoquímicas no existió alteración en el producto terminado al modificar las condiciones de proceso de cocción, adicionalmente se logró proyectar un ahorro considerable al evaluar el efecto que los mismos cambios generaron en el rendimiento del producto.

4.1. Análisis interno

Al iniciar el estudio de comparación entre el proceso actual de cocción y la propuesta de modificación de proceso agregando el aceite en el área de cocedores y no en la formulación se evaluaron estos para lo que se utilizaron los mismo equipos y materia prima.

El análisis del tiempo de cocción en donde se evaluaron las propiedades del grano de frijol, fueron evidentes al denotar una diferencia de 15 minutos entre cada uno de los procesos.

El proceso al cual se le añadió aceite requiere mayor calor durante el proceso, sin embargo esto era de esperarse por el aumento considerable de masa en el proceso al agregar aceite, el efecto principal se encuentra en que al generarse mayor calor en menos tiempo el grano de frijol presenta condiciones de disminución de dureza que favorecen su molienda siendo estos activados por su interacción con el aceite lo que favoreció notablemente el rendimiento del mismo a lo largo del proceso generando una proyección de ahorro de materia prima considerable para la implementación de esta nueva condición de proceso.

Se generan muchos hallazgos favorables al proceso productivo en general por la disminución de dureza del grano de frijol, además del económico se visibiliza una mejora en la operación de los equipos, aumentando la vida útil de los molinos y bombas, permitiendo también un mejor control de los parámetros de calidad por la mejora considerable en el proceso de molienda evitando que producto no molido completamente perjudique la formulación al no alcanzar la cantidad de material requerido entre un proceso y otro.

4.2. Análisis externo

El proceso de cocción propuesto al evaluar las condiciones sensoriales y fisicoquímicas no presentó diferencias significativas según la evaluación de consumidores no entrenados.

El objetivo final de cualquier búsqueda de optimización de procesos necesariamente obliga a mantener las condiciones del producto y garantizar que el cambio sea imperceptible para el consumidor, adicional a las pruebas sensoriales se verificó que los parámetros de sal, acidez, pH y viscosidad se mantuvieron dentro de los estándares de calidad de la industria en la que se realizó el análisis propuesto.

CONCLUSIONES

1. La adición de aceite en el proceso de cocción disminuye dicha etapa 15 minutos con respecto a la metodología existente.
2. Los análisis sensoriales y fisicoquímicos demostraron que no existe diferencia significativa en el producto realizado con 15 minutos menos en el proceso de cocción.
3. Existe una reducción del 4.18 % en el consumo de grano de frijol al utilizar las condiciones de proceso propuestas.
4. La optimización de calor utilizando aceite en el proceso de cocción permite modificar la dureza del grano de frijol de forma favorable lo que disminuye el consumo de este en la producción.

RECOMENDACIONES

1. Implementar de forma inmediata la adición de aceite en el proceso de cocción por los beneficios en rendimiento y vida útil de los equipos de proceso.
2. Continuar la experimentación con distintos proveedores de grano de frijol para ampliar el portafolio de distribuidores de materia prima.
3. Evaluar nuevo proceso de línea de producción para identificar nuevas oportunidades de mejora de rendimiento.
4. Utilizar la experimentación realizada como soporte para solicitud de un presupuesto que permita adecuar el suministro de aceite hacia el proceso de cocción.

REFERENCIAS

1. Aguado Alonso, J., *et al.*, Ingeniería de la Industria alimentaria (1999) *Conceptos básicos*. Madrid, España: Editorial Síntesis S.A.
2. Arazo, M., Hernández, A., Rodríguez, D., Alejo, Y., y Duarte, C. (agosto 2013). Elaboración de una bebida de lactosuero fermentada con cultivos probióticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3 (5) 68-71.
3. Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación.
4. Conti, J., Ceriani, M., Juliarena, M., y Esteban, E. (febrero 2012). Perfil proteico y peptídico de una base fluida para bebidas funcionales obtenida por fermentación de lactosuero. *Información tecnológica*. 7 (3) 61-70
5. Espinosa, J. (2007). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Cuba: Editorial Universitaria.
6. Geankoplis, C. (1998) *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. (3ª edición). México: Editorial CECSA.
7. Gösta, B. (1995). *Dairy processing handbook*. Suecia: Processing Systems.
8. Granda, D., Medina, Y., Culebras, M., y Gómez, C. (julio 2014). Desarrollo y caracterización de una película activa biodegradable

con antioxidantes (alfa-tocoferol) a partir de las proteínas del lactosuero. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 1(3) 11-19.

9. Guerrero, W., Castilla, P., Cárdenas, K., Gómez, C., y Castro, J. (noviembre 2012). Degradación anaerobia de dos tipos de lactosuero en reactores UASB. *Tecnología Química*. 2 (8) 99-106.
10. Hernández, E. (2005). *Evaluación Sensorial*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
11. Inda, A. (2001). *Manejo y usos del lactosuero de quesería*. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.
12. Kreczmann, B., Alonso, A., Matias, L., Zamboni, E., Cerutti, R., Baroni, D., y Poluján, D. (septiembre 2015). Procesamiento del lactosuero: elaboración de lactosa y aprovechamiento de proteínas. *Tecnología Láctea Latinoamericana* (3) 44-49.
13. Linden, G., y Lorient, D. (1996). *Bioquímica agroindustrial: revalorización alimentaria de la producción agrícola*. España: Acribia Editorial.
14. López, K., Cabrera, D., Aguilar, O., Sol, W., López, E., y Vela, G. (2013). *Evaluación del impacto nutricional y la aceptación organoléptica de galletas enriquecidas con lactosuero, soya y nuez de macadamia en preescolares de una comunidad de Chiapas*. México: Fondo de Cultura Económica.

15. Panesar, P., Kennedy, J., Gandhi, D., & Bunko, K. (2007). Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry*, 1-14.
16. Rodríguez S. (2002) *Ingeniería de la industria alimentaria vol. III Operaciones de conservación de alimentos*. Madrid, España: Editorial Síntesis S.A.
17. Singh, R. P. y Heldman, D. R., (1998) *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.

APÉNDICES

Apéndice 1. Instrumento de recolección de datos de la prueba de aceptabilidad

Prueba sensorial frijol negro volteado

Usted va a probar frijol negro volteado. Es necesario que no se consuma cualquier tipo de pastilla, chicle o cualquier otro alimento que pueda interferir con la evaluación. Pruebe la muestra que tiene enfrente y responda las siguientes preguntas, marcando con un círculo según corresponda en cada una:

1. En GENERAL, ¿cuánto le gusta o disgusta el puré?

Disgusta mucho	Disgusta	Disgusta un poco	Ni me gusta ni me disgusta	Gusta un poco	Gusta	Gusta mucho

2. En cuanto a la CONSISTENCIA, ¿Cuánto le gusta o disgusta?

Disgusta mucho	Disgusta	Disgusta un poco	Ni me gusta ni me disgusta	Gusta un poco	Gusta	Gusta mucho

3. Qué opina del COLOR del puré?

Le falta mucho	Le falta un poco	Justo como me gusta	Le sobra un poco	Le sobra mucho

4. Qué opina del OLOR del puré?

Le falta mucho	Le falta un poco	Justo como me gusta	Le sobra un poco	Le sobra mucho

5. ¿Estaría de acuerdo con comprar este producto?

Totalmente en desacuerdo	Desacuerdo	Me es indiferente	De acuerdo	Totalmente de acuerdo

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Instrumento de recolección de datos fisicoquímicos**

Análisis fisicoquímico

Fisicoquímico			Sal	Acidez	Ph	Consistencia (bostwick)
No.	Fecha	Hora	Valor	Valor	Valor	Valor

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Instrumento de recolección de datos fisicoquímicos**

Tiempo (min)	Proceso sin aceite	Proceso con aceite
	Temperatura (°C)	
	Prueba 1	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Medición de temperatura para análisis de comportamiento de etapa de cocción**

Tiempo (min)	Proceso sin aceite	Proceso con aceite	Proceso sin aceite	Proceso con aceite
	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)	
	Prueba 1		Prueba 2	
0.00	23.54	25.1	24.15	24.18
0.50	27.86	29.37	28.4	27.85
1.00	32.33	33.89	32.86	32.41
1.50	36.36	38.58	36.67	36.82
2.00	40.39	42.83	40.79	41.23
2.50	44.46	46.33	45.04	44.77
3.00	48.64	50.16	49.15	48.84
3.50	52.8	53.74	53.07	52.71
4.00	56.8	57.39	57.09	56.13
4.50	60.76	60.93	61.1	60.16
5.00	64.64	64.26	65.02	63.32
5.50	68.28	67.76	68.72	66.69
6.00	72.53	71.56	72.86	70.26
6.50	77.06	75.22	77.85	74.22
7.00	81.95	79.18	83.24	78.45
7.50	86.87	82.76	88.06	83.04
8.00	91.12	86.05	92.03	88.32
8.50	95.61	90.93	95.05	91.68
9.00	99.2	93.51	98.09	94.2
9.50	102.4	96.83	102.17	97.16
10.00	105.77	99.62	106.07	100.29
10.50	109.52	102.59	109.36	103.34
11.00	112.66	105.61	112.67	106.36
11.50	113.46	108.92	113.57	109.03
12.00	113.67	111.48	113.74	112.04
12.50	113.81	113.64	114.08	113.73
13.00	114.36	114.33	114.75	114.41

Continuación de apéndice 4.

13.50	114.11	113.86	114.72	113.91
14.00	113.62	113.71	114.15	113.74
14.50	113.72	113.65	113.73	113.68
15.00	113.73	113.76	113.76	113.77
15.50	113.76	113.85	113.76	113.85
16.00	113.71	113.84	113.7	113.86
16.50	113.6	113.79	113.61	113.82
17.00	113.55	113.77	113.53	113.81
17.50	113.56	113.8	113.55	113.82
18.00	113.63	113.75	113.64	113.78
18.50	113.65	113.72	113.66	113.76
19.00	113.67	113.75	113.68	113.77
19.50	113.69	113.73	113.69	113.77
20.00	113.71	113.81	113.7	113.81
20.50	113.71	113.86	113.7	113.85
21.00	113.75	113.84	113.73	113.86
21.50	113.75	113.84	113.76	113.86
22.00	113.76	113.82	113.76	113.85
22.50	113.75	113.82	113.74	113.83
23.00	113.75	113.81	113.74	113.83
23.50	113.75	113.81	113.74	113.83
24.00	113.73	113.81	113.73	113.83
24.50	113.75	113.82	113.74	113.83
25.00	113.75	113.8	113.74	113.82
25.50	113.73	113.81	113.76	113.82
26.00	113.69	113.8	113.74	113.82
26.50	113.72	113.8	113.73	113.79
27.00	113.73	113.8	113.74	113.79
27.50	113.71	113.8	113.73	113.81
28.00	113.69	113.81	113.72	113.82
28.50	113.69	113.82	113.7	113.85
29.00	113.67	113.82	113.69	113.85
29.50	113.65	113.82	113.68	113.85
30.00	113.64	113.82	113.65	113.85

Continuación de apéndice 4.

30.50	113.63	113.82	113.65	113.86
31.00	113.63	113.84	113.65	113.86
31.50	113.63	113.84	113.64	113.86
32.00	113.63	113.84	113.65	113.86
32.50	113.63	113.82	113.65	113.86
33.00	113.63	113.82	113.64	113.86
33.50	113.63	113.82	113.64	113.85
34.00	113.63	113.82	113.65	113.85
34.50	113.63	113.82	113.65	113.85
35.00	113.62	113.81	113.62	113.83
35.50	113.63	113.81	113.64	113.85
36.00	113.64	113.82	113.65	113.86
36.50	113.64	113.81	113.65	113.85
37.00	113.65	113.81	113.65	113.83
37.50	113.65	113.81	113.65	113.82
38.00	113.64	113.8	113.64	113.82
38.50	113.64	113.81	113.64	113.85
39.00	113.63	113.8	113.64	113.83
39.50	113.63	113.81	113.64	113.85
40.00	113.63	113.81	113.64	113.85
40.50	113.64	113.81	113.64	113.86
41.00	113.64	113.8	113.64	113.83
41.50	113.64	113.8	113.64	113.82
42.00	113.64	113.8	113.65	113.81
42.50	113.65	113.79	113.65	113.81
43.00	113.65	113.77	113.65	113.81
43.50	113.65		113.65	
44.00	113.65		113.64	
44.50	113.65		113.64	
45.00	113.65		113.64	
45.50	113.64		113.64	
46.00	113.65		113.65	
46.50	113.65		113.65	
47.00	113.67		113.65	
47.50	113.67		113.65	
48.00	113.67		113.66	
48.50	113.67		113.65	

Continuación de apéndice 4.

49.00	113.67		113.65	
49.50	113.68		113.65	
50.00	113.67		113.66	
50.50	113.67		113.65	
51.00	113.67		113.65	
51.50	113.67		113.66	
52.00	113.67		113.66	
52.50	113.65		113.65	
53.00	113.64		113.64	
53.50	113.63		113.64	
54.00	113.63		113.62	
54.50	113.62		113.62	
55.00	113.62		113.62	
55.50	113.62		113.61	
56.00	113.6		113.61	
56.50	113.34		113.47	
Tiempo (min)	Proceso sin aceite	Proceso con aceite	Proceso sin aceite	Proceso con aceite
	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)	
	Prueba 3		Prueba 4	
0.00	24.64	23.54	24.15	24.18
0.50	28.83	25.79	28.4	27.85
1.00	33.75	30.11	32.86	32.41
1.50	37.87	34.74	36.67	36.82
2.00	41.98	38.91	40.79	41.23
2.50	46.11	42.82	45.04	44.77
3.00	50.27	46.83	49.15	48.84
3.50	54.14	50.58	53.07	52.71
4.00	58.17	54.34	57.09	56.13
4.50	62.13	57.9	61.1	60.16
5.00	65.91	61.41	65.02	63.32
5.50	69.7	64.99	68.72	66.69
6.00	73.68	68.44	72.86	70.26
6.50	78.2	71.78	77.85	74.22

Continuación de apéndice 4.

7.00	83.04	75.22	83.24	78.45
7.50	88.23	78.78	88.06	83.04
8.00	91.45	82.86	92.03	88.32
8.50	94.87	87.68	95.05	91.68
9.00	98.86	92.03	98.09	94.2
9.50	102.08	94.82	102.17	97.16
10.00	105.37	98.07	106.07	100.29
10.50	109.09	101.18	109.36	103.34
11.00	112.43	104.38	112.67	106.36
11.50	113.42	108.11	113.57	109.03
12.00	113.68	111.07	113.74	112.04
12.50	113.78	113.39	114.08	113.73
13.00	114.46	114.34	114.75	114.41
13.50	114.14	113.91	114.72	113.91
14.00	113.66	113.77	114.15	113.74
14.50	113.74	113.73	113.73	113.68
15.00	113.77	113.83	113.76	113.77
15.50	113.8	113.89	113.76	113.85
16.00	113.72	113.89	113.7	113.86
16.50	113.61	113.83	113.61	113.82
17.00	113.56	113.85	113.53	113.81
17.50	113.56	113.86	113.55	113.82
18.00	113.62	113.81	113.64	113.78
18.50	113.66	113.8	113.66	113.76
19.00	113.7	113.8	113.68	113.77
19.50	113.73	113.82	113.69	113.77
20.00	113.76	113.89	113.7	113.81
20.50	113.76	113.89	113.7	113.85
21.00	113.8	113.9	113.73	113.86
21.50	113.81	113.9	113.76	113.86
22.00	113.81	113.93	113.76	113.85
22.50	113.78	113.91	113.74	113.83
23.00	113.78	113.91	113.74	113.83
23.50	113.77	113.91	113.74	113.83
24.00	113.78	113.93	113.73	113.83
24.50	113.78	113.91	113.74	113.83
25.00	113.78	113.9	113.74	113.82

Continuación de apéndice 4.

25.50	113.77	113.9	113.76	113.82
26.00	113.74	113.89	113.74	113.82
26.50	113.77	113.89	113.73	113.79
27.00	113.78	113.87	113.74	113.79
27.50	113.74	113.87	113.73	113.81
28.00	113.73	113.89	113.72	113.82
28.50	113.74	113.9	113.7	113.85
29.00	113.74	113.9	113.69	113.85
29.50	113.7	113.9	113.68	113.85
30.00	113.72	113.9	113.65	113.85
30.50	113.7	113.9	113.65	113.86
31.00	113.69	113.9	113.65	113.86
31.50	113.69	113.9	113.64	113.86
32.00	113.7	113.91	113.65	113.86
32.50	113.69	113.9	113.65	113.86
33.00	113.69	113.9	113.64	113.86
33.50	113.69	113.91	113.64	113.85
34.00	113.7	113.9	113.65	113.85
34.50	113.7	113.91	113.65	113.85
35.00	113.68	113.89	113.62	113.83
35.50	113.7	113.91	113.64	113.85
36.00	113.73	113.93	113.65	113.86
36.50	113.73	113.9	113.65	113.85
37.00	113.72	113.93	113.65	113.83
37.50	113.72	113.9	113.65	113.82
38.00	113.68	113.9	113.64	113.82
38.50	113.7	113.94	113.64	113.85
39.00	113.68	113.9	113.64	113.83
39.50	113.69	113.89	113.64	113.85
40.00	113.69	113.87	113.64	113.85
40.50	113.7	113.89	113.64	113.86
41.00	113.69	113.87	113.64	113.83
41.50	113.68	113.86	113.64	113.82
42.00	113.69	113.85	113.65	113.81
42.50	113.7	113.85	113.65	113.81
43.00	113.7	113.86	113.65	113.81
43.50	113.7		113.65	

Continuación de apéndice 4.

44.00	113.69		113.64	
44.50	113.69		113.64	
45.00	113.7		113.64	
45.50	113.69		113.64	
46.00	113.69		113.65	
46.50	113.74		113.65	
47.00	113.72		113.65	
47.50	113.72		113.65	
48.00	113.72		113.66	
48.50	113.69		113.65	
49.00	113.72		113.65	
49.50	113.7		113.65	
50.00	113.7		113.66	
50.50	113.72		113.65	
51.00	113.7		113.65	
51.50	113.69		113.66	
52.00	113.69		113.66	
52.50	113.66		113.65	
53.00	113.66		113.64	
53.50	113.66		113.64	
54.00	113.65		113.62	
54.50	113.65		113.62	
55.00	113.65		113.62	
55.50	113.64		113.61	
56.00	113.64		113.61	
56.50	113.23		113.47	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Matriz de coherencia

Objetivo	Metodología	Resultado	Conclusión	Recomendación
Determinar el efecto que tiene el aceite vegetal en la cocción del grano de frijol mediante un análisis de transferencia de calor.	Análisis de transferencia de calor	Reducción de 15 minutos al proceso de cocción	La adición de aceite en el proceso de cocción disminuye dicha etapa 15 minutos con respecto a la metodología existente.	Implementar de forma inmediata la adición de aceite en el proceso de cocción por los beneficios en rendimiento y vida útil de los equipos de proceso
Evaluar por medio de un panel sensorial triangular con consumidores si existe o no diferencia significativa en las características organolépticas y fisicoquímicas del producto terminado al disminuir el tiempo de cocción.	Evaluación de producto terminado por medio de análisis fisicoquímico y prueba sensorial	No existió diferencia significativa en el producto terminado con la modificación de proceso propuesto	Los análisis sensoriales y fisicoquímicos demostraron que no existe diferencia significativa en el producto realizado con 15 minutos menos en el proceso de cocción	Continuar la experimentación con distintos proveedores de grano de frijol para ampliar el portafolio de distribuidores de materia prima
Analizar el efecto que la optimización del proceso de cocción tiene sobre el rendimiento del grano de frijol a nivel industrial.	Análisis de rendimiento de frijol negro	Disminución del 4.18% en el uso de grano de frijol	Existe una reducción del 4.18% en el consumo de grano de frijol al utilizar las condiciones de proceso propuestas	Evaluar nuevo proceso de línea de producción para identificar nuevas oportunidades de mejora de rendimiento
Optimizar la transferencia de calor en la etapa de cocción del grano de frijol para aumentar rendimiento y productividad evaluando el efecto que presenta sobre las características organolépticas y fisicoquímicas del producto elaborado en una industria de alimentos de la ciudad de Guatemala.	Análisis de transferencia de calor, evaluación de producto terminado por medio de análisis fisicoquímico y prueba sensorial, análisis de rendimiento de frijol negro	Ahorro anual proyectado de Q352,881.70	La optimización de calor utilizando aceite en el proceso de cocción permite modificar la dureza del grano de frijol de forma favorable disminuyendo el consumo de este en la producción	Utilizar la experimentación realizada como soporte para solicitud de un presupuesto que permita adecuar el suministro de aceite hacia el proceso de cocción

Fuente: elaboración propia.