



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN  
DE HARINA DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris*).**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA:** DANIELA NATALY AUQUI MUYULEMA

**DIRECTOR:** ING. CÉSAR ARTURO PUENTE GUIJARRO Ph.D.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Daniela Nataly Auqui Muyulema

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Daniela Nataly Auqui Muyulema, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 02 de mayo de 2023



**Daniela Nataly Auqui Muyulema**  
**060511656-5**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris*)**., realizado por la señorita: **DANIELA NATALY AUQUI MUYULEMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
MV. Guillermo Eduardo Dávalos Merino Mgs. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-05-02
Ing. César Arturo Puente Guijarro Ph.D. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-05-02
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza MSc. <b>ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-05-02

## **DEDICATORIA**

A mis padres, ya que estuvieron presentes durante toda la etapa de mi formación estudiantil, y mediante el apoyo emocional y económico aportaron para poder cumplir una etapa más en mi vida.

Daniela

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres Daniel e Hilda por todo el apoyo brindado, a mis hermanos por sus buenos deseos y consejos, a mis compañeros de clase por su colaboración y a mi tutor y asesora del Trabajo de Integración Curricular por haberme guiado y brindado sus conocimientos.

Daniela

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Justificación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.1. Objetivo general.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>3</b>

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Antecedentes de la investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Referencias teóricas.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1. Fréjol.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1.1. Situación actual en el Ecuador.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1.2. Taxonomía.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1.3. Clasificación.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1.4. Composición nutricional.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2. Harina.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3. Secado.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.4. Molienda.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.5. Molinos.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.5.1. Molino de martillos.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.5.2. Molino de bolas.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.6. Tamizado.....</b>	<b>8</b>

2.2.7. <i>Envasado</i> .....	8
------------------------------	---

### CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.....	9
3.1. Localización del proyecto .....	9
3.2. Ingeniería del proyecto .....	10
3.2.1. <i>Tipo de proyecto</i> .....	10
3.2.2. <i>Metodología</i> .....	11
3.2.2.1. <i>Método deductivo</i> .....	11
3.2.2.2. <i>Método inductivo</i> .....	11
3.2.2.3. <i>Método experimental</i> .....	11
3.3. Técnicas.....	12
3.3.1. <i>Clase o tipo de fréjol</i> .....	12
3.3.2. <i>Muestreo</i> .....	12
3.3.2.1. <i>Toma de muestras</i> .....	12
3.3.2.2. <i>Reducción por cuarteo</i> .....	13
3.4. Caracterización de la materia prima.....	13
3.4.1. <i>Caracterización física de la materia prima</i> .....	13
3.4.2. <i>Caracterización química de la materia prima</i> .....	18
3.5. Proceso a nivel de laboratorio .....	21
3.5.1. <i>Recepción de la materia prima</i> .....	22
3.5.2. <i>Pesado</i> .....	22
3.5.3. <i>Limpieza</i> .....	23
3.5.3.1. <i>Balance de masa de la limpieza de materia prima</i> .....	24
3.5.4. <i>Lavado</i> .....	24
3.5.4.1. <i>Balance de masa de lavado</i> .....	25
3.5.5. <i>Secado</i> .....	25
3.5.5.1. <i>Balance de masa en el secado</i> .....	26
3.5.5.2. <i>Datos experimentales del secado del fréjol</i> .....	27
3.5.5.3. <i>Balance de energía</i> .....	36
3.5.6. <i>Molienda</i> .....	38
3.5.6.1. <i>Balance de masa en la molienda</i> .....	39
3.5.7. <i>Tamizado</i> .....	39
3.5.7.1. <i>Balance de masa en el tamizado</i> .....	40
3.5.7.2. <i>Análisis granulométrico</i> .....	41

3.5.8. <i>Envasado</i> .....	41
3.5.8.1. <i>Balance de masa en el envasado</i> .....	42
3.5.9. <i>Determinación de las variables del proceso</i> .....	42
3.5.10. <i>Balance global</i> .....	44
3.6. <b>Caracterización fisicoquímica del producto obtenido (harina de fréjol)</b> .....	45
3.7. <b>Proceso de producción a escala industrial</b> .....	52
3.7.1. <i>Diseño de equipos</i> .....	52
3.7.1.1. <i>Tanque de lavado</i> .....	52
3.7.1.2. <i>Diseño del secador de bandejas</i> .....	54
3.1.1. <i>Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria</i> .....	62
3.8. <b>Validación económica para la producción industrial de harina</b> .....	64
3.8.1. <i>Inversión fija</i> .....	64
3.8.2. <i>Determinación de egresos</i> .....	65
3.8.3. <i>Costos totales de inversión fija y egresos</i> .....	66
3.8.4. <i>Determinación de ingresos anuales</i> .....	66
3.8.4.1. <i>Costos de producción por unidad producida</i> .....	66
3.8.4.2. <i>Precio de venta unitario al público</i> .....	67
3.8.5. <i>Cálculo de la viabilidad del proyecto</i> .....	67
3.8.5.1. <i>Valor Actual Neto (VAN)</i> .....	68
3.8.5.2. <i>Tasa Interna de Retorno</i> .....	69
3.8.5.3. <i>Periodo de recuperación (PDR)</i> .....	70

## CAPÍTULO IV

4. <b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	71
4.1. <b>Resultados de la caracterización de la materia prima</b> .....	71
4.1.1. <i>Resultados obtenidos de la caracterización física de la materia prima</i> .....	71
4.1.2. <i>Resultados obtenidos de la caracterización química</i> .....	72
4.2. <b>Resultados de la obtención de harina de fréjol a nivel laboratorio</b> .....	73
4.2.1. <i>Resultados del balance de materia</i> .....	73
4.2.2. <i>Resultado del balance de energía</i> .....	73
4.3. <b>Resultados de la caracterización fisicoquímica de la harina obtenida</b> .....	74
4.4. <b>Resultado del dimensionamiento de la planta</b> .....	75
4.5. <b>Resultados de la validación económica del proceso a nivel industrial</b> .....	77

## CAPÍTULO V

<b>CONCLUSIONES</b> .....	78
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	80

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Taxonomía del fréjol .....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Clasificación del fréjol .....	5
<b>Tabla 3-2:</b> Composición nutricional en 100 gramos de fréjol.....	6
<b>Tabla 1-3:</b> Ubicación geográfica de la ESPOCH.....	9
<b>Tabla 2-3:</b> Ubicación geográfica de La Molienda “San Luis” .....	10
<b>Tabla 3-3:</b> Requisitos de fréjol en grano para consumo.....	13
<b>Tabla 4-3:</b> Requisitos de fréjol en grano para consumo.....	14
<b>Tabla 5-3:</b> Caracterización física de la materia prima .....	14
<b>Tabla 6-3:</b> Requisitos químicos para la harina de trigo.....	18
<b>Tabla 7-3:</b> Caracterización química de la materia prima .....	18
<b>Tabla 8-3:</b> Requerimientos en el proceso.....	21
<b>Tabla 9-3:</b> Datos experimentales del secado del fréjol .....	27
<b>Tabla 10-3:</b> Determinación de la humedad en base seca .....	27
<b>Tabla 11-3:</b> Determinación de la humedad libre.....	28
<b>Tabla 12-3:</b> Datos experimentales para la determinación de la velocidad de secado .....	29
<b>Tabla 13-3:</b> Determinación de la velocidad de secado.....	29
<b>Tabla 14-3:</b> Período de la velocidad decreciente .....	31
<b>Tabla 15-3:</b> Tiempo 2 Período de la velocidad decreciente .....	33
<b>Tabla 16-3:</b> Tiempo 2 Período de la velocidad decreciente .....	35
<b>Tabla 17-3:</b> Análisis granulométrico.....	41
<b>Tabla 18-3:</b> Variables del proceso .....	43
<b>Tabla 19-3:</b> Requisitos físicos y químicos para la harina de trigo .....	45
<b>Tabla 20-3:</b> Requisitos microbiológicos para la harina de trigo .....	46
<b>Tabla 21-3:</b> Caracterización fisicoquímica de harina de fréjol .....	46
<b>Tabla 22-3:</b> Caracterización microbiológica de harina de fréjol.....	51
<b>Tabla 23-3:</b> Requerimiento de equipos .....	52
<b>Tabla 24-3:</b> Equipos y maquinaria utilizados en el proceso de producción.....	62
<b>Tabla 25-3:</b> Costos de inversión fija de la empresa .....	64
<b>Tabla 26-3:</b> Costos totales de inversión fija de la empresa.....	64
<b>Tabla 27-3:</b> Costos de materiales e insumos para la obtención de harina.....	65
<b>Tabla 28-3:</b> Costo de servicios básicos requeridos .....	65
<b>Tabla 29-3:</b> Costos de mano de obra directa.....	65
<b>Tabla 30-3:</b> Total de egresos anuales.....	66

<b>Tabla 31-3:</b> Costos totales de inversión fija y egresos .....	66
<b>Tabla 32-3:</b> Ingresos anuales.....	67
<b>Tabla 33-3:</b> Cálculo del VAN .....	68
<b>Tabla 34-3:</b> Cálculo del TIR .....	69
<b>Tabla 35-3:</b> Cálculo del PDR.....	70
<b>Tabla 1-4:</b> Resultados de la caracterización física de la materia prima .....	71
<b>Tabla 2-4:</b> Resultados de la caracterización química de la materia prima .....	72
<b>Tabla 3-4:</b> Resultados del balance de materia.....	73
<b>Tabla 4-4:</b> Resultados del balance de energía.....	73
<b>Tabla 5-4:</b> Requisitos físicos y químicos de la harina obtenida.....	74
<b>Tabla 6-4:</b> Requisitos microbiológicos para la harina de trigo .....	74
<b>Tabla 7-4:</b> Resultados del diseño y equipos requeridos .....	75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-3:</b> Ubicación Geográfica de la ESPOCH .....	9
<b>Ilustración 2-3:</b> Ubicación Geográfica de La Molienda “San Luis” .....	10
<b>Ilustración 3-3:</b> Muestra de fréjol canario .....	12
<b>Ilustración 4-3:</b> Recepción de la materia prima.....	22
<b>Ilustración 5-3:</b> Pesado de la materia prima .....	23
<b>Ilustración 6-3:</b> Limpieza de la materia prima .....	23
<b>Ilustración 7-3:</b> Impurezas de la materia prima.....	24
<b>Ilustración 8-3:</b> Lavado de la materia prima.....	25
<b>Ilustración 9-3:</b> Secado de la materia prima.....	26
<b>Ilustración 10-3:</b> Pesado en la etapa de secado .....	26
<b>Ilustración 11-3:</b> Curva de secado.....	29
<b>Ilustración 12-3:</b> Curva de velocidad de secado – Bandeja 1.....	30
<b>Ilustración 13-3:</b> $1/w$ vs Humedad libre .....	31
<b>Ilustración 14-3:</b> Curva de velocidad de secado – Bandeja 2.....	32
<b>Ilustración 15-3:</b> $1/w$ vs Humedad libre .....	33
<b>Ilustración 16-3:</b> Curva de velocidad de secado – Bandeja 3.....	34
<b>Ilustración 17-3:</b> $1/w$ vs Humedad libre .....	35
<b>Ilustración 18-3:</b> Molienda de la materia prima .....	38
<b>Ilustración 19-3:</b> Torre de tamices.....	39
<b>Ilustración 20-3:</b> Harina de fréjol .....	40
<b>Ilustración 21-3:</b> Harina envasada.....	42

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MATERIA PRIMA

**ANEXO B:** CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

**ANEXO C:** PROCESO A NIVEL LABORATORIO

**ANEXO D:** CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LA HARINA DE FRÉJOL

## RESUMEN

La finalidad del presente proyecto fue diseñar un proceso industrial de obtención de harina de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) el cual fue realizado a nivel de laboratorio para su posterior dimensionamiento. Para el proceso se optó por fréjol canario como materia prima y se realizó la caracterización física de la misma donde se obtuvieron los siguientes resultados: granos partidos 1,62 %, granos abiertos 0,4 %, variedades contrastantes 3,0 %, granos dañados con 0,67 %, y caracterización química: humedad 12,35 %, ceniza 0,6 % proteína 23,0 % y grasa 1,5 %. Para la obtención de harina se realizaron las siguientes etapas: recepción de la materia prima, limpieza, lavado, secado, molienda, tamizado y envasado. Para validar el proceso se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del producto obtenido tomando como referencia la NTE INEN 616:2015 Harina de trigo. Requisitos, en la caracterización fisicoquímica se obtuvieron los siguientes resultados: humedad 3,9 %, proteína 19,7 %, ceniza 0,44 %, acidez 0,09 %, gluten 25 %, grasa 0,8 % y tamaño de partícula 96 %, y en la caracterización microbiológica se obtuvieron los siguientes valores: > 10 unidades formadas de colonias por gramo (UFC/g) de E. Coli y > 10 unidades formadas de colonias por gramo (UFC/g) de mohos y levaduras, los resultados están dentro de los límites de aceptación permitidos por la norma de referencia. Con los datos obtenidos se dimensionó los equipos para el proceso a nivel industrial para una producción diaria de 81 unidades de 1 kg de harina de fréjol cada una, además se realizó el estudio costo-beneficio donde se obtuvieron los valores de: Valor actual neto (VAN) (\$) 16397,04, Tasa interna de retorno (TIR) de 94,97 % y el Período de recuperación (PDR) de 11 meses y 15 días, concluyendo que el proyecto es viable para ser reproducido a nivel industrial.

**Palabras clave:** <HARINA>, <FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris*)>, <DISEÑO DE PROCESO>, <MOLIENDA>, <CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA>, <CARACTERIZACIÓN DE HARINA>.

0820-DBRA-UPT-2023



## ABSTRACT

The purpose of this project was to design an industrial process for obtaining bean flour (*Phaseolus vulgaris*), which was carried out at laboratory level for its subsequent sizing. For the process, canary bean was chosen as raw material and its physical characterization was carried out, where the following results were obtained: broken grains 1.62 %, open grains 0.4 %, contrasting varieties 3.0 %, damaged grains with 0.67 %, and chemical characterization: humidity 12.35 %, ash 0.6 %, protein 23.0 % and fat 1.5 %. To obtain flour, the following stages were carried out: reception of raw material, cleaning, washing, drying, milling, sieving and packaging. To validate the process, the physicochemical and microbiological characterization of the product obtained was carried out using NTE INEN 616:2015 wheat flour as a reference. Requirements, in the physicochemical characterization the following results were obtained: moisture 3.9 %, protein 19.7 %, ash 0.44 %, acidity 0.09 %, gluten 25 %, fat 0.8 % and particle size 96 %, and in the microbiological characterization the following values were obtained: > 10 colony formed units per gram (CFU/g) of E. Coli and > 10 colony forming units per gram (CFU/g) of molds and yeasts, the results are within the acceptance limits allowed by the reference standard. With the obtained data, the equipment was dimensioned for the process at industrial level for a daily production of 81 units of 1 kg of bean flour each, and a cost-benefit study was conducted where the following values were obtained: Net Present Value (NPV) (\$) 16397.04, Internal Rate of Return (IRR) of 94.97 % and the Payback Period (PDR) of 11 months and 15 days, concluding that the project is feasible to be reproduced at industrial level.

**Keywords:** <FLOUR>, <BEAN (*Phaseolus vulgaris*)>, <PROCESS DESIGN>, <MILLING>, <PROCESS MATERIAL CHARACTERIZATION>, <FLOUR CHARACTERIZATION>.



Dra. Nanci Margarita Inca Chunata. MgS

0602926719

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un alto índice de desnutrición en el Ecuador, factor por el cual nuestro país ocupa el segundo lugar en desnutrición en América (UNICEF, 2021). La provincia de Chimborazo ocupa el tercer lugar en desnutrición crónica en niños con edades inferiores a cinco años (ENSANUT-ECU, 2018). Esta afección puede contrarrestarse y prevenirse si se añade fibra y proteína a la dieta diaria, siendo el fréjol (*Phaseolus vulgaris*) una buena opción ya que posee propiedades nutritivas relacionadas con sus altos niveles de proteína, además, es una buena fuente de fibra (Mederos, 2006, p.57).

En el Ecuador actualmente existen 41000 hectáreas sembradas de fréjol, y en la provincia de Chimborazo existen 33000 hectáreas sembradas de fréjol, colocando así a la región sierra con la mayor producción de esta semilla (ESPAC, 2021), es por ello que se ha desarrollado el proyecto denominado: DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris*), y así abordar esta problemática, pues se ha demostrado que las harinas de leguminosas contribuyen al organismo aportando proteína, fibra, etc., además se aprovecha el fréjol que muchas veces es desperdiciado ya que no existe un procesamiento del mismo.

El presente trabajo de integración curricular es tipo proyecto técnico y abarca cinco capítulos, en el Capítulo I se detalla el planteamiento del problema en el que se establecen los diferentes problemas que existen en la sociedad, además se plantea la justificación con la finalidad de solventar la problemática y los objetivos planteados a desarrollarse en el proyecto. En el Capítulo II se detalla los antecedentes a la investigación y fundamentos teóricos utilizados como referencia del proyecto. En el Capítulo III se describe la metodología utilizada para la obtención de harina, detallando la caracterización física y química de la materia prima (fréjol), las variables de proceso que intervienen, los cálculos de ingeniería, dimensionamiento de la planta, validación técnica y económica. En el Capítulo IV se demuestran los resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima, etapas del proceso, caracterización del producto final, validación técnica y económica. Finalmente, en el Capítulo V se determinan las conclusiones y recomendaciones acordadas al trabajo realizado.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Planteamiento del problema

La desnutrición infantil en el Ecuador es grave, el país presenta niveles elevados de desnutrición crónica en niños con edades inferiores a 2 años, a nivel nacional un 39% de la niñez indígena padece esta afección, siendo así la población más afectada, (ENSANUT-ECU, 2018), dicha afección tiende a ser un problema delicado de salud pública, razón por la cual Ecuador ocupa el segundo lugar de desnutrición en América Latina, (UNICEF, 2021). El Ministerio de Salud Pública (MSP), de Ecuador señala que las provincias de Santa Elena (28,9%), Bolívar (28,3%) y Chimborazo (27,4%), ocupan los primeros lugares en desnutrición crónica en niños con edades inferiores a cinco años.

La desnutrición es la carencia de proteínas, energía y diferentes nutrientes que provocan consecuencias desfavorables en los diferentes órganos o tejidos y en el avance del desarrollo clínico. De diversas situaciones dependerá el desarrollo de la desnutrición, existen características puntuales que dependerán del tipo de nutrientes que han sido afectados. La desnutrición tanto en niños como adultos puede contrarrestarse añadiendo a la dieta diaria fuentes de proteínas (Burgos, 2014, p.11).

El fréjol (*Phaseolus vulgaris*) es una semilla que puede crecer, adaptarse y desarrollarse en cualquier clima especialmente en cálidos y templados, existe una gran variedad de fréjol con características muy diferentes, es acreedor de propiedades nutritivas relacionadas con sus altos niveles de proteína, que, de acuerdo con estudios y evaluaciones biológicas, en el fréjol cocido alcanza hasta el 70%, por lo cual podría sustituir fácilmente a una proteína de origen animal, además de sus aportes proteicos, se constituye como una fuente significativa de fibra (Mederos, 2006, p.57).

En Ecuador actualmente existen 41000 hectáreas sembradas de diferente tipo de fréjol, 31000 hectáreas corresponden a fréjol seco y 10000 a fréjol tierno en vaina. En la región sierra, la provincia de Chimborazo posee 33000 hectáreas sembradas de esta leguminosa, colocando así a la región sierra con la mayor producción de esta semilla según lo tabulado por la Encuesta de superficie de producción agropecuaria continua (ESPAC, 2021, p.1).

## **1.2. Justificación**

El fréjol es catalogado como uno de los principales alimentos para prevenir, combatir y tratar la desnutrición crónica ya que posee un elevado contenido de proteína, micronutrientes, fibra, aminoácidos azufrados, taninos, fitoestrógenos y aminoácidos no esenciales, los cuales, debido a sus respectivos roles fisiológicos, evidencian variables efectos positivos sobre la salud (Mederos, 2006, p.56).

En nuestro país el fréjol se comercializa en forma de grano y muchas veces después de su cosecha es desperdiciado debido a que no se logra su comercialización total, perdiendo así la posibilidad de ofrecer un producto altamente favorable para la salud a los consumidores. Por tal motivo al presentar procesos tecnológicos que utilicen al fréjol como materia prima para la obtención de productos podría mejorar su aprovechamiento, consiguiendo productos como la harina de fréjol, ya que en el país no existe la comercialización de dicha harina.

Con estos antecedentes se busca diseñar un proceso industrial que permita obtener harina a partir de este grano, cuya finalidad es transformarlo en un producto apto bajo las normas correspondientes para su comercialización, aportando así a la sociedad un producto con mayor valor agregado el cual sea fuente para la preparación de otros alimentos, atrayendo al consumo, y que pueda ser añadido a la dieta diaria.

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo general***

Diseñar un proceso industrial para la obtención de harina de fréjol (*Phaseolus vulgaris*).

### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Realizar la caracterización fisicoquímica de la materia prima, aplicando la norma NTE INEN 1561: Granos y cereales. Fréjol en grano. Requisitos.
- Determinar las variables de diseño para el proceso.
- Elaborar los cálculos de ingeniería para la producción de la harina.
- Caracterizar el producto mediante la NTE INEN, para efectuar la validación del proceso diseñado.
- Efectuar la validación técnica y económica para la obtención de harina de fréjol.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.2. Antecedentes de la investigación

Según Hernández et al. (2017, p.14), para obtener y caracterizar harina usando como materia prima el fréjol es indispensable realizar varios experimentos, además es fundamental ejecutar la determinación del rendimiento del proceso. Mediante el análisis sensorial realizado al producto obtenido se demuestra que existen aspectos favorables respecto a características físicas como: color, olor y textura; partiendo de los resultados la investigación se sugiere que la producción de harina de fréjol es técnicamente viable, debido alto contenido de almidón que la materia prima posee, consiguiendo un elevado rendimiento en el proceso.

Según Ávila & Litardo (2018, p.31), el proceso de elaboración de la harina de frejol mungo, inicia con la obtención de la materia prima para proceder a la limpieza de la leguminosa, seguido de el secado por medio de una fuente natural que es el sol, luego es sometido al tostado en tiesto, posteriormente se realiza la molienda hasta obtener la granulometría propia de la harina, mediante la cual se obtiene harina de un buen color, de buen olor y una granulación suave y fina apta para su uso posterior.

Según Blandón et al. (2019, p.1), en su investigación para la obtención y caracterización de harina de frijol indican que aplicaron las operaciones unitarias siguientes: selección, lavado, remojo, cocción, secado y molienda. Una vez obtenido el producto, la harina de fréjol debe ser caracterizada, para comprobar si es apta tanto para consumo directo como para su uso ulterior, además, sugieren calcular el rendimiento del proceso, diámetro promedio de las partículas de harina y densidad aparente.

#### 2.3. Referencias teóricas

##### 2.3.1. *Fréjol*

El fréjol es una semilla que se encuentra contenida en la vaina de la planta perteneciente al género *Phaseolus*. Corresponde a la familia de las leguminosas y es una fuente importante de proteínas, almidón, vitaminas, minerales y fibra alimentaria (Morales Santos et al., 2017: p.44).

### 2.3.1.1. Situación actual en el Ecuador

En el Ecuador actualmente existen 41000 hectáreas sembradas de fréjol, 31000 hectáreas corresponden a fréjol seco y 10000 a fréjol tierno en vaina. En la región sierra, la provincia de Chimborazo posee la mayor superficie de hectáreas sembradas de esta leguminosa con 33000 hectáreas sembradas entre fréjol seco y en vaina, colocando así a la región sierra con la mayor producción de este grano según lo tabulado por la Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC, 2021, p.1).

### 2.3.1.2. Taxonomía

**Tabla 1-2:** Taxonomía del fréjol

<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>Sub Reino</b>	<i>Tracheobionta</i>
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Sub Clase</b>	<i>Rosidae</i>
<b>Orden</b>	<i>Fabales</i>
<b>Familia</b>	<i>Fabaceae</i>
<b>Sub Familia</b>	<i>Faboideae</i>
<b>Tribu</b>	<i>Phaseoleae</i>
<b>Sub Tribu</b>	<i>Phaseolinae</i>
<b>Género</b>	<i>Phaseolus</i>
<b>Especie</b>	<i>vulgaris</i>

Fuente: (Chiluiza, 2020, p.21)

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### 2.3.1.3. Clasificación

**Tabla 2-2:** Clasificación del fréjol

<b>Fréjol</b>	<b>Clase</b>
Fréjol morado (mata)	Constituye todo el lote de fréjol en grano que presente dicho color en una totalidad uniforme, no podrá contener más del 5% de fréjol de otras clases.
Fréjol canario (guiador)	Constituye todo el lote de fréjol en grano redondo que presente dicha forma y color uniforme; éste no podrá contener más del 5% de fréjol de otras clases.

Fréjol bayo (guiador)	Constituye todo el lote de fréjol en grano que presente dicho color (blanco - amarillento) en una tonalidad uniforme; no podrá contener más del 5% de fréjol de otras clases.
Fréjol negro (caraota) (mata):	Constituye todo el lote de fréjol en grano que presente dicho color en una tonalidad uniforme; no podrá contener más del 5% de fréjol de otras clases.
Fréjol rojo (mata).	Constituye todo el lote de fréjol en grano que presenta dicho color en una tonalidad uniforme, o podrán ser granos con varias pintas; no podrá contener más del 5% de fréjol de otras clases.
Fréjol blanco (mata).	Constituye todo el lote de fréjol en grano que presente dicho color en una tonalidad uniforme; no podrá contener más del 5% de fréjol de otras clases.
Fréjol mezclado o misturiado	Constituye todo el lote de fréjol en grano que contenga más del 10% de variedades contrastantes.

Fuente: (NTE INEN 1 561, 1986, p. 2)

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

#### 2.3.1.4. Composición nutricional

**Tabla 3-2:** Composición nutricional en 100 gramos de fréjol

Nutriente	Valor	Unidad
Energía	322	kcal (kilocalorías)
Proteínas	21,8	g (gramos)
Grasas	2,5	g (gramos)
Carbohidratos	55,4	g (gramos)
Tiamina	0,63	mg (miligramos)
Niacina	1,8	mg (miligramos)
Calcio	183	mg (miligramos)
Hierro	4,7	mg (miligramos)

Fuente: Cachimuel, 2018, p. 13

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### **2.3.2. Harina**

Harina es el término designado al polvo fino procedente del trigo, para referirse a harinas producidas de otros vegetales es preciso indicar su procedencia: harina de cebada, harina de maíz, harina de centeno, harina de arveja, etc., Por consiguiente, la harina se define como el producto obtenido de la molturación del grano de trigo maduro, sano, seco y limpio. La molturación del grano se constituye por la molienda de este y su tamizado. La harina es un componente esencial en la producción de alimentos como: pan, pastas y productos de pastelería (Requena 2013, p.2).

### **2.3.3. Secado**

Operación unitaria de separación, remoción o eliminación de agua o componentes volátiles por evaporación, obteniéndose así un producto sólido, existen diversas razones realizar esta operación y están relacionadas con el proceso, la demanda en la industria alimentaria es alta ya que se basa en la preservación y prolongación de la vida útil de los productos (Gutiérrez et al. 2015, p. 101), durante el secado ocurren fenómenos de transferencia de masa, calor y cantidad de movimiento relacionados entre sí, los cuales dependen del material a secar, se requiere de una serie de experimentos para definir los parámetros del proceso (Olivas et al. 2004, p. 42).

### **2.3.4. Molienda**

Operación unitaria que implica transformar físicamente la materia sin alterar su naturaleza, reduce el volumen de las partículas de una muestra sólida dividiendo o fraccionando la muestra mecánicamente hasta el tamaño deseado. La reducción de partículas es aplicable a cualquier proceso en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas, permitiendo la separación de partículas no deseadas y a la reducción de tamaño del material para facilitar su procesamiento (Romero et al. 2004, pp. 100-101).

### **2.3.5. Molinos**

Son equipos o máquinas utilizadas para ejecutar la desintegración mecánica en la trituración o molienda dependiendo del tamaño de partícula requerido, idealmente deberían ser de alta capacidad, consumir poca energía y generar un producto de un único tamaño o distribución de tamaños de partículas deseadas (Atarama 2018, p. 14).

#### *2.3.5.1. Molino de martillos*

Equipo cuya función es triturar, pulverizar y la molienda, de impacto o percusión, logra procesar varios tipos de materiales, la molienda se lleva a cabo al interior de una cámara contenedora de un rotor de eje horizontal constituido por extensiones móviles o fijas llamados martillos ubicados perpendicularmente al eje colocados a lo largo de él; el rotor gira con alta velocidad y potencia para fragmentar el material alimentado impactándolo con los martillos y con la superficie interna; el material molido pasa por la criba ubicada a la salida para cumplir con la granulometría definida (Atarama, 2018, p.33).

#### *2.3.5.2. Molino de bolas*

Equipo que se caracteriza por utilizar esferas en movimiento cilíndrico junto con el material a pulverizar dentro de su interior. El movimiento arrastra a las bolas y el material hacia la parte superior del recipiente y sufren una caída ocasionando así la fragmentación del material mediante movimientos de impacto y frotamiento, permitiendo conseguir polvos metálicos (Goover, 2007; citado en Cabezas, 2017, p.8).

#### **2.3.6. Tamizado**

Operación unitaria que realiza la separación mediante los diferentes tamaños de las partículas de una mezcla sólida. Su principio es hacer atravesar las partículas por una malla de tamaño específico. Los tamices son constituidos por mallas cuyo material puede ser plástico o metal y sus dimensiones están normalizadas. Para asegurar una mejor y correcta separación, a los tamices se les trasfiere un movimiento en vaivén o vibración (Costa et al. 1994, p.84).

#### **2.3.7. Envasado**

Técnica de alimentos que proporciona una mejor preservación, mayor tiempo de caducidad, seguridad e información para el consumidor, generando un impacto visual logrando la preferencia de los consumidores a quienes va dirigido el producto. Tiene como objetivo garantizar la calidad del producto desde su producción hasta llegar al consumidor, además protege el producto de posibles daños físicos, químicos o biológicos (Rodríguez et al. 2014, p.156).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Localización del proyecto

El presente trabajo de integración curricular será realizado en la ciudad de Riobamba en la provincia de Chimborazo, en los Laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en la empresa La Molienda “San Luis”, cuyas características geográficas se muestran a continuación.

**Tabla 1-3:** Ubicación geográfica de la ESPOCH

<b>PROVINCIA</b>	CHIMBORAZO
<b>CANTÓN</b>	RIOBAMBA
<b>PARROQUIA</b>	LIZARZABURU
<b>ALTITUD</b>	2850 m.s.n.m
<b>DIRECCIÓN</b>	Panamericana Sur, km. 1½

Fuente: Google Maps, 2023

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023



**Ilustración 1-3:** Ubicación Geográfica de la ESPOCH

Fuente: Google Maps, 2023

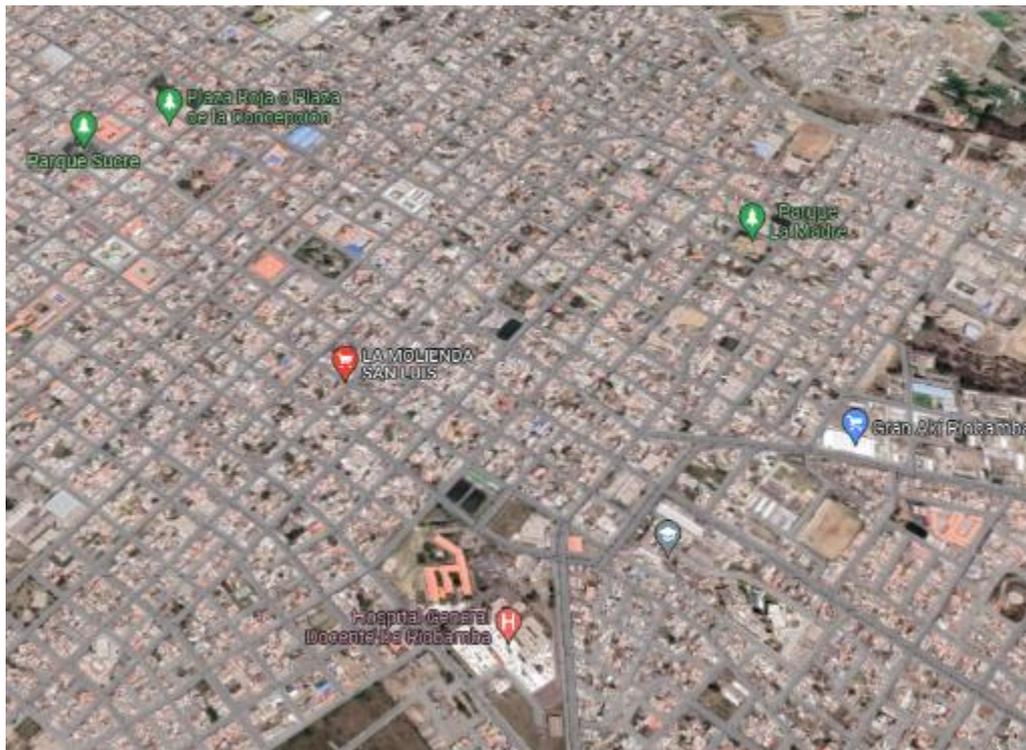
Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 2-3:** Ubicación geográfica de La Molienda “San Luis”

<b>PROVINCIA</b>	CHIMBORAZO
<b>CANTÓN</b>	RIOBAMBA
<b>PARROQUIA</b>	MALDONADO
<b>ALTITUD</b>	2850 m.s.n.m
<b>DIRECCIÓN</b>	Morona y Guayaquil

Fuente: Google Maps, 2023

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023



**Ilustración 2-3:** Ubicación Geográfica de La Molienda “San Luis”

Fuente: Google Maps, 2023

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

## 3.2. Ingeniería del proyecto

### 3.2.1. Tipo de proyecto

El presente proyecto es de tipo técnico, se procederá con la búsqueda, compilación y selección de información de fuentes bibliográficas que serán utilizadas como punto de partida en la experimentación, se darán los controles óptimos a las variables de cada operación unitaria realizada en el proceso, obteniendo así el diseño idóneo para la producción de harina de fréjol,

por ello, con la realización de este proyecto se obtendrá un producto de calidad, para su posterior obtención a escala industrial el cual pueda ser comercializado.

### **3.2.2. Metodología**

El proyecto se efectuará mediante la utilización de tres métodos: deductivo, inductivo y experimental, cuya ejecución permitirá el alcance de los objetivos planteados, desde la caracterización de materia prima (fréjol), determinación de variables óptimas del proceso, cálculos de ingeniería, caracterización del producto obtenido y validación del proceso, consiguiendo así el diseño del proceso para la obtención de harina de fréjol adecuado. A continuación, se describen los métodos a utilizar:

#### *3.2.2.1. Método deductivo*

Envuelve y relaciona un conocimiento global, premisas y fundamentación teórica confiable, partiendo desde observaciones particulares hasta llegar a la obtención de conclusiones más profundas y detalladas de la obtención del producto. Se realiza la búsqueda, recopilación y selección de la bibliografía que sirva como punto de referencia para los ensayos posteriores.

#### *3.2.2.2. Método inductivo*

Se deduce el proceso apropiado de obtención de harina de fréjol a nivel de laboratorio para su posterior producción a escala industrial, a partir de la recolección de la materia prima, caracterización de esta y del producto final, que permitirá llegar a formulaciones generales de las variables de proceso y los cálculos de ingeniería.

#### *3.2.2.3. Método experimental*

Se realizan los experimentos necesarios a escala de laboratorio, la manipulación de materiales y equipos, además se registran y controlan las variables importantes del proceso y se realizan los cálculos de ingeniería correspondientes, concluyendo con el método adecuado de obtención de harina realizando la validación del proceso aplicando las normas INEN al producto obtenido.

### **3.3. Técnicas**

El presente proyecto técnico será realizado bajo las directrices de la norma INEN 1 561 Granos y cereales. Frejol en grano. Requisitos para identificar el tipo o clase del fréjol a utilizar y para realizar la caracterización física de la materia prima, la NTE INEN 1 233:95 Granos y cereales. Muestreo, para realizar el muestro de la materia prima y la NTE INEN 616:2015 Harina de trigo. Requisitos para realizar la caracterización del producto elaborado, asegurando así la calidad del producto para su posterior comercialización.

#### **3.3.1. Clase o tipo de fréjol**

Al existir varios tipos de fréjol (negro, blanco, rojo, bayo, canario, morado y misturiado) en Ecuador, se eligió el fréjol canario como materia prima, debido a que es el fréjol más popular de comercialización en los mercados de la ciudad de Riobamba.



**Ilustración 3-3:** Muestra de fréjol canario

**Realizado por:** Auqui, Daniela, 2023

#### **3.3.2. Muestreo**

La recolección de la muestra de la materia prima se realizará de acuerdo con la norma NTE INEN 1 233:95 Granos y cereales. Muestreo.

##### **3.3.2.1. Toma de muestras**

El fréjol por utilizarse es fréjol canario, para iniciar con el proceso se adquirió una sola muestra simple con un peso de 9071.85 gramos (20 libras) de una muestra global, adquirido en el mercado Santa Rosa de la ciudad de Riobamba.

### 3.3.2.2. Reducción por cuarteo

Para el cuarteo en forma manual, la muestra simple de 9071.85 gramos (20 libras) de fréjol canario en grano receptada se mezclará y se dividirá en 4 partes iguales, se eliminarán dos porciones diagonalmente opuestas, las otras dos se mezclarán de nuevo y se repetirá sucesivamente la operación hasta obtener los 1000 g de fréjol en grano requeridos, se procederá a efectuar los diferentes ensayos de caracterización.

## 3.4. Caracterización de la materia prima

### 3.4.1. Caracterización física de la materia prima

Para aceptar o rechazar la materia prima receptada es necesario realizar ensayos y cumplir requisitos que se encuentren normalizados para ello la materia prima va a ser caracterizada mediante la norma INEN 1561 Granos y cereales. Fréjol en grano. Requisitos. Mediante los resultados obtenidos aplicando esta norma como referencia se aceptará o rechazará la muestra ya que a través de estos parámetros se determinará si la muestra está apta para su uso o consumo; es importante realizar estos ensayos ya que de estos dependerán la calidad del producto final.

En las siguientes tablas, se detallan los requisitos del fréjol en grano para consumo que se deben cumplir al momento de receptar la materia prima. En la Tabla 3-3 la muestra de fréjol receptada que se encuentre en los grados 1, 2, 3 y 4 es aceptada, es decir la materia prima receptada se encuentra apta para su uso o consumo y si la muestra ensayada no está dentro de estos rangos se considerará no clasificada; en la Tabla 4-3 la materia prima receptada que se encuentre libre de infestación y ligeramente con niveles de infestación es aceptada y se encuentra apta para su uso y consumo y si la materia prima se encuentra infestada es rechazada, es decir no se encuentra en las condiciones óptimas para su uso o consumo.

**Tabla 3-3:** Requisitos de fréjol en grano para consumo

GRADOS	GRANOS PARTIDOS	GRANOS ABIERTOS	VARIETADES CONTRASTANTES	PORCENTAJE MAX. EN MASA DE GRANOS DAÑADOS			
				POR CALOR	POR HONGOS	POR INSECTOS	TOTALES
1	2,0	1	3	0,5	0,5	0,5	1,5
2	2,2	1	4	1,0	1,0	1,0	3,0
3	3,0	3	6	2,0	2,0	2,5	6,5

4	5,0	4	8	3,0	3,0	3,0	9,0
---	-----	---	---	-----	-----	-----	-----

Fuente: (NTE INEN 1561, 1986, p. 4)

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 4-3:** Requisitos de fréjol en grano para consumo

NIVELES DE INFESTACIÓN	No. DE INSECTOS VIVOS EN 1000g DE FRÉJOL EN GRANO		No. TOTAL DE INSECTOS PERMITIDOS
	Primarios	Secundarios	Primarios - Secundarios
Libre	0	0	0
Ligeramente Infestados	1 a 3	1 a 4	4
Infestados	mayor de 3	mayor de 4	mayor de 4

Fuente: (NTE INEN 1 561, 1986, p. 4)

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

A continuación, se detalla la metodología para realizar la caracterización física de la materia prima, realizando un análisis preliminar y posteriormente continuar con los requisitos:

**Tabla 5-3:** Caracterización física de la materia prima

PARÁMETROS	PROCEDIMIENTO	MÉTODO
<b>ANÁLISIS PRELIMINAR</b>		
<b>Temperatura</b>	La temperatura se determinará inicialmente por inspección manual; en caso de encontrarse evidencia de calentamiento, se procederá a determinar la temperatura por medio de un termómetro sonda, haciendo varias lecturas del conjunto y registrando el promedio de las temperaturas encontradas	INEN 1 561 Granos y cereales. Fréjol en grano. Requisitos.
<b>Olor</b>	Se determinará en forma organoléptica.	INEN 1 561 Granos y cereales. Fréjol en grano. Requisitos.
<b>Nivel de infestación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 1 000 gramos de la muestra global del fréjol en grano.</li> <li>• Tamizar manualmente con la criba de aberturas circulares de 2,00 mm, y bandeja de fondo.</li> </ul>	INEN 1 561 Granos y cereales. Fréjol en grano. Requisitos.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luego de tamizada la muestra, se pasan a la bandeja de fondo los insectos que quedarán sobre el tamiz.</li> <li>• El nivel de infestación por insectos en la muestra de fréjol se expresa como número de insectos vivos por kilogramo de la muestra</li> </ul>	
<b>Humedad</b>	<p>Procedimiento con estufa: la determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La cápsula se calienta a 130° - 133° C durante unos 30 minutos, se enfría en el desecador y se pesa.</li> <li>• En la cápsula, pesar con aproximadamente 5 g de la muestra y colocar en la estufa.</li> <li>• Llevar la temperatura de la estufa a 130 – 133° C manteniéndola durante 2 horas, tiempo que se cuenta a partir del momento en que la estufa alcanza los 130° C.</li> <li>• Trasladar la cápsula al desecador y pesar tan pronto haya alcanzado la temperatura ambiente, aproximadamente entre 30 y 45 minutos, después de colocarse en el desecador.</li> <li>• Calentar de nuevo la cápsula con su contenido durante 2 horas; dejar enfriar en el desecador y pesar.</li> <li>• Repetir el procedimiento enfriando y pesando hasta que no haya disminución en la masa.</li> </ul> $H = (m_t - m_s) * \frac{100}{m_t}$ <p>Siendo:  H = humedad en porcentaje de masa  <math>m_t</math> = masa de la muestra triturada, en gramos  <math>m_s</math> = masa de la muestra seca, en gramos</p>	INEN 1 235 Granos y cereales. Determinación del contenido de humedad. (Método de rutina).
<b>Impurezas</b>	Pesar con exactitud la muestra original del laboratorio (1 000) gramos.	INEN 1 561 Granos y cereales.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se criba la muestra en una zaranda con aberturas circulares de 11,2 mm, con bandeja de fondo. (Las impurezas de tamaño mayor que el grano quedan sobre la criba y las menores juntamente con el grano pasan a la bandeja de fondo).</li> <li>• Lo que pasa a la bandeja de fondo se criba en una zaranda con aberturas triangulares simples de 2,00 mm, recibiendo en otra bandeja de fondo, (las impurezas de tamaño menor que el grano, como tierra, polvo, etc. pasan a la bandeja de fondo y la muestra limpia queda sobre la criba de aberturas triangulares).</li> <li>• Pesar con exactitud, la muestra limpia.</li> <li>• El contenido de impurezas en la muestra de fréjol se expresa en porcentaje en masa y se calcula de acuerdo con la fórmula siguiente:  <math display="block">I = (m - m_1) * 100</math> Siendo:  I = contenido de impurezas, en porcentaje de masa,  m = masa de la muestra original, en gramos,  m1 = masa de la muestra limpia, en gramos.</li> </ul>	Fréjol en grano. Requisitos.
<b>REQUISITOS FÍSICOS</b>		
<b>Grano contrastante</b>	Pesar aproximadamente 100 g de muestra limpia detenida según la determinación de impurezas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Separar a mano los granos contrastantes y pesar con exactitud</li> <li>• El contenido de granos contrastantes de fréjol se expresa en porcentaje de masa, de acuerdo con la formula siguiente:  <math display="block">Gc. = \frac{m_1}{m} * 100</math> Siendo  Gc. = porcentaje de masa de granos contrastantes  m<sub>1</sub> = masa de los granos contrastantes, en gramos,  m = masa de la muestra limpia, libre de materia extraña, en gramos.</li> </ul>	INEN 1 561 Granos y cereales. Fréjol en grano. Requisitos.

<p><b>Grano de otro color</b></p>	<p>De los granos contrastantes, separar con la mano los granos de otro color y pesar con exactitud.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El contenido de grano de otro color en la muestra de fréjol se expresa en porcentaje de masa y se calcula de acuerdo con la fórmula siguiente:</li> </ul> $GOC = \frac{m_1}{m} * 100$ <p>Siendo:</p> <p>GOC = porcentaje en masa de granos de otro color,  m = masa de la muestra limpia y libre de materia extraña, en gramos,  m<sub>1</sub> = masa de los granos de otro color encontrados, en gramos.</p>	<p>INEN 1 561</p> <p>Granos y cereales.</p> <p>Fréjol en grano.</p> <p>Requisitos.</p>
<p><b>Grano dañado</b></p>	<p>Separar con la mano los granos dañados y pesar.</p> <p>El contenido de granos dañados en el fréjol se expresa en porcentaje de masa y se calcula de acuerdo con la fórmula siguiente:</p> $GD = \frac{m_1}{m} * 100$ <p>Siendo:</p> <p>GD = porcentaje en masa de granos dañados,  m = masa de la muestra limpia y libre de materia extraña, en gramos,  m<sub>1</sub> = masa de los granos dañados, en gramos.</p>	<p>INEN 1 561</p> <p>Granos y cereales.</p> <p>Fréjol en grano.</p> <p>Requisitos.</p>
<p><b>Granos quebrados o partidos</b></p>	<p>Separar con la mano los granos quebrados y partidos y pesar con exactitud.</p> <p>b) El contenido de grano quebrado y partido en la muestra de fréjol se expresa en porcentaje de masa y se calcula de acuerdo con la fórmula siguiente:</p> $GP = \frac{m_1}{m} * 100$ <p>Siendo:</p> <p>GP = porcentaje de grano partido y quebrado,  m = masa de la muestra limpia y libre de materia extraña, en gramos,</p>	<p>INEN 1 561</p> <p>Granos y cereales.</p> <p>Fréjol en grano.</p> <p>Requisitos.</p>

	m1 = masa de granos quebrados y partidos, en gramos.	
<b>Granos abiertos</b>	<p>Separar con la mano los granos abiertos y pesar con exactitud.</p> <p>b) El contenido de grano abierto en la muestra de fréjol se expresa en porcentaje de masa y se calcula de acuerdo con la fórmula siguiente:</p> $GA = \frac{m_1}{m} * 100$ <p>Siendo:</p> <p>GA = porcentaje de grano abierto</p> <p>m = masa de la muestra limpia y libre de materia extraña, en gramos,</p> <p>m1 = masa de grano abierto, en gramos.</p>	<p>INEN 1 561</p> <p>Granos y cereales.</p> <p>Fréjol en grano.</p> <p>Requisitos.</p>

Fuente: (NTE INEN 1561, 1986, pp. 6-8.)

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### 3.4.2. Caracterización química de la materia prima

Se tomó como valores de referencia la NTE INEN 616:2015 Harina de trigo. Requisitos.

**Tabla 6-3:** Requisitos químicos para la harina de trigo

Requisitos	Unidad	Para todo uso	Método de ensayo
Proteína (materia seca) *, mínimo	%	9	NTE INEN-ISO 20483
Cenizas (materia seca), máximo	%	0,8	NTE INEN-ISO 2171
Grasa (materia seca), máximo	%	2	NTE INEN-ISO 11085 AOAC 2003.06**

Fuente: (NTE INEN 616:2015, pp. 3-4)

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

A continuación, se describe los parámetros analizados y metodología utilizada en la caracterización química de la materia prima:

**Tabla 7-3:** Caracterización química de la materia prima

PARÁMETRO	PROCEDIMIENTO	MÉTODO
<b>Ceniza</b>	La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.	NTE INEN 520:2013

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentar el crisol de porcelana vacío en la mufla ajustada a <math>550 \pm 15^{\circ}\text{C}</math>, durante 30 min. Enfriar en el desecador y pesar.</li> <li>• Transferir al crisol y pesar, con aproximación al 0,1 mg, 5 g de la muestra.</li> <li>• Colocar el crisol con su contenido cerca de la puerta de la mufla abierta y mantenerla allí durante pocos minutos, para evitar pérdidas por proyección de material, lo que podría ocurrir si el crisol se introduce directamente a la mufla.</li> <li>• Introducir el crisol en la mufla a <math>550 \pm 15^{\circ}\text{C}</math> hasta obtener cenizas de un color gris claro. No deben fundirse las cenizas.</li> <li>• Sacar de la mufla el crisol con la muestra, dejar enfriar en el desecador y pesar tan pronto haya alcanzado la temperatura ambiente, con aproximación al 0,1 mg.</li> <li>• Repetir la incineración por períodos de 30 min, enfriando y pesando hasta que no haya disminución en la masa.</li> </ul> <p>El contenido de cenizas en muestras de harinas de origen vegetal, en base seca, se calcula mediante la ecuación siguiente:</p> $\%C = \frac{100(m3 - m1)}{(100 - H)(m2 - m1)} * 100$ <p>Siendo:</p> <p><b>%C</b> = contenido de cenizas en harinas de origen vegetal, en porcentaje de masa.</p> <p><b>M1</b> = masa del crisol vacío, en g.</p> <p><b>m2</b> = masa del crisol con la muestra, en g.</p> <p><b>m3</b> = masa del crisol con las cenizas, en g.</p> <p><b>H</b> = porcentaje de humedad en la muestra.</p>	<p>Harinas de origen vegetal.</p> <p>Determinación de la ceniza.</p>
<p><b>Proteína</b></p>	<p>La determinación debe hacerse por duplicado.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 0,5 g de muestra seca e introducirla en el tubo de digestión macrokjeldhal.</li> </ul>	<p>Macrokjeldhal</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Añadir 2 g de la mezcla catalizadora, 2 mL de ácido sulfúrico concentrado p.a. procurando no manchar las paredes de este.</li> <li>• Colocar el tubo en el digestor, conectar el digestor y la bomba de agua, verificar la entrada de agua en las tres llaves, prender los interruptores de la bomba (1), digestor (1'), pulsar el botón Prog, luego el de Time, pulsar stop y finalmente run. Cuando llegue a 0, apagar el digestor y dejar enfriar el tubo.</li> <li>• Retirar el tubo frío del digestor y adicionar 25 mL de agua destilada para disolver el contenido que al enfriarse se solidifica.</li> <li>• Colocar el tubo en la parte izquierda del destilador. En la parte derecha del destilador colocar un Erlenmeyer de 500 mL con 50 mL de ácido bórico al 4% y dos gotas del indicador mixto, se observará un color rojo.</li> <li>• Cerrar herméticamente la puerta del destilador, conectar el equipo, aplastar el interruptor del mismo y seguir las instrucciones.</li> <li>• Al finalizar la destilación lavar perfectamente el equipo.</li> <li>• Titular el destilado con HCl hasta observar color rojo.</li> <li>• Calcular el de N2 y de Proteína.</li> </ul> $\%P = 1.4 * f * V * \frac{N}{m}$ <p>Donde:</p> <p><b>%P</b> = Contenido de proteína en porcentaje de masa  <b>f</b> = Factor para transformar el %N en proteína y es específico para cada alimento  <b>V</b> = Volumen de HCl o H2SO4 N/10 empleado para titular la muestra en ml  <b>N</b> = Normalidad del HCl  <b>m</b> = Masa en gramos</p>	
<b>Grasa</b>	La determinación debe realizarse por duplicado.	Soxhlet

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 2 g de muestra seca y colocar en el dedal de celulosa previamente tarado y registra su peso, se coloca sobre el dedal algodón para evitar la evaporación, luego introducirlo en la en la cámara de sinfonación.</li> <li>• En el balón previamente tarado adicionar 250 mL de éter etílico.</li> <li>• Embonar la cámara de sinfonación al balón.</li> <li>• Colocar el condensador con las mangueras sobre la cámara de sinfonación.</li> <li>• Encender la parrilla, controlar la entrada y salida de agua y extraer por 2 a 4 h.</li> <li>• Al terminar el tiempo, retirar el balón con el solvente más el extracto graso y destilará el solvente.</li> </ul> $\% G(\%Ex.E) = \frac{P1 - P}{m} * 100$ <p>Donde:</p> <p><math>\% G(\%Ex.E)</math> = Grasa cruda o bruta en muestra seca expresado en porcentaje en masa</p> <p><b>P1</b> = masa del balón más la grasa cruda o bruta extraída en g</p> <p><b>P</b> = masa del balón de extracción vacía en g</p> <p><b>m</b> = masa de la muestra seca tomada para la determinación en g</p>	
--	---	--

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### 3.5. Proceso a nivel de laboratorio

Para iniciar el proceso de obtención de harina de fréjol a nivel de laboratorio se requiere de: materia prima, sustancias, materiales y equipos los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 8-3:** Requerimientos en el proceso

Materia prima	Sustancias y reactivos	Materiales y equipos
Fréjol en grano	Agua	EPP Balanza mecánica Balanza digital Recipiente de acero inoxidable

		Vasos de precipitación Secador de bandejas Molino de martillos Torre de tamices (355, 300, 250 y 212 $\mu\text{m}$ ) Bolsas de polietileno
--	--	---

**Realizado por:** Auqui, Daniela, 2023

Realizados varios ensayos a nivel de laboratorio, a diferentes condiciones, se determinó el proceso adecuado, las condiciones y variables del proceso óptimas para obtener harina, a continuación, se describe cada etapa del proceso con sus respectivos balances de masa y energía (secado), tomando como base de cálculo los 1500 g de materia prima:

### **3.5.1. Recepción de la materia prima**

Una vez realizadas las pruebas correspondientes y verificado que la materia prima cumple con los requisitos, se receipta el fréjol que se encuentra en óptimas condiciones para iniciar el proceso.



**Ilustración 4-3:** Recepción de la materia prima

**Realizado por:** Auqui, Daniela, 2023

### **3.5.2. Pesado**

Una vez realizado la reducción por cuarteo manual, se realiza el pesado de la materia prima seleccionada, se pesó 1500 g de fréjol.



**Ilustración 5-3:** Pesado de la materia prima

**Realizado por:** Auqui, Daniela, 2023

### **3.5.3. Limpieza**

En esta etapa se apartan todas las impurezas visibles como: piedras, ramas, hojas, insectos, basura, otros granos (arveja, maíz, etc.), granos podridos, granos dañados, granos quebrados o rotos por insectos, etc. La limpieza se la realiza de manera manual, en el proceso las impurezas encontradas fueron piedras, ramas y granos dañados.



**Ilustración 6-3:** Limpieza de la materia prima

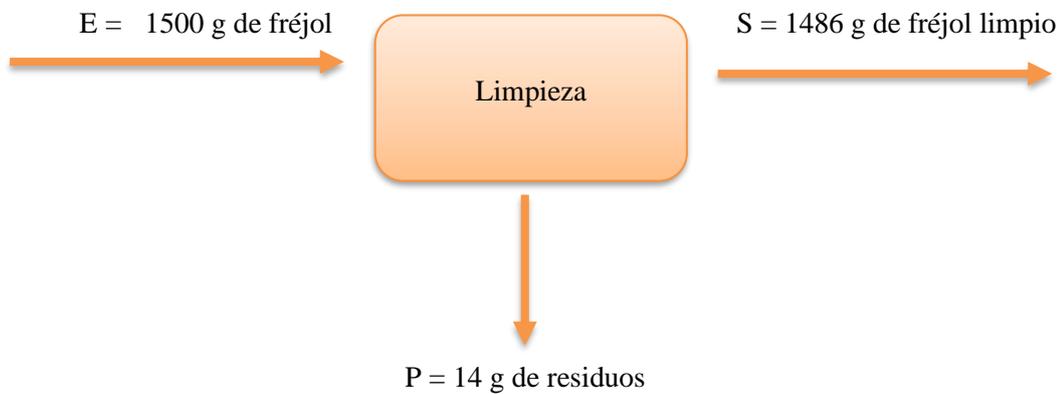
**Realizado por:** Auqui, Daniela, 2023



**Ilustración 7-3:** Impurezas de la materia prima

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

3.5.3.1. *Balance de masa de la limpieza de materia prima*



$$E = S + P$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{fréjol limpio}}{\text{fréjol}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{1486}{1500} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 99,06\%$$

3.5.4. *Lavado*

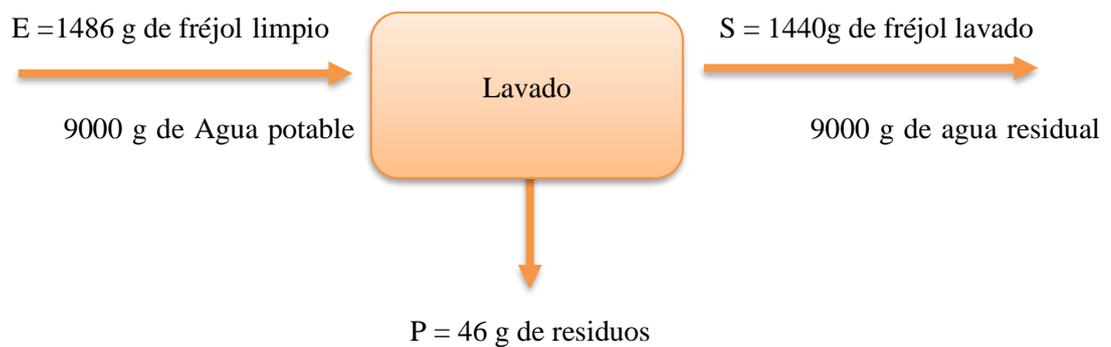
Se lava con abundante agua potable para eliminar parte de los compuestos anti nutrientes que se encuentran en la cáscara del fréjol y posibles impurezas que no se hayan retirado de la etapa anterior. El lavado se realiza de manera manual, realizando movimientos circulares en toda la materia prima.



**Ilustración 8-3:** Lavado de la materia prima

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

#### 3.5.4.1. Balance de masa de lavado



$$E = S + P$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{fréjol lavado}}{\text{fréjol}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{1440 \text{ g}}{1486 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 96,90 \%$$

#### 3.5.5. Secado

Se realizó en un secador de bandejas controlando la temperatura a así se eliminará el contenido de humedad para su posterior molienda. Si se disminuye la temperatura el tiempo de secado será más extenso, y al aumentar la misma el fréjol puede sufrir alteraciones como aberturas

provocando así que el secado no sea uniforme. En esta etapa se verifica la disminución de humedad pesando la materia prima cada hora hasta que ya no exista disminución en el peso y hasta obtener tres pesos constantes, evitando así que la materia prima se queme.



**Ilustración 9-3:** Secado de la materia prima

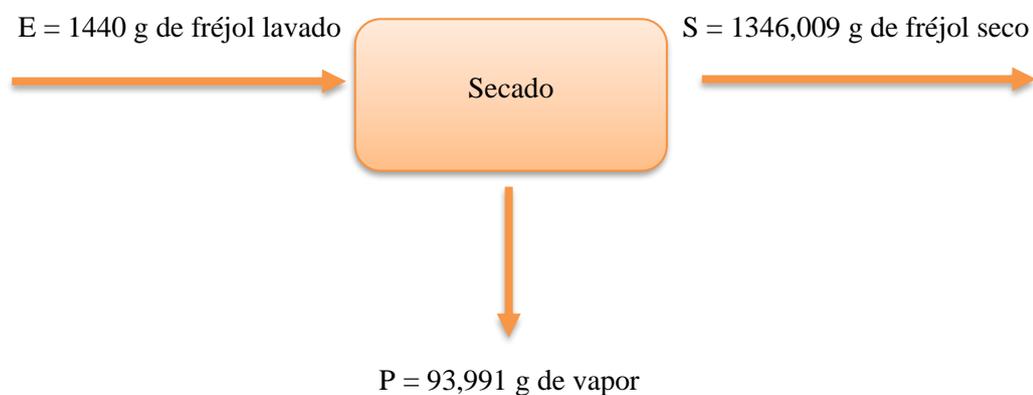
Realizado por: Auqui, Daniela, 2023



**Ilustración 10-3:** Pesado en la etapa de secado

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### 3.5.5.1. Balance de masa en el secado



$$E = S + P$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{fréjol seco}}{\text{fréjol}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{1346,009 \text{ g}}{1440 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 93,47 \%$$

### 3.5.5.2. Datos experimentales del secado del fréjol

A continuación, se detallan los datos de secado obtenidos en las tres bandejas utilizadas para el secado:

**Tabla 9-3:** Datos experimentales del secado del fréjol

Tiempo de secado (h)	Peso del fréjol (kg)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	0,4801	0,4800	0,4800
1	0,4650	0,4670	0,4680
2	0,4601	0,4625	0,4649
3	0,4561	0,4581	0,4600
4	0,4540	0,4575	0,4572
5	0,4520	0,4540	0,4550
6	0,4470	0,4491	0,4505
7	0,4470	0,4490	0,4500
8	0,4470	0,4490	0,4500

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 10-3:** Determinación de la humedad en base seca

Tiempo de secado (h)	Humedad en base seca (kg)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
	$h_{bs}(t) = \frac{m(t) - m_{ss}}{m_{ss}}$		
	m(t) = masa del alimento húmedo para cada tiempo (kg) mss = masa del sólido seco (kg)		
0	0,0738	0,0690	0,0666

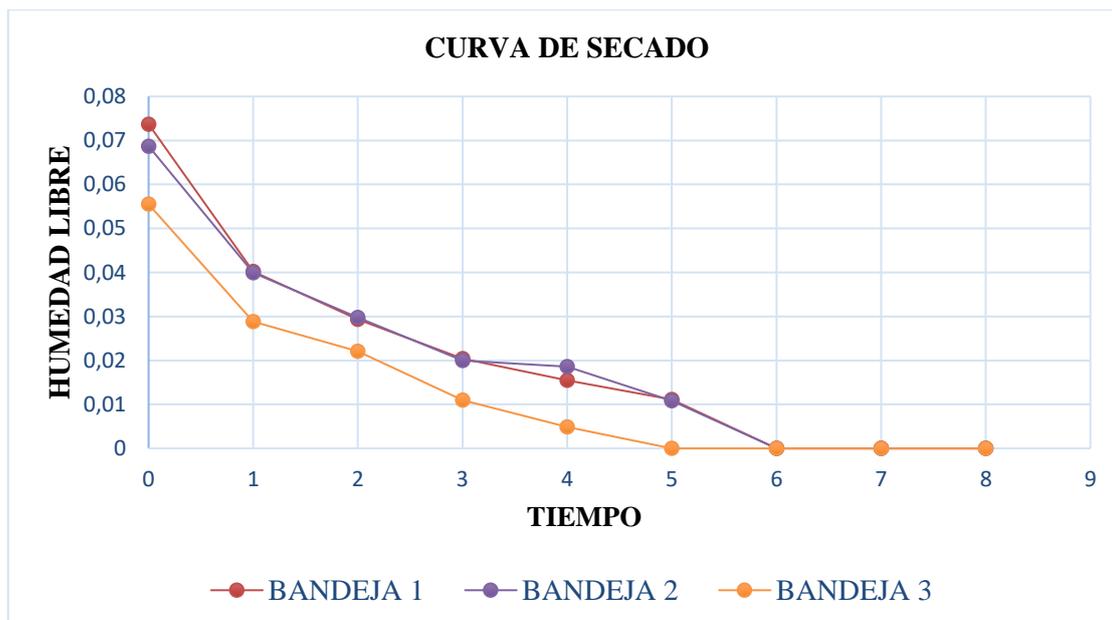
1	0,0402	0,0402	0,03999
2	0,0294	0,0301	0,0332
3	0,0205	0,0203	0,0222
4	0,0156	0,0189	0,0160
5	0,0112	0,0111	0,0111
6	0,0001	0,0003	0,000
7	0,0000	0,0000	0,000
8	0,0000	0,0000	0,000

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 11-3:** Determinación de la humedad libre

Tiempo de secado (h)	Humedad libre (kg) $h_l(t) = h_{bs}(t) - h_e$ $h_{bs}(t) = \text{humedad en base seca (kg)}$ $h_e = \text{humedad de equilibrio (kg)}$		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	0,0737	0,0687	0,0555
1	0,04019	0,0399	0,0288
2	0,0293	0,0298	0,0221
3	0,0204	0,0200	0,0111
4	0,0155	0,0186	0,0049
5	0,0111	0,0108	0,0000
6	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,0000	0,0000	0,0000
8	0,0000	0,0000	0,0000

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023



**Ilustración 11-3:** Curva de secado

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 12-3:** Datos experimentales para la determinación de la velocidad de secado

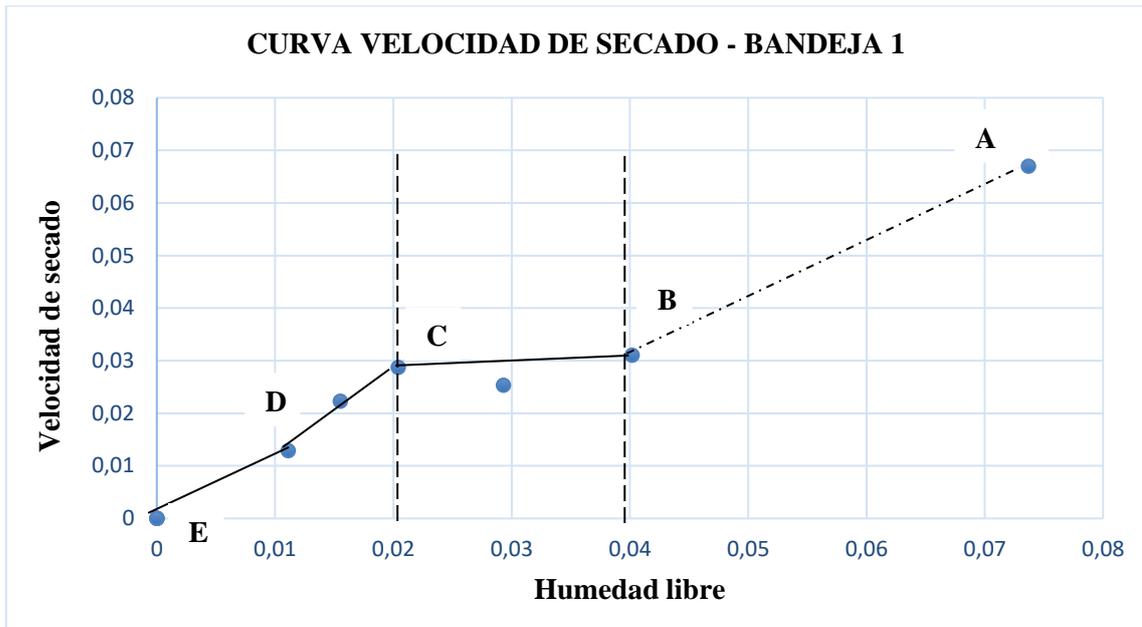
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
<b>Peso del sólido seco (kg)</b>	0,4470	0,4490	0,4500
<b>Área de la bandeja (m<sup>2</sup>)</b>	0,157	0,157	0,156

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 13-3:** Determinación de la velocidad de secado

Tiempo de secado (h)	Velocidad de secado (kg/h.m <sup>2</sup> )		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
<b>0</b>	0,0673	0,0587	0,0377
<b>1</b>	0,0310	0,0288	0,0193
<b>2</b>	0,0253	0,02802	0,0189
<b>3</b>	0,0287	0,0294	0,0175
<b>4</b>	0,0223	0,0259	0,0141
<b>5</b>	0,01289	0,0201	0,0000
<b>6</b>	0,0000	0,0000	0,0000
<b>7</b>	0,0000	0,0000	0,0000
<b>8</b>	0,0000	0,0000	0,0000

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023



**Ilustración 12-3:** Curva de velocidad de secado – Bandeja 1

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tiempo total de secado**

$$t_1 + t_2$$

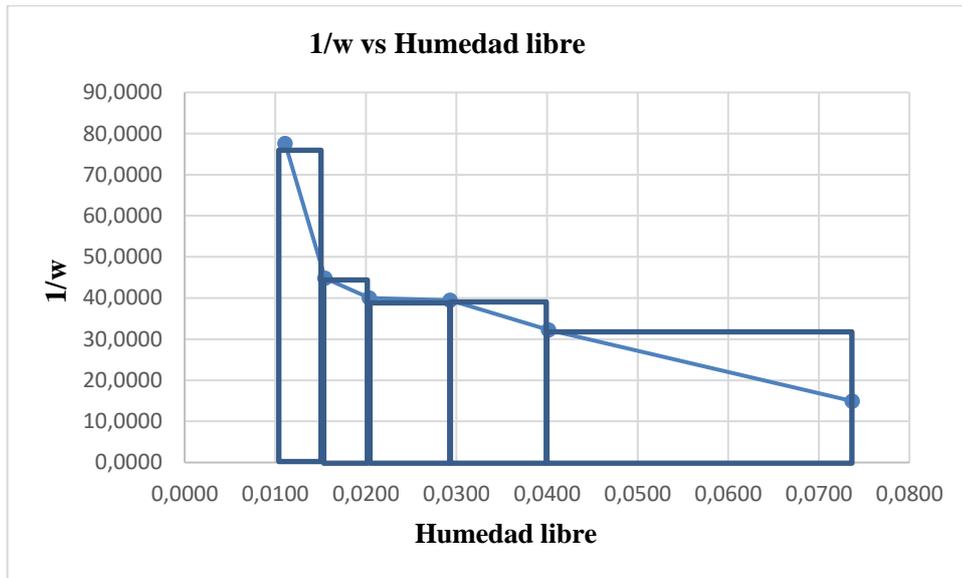
**Tiempo 1: Período de la velocidad constante**

$$t_1 = \frac{m_{ss}}{w * A} (h_1 - h_2)$$

$$t_1 = \frac{0,4470}{0,0287 * 0,157} (0,04019 - 0,0204)$$

$$t_1 = 1,96 \text{ h}$$

## Tiempo 2 Período de la velocidad decreciente



**Ilustración 13-3:** 1/w vs Humedad libre

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 14-3:** Período de la velocidad decreciente

$h_e$	w	1/w	$\Delta h_e$	hr	ht	av	at	atotal
0,0737	0,0670	14,9254						
0,0402	0,0310	32,2526	0,0335	32,2526	17,327	1,0808	0,5404	0,5404
0,0293	0,0253	39,4641	0,0109	39,4641	7,2115	0,4298	0,2149	0,2149
0,0204	0,0287	40,0394	0,0089	40,0394	0,5753	0,3564	0,1782	0,1782
0,0155	0,0223	44,8430	0,0049	44,8430	4,8036	0,2197	0,1099	0,1099
0,0111	0,0129	77,5795	0,0044	77,5795	32,7365	0,3413	0,1707	0,1707
0,0000	0,0000						area=	1,2140
0,0000	0,0000						t=	3,4564
0,0000	0,0000							

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Donde:**

$h_e$  = humedad de equilibrio

w= velocidad de secado

$\Delta h_e$ = base de cada triángulo

hr= altura de cada rectángulo

ht= altura de cada triángulo

ar= área de cada rectángulo

at= área de cada triángulo

atotal= área total

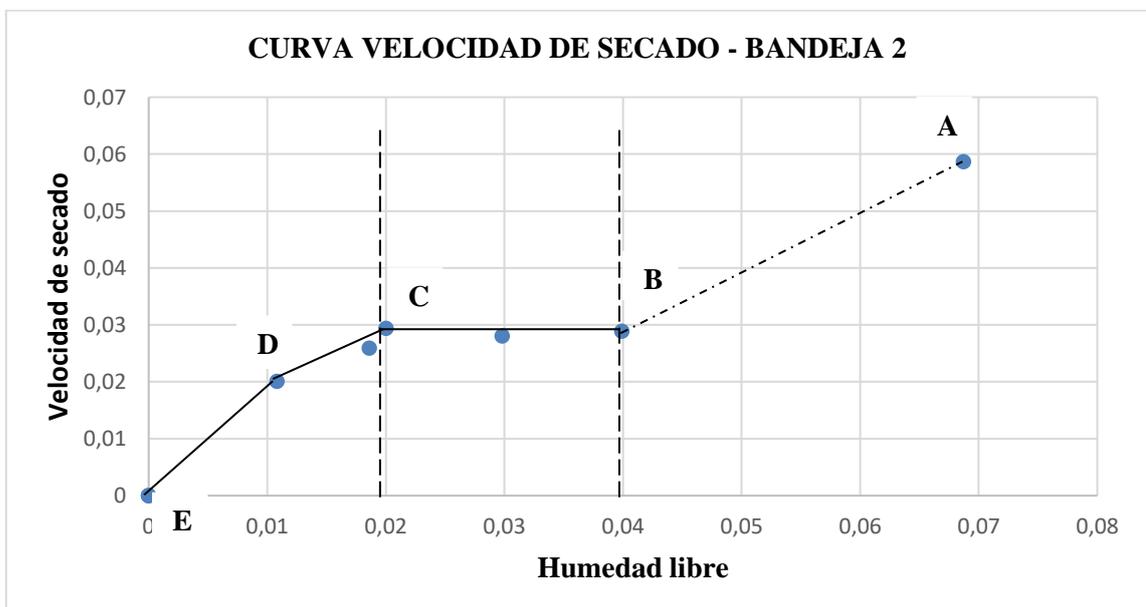
$$t_2 = \frac{m_{ss}}{A} (\text{área total})$$

$$t_2 = \frac{0,4470}{0,157} (1,2140) = 3,45 \text{ h}$$

**Tiempo total de secado**

$$t_t = t_1 + t_2$$

$$t_t = (1,96 + 3,45)h = 5,41 \text{ h}$$



**Ilustración 14-3:** Curva de velocidad de secado – Bandeja 2

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tiempo total de secado**

$$t_1 + t_2$$

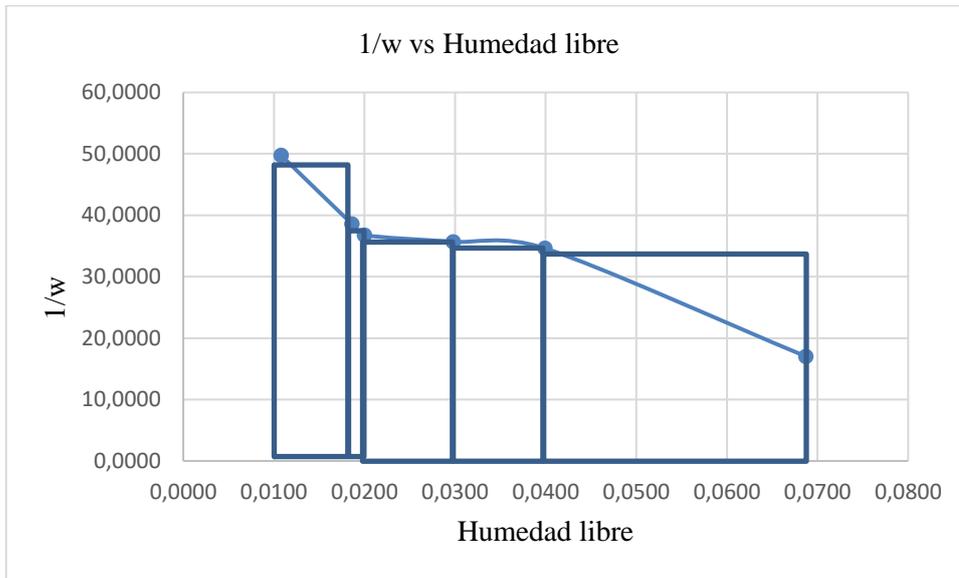
**Tiempo 1: Período de la velocidad constante**

$$t_1 = \frac{m_{ss}}{w * A} (h_1 - h_2)$$

$$t_1 = \frac{0,4490}{0,028 * 0,157} (0,0399 - 0,02)$$

$$t_1 = 2,03 \text{ h}$$

## Tiempo 2 Período de la velocidad decreciente



**Ilustración 15-3:** 1/w vs Humedad libre

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 15-3:** Tiempo 2 Período de la velocidad decreciente

$h_e$	w	1/w	$\Delta h_e$	hr	ht	ar	at	atotal
0,0687	0,0587	17,0358						
0,0399	0,0289	34,6204	0,0288	34,6204	17,5846	0,9971	0,4985	0,4985
0,0298	0,0280	35,6802	0,0101	35,6802	1,0598	0,3604	0,1802	0,1802
0,0200	0,0294	36,7876	0,0098	36,7876	1,1074	0,3605	0,1803	0,1803
0,0186	0,0259	38,6100	0,0014	38,6100	1,8224	0,0541	0,0270	0,0270
0,0108	0,0201	49,7512	0,0078	49,7512	11,1412	0,3881	0,1940	0,1940
0,0000	0,0000						area=	1,0800
0,0000	0,0000						t=	3,0750
0,0000	0,0000							

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Donde:**

$h_e$  = humedad de equilibrio

w= velocidad de secado

$\Delta h_e$  = base de cada triángulo

hc= altura de la curva

hr= altura del rectángulo

ac= área de la curva

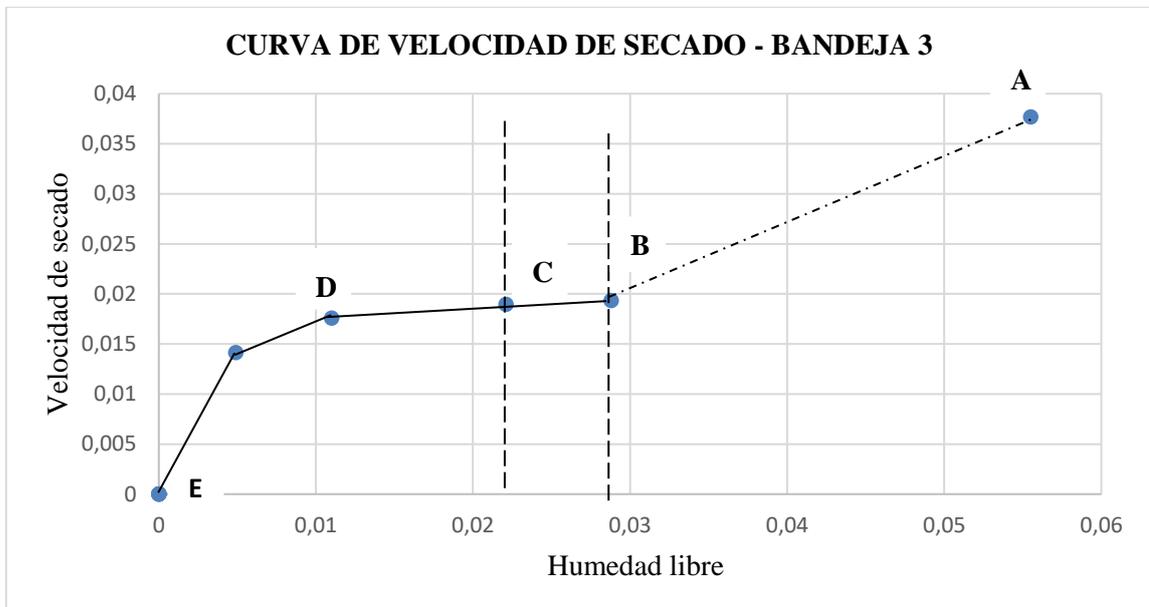
ar= área del rectángulo

atotal= área total

$$t_2 = \frac{m_{ss}}{A} (\text{área total})$$
$$t_2 = \frac{0,4490}{0,157} (1,080) = 3,08$$

**Tiempo total de secado**

$$t_t = t_1 + t_2$$
$$t_t = (2,03 + 3,08)h = 5,11 h$$



**Ilustración 16-3:** Curva de velocidad de secado – Bandeja 3

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

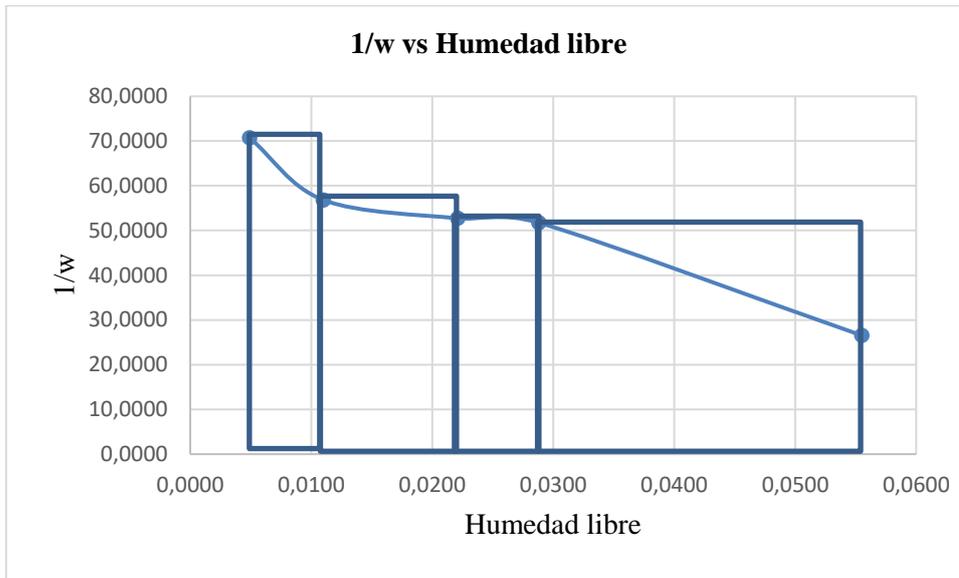
**Tiempo total de secado**

$$t_1 + t_2$$

**Tiempo 1: Período de la velocidad constante**

$$t_1 = \frac{m_{ss}}{w * A} (h_1 - h_2)$$
$$t_1 = \frac{0,4500}{0,0190 * 0,156} (0,0288 - 0,0221)$$
$$t_1 = 1,01 h$$

## Tiempo 2 Período de la velocidad decreciente



**Ilustración 17-3:** 1/w vs Humedad libre

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 16-3:** Tiempo 2 Período de la velocidad decreciente

$h_e$	w	1/w	$\Delta h_e$	hr	ht	ar	at	atotal
0,0555	0,0670	17,0358						
0,0288	0,0310	34,6204	0,0267	51,7413	25,1950	1,3815	0,6907	0,6907
0,0221	0,0253	35,6802	0,0067	52,7148	0,9735	0,3532	0,1766	0,1766
0,0110	0,0287	36,7876	0,0111	56,8306	4,1158	0,6308	0,3154	0,3154
0,0049	0,0223	38,6100	0,0061	70,7483	13,9177	0,4316	0,2158	0,2158
0,0000	0,0129	49,7512				0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000						area=	1,3985
0,0000	0,0000						t=	4,03
0,0000	0,0000							

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### Donde:

$h_e$  = humedad de equilibrio

w= velocidad de secado

delta v = base de cada triángulo

hc= altura de la curva

hr= altura del rectángulo

ac= área de la curva

ar= área del rectángulo

atotal= área total

$$t_2 = \frac{m_{ss}}{A} (\text{área total})$$
$$t_2 = \frac{0,4550}{0,156} (1,3985) = 4,02$$

### Tiempo total de secado

$$t_t = t_1 + t_2$$
$$t_t = (1,02 + 4,03)h = 5,05 h$$

#### 3.5.5.3. Balance de energía

El balance de energía se efectúa con el objetivo de establecer el flujo de calor requerido durante el proceso, este balance se efectúa en la etapa de secado de fréjol, para lo cual se determinan experimentalmente los siguientes parámetros:

Determinación de la constante de calorimetría:

$$q_{\text{agua al ambiente}} + q_{\text{agua caliente}} + q_{\text{calorimetro}} = 0$$

$$m_1 s_{H_2O} (T_f - T_1) + m_2 s_{H_2O} (T_f - T_2) + C (T_f - T_1) = 0$$

$$C = \frac{m_1 s_{H_2O} (T_f - T_1) + m_2 s_{H_2O} (T_f - T_2)}{(T_1 - T_f)}$$

$$C = \frac{75g * 4.184 \frac{J}{g^{\circ}C} * (40 - 18)^{\circ}C + 75g * 4.184 \frac{J}{g^{\circ}C} * (40 - 70)^{\circ}C}{(18 - 40)^{\circ}C}$$

$$C = 114.10 \frac{J}{^{\circ}C}$$

Donde:

$m_1$  = Masa del agua al ambiente

$T_1$  = Temperatura del agua al ambiente

$m_2$  = Masa del agua caliente

$T_2$  = Temperatura del agua caliente

$T_f$  = Temperatura del calorímetro

$s_{H_2O}$  = Calor específico del agua

Determinación de la capacidad específica del fréjol:

$$q_{\text{agua al ambiente}} + q_{\text{fréjol}} + q_{\text{calorímetro}} = 0$$

$$m_1 s_{H_2O} (T_3 - T_1) + m_2 s_{\text{fréjol}} (T_3 - T_2) + C (T_3 - T_1) = 0$$

$$s_{\text{fréjol}} = \frac{(m_1 s_{H_2O} + C) * (T_3 - T_1)}{m_2 (T_2 - T_3)}$$

$$s_{\text{fréjol}} = \frac{\left(75 \text{ g} * 4.184 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} + 114,10 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}\right) * (22 - 18)^\circ\text{C}}{20 \text{ g} * (90 - 22)^\circ\text{C}}$$

$$s_{\text{fréjol}} = 1.25 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

Donde:

$m_1$  = Masa del agua al ambiente

$T_1$  = Temperatura del agua al ambiente

$m_2$  = Masa del fréjol

$T_2$  = Temperatura del agua caliente con el fréjol

$T_3$  = Temperatura del calorímetro

C = Constante de calorimetría

Determinación del flujo de calor del proceso

$$\cancel{\Delta Ec} + \cancel{\Delta Ep} + \Delta H = Q \cancel{\neq} W$$

$$\Delta H = Q$$

Donde:

$\Delta Ec$  = Variación de la energía cinética

$\Delta E_p$  = Variación de la energía potencial

$\Delta H$  = Variación de la entalpia

Q = Flujo de calor

W = Trabajo

$$Q = m C_{p_{fréjol}} \Delta T$$

Donde:

Q = Flujo de calor

m = masa del fréjol

$C_{p_{fréjol}}$  = Capacidad calorífica del fréjol

$\Delta T$  = Variación de la temperatura

$$Q = 1440 \text{ g} * 1,25 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (60 - 40)^\circ\text{C}$$

$$Q = 36000 \text{ J}$$

### 3.5.6. Molienda

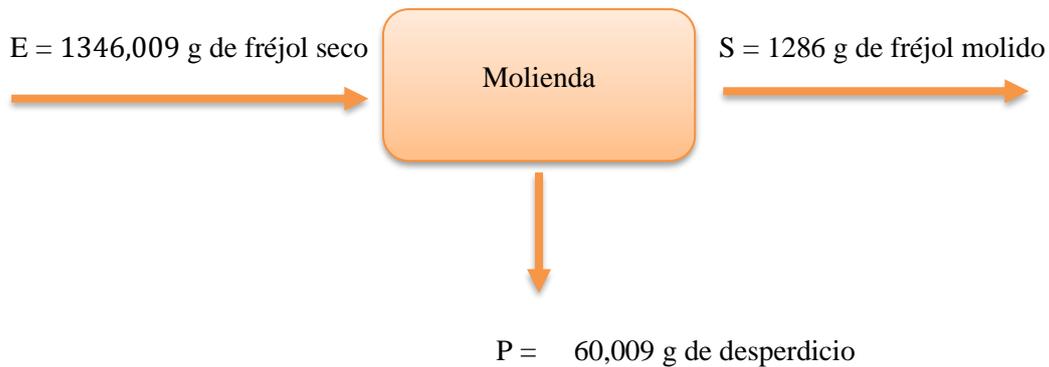
Para esta etapa se utilizó un molino de matillos, para la reducción del tamaño de la materia prima, una vez se encuentre completamente seco, se hizo uso de este tipo de martillos debido a que este tiene incorporado una zaranda de retención o tamiz para la salida del producto, la granulometría de esta fue de 425  $\mu\text{m}$ , tomando como referencia esta abertura de malla y al ser superior a la requerida se realizó 4 etapas de molienda, se realizó durante 45 minutos.



**Ilustración 18-3:** Molienda de la materia prima

**Realizado por:** Auqui, Daniela, 2023

### 3.5.6.1. Balance de masa en la molienda



$$E = S + P$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{fréjol molido}}{\text{fréjol seco}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{1286 \text{ g}}{1346,009 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 95,54 \%$$

### 3.5.7. Tamizado

Para cumplir los requerimientos de la NTE INEN 616:2015, se utiliza el tamiz No. 70 correspondiente a una granulometría de 212  $\mu\text{m}$ . De ser necesario se realiza la recirculación hacia la etapa de molienda. Se realizaron movimientos circulares tratando de mover a todo el material, pasa su correcto análisis granulométrico.



**Ilustración 19-3:** Torre de tamices

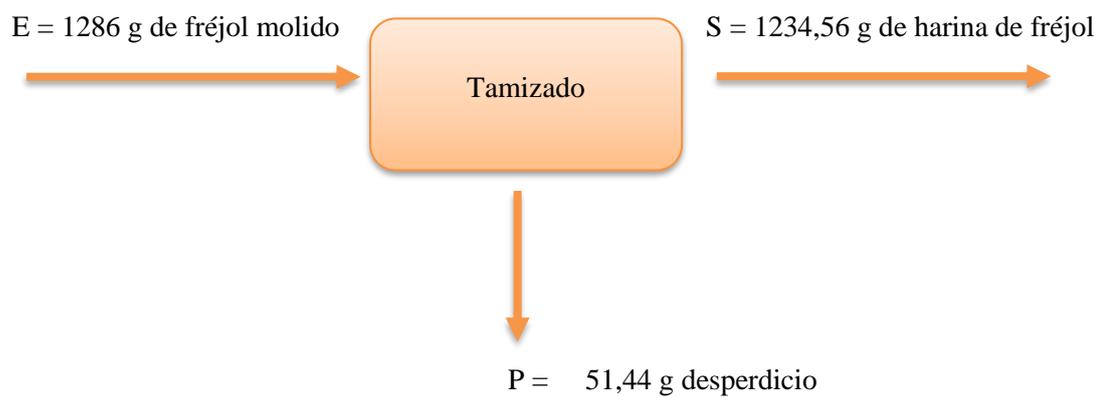
Realizado por: Auqui, Daniela, 2023



**Ilustración 20-3:** Harina de fréjol

**Realizado por:** Auqui, Daniela, 2023

3.5.7.1. *Balance de masa en el tamizado*



$$E = S + P$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{harina de fréjol}}{\text{fréjol molido}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{1234,56 \text{ g}}{1286 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 96,00 \%$$

### 3.5.7.2. Análisis granulométrico

Para el tamizado del fréjol molido se utilizaron cuatro tamices secuenciales, tomando en cuenta que el tamiz No. 70 con una abertura de malla de 212  $\mu\text{m}$  debe cumplir con la granulometría requerida por la NTE INEN 613:2015. Harina de trigo. Requisitos. Mediante los datos obtenidos en esta operación unitaria se concluyó que se debe realizar una recirculación hacia la etapa de la molienda hasta cumplir lo establecido por la norma de referencia. Una vez realizada la recirculación por 4 ocasiones se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 17-3:** Análisis granulométrico

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6
Tamiz	Tamaño	Retenido	Retenido	Retenido Acumulado	Pasado Acumulado
Malla #	$\mu\text{m}$	G	%	%	%
45	355	0,00	0,00	0,000	100,000
50	300	7,099	0,552	0,552	99,448
60	250	17,024	1,324	1,876	98,124
70	212	27,317	2,124	4	96,000
<b>Fondo 400</b>		1234,560	96	100,000	0,00
<b>SUMATORIA</b>		1286,000	100,000		

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### 3.5.8. Envasado

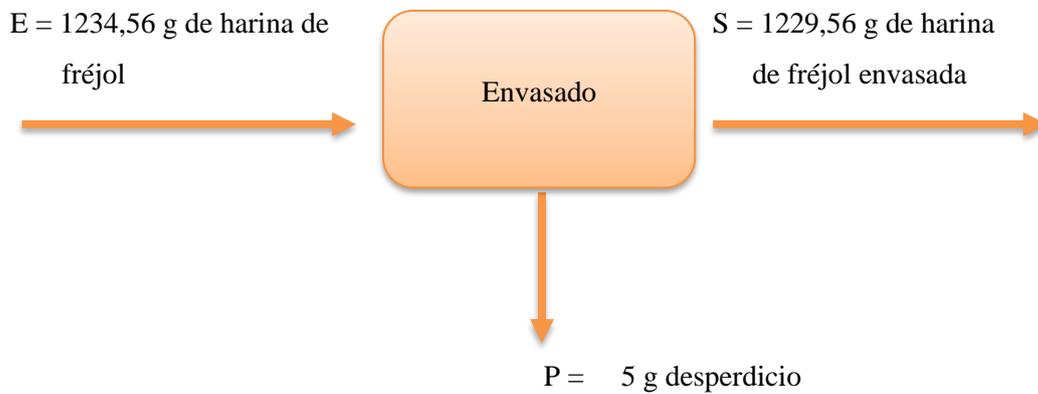
El envasado de la harina obtenida se realizó usando fundas herméticas para evitar la alteración de las características higiénicas, nutritivas y técnicas del producto. Se realizó un envasado al vacío, es decir retirando todo el oxígeno del interior de la funda, evitando el crecimiento bacteriano, mohos y levaduras, además para aplazar la caducidad del producto, la harina envasada tradicionalmente tiene una caducidad de 6 meses en comparación con el envasado al vacío con lo cual las harinas tienen una durabilidad de 1 año. En esta etapa se obtuvieron dos unidades de 564,80 g cada una.



**Ilustración 21-3:** Harina envasada

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**3.5.8.1. Balance de masa en el envasado**



$$E = S + P$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{harina de fréjol envasada}}{\text{harina de fréjol}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{1229,56 \text{ g}}{1234,56 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 99,59 \%$$

**3.5.9. Determinación de las variables del proceso**

Una vez realizados varios ensayos a escala de laboratorio a diversas condiciones (tiempo y temperatura), se concluye con las variables más importantes y de las que depende la calidad del

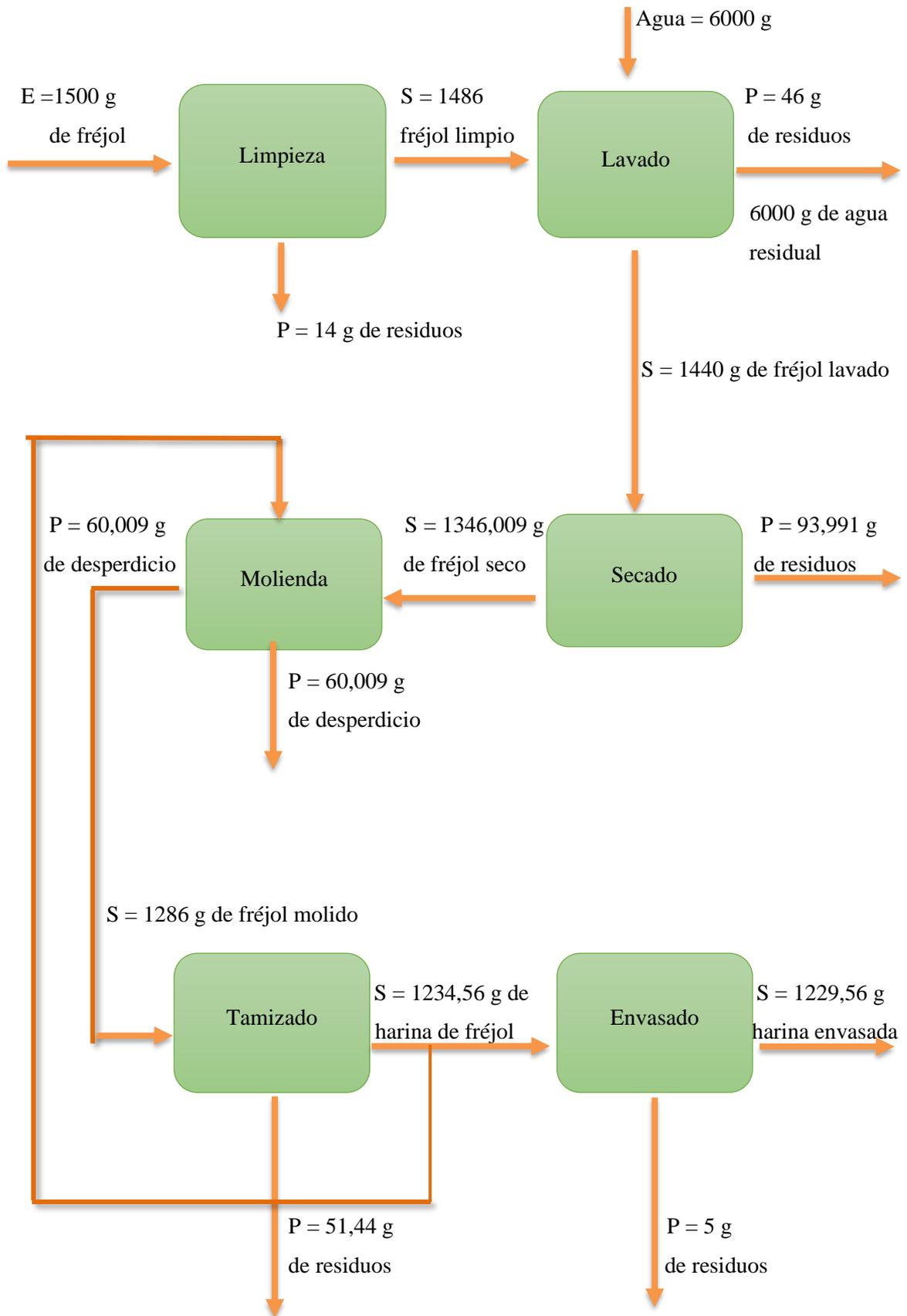
producto, a continuación, se detallan las variables del proceso, etapa del proceso, punto de control y su respectivo criterio:

**Tabla 18-3:** Variables del proceso

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Variable</b>	<b>Punto de control</b>	<b>Criterio</b>
Recepción de materia prima	Humedad	< 13%	Límite máximo según la NTE INEN 1 561 Granos y cereales. Fréjol en grano. Requisitos, para aceptar la materia prima receptada.
Secado	Tiempo	5,41 horas	Con este tiempo se logra un secado uniforme en todos los granos de fréjol, si se mantiene durante más tiempo la materia prima podría quemarse.
	Temperatura	40 - 60 °C	Verificar constantemente debido a que al disminuir la temperatura el tiempo de secado se alargará, y, al aumentar la misma, esta puede causar alteraciones ocasionando un secado no uniforme afectando así en la etapa de molienda.
Tamizado	Granulometría	Tamiz # 70 212 µm	La harina obtenida, debe pasar por el tamiz # 70, para cumplir con los requerimientos de la NTE INEN 613:2015 Harina de trigo. Requisitos.

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

3.5.10. Balance global



Balance global

$$E = S + P$$

Rendimiento global

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{harina envasada}}{\text{fréjol}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{1229,56}{1500} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 81,97\%$$

### 3.6. Caracterización fisicoquímica del producto obtenido (harina de fréjol)

La caracterización del producto se realizará mediante la NTE INEN 616:2015 HARINA DE TRIGO. REQUISITOS, debido a que en el Ecuador no se cuenta con una norma específica para la harina de fréjol. La norma establece los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que se deben cumplir.

**Tabla 19-3:** Requisitos físicos y químicos para la harina de trigo

REQUISITOS	UNIDAD	PARA TODO USO	MÉTODO DE ENSAYO
Humedad, máximo	%	14,5	NTE INEN-ISO 712
Proteína (materia seca) *, mínimo	%	9	NTE INEN-ISO 20483
Cenizas (materia seca), máximo	%	0,8	NTE INEN-ISO 2171
Acidez (expresado en ácido sulfúrico), máximo	%	0,2	NTE INEN 521
Gluten húmedo, mínimo	%	25	NTE INEN-ISO 21415-1 O NTE INEN-ISO 21415-2
Grasa (materia seca), máximo	%	2	NTE INEN-ISO 11085 AOAC 2003.06**
Pasa por un tamiz de 212 µm, mínimo	%	95	NTE INEN 517

Fuente: (NTE INEN 613:2015, pp. 3-4)

Realizado por: Auqui Daniela, 2022

**Tabla 20-3:** Requisitos microbiológicos para la harina de trigo

REQUISITO	UNIDAD	Caso	N	c	m	M	MÉTODO DE ENSAYO	
Mohos y levaduras	UFC/g		5	5	2	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^4$	NTE INEN 1529-10 AOAC 997.02
E. Coli	UFC/g		5	5	2	< 10	-	NTE INEN 1529-8 AOAC 991.14

Fuente: (NTE INEN 613: 2015, p. 5)

Realizado por: Auqui Daniela, 2022

Donde:

n Número de muestras del lote que deben analizarse

c Número de muestras defectuosas aceptables,

m Límite de aceptación,

M Límite de rechazo

La caracterización fisicoquímica del producto obtenido fue realizada en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, continuación, se detalla la metodología utilizada:

**Tabla 21-3:** Caracterización fisicoquímica de harina de fréjol

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	MÉTODO
<b>Humedad</b>	<p>Procedimiento con estufa: la determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La cápsula se calienta a <math>130^{\circ}</math> - <math>133^{\circ}</math> C durante unos 30 minutos, se enfría en el desecador y se pesa.</li> <li>En la cápsula, pesar aproximadamente 5 g de la muestra y colocar en la estufa.</li> <li>Llevar la temperatura de la estufa a <math>130 - 133^{\circ}</math> C manteniéndola durante 2 horas, tiempo que se cuenta a partir del momento en que la estufa alcanza los <math>130^{\circ}</math> C.</li> <li>Trasladar la cápsula al desecador y pesar tan pronto haya alcanzado la temperatura ambiente, aproximadamente entre 30 y 45 minutos, después de colocarse en el desecador.</li> <li>Calentar de nuevo la cápsula con su contenido durante 2 horas; dejar enfriar en el desecador y pesar.</li> </ul>	<p>NTE INEN 1235. Granos y cereales.</p> <p>Determinación del contenido de humedad.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Repetir el procedimiento enfriando y pesando hasta que no haya disminución en la masa.</li> </ul> $H = (m_t - m_s) * \frac{100}{m_t}$ <p>Siendo:  H = humedad en porcentaje de masa  <math>m_t</math> = masa de la muestra triturada, en gramos  <math>m_s</math> = masa de la muestra seca, en gramos</p>	
<b>Ceniza</b>	<p>La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Calentar el crisol de porcelana vacío en la mufla ajustada a <math>550 \pm 15^\circ\text{C}</math>, durante 30 min. Enfriar en el desecador y pesar con aproximación al 0,1 mg.</li> <li>Transferir al crisol y pesar 5 g de la muestra.</li> <li>Colocar el crisol con su contenido cerca de la puerta de la mufla abierta y mantenerla allí durante pocos minutos, para evitar pérdidas por proyección de material, lo que podría ocurrir si el crisol se introduce directamente a la mufla.</li> <li>Introducir el crisol en la mufla a <math>550 \pm 15^\circ\text{C}</math> hasta obtener cenizas de un color gris claro. No deben fundirse las cenizas.</li> <li>Sacar de la mufla el crisol con la muestra, dejar enfriar en el desecador y pesar tan pronto haya alcanzado la temperatura ambiente, con aproximación al 0,1 mg.</li> <li>Repetir la incineración por períodos de 30 min, enfriando y pesando hasta que no haya disminución en la masa.</li> </ul> <p>El contenido de cenizas en muestras de harinas de origen vegetal, en base seca, se calcula mediante la ecuación siguiente:</p> $\%C = \frac{100(m_3 - m_1)}{(100 - H)(m_2 - m_1)} * 100$ <p>Siendo:  %<b>C</b> = contenido de cenizas en harinas de origen vegetal, en porcentaje de masa.</p>	<p>NTE INEN  520:2013  Harinas de origen vegetal.  Determinación de la ceniza.</p>

	<p><b>M1</b> = masa del crisol vacío, en g.  <b>m2</b> = masa del crisol con la muestra, en g.  <b>m3</b> = masa del crisol con las cenizas, en g.  <b>H</b> = porcentaje de humedad en la muestra.</p>	
<b>Proteína</b>	<p>La determinación debe hacerse por duplicado.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 0,5 g de muestra seca e introducirla en el tubo de digestión macrokjeldhal.</li> <li>• Añadir 2 g de la mezcla catalizadora, 2 mL de ácido sulfúrico concentrado p.a. procurando no manchar las paredes de este.</li> <li>• Colocar el tubo en el digestor, conectar el digestor y la bomba de agua, verificar la entrada de agua en las tres llaves, prender los interruptores de la bomba (1), digestor (1'), pulsar el botón Prog, luego el de Time, pulsar stop y finalmente run. Cuando llegue a 0, apagar el digestor y dejar enfriar el tubo.</li> <li>• Retirar el tubo frío del digestor y adicionar 25 mL de agua destilada para disolver el contenido que al enfriarse se solidifica.</li> <li>• Colocar el tubo en la parte izquierda del destilador. En la parte derecha del destilador colocar un Erlenmeyer de 500 mL con 50 mL de ácido bórico al 4% y dos gotas del indicador mixto, se observará un color rojo.</li> </ul> <p>Cerrar herméticamente la puerta del destilador, conectar el equipo, aplastar el interruptor de este y seguir las instrucciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Al finalizar la destilación lavar perfectamente el equipo.</li> <li>• Titular el destilado con HCl hasta observar color rojo.</li> <li>• Calcular el de N2 y de Proteína.</li> </ul> $\%P = 1.4 * f * V * \frac{N}{m}$ <p>Donde:  <b>%P</b> = Contenido de proteína en porcentaje de masa</p>	Macrokjeldhal

	<p><b>f</b> = Factor para transformar el %N en proteína y es específico para cada alimento</p> <p><b>V</b> = Volumen de HCl o H2SO4 N/10 empleado para titular la muestra en ml</p> <p><b>N</b> = Normalidad del HCl</p> <p><b>m</b> = Masa en gramos</p>	
<b>Grasa</b>	<p>La determinación debe realizarse por duplicado.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 2 g de muestra seca y colocar en el dedal de celulosa previamente tarado y registra su peso, se coloca sobre el dedal algodón para evitar la evaporación, luego introducirlo en la en la cámara de sinfonación.</li> <li>• En el balón previamente tarado adicionar 250 mL de éter etílico.</li> <li>• Embonar la cámara de sinfonación al balón.</li> <li>• Colocar el condensador con las mangueras sobre la cámara de sinfonación.</li> <li>• Encender la parrilla, controlar la entrada y salida de agua y extraer por 2 a 4 h.</li> <li>• Al terminar el tiempo, retirar el balón con el solvente más el extracto graso y destilará el solvente.</li> </ul> $\% G(\%Ex.E) = \frac{P1 - P}{m} * 100$ <p>Donde:</p> <p><b>% G(%Ex.E)</b> = Grasa cruda o bruta en muestra seca expresado en porcentaje en masa</p> <p><b>P1</b> = masa del balón más la grasa cruda o bruta extraída en g</p> <p><b>P</b> = masa del balón de extracción vacía en g</p> <p><b>m</b> = masa de la muestra seca tomada para la determinación en g</p>	Soxhlet
<b>Gluten</b>	<p>La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 10 g de muestra y verter en el mortero de porcelana.</li> <li>• Agregar gota a gota 5,5 cm<sup>3</sup> de la solución de cloruro de sodio, remover continuamente la harina con la espátula,</li> </ul>	INEN 529 Harinas de trigo. Determinación de gluten.

	<p>comprimir la mezcla con la espátula y formar una bola de masa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para homogeneizar la masa, se la enrolla con la palma de la mano sobre la placa de vidrio, hasta que tenga una longitud de 7 a 8 cm, luego se la vuelve a dar forma de bola y se repite el amasado 5 veces.</li> <li>• Lavado a mano. Dejar caer un ligero chorro de sobre la bola de masa formada y que se encuentra en la palma de la mano. El ritmo del goteo debe ser tal que aproximadamente 0,75 litros de agua desagüe en 8 minutos. Durante este tiempo se prensa alternativamente la masa y se la retira siete veces, de forma que se parta en dos trozos que se juntan enseguida.</li> <li>• Se puede considerar terminada la extracción del gluten cuando el agua del lavado no lleve almidón, lo que se comprueba usando la solución 0,001 N de yodo.</li> <li>• Desprender de la bola de gluten la mayor parte de la solución de lavado adherente, tomando a ésta con la punta de los dedos de la mano y sacudiéndola 3 veces brevemente con fuerza. Luego estirar el gluten en lámina delgada, manteniéndolo entre los dedos, llevar a la prensa y cerrarla. Abrir a los cinco segundos, llevar la lámina del gluten a sitio seco sin deformarla. Prensar nuevamente, realizando esta operación 15 veces, secando bien la superficie de vidrio después de cada prensado.</li> <li>• Pesar el gluten con aproximación al 0,01 g.</li> <li>• Introducir en la estufa calentada a <math>100 \pm 5^{\circ}\text{C}</math>; calentarla por un tiempo de 24 horas, enfriar en desecador y pesar.</li> <li>• Repetir el calentamiento por períodos de 2 horas, enfriando y pesando, hasta que no haya disminución de la masa. Este valor corresponde al gluten seco.</li> <li>• El contenido de gluten seco en la harina de trigo se calcula multiplicando por 4 el peso obtenido y se expresa en porcentaje de masa.</li> </ul>	
<b>Acidez</b>	La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.	NTE INEN 521:2013

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 5 g de la harina y transferir al matraz Erlenmeyer de 100 cm<sup>3</sup></li> <li>• Agregar lentamente 50 cm de alcohol de 90% neutralizado, tapar el matraz Erlenmeyer y agitar fuertemente.</li> <li>• Dejar en reposo durante 24 h, agitando de vez en cuando.</li> <li>• Tomar con la pipeta una alícuota del 10 cm<sup>3</sup> del líquido claro sobrenadante y transferir al matraz Erlenmeyer de 50 cm<sup>3</sup>; agregar 2 cm<sup>3</sup> de la solución indicadora de fenolftaleína.</li> <li>• Agregar lentamente y con agitación la solución 0,02 N de hidróxido de sodio, hasta conseguir un color rosado que desaparece poco a poco.</li> <li>• Continuar agregando la solución hasta que el color rosado persista durante 30 s.</li> <li>• Leer en la bureta el volumen de solución empleada, con aproximación a 0,05 cm<sup>3</sup>.</li> </ul> $A = \frac{490NV}{m(100 - H)} * \frac{V_1}{V_2}$	<p>Harinas de origen vegetal.</p> <p>Determinación de la acidez titulable.</p>
--	--	--

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

La caracterización microbiológica del producto obtenido fue realizada por el laboratorio de servicios analíticos químicos y microbiológicos en agua y alimentos SAQMIC, cuyos parámetros y valores obtenidos se describen a continuación:

**Tabla 22-3:** Caracterización microbiológica de harina de fréjol

REQUISITO	UNIDAD	Resultado	Límite de aceptación NTE INEN 616
Mohos y levaduras	UFC/g	< 10	1 x10 <sup>3</sup>
E. Coli	UFC/g	< 10	< 10

Fuente: SAQMIC, 2023

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### 3.7. Proceso de producción a escala industrial

Para realizar la producción de harina a nivel industrial, se propone iniciar el proceso utilizando 100 kg diarios de materia prima, para lo cual se toma como referencia el proceso elaborado a nivel de laboratorio, los equipos requeridos se detallan a continuación:

**Tabla 23-3:** Requerimiento de equipos

Operación	Equipos
Recepción de la materia prima	-
Pesado	Balanza digital
Limpieza	-
Lavado	Tanque de lavado
Secado	Secador de bandejas
Molienda	Molino de martillos
Tamizado	Tamiz No. 70 de 212 $\mu\text{m}$ .
Envasado	Balanza digital Empacadora selladora

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

#### 3.7.1. Diseño de equipos

Para dimensionar los equipos a utilizarse se toma como referencia los flujos experimentales realizados en el laboratorio:

##### 3.7.1.1. Tanque de lavado

Volumen por ocupar del fréjol con agua:

$$V_{CNA} = \frac{V_{exp} * \frac{FM}{lote}}{FM_{exp}}$$
$$V_{CNA} = \frac{9 \times 10^{-3} m^3 * 100 \frac{kg}{lote}}{1,5 kg}$$
$$V_{CNA} = 0,6 \frac{m^3}{lote}$$

Donde:

$V_{exp}$  = Volumen experimental del fréjol con agua 9000 ml

$\frac{FM}{lote}$  = Flujo de materia prima a ingresar por lote 100 kg

$FM_{exp}$  = Flujo experimental de materia prima 1500 g

Volumen total del tanque de lavado:

$$\begin{aligned}V_{FTL} &= V_{CNA} + fs * V_{CNA} \\V_{FTL} &= 0,6 \frac{m^3}{lote} + 0,10 * 0,6 \frac{m^3}{lote} \\V_{FTL} &= 0,66 \frac{m^3}{lote} \approx 0,7 \frac{m^3}{lote}\end{aligned}$$

Donde:

$V_{CNA}$  = Volumen a ocupar de fréjol con agua

$fs$  = Factor de seguridad considerado al 10%

Diámetro interno del tanque de lavado:

$$\begin{aligned}\phi_{TL} &= \sqrt[3]{\frac{3V_{FTL}}{4\pi}} * 2 \\ \phi_{TL} &= \sqrt[3]{\frac{3(0,66m^3)}{4\pi}} * 2 \\ \phi_{TL} &= 1.08 \text{ m} \approx 1.10 \text{ m}\end{aligned}$$

Donde:

$V_{FTL}$  = Volumen total del tanque de lavado

Altura del tanque de lavado:

$$h_{TL} = \frac{V_{FTL}}{\pi \left(\frac{\phi_{TL}}{2}\right)^2}$$

$$h_{TL} = \frac{0,66 \text{ m}^3}{\pi \left(\frac{1,10 \text{ m}}{2}\right)^2}$$

$$h_{TL} = 0,694 \text{ m} \approx 0,70 \text{ m}$$

Donde:

$V_{FTL}$  = Volumen total del tanque de lavado

$\emptyset_{TL}$  = Diámetro interno del tanque de lavado

### 3.7.1.2. Diseño del secador de bandejas

Carga del sólido en las bandejas:

$$\frac{Ls}{A} = \delta\rho * t$$

$$\frac{Ls}{A} = 850 \frac{kg}{m^3} * 0,01 \text{ m}$$

$$\frac{Ls}{A} = 8,5 \frac{kg}{m^2}$$

Donde:

$\frac{Ls}{A}$  = carga del sólido en las bandejas  $\frac{kg}{m^2}$

$\delta\rho$  = densidad del fréjol  $\frac{kg}{m^3}$

$t$  = espesor máximo del fréjol  $m$

Área total de las bandejas:

$$Atb = \frac{L}{\frac{Ls}{A}}$$

$$Atb = \frac{100 \text{ kg}}{8,5}$$

$$Atb = 12 \text{ m}^2$$

Donde:

$Atb = \text{Área total de las bandejas } m^2$

$L = \text{Capacidad de la cámara } kg$

$\frac{Ls}{A} = \text{carga del sólido en las bandejas } \frac{kg}{m^2}$

Área para una bandeja:

$$Ab = \frac{Atb}{Nb}$$

$$Ab = \frac{12 m^2}{10}$$

$$Ab = 1,2 m^2$$

Donde:

$Ab = \text{área de una bandeja } m^2$

$Atb = \text{área total de las bandejas } m^2$

$Nb = \text{número de bandejas}$

Para una bandeja rectangular con un área de  $1,2 m^2$  se establece las siguientes dimensiones:  
longitud 1,2 m y ancho: 1 m.

Espesor de las bandejas:

$$t_D = \frac{P * ab^2}{ta^2}$$

Donde:

$t_D = \text{Esfuerzo de diseño (lb/pulg}^2)$

$ta = \text{Espesor del material del que están fabricadas las bandejas (Acero AISI 304)}$

$ab = \text{Ancho de las bandejas (pulg)}$

$P = \text{Fuerza máxima a la cual estarán sometidas las bandejas (lb/pulg}^2)$

$$P = \frac{Cb * g}{ab * lb}$$

$$P = \frac{10 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1\text{m} * 1,2\text{m}}$$

$$P = 81,66 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,0118 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Donde:

$P$  = Fuerza máxima a la cual estarán sometidas las bandejas (lb/pulg<sup>2</sup>)

$Cb$  = Capacidad por bandeja (kg)

$g$  = Gravedad ( $9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ )

$ab$  = Ancho de las bandejas (m)

$lb$  = Longitud de las bandejas (m)

$$t_D = \frac{t_t}{f_s}$$

Donde:

$t_D$  = Esfuerzo de diseño ( $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$ )

$t_t$  = Resistencia a la tracción del acero AISI 304 ( $1705 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$ )

$f_s$  = Factor de seguridad (1,5)

$$t_D = \frac{t_t}{f_s}$$

$$t_D = \frac{1705 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}}{1,5}$$

$$t_D = 1136,6 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Reemplazando y despejando  $ta^2$  en:

$$t_D = \frac{P * ab^2}{ta^2}$$

$$ta^2 = \frac{0,0118 \text{ psi} * (39,37)^2}{1136,6 \text{ psi}}$$

$$ta^2 = 0,01609 \text{ pulg}^2$$

$$ta = 0,127 \text{ pulg} = 3,25 \text{ mm}$$

Para una carga de 10 kg en bandejas de 1 m de ancho por 1,2 m de largo el espesor calculado es de 3,25 mm.

Volumen de las bandejas:

$$V_b = V_1 + V_2 + V_3$$

Donde:

$V_b$  = Volumen de las bandejas ( $m^3$ )

$V_1$  = Volumen de la base de la bandeja ( $m^3$ )

$V_2$  = Volumen del pretil ancho de la bandeja ( $m^3$ )

$V_3$  = Volumen del pretil largo de la bandeja ( $m^3$ )

$$V_1 = ab * lb * eb$$

$$V_1 = 1m * 1,2m * 0,00325m$$

$$V_1 = 0,0039m^3$$

Donde:

$V_1$  = Volumen de la base de la bandeja ( $m^3$ )

$ab$  = Ancho de la bandeja (m)

$lb$  = Longitud de la bandeja (m)

$eb$  = Espesor de la bandeja (m)

$$V_2 = ab * hb * eb$$

$$V_2 = 1m * 0,05m * 0,00325m$$

$$V_2 = 0,0001625m^3$$

Donde:

$V_2$  = Volumen del pretil ancho de la bandeja ( $m^3$ )

$ab$  = Ancho de la bandeja (m)

$hb$  = Altura de la bandeja (m)

$eb$  = Espesor de la bandeja (m)

$$V_3 = lb * hb * eb$$
$$V_3 = 1,2m * 0,05m * 0,00325m$$
$$V_3 = 0,000195m^3$$

Donde:

$V_3$  = Volumen del pretil largo de la bandeja ( $m^3$ )

$lb$  = Largo de la bandeja (m)

$hb$  = Altura de la bandeja (m)

$eb$  = Espesor de la bandeja (m)

Reemplazando en:

$$V_b = V_1 + V_2 + V_3$$
$$V_b = 0,0039m^3 + 0,0001625m^3 + 0,000195m^3$$
$$V_b = 0,0042m^3$$

Longitud de la cámara interna:

$$lci = lb + 0,10lb$$
$$lci = 1,2 + 0,10(1,2)$$
$$lci = 1,32 m$$

Donde:

$lci$  = Longitud de la cámara (m)

$lb$  = Longitud de las bandejas (m)

Ancho de la cámara interna:

$$aci = ab + 0,10ab$$
$$aci = 1 + 0,10(1)$$
$$aci = 1,1 m$$

Donde:

$aci$  = Longitud de la cámara (m)

$ab$  = Ancho de las bandejas (m)

Altura de la cámara interna:

$$h_{ci} = nb * hb + 6 * esp$$

$$h_{ci} = 10m * 0,05m + 6 * 0,15m$$

$$h_{ci} = 10m * 0,05m + 6 * 0,15m$$

$$h_{ci} = 1,4 m$$

Donde:

$h_{ci}$  = Altura de la cámara interna (m)

$nb$  = Numero de bandejas

$hb$  = Altura de las bandejas (m)

$esp$  = Espacio entre bandejas (m)

Área de la cámara interna:

$$A_{ci} = 2(ac_i * h_{ci} + l_{ci} * h_{ci} + ac_i * l_{ci})$$

$$A_{ci} = 2(1,1 * 1,4 + 1,32 * 1,4 + 1,1 * 1,32)m$$

$$A_{ci} = 9,5 m^2$$

Volumen de la cámara interna:

$$V_{ci} = ac_i * h_{ci} * l_{ci}$$

$$V_{ci} = 1,1m * 1,4m * 1,32m$$

$$V_{ci} = 2,033 m^3$$

Donde:

$V_{ci}$  = Volumen de la cámara interna ( $m^3$ )

$ac_i$  = Ancho de la cámara interna (m)

$h_{ci}$  = Altura de la cámara interna (m)

$l_{ci}$  = Longitud de la cámara interna (m)

Longitud en la cámara externa:

$$\begin{aligned}lce &= lci + espt + 2(espm) + espv \\lce &= 1,32m + 0,005m + 2(0,005m) + 0,006m \\lce &= 1,341m\end{aligned}$$

Donde:

$lce$  = Longitud de la cámara externa (m)

$lci$  = Longitud de la cámara interna (m)

$espt$  = Espesor de la tapa (m)

$espm$  = Espesor del acero inoxidable (m)

$espv$  = Espacio del ventilador (m)

Ancho de la cámara externa:

$$\begin{aligned}ace &= aci + 4(espm) + 2(espa) \\ace &= 1,1 + 4(0,005) + 2(0,004) \\ace &= 1,128\end{aligned}$$

Donde:

$ace$  = Ancho de la cámara externa (m)

$aci$  = Ancho de la cámara interna (m)

$espm$  = Espesor de acero inoxidable (m)

$espa$  = Espesor de la lana de vidrio (m)

Altura de la cámara externa

$$\begin{aligned}hce &= hci + espr + espa + 4(espm) \\hce &= 1,4 + 0,15 + 0,004 + 4(0,005) \\hce &= 1,754\end{aligned}$$

Donde:

$hce$  = Altura de la cámara externa (m)

$hci$  = Altura de la cámara interna (m)

$espr$  = Espacio para las resistencias (m)

$espa$  = Espesor de la lana de vidrio (m)

$espm$  = Espesor de la lámina de acero inoxidable (m)

Área de la cámara externa:

$$Ace = 2(ace * hce + lce * hce + ace * lce)$$

$$Ace = 2(1,128 * 1,754 + 1,341 * 1,754 + 1,128 * 1,341) \text{ m}$$

$$Ace = 11,70 \text{ m}$$

Donde:

$Ace$  = Área de la cámara ( $m^2$ )

$ace$  = Ancho de la cámara externa (m)

$hce$  = Altura de la cámara externa (m)

$lce$  = Longitud de la cámara externa (m)

Volumen de la cámara externa:

$$Vce = ace \times hce \times lce$$

$$Vce = 1,128 \text{ m} \times 1,754 \text{ m} \times 1,341 \text{ m}$$

$$Vce = 4,223 \text{ m}^3$$

Donde:

$Vce$  = Volumen de la cámara externa ( $m^3$ )

$ace$  = Ancho de la cámara externa (m)

$hce$  = Altura de la cámara externa (m)

$lce$  = Longitud de la cámara externa (m)

Calor necesario para calentar el sólido en el secador:

$$Q = m C_{p_{fréjol}} \Delta T$$

$$Q = 100000 \text{ g} * 1,25 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (40 - 18)^\circ\text{C}$$

$$Q = 2750000 J = 657,26 kcal$$

Donde:

Q = Flujo de calor

m = masa del fréjol

$Cp_{fréjol}$  = Capacidad calorífica del fréjol

$\Delta T$  = Variación de la temperatura

Cantidad de energía eléctrica:

$$E = 657,26 kcal \frac{1,16 \frac{w}{h}}{1 kcal} = 762,42 \frac{w}{h}$$

Donde:

E: Cantidad de energía eléctrica (KW/h)

Potencia de la resistencia:

$$E = 762,42 \frac{w}{h} * 5,50h$$

$$P = 4193,31 w$$

Donde

P: potencia de la resistencia (w)

### 3.1.1. *Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria*

Los equipos que se describen a continuación han sido seleccionados de acuerdo con el flujo de alimentación de 100 kg diarios que se propone a utilizar, para la producción de 81 unidades diarias tomando en cuenta pérdidas.

**Tabla 24-3:** Equipos y maquinaria utilizados en el proceso de producción

Equipo	Función	Especificaciones
--------	---------	------------------

<b>Molino de martillos</b>	Realizar la molienda hasta conseguir un polvo fino	Fabricante: Alibaba Modelo: XPE Capacidad (kg): 40-1800 Potencia: (KW): 1.5 Capacidad de procesamiento (T/h): 0.04 -3 Material: Acero inoxidable Abertura de malla: 0,2 -3 mm Precio (\$): 1500
<b>Balanza digital</b>	Será utilizada para el pesaje de las diferentes presentaciones que se comercializará el producto final.	Fabricante: Lan Shengl Capacidad (gr): 1000 Precisión mínima (gr): 0,01gr Material: Acero inoxidable Voltaje (V): 110 – 220 Precio (\$):250,00
<b>Selladora y codificadora</b>	Será de ser utilizada para sellar y colocar la información en las fundas para su posterior comercialización.	Fabricante: Hualian Modelo: FRS-1010III Voltaje (V): 220 Potencia del motor (W): 50 Potencia de sellado (W):300X2 Potencia de calentamiento de impresión (W):50x2 Velocidad (m/min): 12 Tipo de impresión: Cinta de color Carga máxima de la mesa transportadora para un solo paquete (Kg): ≤ 1 Carga total del transportador (kg): ≤ 3 Tamaño de la Mesa transportadora (L × A) (mm): 1065 × 180 Dimensiones exteriores (L x A x H) (mm): 1065 × 540 × 1325 Precio (\$): 1100,00

### 3.8. Validación económica para la producción industrial de harina

Con la finalidad de conocer la viabilidad de la ejecución e implementación del proyecto propuesto, se efectúa un análisis de económico para la planta de producción de harina de fréjol a nivel industrial.

#### 3.8.1. Inversión fija

Cantidad económica de los bienes tangibles que la empresa necesita adquirir para iniciar con la producción, a continuación, se definen los costos necesarios.

**Tabla 25-3:** Costos de inversión fija de la empresa

<b>EQUIPOS Y MAQUINARIA PARA EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE HARINA</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (\$)</b>	<b>Valor total (\$)</b>
Tanque de lavado	1	800,00	800,00
Secador de bandejas	1	795	795,00
Molino de martillos	1	880	1500,00
Dosificadora y selladora	1	5000	1100,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>4195,00</b>
<b>INVERSIÓN DE RECURSOS HUMANOS PARA ÁREA DE PRODUCCIÓN</b>			
Mano de obra para la instalación de equipos		500	500
Mano de obra para la instalación de infraestructura		700	700
Capacitaciones a los socios y trabajadores		300	300
<b>SUBTOTAL</b>			<b>1500</b>

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 26-3:** Costos totales de inversión fija de la empresa

<b>Inversion</b>	<b>Costo (\$)</b>
Equipos y maquinaria para el área de producción	4195,00
Inversión de recursos humanos para área de producción	1500,00
<b>Subtotal</b>	<b>5695,00</b>
Imprevisto (5%)	284,75
<b>TOTAL</b>	<b>5979,75</b>

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### 3.8.2. Determinación de egresos

Cantidad económica requerida para la adquisición de instrumentos necesarios para la producción de la harina de fréjol, a continuación, se detallan los costos necesarios para el funcionamiento de la empresa:

**Tabla 27-3:** Costos de materiales e insumos para la obtención de harina

<b>Materiales o Insumos</b>	<b>Valor Por Presentación</b>	<b>Valor Unitario (\$)</b>	<b>Cantidad Requerida</b>	<b>Valor Total (\$)</b>
Fréjol	00.00	0.00	100 Kg	143,30
Fundas de polietileno	\$0,02 por envase	0,02	95 unidades	1,90
Etiquetas	\$0,01 por envase	0,01	95 unidades	0,95
<b>TOTAL DIARIO</b>				<b>146,15</b>
<b>TOTAL MENSUAL</b>				<b>3215,3</b>
<b>TOTAL ANUAL</b>				<b>38583,6</b>

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 28-3:** Costo de servicios básicos requeridos

<b>Servicio Básico</b>	<b>Costo Mensual (\$)</b>	<b>Costo Anual (\$)</b>
Energía eléctrica	50	600
Agua potable	40	480
Telefonía	30	360
Internet	30	360
<b>TOTAL</b>	<b>145</b>	<b>1800</b>

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 29-3:** Costos de mano de obra directa

<b>Personal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total Mensual (\$)</b>	<b>Total Anual (\$)</b>
Operario	1	500	6000
Jefe de administración	1	500	6000
Técnico de laboratorio	1	700	8400
<b>TOTAL</b>		<b>1600</b>	<b>20400</b>

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

**Tabla 30-3: Total de egresos anuales**

<b>Descripción</b>	<b>Valor Anual (\$)</b>
Materiales e insumos	38583,6
Servicios básicos	1680,00
Mano de obra	20400,00
<b>Subtotal</b>	<b>60663,6</b>
Imprevistos 5%	3033,18
<b>TOTAL</b>	<b>63696,78</b>

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### 3.8.3. Costos totales de inversión fija y egresos

A continuación, se detalla una síntesis de los costos totales de inversión fija y de los egresos de la producción:

**Tabla 31-3: Costos totales de inversión fija y egresos**

<b>Descripción</b>	<b>Valor (\$)</b>
Inversión fija	5979,75
Egresos	63696,78
<b>TOTAL</b>	<b>69676,53</b>

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

### 3.8.4. Determinación de ingresos anuales

Los ingresos son el valor económico o ganancias que obtendrá la empresa, para lo cual se determina el precio de venta por unidad de producto al público, su producción será utilizando 100 kg diarios de materia prima, produciendo 81 unidades de 1 Kg, con una utilidad de ganancia deseada del 20%.

#### 3.8.4.1. Costos de producción por unidad producida

$$CP = \frac{\text{inversión fija} + \text{egresos anuales}}{N^{\circ} \text{ unidades producidas} * \text{Dias producción mensual} * \text{por meses totales}}$$

$$CP = \frac{5979,75 + 63696,78}{81 * 22 * 12}$$

$$CP = \frac{69676,53}{21384}$$

$$CP = 3,25$$

#### 3.8.4.2. Precio de venta unitario al público

$$PVP = CP \left( \frac{100}{100 - U} \right)$$

$$PVP = 3,25 \left( \frac{100}{100 - 20} \right)$$

$$PVP = 4,06$$

Donde:

CP = Costo de la producción por unidad producida

U = Utilidad deseada del 20%

A continuación, se detalla las unidades anuales producidas, costos anuales de producción, costos de producción por unidad e ingresos anuales.

**Tabla 32-3:** Ingresos anuales

<b>Unidades Anuales Producidas (Kg)</b>	<b>Costo Anual De Producción (\$)</b>	<b>Costo De Producción Por Unidad (\$)</b>	<b>PVP (\$)</b>	<b>Ingresos Anuales</b>
17108 (1Kg)	55601,00	3,25	4,06	69458,48

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

#### 3.8.5. Cálculo de la viabilidad del proyecto

Para determinar si el proyecto propuesto es viable, se realiza el cálculo de los siguientes factores: Valor actual neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR) y el Periodo de recuperación (PDR).

### 3.8.5.1. Valor Actual Neto (VAN)

La determinación del VAN permite determinar la viabilidad del proyecto actuando como un indicador de inversión, además se tiene una percepción de las ganancias o pérdidas al ejecutarse el proyecto, se toma en cuenta los siguientes criterios:

$VAN < 0$ : Proyecto no viable, generación de pérdidas.

$VAN > 0$ : Proyecto viable, generación beneficios o ganancias.

$VAN = 0$ : Proyecto de inversión insignificante, generación de pérdidas o ganancias.

$$VAN = -Inv + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

**Tabla 33-3:** Cálculo del VAN

PERIODO INICIAL	INVERSIÓN INICIAL (\$)			
0	Inversión fija = 5979,75			
Periodos (años)	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Flujo de caja (\$ Ft)	$\frac{Ft}{(1+i)^t}$
1	69458,48	63693,78	5764,70	5764,70
2	69458,48	63693,78	5764,70	4764,21
3	69458,48	63693,78	5764,70	4331,10
4	69458,48	63693,78	5764,70	3937,36
5	69458,48	63693,78	5764,70	3579,42
<b>Tasa de descuento</b>	i = 10%	<b>VAN (\$):</b>		<b>22376,79</b>

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

$$VAN = -Inv + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

$$VAN = -5979,75 + 22376,79$$

$$VAN = 16397,04$$

3.8.5.2. Tasa Interna de Retorno

El TIR establece la tasa de rentabilidad de la inversión, es decir el beneficio o pérdida que se presenta al ejecutar el proyecto, se debe tomar en cuenta que:

**TIR > i:** La tasa de rendimiento es mayor a la tasa mínima de rentabilidad, la inversión es rentable.

**TIR < i:** La tasa de rendimiento tiene una baja rentabilidad, la inversión en el proyecto se rechaza.

**TIR = i:** La inversión en el proyecto se debería llevar a cabo en caso de mejorar el enfoque competitivo.

$$VAN = 0 = -Inv + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

$$0 = -Inv + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

Se calcula un valor de i que sea igual al valor de VAN (0).

**Tabla 34-3:** Cálculo del TIR

PERIODO INICIAL	INVERSIÓN INICIAL (\$)			
0	Inversión fija = 5979,75			
Periodos (años)	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Flujo de caja (\$) Fj	$\frac{Ft}{(1+i)^t}$
1	69458,48	63696,78	5764,70	
2	69458,48	63696,78	5764,70	
3	69458,48	63696,78	5764,70	
4	69458,48	63696,78	5764,70	
5	69458,48	63696,78	5764,70	
<b>Tasa de descuento</b>	i = 10%	<b>TIR:</b>		<b>0,9497</b>

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

$$0 = -5979,75 + \frac{5764,70}{(1+i)^1} + \frac{5764,70}{(1+i)^2} + \frac{5764,70}{(1+i)^3} + \frac{5764,70}{(1+i)^4} + \frac{5764,70}{(1+i)^5}$$

$$i = 0,9497$$

$$0 = 0$$

$$TIR = 0,9497$$

$$TIR = 94,97 \%$$

Además, través la utilización de la hoja de cálculo de Microsoft Excel, se calculó utilizando la función “=TIR (valores; [estimar])” se obtuvo un valor de: 94,97%

### 3.8.5.3. *Periodo de recuperación (PDR)*

El PDR calcula el tiempo estimado en la que se recuperaría la inversión inicial que se necesita para poner en ejecución al proyecto y en la que se generara ganancias.

$$PDR = \text{Último período acumulado negativo} + \frac{\text{Último flujo acumulado negativo}}{\text{Flujo de caja del año siguiente}}$$

**Tabla 35-3:** Cálculo del PDR

Periodo (Año)	Flujo de Caja	Flujo Acumulado
0	-5979,75	-5979,75
1	5764,70	-215,05
2	5764,70	5549,65
3	5764,70	11314,35
4	5764,70	17079,10
5	5764,70	22843,85

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

$$PDR = 1 + \frac{-215,05}{5549,65}$$

$$PDR = 0,96 \text{ años} = 11 \text{ meses y } 15 \text{ días}$$

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados de la caracterización de la materia prima

##### 4.1.1. Resultados obtenidos de la caracterización física de la materia prima

Se realizó la caracterización física de la materia prima a utilizarse mediante la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1561. GRANOS Y CEREALES. FRÉJOL EN GRANO. REQUISITOS.

**Tabla 1-4:** Resultados de la caracterización física de la materia prima

Parámetros	Unidad	Método	Resultado	Límites aceptables INEN 1561 Granos y cereales. Fréjol en grano. Requisitos
<b>ANÁLISIS PRELIMINAR</b>				
Temperatura	-	INEN 1 561	Normal	Normal
Olor	-	INEN 1 561	Característico	Característico
Nivel de infestación	Kg/insectos vivos	INEN 1561	0	0
Humedad	%	INEN 1 235	12,35	13 (máximo)
Impurezas	%	INEN 1 561	2,5	5 (máximo)
<b>REQUISITOS FÍSICOS</b>				
Grano contrastante	%	INEN 1 561	3	3 (máximo)
Grano dañado	%	INEN 1 561	0,67	1,5 (máximo)
Granos quebrados o partidos	%	INEN 1561	1,62	2,0 (máximo)
Granos abiertos	%	INEN 1 561	0,4	1 (máximo)

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

Para el proceso de obtención de harina de fréjol, se inicia con la recepción de la materia prima, y seguidamente se realiza la caracterización física bajo la directriz de la NTE INEN 1561, en la cual se detallan los requisitos del fréjol en grano para el consumo. En el análisis físico se analizó la temperatura la cual fue normal, con olor característico, nivel de infestación de 0,3, humedad de 12,35, impurezas 2,5, granos contrastantes 3, grano de otro color con 1,5, grano dañado 2,7, granos quebrados o partidos 1,62 y granos abiertos con 0,4. Al observar los valores obtenidos en cada análisis y compararlos con los límites establecidos por la norma y se concluye que el fréjol en perfecto estado para la producción de harina de fréjol. Además, mediante los resultados obtenidos el fréjol utilizado según la NTE INEN 1561 es: Fréjol canario, Grado 1, INEN 1561

#### 4.1.2. Resultados obtenidos de la caracterización química

Una vez realizada la caracterización física mediante las normas correspondientes, se realizó el análisis químico y se obtuvieron los siguientes valores:

**Tabla 2-4:** Resultados de la caracterización química de la materia prima

Requisito	Unidad	Método	Resultado	Límites aceptables NTE INEN 616: Harina de trigo. Requisitos
<b>Humedad</b>	%	INEN 1 235	12,35	14,5 (máximo)
<b>Ceniza</b>	%	INEN 1561	0,6	0,8 (máximo)
<b>Proteína</b>	%	INEN 1561	23,0	9 (mínimo)
<b>Grasa</b>	%	INEN 1561	1,5	2 (máximo)

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

Los resultados obtenidos de la caracterización química arrojaron los siguientes resultados: humedad 12,5 %, ceniza 0,6 %, proteína 23,0 %, y grasa 1,5 %, todos los parámetros están dentro de los límites aceptables de la NTE INEN 616, el resultado obtenido de humedad cumple tanto con los límites de la NTE INEN 1561 y NTE INEN 616, el resultado de proteína es alto, debido a que mediante fuentes bibliográficas se conoció que la materia prima utilizada (fréjol) posee alto contenido de proteína lo que se ha comprobado con la experimentación.

## 4.2. Resultados de la obtención de harina de fréjol a nivel laboratorio

### 4.2.1. Resultados del balance de materia

El balance de masa se realizó en estado estacionario en el cual no genera acumulación, con una base de cálculo de 1500 g de fréjol, a continuación, se detallará los resultados.

**Tabla 3-4:** Resultados del balance de materia

Etapa	Entrada (g)	Salida (g)	Rendimiento (%)
Limpieza	1500	1486	99,06
Lavado	1486	1440	96,90
Secado	1440	1346,009	93,47
Molienda	1346,009	1286	95,54
Tamizado	1286	1234,56	96,00
Envasado	1234,56	1229,56	99,59

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

Las etapas con menor rendimiento son: el secado con 93,47% debido a la pérdida de humedad, la molienda con el 95,54 % ya que existen pérdidas de producto que se queda adherido a los diferentes componentes del molino utilizado y el tamizado con 96,00% ya que en esta operación se quedan retenidas las partículas que cumplen con los requerimientos establecidos de las normas correspondientes. Una vez realizado el proceso de obtención de harina a nivel de laboratorio se obtuvo un rendimiento de 81,97 %.

### 4.2.2. Resultado del balance de energía

**Tabla 4-4:** Resultados del balance de energía

Etapa	Flujo de calor (J)
Secado	39600

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

Para el resultado del balance de energía se determinó el flujo de calor para el proceso de secado de 39600 J.

#### 4.3. Resultados de la caracterización fisicoquímica de la harina obtenida

**Tabla 5-4: Requisitos físicos y químicos de la harina obtenida**

Requisito	Unidad	Método	Resultado	Límite de aceptación NTE INEN 616:2015 Harina de trigo. Requisitos Para todo uso
<b>Humedad</b>	%	INEN 1235	3,9	14,5 (máximo)
<b>Proteína</b>	%	Macrokjeldhal	19,7	9 (mínimo)
<b>Ceniza</b>	%	INEN 1561	0,44	0,8 (máximo)
<b>Acidez</b>	%	INEN 521	0,09	2 (máximo)
<b>Gluten</b>	%	INEN 520	25	25 (mínimo)
<b>Grasa</b>	%	Soxhlet	0,8	2 (máximo)
<b>Tamaño de partícula Pasa por un tamiz 212 µm</b>	%	INEN 517	96	95 (mínimo)

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

En el análisis químico fue realizado en los laboratorios de la facultad de ciencias y se obtuvieron los siguientes valores de los requisitos como: humedad 3,9 %, proteína 19,7 %, ceniza 0,44 %, acidez 0,09 %, gluten 25 %, grasa 0,8 % y tamaño de partícula 96 %, realizando el análisis de estos resultados se concluye que estos se encuentran dentro de los límites máximos y mínimos de aceptación de la NTE INEN 616:2015 la cual se tomó como referencia para validar la harina de fréjol.

**Tabla 6-4: Requisitos microbiológicos para la harina de trigo**

Requisito	Unidad	Método	Resultado	Límite De Aceptación NTE INEN 616:2015
Mohos y levaduras	UFC/g	INEN 1 529-10	< 10	1 x10 <sup>3</sup>
E. Coli	UFC/g	INEN 1 529-6	< 10	< 10

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

En el análisis microbiológico de la harina obtenida, se determinó los siguientes valores: > 10 UFC/g de E. Coli y > 10 UFC/g de mohos y levaduras, lo que implica que los datos obtenidos están dentro de los límites de aceptación permitidos por la NTE INEN 616 para ser utilizada.

#### 4.4. Resultado del dimensionamiento de la planta

Para realizar el dimensionamiento del proceso realizado a nivel de laboratorio a un proceso a nivel industrial, se tomó como referencia equipos, variables y los valores experimentales obtenidos a escala de laboratorio, para los equipos requeridos se utilizará un material de acero inoxidable (AISI 304):

**Tabla 7-4:** Resultados del diseño y equipos requeridos

EQUIPO	PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
<b>Tanque de lavado</b>	Volumen:	0,7	$m^3$
	Diámetro interno:	1.10	m
	Altura:	0,70	m
	Precio	600,00	(\$)
<b>Secador de bandejas</b>	Carga del sólido en las bandejas:	8,5	$\frac{kg}{m^2}$
	Área total de las bandejas	12	$m^2$
	Área para una bandeja	1,2	$m^2$
	Espesor	3,25	mm
	Volumen de las bandejas	0,000195	$m^3$
	Longitud de la cámara interna	1,32	m
	Ancho de la cámara interna	1,1	m
	Altura de la cámara interna	1,4	m
	Área de la cámara interna	9,5	$m^2$
	Volumen de la cámara interna	2,0	$m^3$
	Longitud de la cámara externa	1,341	m
	Ancho de la cámara externa	1,128	m
	Altura de la cámara externa	1,754	m
	Área de la cámara externa	11,70 m	m
	Volumen de la cámara externa	4,223	$m^3$

	Calor necesario para calentar el sólido	657,26	kcal
	Cantidad de energía eléctrica	762,42	$\frac{w}{h}$
	Potencia	4193,31	w
	Precio	795.00	\$
<b>Molino de martillos</b>	Capacidad	40-1800	kg
	Potencia	KW	1.5
	Capacidad de procesamiento	0.04 -3	T/h
	Precio	880	\$
<b>Balanza digital</b>	Capacidad	1000	g
	Precisión mínima	0,01	g
	Voltaje	110 – 220	V
	Precio	250,00	\$
<b>Selladora y codificadora</b>	Voltaje	220	V
	Potencia del motor	50	W
	Potencia de sellado	300X2	W
	Potencia de calentamiento de impresión	50x2	W
	Velocidad	12	m/min
	Carga máxima de la mesa transportadora para un solo paquete	≤ 1	Kg
	Carga total del transportador	≤ 3	kg
	Tamaño de la Mesa transportadora (L × A)	1065 × 180	mm
	Dimensiones exteriores (L x A x H)	1065 × 540 × 1325	mm
	Precio	1100,00	\$

Realizado por: Auqui, Daniela, 2023

El diseño de los equipos para el diseño ingenieril será dimensionado para una producción cuya carga inicial de materia prima es 1 quintal diario, es decir 100 kg/día.

#### **4.5. Resultados de la validación económica del proceso a nivel industrial**

Inversión fija de los bienes tangibles de la empresa: costo de maquinarias y equipos, inversión en recursos humanos y adecuaciones del área de producción con un valor total de \$ 5979,75.

Egresos: materiales e insumos, servicios básicos y la mano de obra con un valor total de \$ 63696,78.

Ingresos: costo de producción por unidad es de \$ 3,25 y el precio unitario de venta al público es de \$ 4,06.

Ingreso anual: \$ 69458,48.

VAN: (\$)16397,04

TIR: 94,97 %

PDR: 11 meses con 15 días.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

- Se diseñó el proceso industrial para la obtención de harina de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) mediante la experimentación, haciendo uso de los diferentes equipos requeridos.
- Se realizó la caracterización física de la materia prima tomando como referencia la NTE INEN 1561 y se obtuvieron los siguientes resultados: granos partidos 1,62 %, granos abiertos 0,4 %, variedades contrastantes 3,0 % y granos dañados con 0,67 %, y en la caracterización química los valores obtenidos fueron: humedad 12,35 %, ceniza 0,6 % proteína 23,0 % y grasa con 1,5 %, valores que se encuentran dentro de los límites permitidos por la NTE INEN.
- A nivel de laboratorio se determinó que las variables de diseño que inciden directamente en la calidad del producto, estas son: humedad en la recepción de la materia prima la cual debe ser < 13%, el tiempo de secado de 8 horas, la temperatura de secado de 40 °C, y la granulometría en el tamizado la cual debe pasar por un tamiz No. 70.
- Se elaboraron los cálculos de ingeniería tomando como referencia la experimentación en el laboratorio, realizando así el diseño del tanque de lavado con un volumen de 0,7 m<sup>3</sup>, diámetro interno de 1,10m, altura de 0,70 m; el secador de bandejas con un área total de las bandejas de 12 m<sup>2</sup>, área para una bandeja de 1,2 m<sup>2</sup>, dimensiones internas de longitud de 1,32 m<sup>2</sup>, ancho de 1,1 m, altura de 1,4m, y dimensiones externas con una longitud de 1,341 m, ancho de 1,128 m, altura de 1,754 m, además se optó por los equipos necesarios como molino de martillos, balanza digital y selladora, cuyo material será acero inoxidable AISI 304, siendo estos equipos necesarios para la línea de producción de harina.
- Se realizó la caracterización del producto obtenido tomando como referencia la NTE INEN 616 y se obtuvieron los siguientes resultados: caracterización química: humedad 3,9 %, proteína 19,7 %, ceniza 0,44 %, acidez 0,09 %, gluten 25 %, grasa 0,8 % y tamaño de partícula 96 %, y caracterización microbiológica: > 10 UFC/g de E. Coli y > 10 UFC/g de mohos y levaduras, concluyendo que los datos obtenidos están dentro de los límites de aceptación validando así el proceso diseñado.

- Se validó económicamente el proyecto mediante la realización del estudio costo-beneficio obteniéndose los siguientes valores: VAN: de 16397,04, TIR de 94,97 % y PDR de 11 meses con 15 días concluyendo que es factible el implemento y desarrollo del proyecto.

## RECOMENDACIONES

- Realizar las pruebas correspondientes en la recepción de la materia prima, para evitar pérdidas económicas ya que estos parámetros inciden directamente en la calidad del producto a elaborar.
- Revisar y pesar constantemente la materia prima en la etapa de secado, ya que al someterla por un tiempo prolongado puede quemarse.
- Revisar que la temperatura se encuentre a 40°C, ya que el fréjol al ser sometido a altas temperaturas puede quemarse bruscamente, además al ser destinado a molienda el rango debe ser inferior a los 60°C.
- Verificar que la materia prima este bien seca antes de ser sometida a molienda, y añadirla poco a poco, ya que el molino puede sufrir recalentamiento, además a nivel de laboratorio, se recomienda realizar varias etapas de molienda, para cumplir con la granulometría requerida por la NTE INEN.
- Se recomienda la implementación del diseño propuesto y realizar los mantenimientos preventivos necesarios para que el proceso funcione adecuadamente.
- Se recomienda a la empresa realizar un envasado al vacío, debido a que esto incrementará la vida útil del producto.

## BIBLIOGRAFÍA

**ATARAMA VALDIVIEZO, Luis.** Sistematización de diseño de molinos de martillos fijos para grano (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad de Piura, Piura, Perú. 2018. pp. 14-33. [Consulta: 2022-08-09]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11042/3625>

**ÁVILA GUAMÁN, Alexandra Ornella & LITARDO FERNÁNDEZ, Anderson Alfredo.** Propuesta de la elaboración de una harina a base de Frijol Mungo (*Vigna Radiata*) para la aplicación de una bebida (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2018. p. 31 [Consulta: 2022-08-09]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/35714>

**BLANDÓN NAVARRO, L., LÓPEZ LARIOS, J.** “Evaluación de sustitución parcial de harina de trigo por harina de frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) en la formulación de tortas”. *El Higo* [en línea], 2019, (Nicaragua) 9(1). [Consulta: 2022-09-30]. ISSN 2413-1911. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/230/2301196014/index.html>

**BURGOS PELÁEZ, Rosa.** “Desnutrición y enfermedad”. *Redalyc* [en línea], 2013, (España).6, (1), pp. 10-23. [Consulta: 2022-08-09]. ISSN 0212-1611. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309228933002>

**CABEZAS CASCO, Erick Andrés.** “Diseño y construcción de un molino de bolas para aplicaciones de pulvimetalurgia en los laboratorios de ingeniería mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.” (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2017. pp. 14-33. [Consulta: 2022-09-01]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26388>

**CACHIMUEL RUIZ, Alexander Eduardo.** *Protocolo para el procesamiento de harinas con valor nutricional mediante el uso de productos con identidad territorial (Pit's)*. Ibarra. 2018.

**CHILUIZA YÉPEZ, Jeniffer Stephania.** DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE DRENAJE EN EL FREJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) DURANTE LA ETAPA DE FLORACIÓN. (Trabajo de titulación). [En línea]. Universidad Agraria del Ecuador, Milagro, Ecuador. 2020. p. 21 [Consulta: 2023-01-01]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CHILUISA%20YEPEZ%20JENNIFER%20STEPHANIA.pdf>

**COSTA, J.;** et al. *Introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte*. Barcelona-España: Reverté, S.A. 1994. ISBN 9788429171266, p. 84.

**ENSANUT-ECU.** *Tomo I: Salud y nutrición*. 2018.

**ESPA.** Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Fréjol. 2021. [Consulta: 29 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

**GUTIÉRREZ MOSQUERA, Luis;** et al. “Modelamiento de la operación unitaria de deshidratación bajo diferentes esquemas de secado”. *Vector* [en línea], 2015, (Colombia) 6. pp. 100-110. [Consulta: 2022-09-09]. ISSN 1909-7891. Disponible en: [http://vip.ucaldas.edu.co/vector/downloads/Vector\\_6\\_Completo.pdf](http://vip.ucaldas.edu.co/vector/downloads/Vector_6_Completo.pdf)

**GOOGLE MAPS.** *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Google Maps*. 2023. [Consulta: 1 enero 2023]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Escuela+Superior+Polit%C3%A9cnica+de+Chimborazo/@1.656735,78.6782735,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91d307c252930ed9:0x6ad1a526f47e5b0c!8m2!3d-1.656735!4d-78.6782735>

**GOOGLE MAPS.** *La molienda “San Luis” - Google Maps*. 2023. [Consulta: 5 enero 2023]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps/place/La+molienda+San+Luis/@-1.6457939,-78.6792912,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91d307a44b005433:0xaa7d8c9a3bc2f47!8m2!3d-1.6457993!4d-78.6771025?hl=es>

**HERNÁNDEZ, Ethel;** et al. “Producción de harina de frijoles (*Phaseolus Vulgaris*) y evaluación sensorial”. *El Higo* [en línea], 2017, (Nicaragua) 7(1), pp. 11-17. [Consulta: 2022-09-09]. ISSN 2413-1911. Disponible en: <https://www.lamjol.info/index.php/elhigo/article/view/8616>

**MEDEROS, Y.** “Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)”. *Redalyc* [en línea], 2006, (Cuba) 27(3), pp. 55-62. [Consulta: 2022-09-02]. ISSN 0258-5936. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215825009>

**MORALES SANTOS, M.;** et al. “Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie”. *SciELO* [en línea], 2017, (México) 51(1), pp. 55-62. [Consulta: 2022-09-05]. ISSN 2521-9766. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952017000100043](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000100043)

**MSP.** *Unidad de Nutrición – Ministerio de Salud Pública.* 2018. [Consulta 5 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/unidad-de-nutricion/>

**NTE INEN 1 561.** *Granos y Cereales. Fréjol En Grano. Requisitos.*

**NTE INEN 616: 2015.** *Harina de Trigo. Requisitos*

**OLIVAS, R.; et al.** “Desarrollo de un Simulador de Secado para materiales biológicos”. *SiELO* [en línea], 2004, (México) 15(2), pp. 41-45. [Consulta: 2022-09-05]. ISSN 0718-0764. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071807642004000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071807642004000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=en)

**REQUENA PELÁEZ, José Miguel.** “HARINAS”. *Innovación y Experiencias Educativas* [en línea], 2013 (España) 1(45), pp. 1-9. [Consulta: 2022-09-05]. ISSN 1988-6047. Disponible en: [https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/iee/Numero\\_60/JOSE\\_REQUENA\\_1.pdf](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/iee/Numero_60/JOSE_REQUENA_1.pdf)

**ROMERO, Arturo; et al.** *Guía de equipos básicos para el procesamiento agroindustrial rural.* Bogotá-Colombia: Convenio Andrés Bello, 2004. ISBN 958-698-150-9, pp. 100-101.

**RODRÍGUEZ, Raquel; et al.** ENVASES INTELIGENTES PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS. *Ra Ximhai* [en línea], 2014, (México) 10(6), pp. 151-173. [Consulta: 2023-01-05]. ISSN: 1665-0441. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46132135012>

**UNICEF.** Desnutrición. 2021. [Consulta: 5 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.unicef.org/ecuador/desnutrici%C3%B3n>



## ANEXOS

### ANEXO A: CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MATERIA PRIMA



a) Fréjol canario



b) Determinación de la humedad



c) Determinación de impurezas



d) Determinación de variedades contrastantes



e) Determinación de granos dañados



f) Determinación de granos partidos

## ANEXO B: CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA



a) Determinación de la humedad



b) Determinación de cenizas



c) Determinación de grasa



d) ) Determinación de proteína

## ANEXO C: PROCESO A NIVEL LABORATORIO



a) Recepción de materia prima



b) Limpieza



c) Lavado



d) Secado



e) Molienda



f) Tamizado



g) Envasado



h) Producto final

## ANEXO D: CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LA HARINA DE FRÉJOL

  
**saqmic**  
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS  
QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN AGUA Y ALIMENTOS

### INFORME DE ANÁLISIS BACTEREOLÓGICOS

CLIENTE: Srta. Daniela Auqui
UBICACION: Riobamba
TIPO DE MUESTRA: Harina de frejol
FECHA DE ENTREGA: 09 de enero del 2023

#### Examen Físico

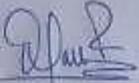
COLOR: Blanquecino
OLOR: Inoloro
ASPECTO: Polvo granular, fino, homogéneo

#### Examen Bacteriológico

Determinaciones	Unidades	*Valores de referencia	Resultados
Coliformes Fecales Escherichia coli	UFC/g	-	< 10
Mohos	UFC/g		< 10
Levaduras	UFC/g	$4 \times 10^3$	< 10

Observaciones:

Atentamente,



Servicio de Análisis  
Químico y  
Microbiológicos  
**Dra. Gina Alvarez**  
Tel. 2 924 322 // Cel. 0999580574

Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO  
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid Q  
Contactanos: (02258580)374 (0057) 942 322  
Saqmic Laboratorio S  
Riobamba - Ecuador



**esPOCH**

**Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 21 / 06 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Daniela Nataly Auqui Muyulema
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Química
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0820-DBRA-UPT-2023