



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA A
PARTIR DE LAS SEMILLAS DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE PAN
(*Artocarpus Communis*)”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para alcanzar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: ALEX CHRISTOPHER ALDAZ TOALA

TUTOR: ING. PAÚL GUSTAVO PALMAY PAREDES

Riobamba - Ecuador

2018

©2018, Alex Christopher Aldaz Toala

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.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el trabajo de titulación: Tipo Proyecto Técnico “DISEÑO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA A PARTIR DE LAS SEMILLAS DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE PAN (*Artocarpus Communis*)”, de responsabilidad del señor ALEX CHRISTOPHER ALDAZ TOALA, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Paul Gustavo Palmay Paredes Msc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Dr. Galo Alberto Insuasti Castelo Msc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, ALEX CHRISTOPHER ALDAZ TOALA soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Alex Christopher Aldaz Toala

C.I #171472279-8

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Alex Christopher Aldaz Toala, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 2018/12/19

Alex Christopher Aldaz Toala

C.I #171472279-8

DEDICATORIA

Este trabajo va dirigido a mi madre Teresa que con su esfuerzo, su voluntad y su sacrificio supo sacarnos adelante e mi hermano y a mí. Para ella el mayor de los agradecimientos por haberme otorgado la herencia más valiosa que otorga un padre a un hijo la educación, gracias madre y que Dios y la Virgen te bendigan por siempre. “Te amo mamá”.

A mi hermano Jorge porque desde pequeños siempre estuvimos juntos y aunque no siempre todo a sido felicidad nunca nos faltado salud y la gracia de Dios a él, le dedico también este trabajo y espero que sea feliz durante toda su existencia.

A mis profesores y ex compañeros de aula futuros colegas en el campo profesional. Por el apoyo y su aprendizaje, porque no todo en la vida es estudio dentro de una institución educativa a ellos mis más sinceros deseos de éxito en sus vidas.

Dejo al último pero porque mis pensamientos y mi gratitud hacia ella jamás van a dejar de existir hasta que mi cuerpo exhale su último puñado de aire de este mundo, porque gracias a ella logre culminar la carrera cuando muchas veces pensé en cambiar de horizontes o que simplemente esto no era para mí. A ella quiero dedicarle todo lo que voy a ser de aquí en adelante porque aunque ya no estemos juntos como un día se lo dije, jamás voy a dejar de velar sus sueños a si sea desde el último rincón del plante para ti P.T. “My Durkey”.

Alex C. Aldaz T.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial al Dr. Galo Insuasti por apoyarme desde un inicio en la realización de mi trabajo de titulación y por ser un gran docente y una persona más grande todavía. A él mis más profundos y sinceros agradecimientos.

Al Ingeniero Paúl Palmay por ser mi tutor y además un gran amigo y por ayudarme siempre en los problemas que se presentaron a lo largo de todo mi trabajo de titulación. Le agradezco por su esfuerzo y espero que siga cosechando más logros personales y grupales durante toda su vida.

Y en general agradezco a todos los profesores, secretarias, técnicos docentes y demás de la facultad de ciencias por ser parte complementaria de la educación implantada en las aulas.

Alex C. Aldaz T.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del Problema.....	1
1.2. Justificación del proyecto	2
1.3. Línea base del proyecto	3
1.3.1. <i>Antecedentes</i>	3
1.3.2. <i>Clima</i>	3
1.3.3. <i>Población</i>	3
1.3.4. <i>Indicadores económicos</i>	5
1.4. Beneficiarios Directos e Indirectos	7
CAPÍTULO II	
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	8
2.1. General.....	8
2.2. Específicos.....	8
CAPÍTULO III	
3. ESTUDIO TÉCNICO	9
3.1. Localización del proyecto	9
3.2. Ingeniería del proyecto	10
3.2.1. <i>Generalidades del fruto del pan</i>	10
3.2.1.1. <i>Composición Nutricional</i>	10
3.2.3. <i>Tipo de estudio</i>	13
3.2.4. <i>Métodos y técnicas</i>	13
3.2.4.1. <i>Métodos</i>	13
3.2.4.2. <i>Técnicas</i>	14
3.2.4.2.1. <i>Análisis Proximal</i>	14
3.2.4.2.2. <i>Análisis Microbiológicos</i>	14
3.2.5. <i>Acondicionamiento de la materia prima</i>	15
3.2.6. <i>Procedimiento experimental a escala de laboratorio</i>	16
3.2.6.2. <i>Tostado</i>	18
3.2.6.3. <i>Descascarillado</i>	18
3.2.6.4. <i>Adición de conservante</i>	18
3.2.6.5. <i>Secado</i>	18

3.2.6.6. <i>Molienda</i>	19
3.2.6.7. <i>Tamizado</i>	19
3.2.7. Variables de proceso	21
3.2.8. Dimensionamiento del proceso	21
3.2.8.1. <i>Tostado</i>	21
3.2.8.1.1. <i>Balance de Masa</i>	22
3.2.8.1.2. <i>Dimensionamiento del tostador</i>	22
3.2.8.2.1. <i>Balance de Energía</i>	24
3.2.8.3. <i>Descascarillado</i>	26
3.2.8.3.1. <i>Balance de Masa</i>	26
3.2.8.4. <i>Adición de conservante</i>	27
3.2.8.4.1. <i>Balance de Masa</i>	27
3.2.8.4.2. <i>Dimensionamiento del tanque para la adición de conservante</i>	28
3.2.8.5. <i>Secado</i>	30
3.2.8.5.1. <i>Construcción de las curvas de secado</i>	32
3.2.8.5.2. <i>Balance de masa</i>	37
3.2.8.5.3. <i>Balance de energía</i>	39
3.2.8.5.4. <i>Dimensionamiento del equipo</i>	42
3.2.8.6. <i>Molienda y tamizado</i>	50
3.2.8.6.1. <i>Balance de masa</i>	51
3.2.8.6.2. <i>Análisis granulométrico de la harina de semillas de fruto del pan</i>	51
3.2.8.6.3. <i>Dimensionamiento del molino de tornillo sinfín</i>	52
3.2.8.6.4. <i>Selección del tamaño de criba y armazón del tamiz</i>	57
3.2.9. Resultados del diseño	60
3.2.9.1. <i>Resultados de diseño del tostador</i>	60
3.2.9.2. <i>Resultados de diseño del tanque de adición de conservante</i>	60
3.2.9.3. <i>Resultados de diseño del secador de lecho fluidizado</i>	61
3.2.9.4. <i>Resultados del diseño del molino de tornillo sinfín</i>	61
3.2.9.5. <i>Resultados del tamiz</i>	62
3.2.9.6. <i>Cálculo del rendimiento del proceso</i>	62
3.3. Proceso de producción	63
3.3.1. Descripción del diagrama	64
3.3.1.1. <i>Tostado</i>	64
3.3.1.2. <i>Descascarillado</i>	64
3.3.1.3. <i>Adición de conservante</i>	64
3.3.1.4. <i>Secado</i>	64

3.3.1.5. <i>Molienda</i>	65
3.3.1.6. <i>Tamizado</i>	65
3.3.1.7. <i>Envasado</i>	65
3.3.2. <i>Materia prima, insumos y materiales</i>	65
3.3.3. <i>Validación del proceso</i>	66
3.4. Dimensionamiento de la planta.	67
3.5. Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria.	67
3.6. Análisis costo/beneficio del proyecto	69
3.6.1. <i>Costo de los equipos</i>	69
3.6.2. <i>Costo de la materia prima</i>	70
3.6.3. <i>Costo de mano de obra</i>	71
3.6.4. <i>Costo de los análisis de laboratorio</i>	72
3.6.5. <i>Costos fijos</i>	72
3.6.6. <i>Muebles y enseres</i>	73
3.6.7. <i>Presupuesto de producción</i>	73
3.7. Cronograma de ejecución del proyecto	75
ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Indicadores de población del cantón La Concordia.	4
Tabla 1-2: Beneficiarios del Proyecto	7
Tabla 3-1: Coordenadas geográficas del terreno.	9
Tabla 3-2: Composición Nutricional del fruto del árbol del pan en porcentaje para análisis proximal y mg/100g para microelementos.	10
Tabla 3-3: Composición bromatológica de la harina de las semillas del árbol de pan de tres resultados previos.	12
Tabla 3-4: Métodos de Análisis Proximal para materia prima y producto terminado	14
Tabla 3-5: Métodos de Análisis Microbiológico para producto terminado.....	15
Tabla 3-6: Pesos experimentales (g) del tostado de semillas en el proceso con secado por fluidización(P1) y bandejas (P2).....	22
Tabla 3-7: Medidas experimentales de masa (g) y volumen (mL) para determinar la densidad de las semillas.	23
Tabla 3-8: Pesos experimentales (g) del descascarillado de semillas en el proceso con secado por fluidización(P1) y bandejas (P2).....	26
Tabla 3-9: Pesos experimentales (g) tras la adición de conservante en el proceso con secado por fluidización(P1) y bandejas (P2).....	27
Tabla 3-10: Medidas experimentales del diámetro (dp) y longitud(l) de las semillas en mm. ...	30
Tabla 3-11: Datos experimentales para el diseño del secador de fluidización.	30
Tabla 3-12: Datos adicionales y asumidos para el diseño del secador de bandejas.	31
Tabla 3-13: Datos experimentales del tiempo(h) en función de la humedad relativa (%) para la construcción de curvas de secado.	32
Tabla 3-14: Datos experimentales calculados de las variables involucradas en la construcción de curvas de secado en función del tiempo(h).	34
Tabla 3-15: Pesos experimentales (g) tras la molienda y tamizado en el proceso con secado por fluidización.....	50
Tabla 3-16: Datos experimentales calculados de las variables involucradas en el análisis granulométrico de la harina de semillas de fruto del pan.	52
Tabla 3-17: Velocidades Periféricas para molienda	53
Tabla 3-18: Parámetros técnicos del tostador.....	60
Tabla 3-19: Parámetros técnicos del tanque de adición de conservante.	60
Tabla 3-20: Parámetros técnicos del secador de lecho fluidizado.	61
Tabla 3-21: Parámetros técnicos del molino de tornillo sinfín.	61
Tabla 3-22: Parámetros técnicos del tamiz.....	62

Tabla 3-23: Especificación de la materia prima, insumos y materiales de proceso.	65
Tabla 3-24: Contraste de resultados del análisis proximal de la harina de semillas de fruto del pan con resultados previos.	66
Tabla 3-25: Contraste de resultados del análisis microbiológico de la harina de semillas de fruto del pan con normativa de harina de trigo.	66
Tabla 3-26: Detalle de equipos necesarios para el proceso de producción de harina.	68
Tabla 3-27: Costos de los equipos y materiales usados en el proceso	69
Tabla 3-28: Costo de la materia prima para producir fundas de harina de 1 Kg	70
Tabla 3-29: Costo de la materia prima para producir fundas de harina de 0,5 Kg.	70
Tabla 3-30: Costo de la materia prima por lote de 1 Kg.	71
Tabla 3-31: Costo de la materia prima por lote de 0,5 Kg.	71
Tabla 3-32: Costo de mano de obra.	72
Tabla 3-33: Costo de los análisis de laboratorio.....	72
Tabla 3-34: Costos fijos.	72
Tabla 3-35: Costo de los muebles y enseres.....	73
Tabla 3-36: Relación costo-beneficio para producción de harina de pan.....	73
Tabla 3-37: Presupuesto total anual para la producción de harina de fruto de pan.....	74
Tabla 3-38: Cronograma de ejecución del proyecto.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Participación económica de la ciudadanía en el cantón La Concordia.	6
Figura 3-1: Ubicación del terreno para la implementación de la planta.	9
Figura 3-2: Fruto del árbol de pan.	10
Figura 3-3: Porosidad del lecho empaquetado vs Esfericidad.....	44
Figura 3-3: Gráfico para determinar la velocidad de las partículas en función de su diámetro adimensional y esfericidad.....	47
Figura 3-4: Gráfico para determinar las dimensiones de la sección uniformadora.....	49
Figura 3-3: Gráfico para determinar la frecuencia(rpm) y la amplitud (mm) del tamiz en función del diámetro de la luz de malla.....	70

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Clasificación de la población en función de su actividad económica.	4
Gráfico 1-2: Unidades de producción agropecuaria y sus respectivas superficies sembradas en función de los principales cultivos del cantón La Concordia.	5
Gráfico 3-1: Procedimiento experimental a pequeña escala.	17
Gráfico 3-2: Esquema de variables de proceso.	21
Gráfico 3-3: Humedad Absoluta vs tiempo de secado por fluidización de semillas de fruto del pan descascarilladas.	35
Gráfico 3-4: Velocidad de secado vs humedad Absoluta por fluidización de semillas de fruto del pan descascarilladas.	35
Gráfico 3-5: Inverso de la velocidad de secado vs humedad Absoluta por fluidización de semillas de fruto del pan descascarilladas.	37
Gráfico 3-6: Proceso de producción de harina de fruto del pan.	63

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Tabla psicrométrica.

ANEXO B. Caracterización de la materia prima seca.

ANEXO C. Caracterización de la harina de semillas de fruto del pan con secado por lecho fluidizado

ANEXO D. Caracterización de la harina de semillas de fruto del pan con secado de bandejas.

ANEXO E. Proceso de elaboración de harina a partir de semillas de fruto del pan.

ANEXO F. Dimensionamiento del tostador.

ANEXO G. Dimensionamiento del tanque de adición de conservante.

ANEXO H. Dimensionamiento del secador de lecho fluidizado.

ANEXO I. Dimensionamiento del molino de tornillo sinfín.

ANEXO J. Dimensionamiento del tamiz vibratorio.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es diseñar un proceso de obtención de harina a partir de las semillas del fruto del árbol de pan (*Artocarpus Communis*). Se caracterizó la semilla fresca y seca, obteniendo el producto a nivel de laboratorio, se diseñó el proceso a nivel industrial, y se validó el proceso mediante la caracterización de producto terminado y el análisis financiero. Con la identificación de las variables de proceso en el procedimiento experimental se determinó su rendimiento en 22.11% produciéndose diariamente 14 fundas de 1kg y 28 de 0.5kg de harina con el procesamiento de dos lotes de 125 kg de semilla fresca. El tostado requiere un equipo de diámetro 1.1m, y niquelina de 0.15 kW. El descascarillado será manual. La adición de conservante para el proceso industrial requerirá de un tanque de acero inoxidable con solución de bisulfito de sodio 1%, diámetro interno 0.50 m y altura de 0.9 m. El secado requerirá de un secador de lecho fluidizado con flujo de aire 1654.4 kg/h, calor requerido 4.67 kW, altura del lecho 1.38m y diámetro del lecho 0.30m. La molienda requerirá un molino de tornillo sinfín con potencia del motor 4 Hp, altura de la tolva 0.52m, longitud del área de extrusión 0.45m, revoluciones del motor 1800 rpm. El tamizado de la harina requiere una criba vibratoria de luz de malla 212 μm , diámetro 0.50m, superficie 0.194m², revoluciones del motor 1300 rpm y potencia del motor 0.25 Hp. El proceso fue validado mediante el análisis proximal comparado con resultados previos en harina de semillas de fruto de pan, granulométrico y microbiológico del producto terminado con la norma NTE INEN 616. El análisis financiero determinó una recuperación de la inversión que se dará en 3 años aproximadamente. Se recomienda realizar control de calidad exhaustivo en la humedad de la materia prima.

PALABRAS CLAVE: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <OBTENCIÓN DE HARINA>, <SEMILLAS DE FRUTO DE PAN>, <VARIABLES DE PROCESO>, <DISEÑO DE PROCESO>, <SECADO POR FLUIDIZACIÓN>, <ANÁLISIS FINANCIERO>.

ABSTRACT

The objective of this work is to design a process to obtain flour from the seeds of the fruit of the bread-tree (*Artocarpus Communis*). The fresh and dry seed was characterized, obtaining the product at the laboratory level, the process was designed at an industrial level, and the process was validated through the characterization of the finished product and the financial analysis. With the identification of the process variables in the experimental procedure, its yield was determined at 22.11%, producing 14 bags of 1kg and 28 of 0.5kg of flour daily with the processing of two batches of 125 kg of fresh seed. Toasting requires a 1.1m diameter equipment and 0.15kW nickel. The husking will be manual. The addition of preservative for the industrial process will require a stainless steel tank with 1% sodium bisulfite solution, internal diameter 0.50m, and height of 0.9m. The drying will require a fluid bed dryer with air flow 1654.4 kg/h, the heat required 4.67 kW, bed height 1.38m and bed diameter 0.30m. The milling will require a screw mill with motor power 4 Hp, hopper height 0.52m, extrusion area length 0.45m, engine speed 1800 rpm. The sieving of the flour requires a vibrating screen with mesh size 212 μm , diameter 0.50m, surface 0.194m², engine speed 1300 rpm and engine power 0.25 Hp. The process was validated through the proximal analysis compared to previous results in breadfruit seed flour, granulometric and microbiological finished product with the NTE INEN 616 standard. The financial analysis determined recovery of the investment that will take approximately 3 years. It is recommended to perform exhaustive quality controls on the moisture of the raw material.

KEY WORDS: <CHEMICAL AND TECHNOLOGY ENGINEERING>, <OBTAINING FLOUR >, <BREAD FRUIT SEEDS>, <PROCESS VARIABLES>, <PROCESS DESIGN>, <DRYING BY FLUIDIZATION>, <FINANCIAL ANALYSIS>.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

Alrededor del mundo es de suma importancia el consumo y uso de varios productos como harinas, almidones, cereales, los cuales brindan al organismo energía de una forma económica. En nuestro continente existe una gran biodiversidad de plantas alimenticias que podrían ser utilizadas en la dieta de la población, pero la problemática radica en que muy pocas son utilizadas, desaprovechando así los nutrientes que pueden aportar estas plantas.

En Ecuador las semillas del fruto del árbol de pan son bastante abundante en climas cálidos y húmedos, encontrándolas tanto en la Costa como en la Amazonía produciendo sus frutos durante largos periodos del año. Sin embargo, estos no son aprovechados del todo ya que la mayor parte de la fruta es desperdiciada y no se refleja una producción de esta ya que no se ve explotada.

Las semillas del árbol de pan poseen minerales y vitaminas importantes en la nutrición humana, el cultivo del árbol de pan es económico incluso su producción es tan buena como la del maíz pero sin los grandes problemas que se presenta en su cultivo, cada fruto del árbol de pan contiene entre 45 y 95 semillas por fruto y cada árbol puede llegar a producir alrededor de 700 frutos anuales, sin embargo al no ser tan conocido a nivel nacional se han desaprovechado sus bondades nutricionales mismas que pueden ser recuperadas a través de la elaboración de harina y ser destinado al consumo humano (Bennet & Nozzolillo, 1987, p. 370)

Por lo cual la necesidad de una investigación que desarrolle un método alternativo para la obtención, elaboración y producción de harina a partir de esta fruta contribuirá de manera positiva al generar empleo y por ende mejorar la economía de las personas a través de su comercialización y dándole un valor agregado.

1.2. Justificación del proyecto

La fruta del árbol de pan a pesar de ser propia de las zonas tropicales no es muy conocida a nivel nacional sin embargo gracias a sus propiedades nutricionales puede ser aprovechada a través de un proyecto que permita la obtención de harina de sus semillas y poder destinarlo al consumo humano.

Según Quijano y Arango (1979) en previas investigaciones realizadas se encontraron que las semillas del árbol de pan contienen por lo menos 14 aminoácidos de los cuales 7 son esenciales, en cantidades que pueden ser comparables a legumbres como: lentejas, garbanzos, judías o azukis y cereales: arroz integral, espelta, centeno, mijo, bulgur, maíz, amaranto, cuscús integral, así como también presenta minerales y vitaminas semejantes a las provenientes de harina de trigo.

Esta planta comienza a producir frutos después de 5 años de haber sido sembrada, luego de esto su producción se da durante gran parte del año existiendo dos periodos de mayor producción que van de enero a marzo y de julio a septiembre (Acero, 1998, p. 25).

De acuerdo con todas estas características presentes en este fruto, su harina sería una excelente alternativa para el consumo humano, y con este proyecto se busca motivar a los agricultores de las zonas tropicales para que den inicio al cultivo de las semillas del árbol de la fruta del pan y posterior producción de harina y de esta manera potenciar su economía a través de esta nueva alternativa (Quijano, 1997, p. 199).

Según Sanchez, 2016, p. 4, la Provincia de Santo Domingo y su cantón La Concordia ofrece las condiciones climáticas idóneas para el cultivo de frutas exóticas entre las que se destaca el fruto de pan o jackfruit. Además, estas frutas son poco explotadas como materia prima para el procesamiento de productos alimentarios.

Basados en la información recabada previamente, el presente proyecto tiene como finalidad diseñar un proceso para la producción de harina a partir de las semillas del fruto del árbol de pan (*Artocarpus Communis*) en el cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

1.3. Línea base del proyecto

1.3.1. Antecedentes

La línea base fue caracterizada en función del área en donde se busca implantar el proyecto. La información fue recopilada tomando como fuente base al Gobierno Municipal del cantón La Concordia, a través del Plan de Desarrollo Cantonal, así como de otras fuentes de información.

El Cantón La Concordia, con su cabecera cantonal del mismo nombre, es el segundo cantón de la Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, tiene una dimensión de: 325,00 km². Está situado en la parte noroccidental del país, las ciudades cercanas son Santo Domingo y Quinindé. Está ubicado a 178 Km de distancia a Quito y se encuentra en el km 40 de la vía Santo Domingo–Quinindé. La avenida principal del Cantón se llama —Simón Plata Torres y atraviesa la ciudad, constituyéndose en su principal eje vial urbano (Gobierno Autónomo Descentralizado de La Concordia, 2016, p. 1).

1.3.2. Clima

El clima es de tipo húmedo tropical. La temperatura media anual oscila entre los 23 y 25.5 grados centígrados y tiene una precipitación promedio anual de 2000 a 3000 milímetros. Las máximas de lluvia en 24 horas alcanzan valores que superan los 150 mm., predominando la estación lluviosa sobre la seca, restringiéndose ésta a los últimos meses del año (Gobierno Autónomo Descentralizado de La Concordia, 2016, p. 1).

El árbol de fruto de pan es estrictamente tropical de zonas cálidas y húmedas. Se adapta a alturas menores de 700 msnm, con temperaturas entre 21 y 32°C y una precipitación entre 2000 y 3000 mm al año. Crece mejor en suelos profundos, fértiles y bien drenados que pueden ser arenosos o areno arcillosos (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2015, p. 29).

A partir de las condiciones climáticas para el cultivo del árbol en cuestión se puede determinar que la localidad de La Concordia ofrece condiciones idóneas para su explotación agrícola.

1.3.3. Población

La Concordia, tiene aproximadamente 29.003 habitantes en la cabecera urbana y 42.924 habitantes en todo el Cantón, los cuales están divididos en las siguientes categorías:

Tabla 1-1: Indicadores de población del cantón La Concordia.

POBLACIÓN	URBANA	RURAL	MUJERES	HOMBRES	PEA
42.924 mil hab. (8.7% respecto a la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas).	29.0%	32.4%	49.3%	50.7%	51.3% (8.9% de la PEA de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas).

Fuente: (INEC, 2010, p. 1)

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

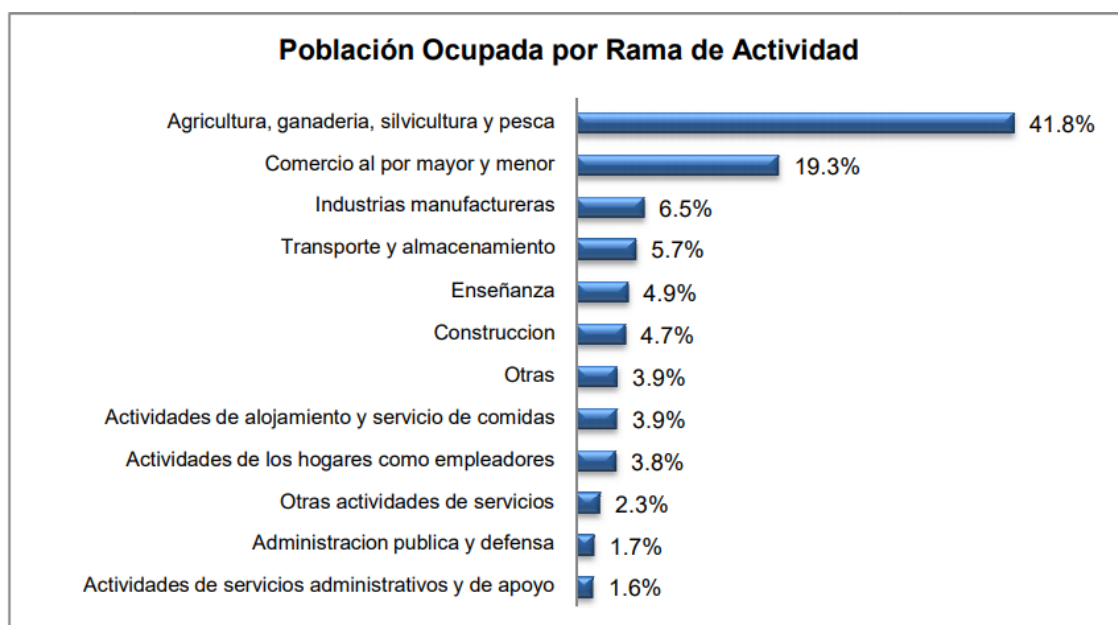


Gráfico 1-1: Clasificación de la población en función de su actividad económica.

Fuente: (INEC, 2010, p. 2)

La mayoría de su población subsiste con los réditos de la agricultura, siendo los principales cultivos:

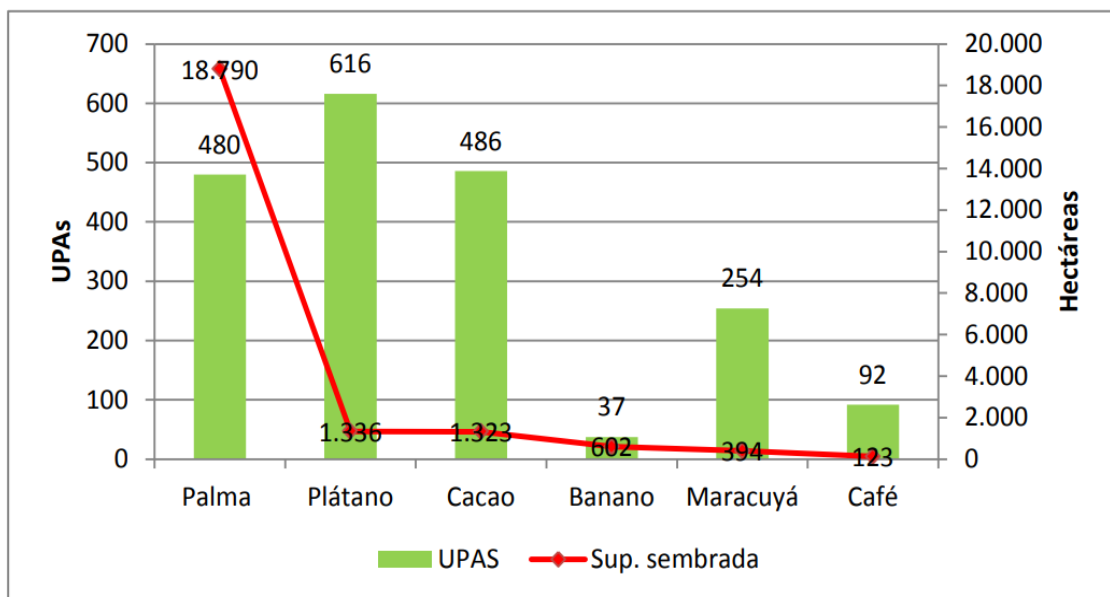


Gráfico 1-2: Unidades de producción agropecuaria y sus respectivas superficies sembradas en función de los principales cultivos del cantón La Concordia.

Fuente: (INEC, 2010, p. 50).

Los cultivos tradicionales tienen mayor apogeo tales como: palma africana, plátano, cacao y maracuyá debido a su rentabilidad económica, capacitación, conocimiento, convenios y proyectos recibidos en esta área por parte de instituciones públicas y privadas.

Sin embargo, la producción del fruto del pan viene asociada a este tipo de cultivos tradicionales, principalmente de cacao, debido a que dichos árboles tienen el propósito de ser: barreras rompe vientos, generadores de lluvia, sombra, refugio de aves silvestres, abono, obtención de madera y el fruto es utilizado para consumo humano y alimentación animal (Sanchez, 2016, p. 57).

Por lo general, estos árboles se encuentran distribuidos de manera empírica sin cuantificación real, y se orienta la siembra a 159 árboles/hectárea a una densidad de siembra de 7 metros entre árboles y 9 metros de separación entre hileras (Sanchez, 2016, p. 57).

1.3.4. Indicadores económicos

Para el año 2012, el impuesto recaudado en el cantón LA CONCORDIA fue de 1.727.2 millones de dólares, representó el 7.9% del total de la provincia de Santo Domingo De Los Tsáchilas. Respecto al 2010 (1.041.0 millones de dólares) creció un 65.9% (INEC, 2010, p. 3)

La participación de la actividad económica de la población se detalla a continuación:

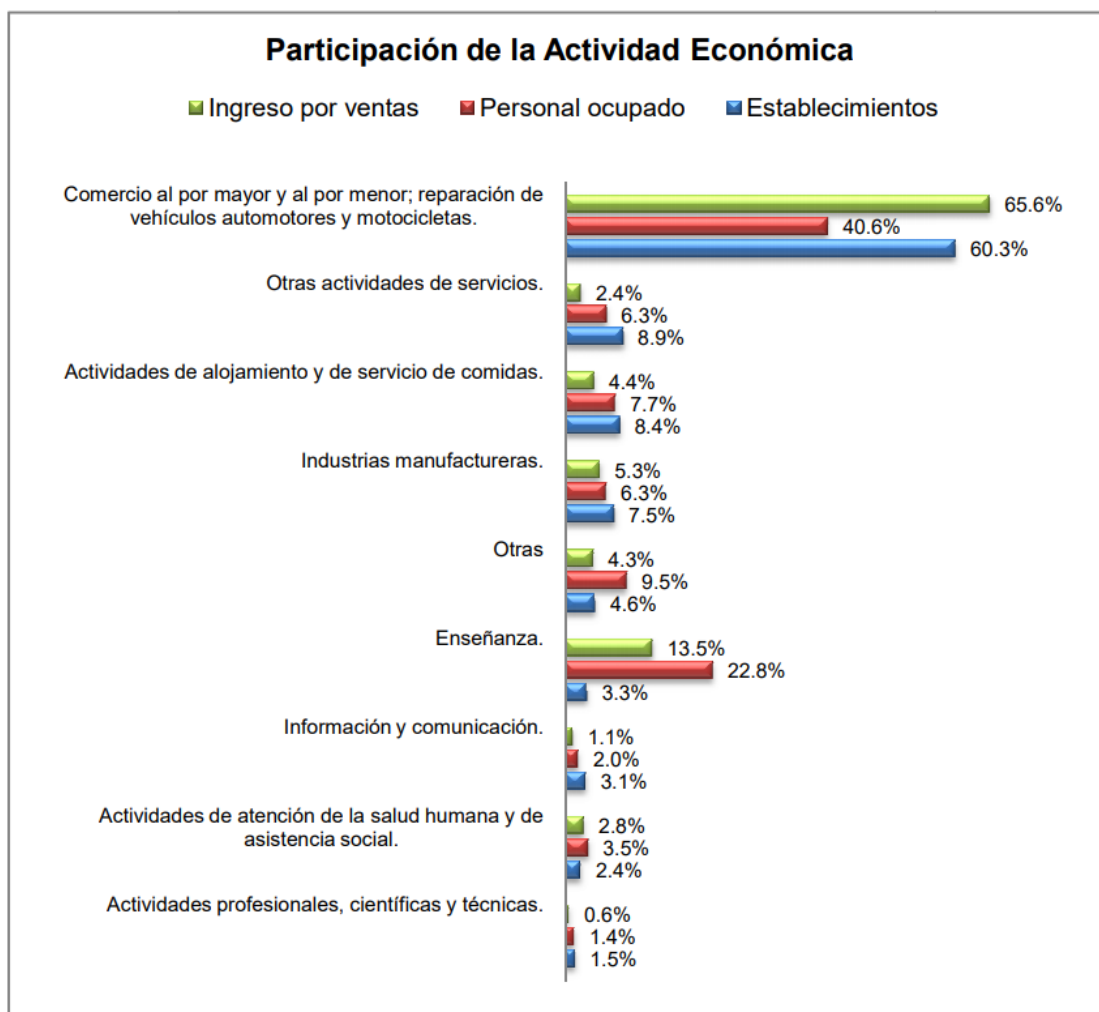


Figura 1-1: Participación económica de la ciudadanía en el cantón La Concordia.

Fuente: (INEC, 2010, p. 2)

Esta información nos permite deducir que las industrias en la zona ocupan una mínima participación en la economía del sector y a su vez, que existe alta disponibilidad de mano de obra directa posible para la ejecución del proyecto.

1.4. Beneficiarios Directos e Indirectos

Con el desarrollo de este proyecto existirán beneficiarios tanto directos como indirectos, como se muestra a continuación.

Tabla 1-2: Beneficiarios del Proyecto

BENEFICIARIOS DIRECTOS	BENEFICIARIOS INDIRECTOS
<ul style="list-style-type: none">• A los pobladores del cantón La Concordia provincia de los Tsáchilas.• Sector agrícola productores del fruto de pan.	<ul style="list-style-type: none">• Estudiantes de la Facultad de Ciencias.

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. General

- Diseñar el proceso de obtención de harina a partir de las semillas del fruto del árbol de pan (*Artocarpus Communis*).

2.2. Específicos

- Seleccionar e identificar las semillas del fruto del árbol de pan que se utilizaran para la obtención de harina.
- Realizar el análisis proximal (humedad, ceniza, grasa, fibra, proteína, y carbohidratos digeribles) de la semilla de pan preparada y de la harina obtenida con el diseño elaborado.
- Definir las variables de diseño mediante experimentaciones adecuadas (descascarado, secado, molienda) para la obtención de harina.
- Ejecutar y validar los procesos que constituyen el diseño con cálculos de ingeniería.
- Identificar las especificaciones técnicas del molino que finalmente será utilizado en la elaboración de la harina.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Localización del proyecto

La planta procesadora de harina de fruto de pan se implementará en la Parroquia Las Villegas, kilómetro 11 ruta Las Villegas, en el Cantón La Concordia y Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. El terreno tiene una superficie de 1491.72 m².

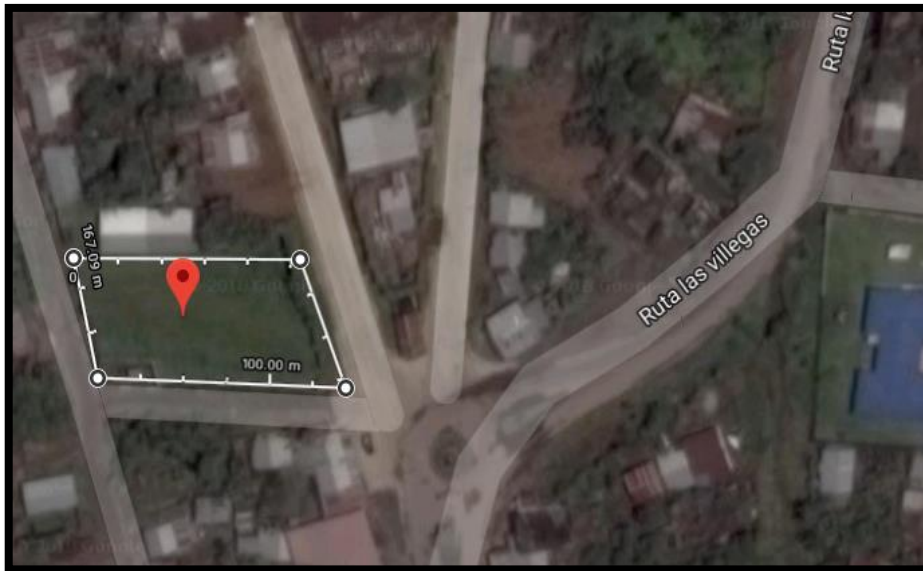


Figura 3-1: Ubicación del terreno para la implementación de la planta.

Fuente: Google Maps, 2018.

Tabla 3-1: Coordenadas geográficas del terreno.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Provincia	Santo Domingo de los Tsáchilas
Cantón	La Concordia
Parroquia	Las Villegas
Coordenadas	0°03'24.4"S; 79°26'41.6"W
Altitud	1090 m

Fuente: Google Maps, 2018.

3.2. Ingeniería del proyecto

3.2.1. Generalidades del fruto del pan

El árbol del fruto de pan tiene muchas ramas esparcidas, algunas gruesas que soportan ramas más pequeñas, otras largas y delgadas con follaje concentrado solo en sus puntas. Sus hojas son perennes o temporáneas, dependiendo de las condiciones climáticas. Son de forma oblonga, oval o elíptica, coráceas, brillantes y de color verde oscuro. Tiene numerosas flores pequeñas masculinas y femeninas, agrupadas de forma separada. Las flores masculinas son de un color amarillo o café. Es una planta rica en un látex lechoso y pegajoso. Se propaga por semillas, retoños o estacas de raíz. Su densidad de siembra esta aproximadamente entre 85 y 100 árboles por hectárea (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2015).



Figura 3-2: Fruto del árbol de pan.

Fuente: (Alex Aldaz, 2018).

3.2.1.1. Composición Nutricional

Tabla 3-2: Composición Nutricional del fruto del árbol del pan en porcentaje para análisis proximal y mg/100g para microelementos.

PARÁMETRO	CANTIDAD				
	SEMILLA*	SEMILLA**	SEMILLA***	SEMILLA SECA***	SEMILLA FRESCA****
Humedad	35.1-56.8	59.31	56.67	5.05	61.00
Carbohidratos	30.8-44.0	25.17	26.60	65.51	26.90
Grasas	2.59-5.59	3.65	6.10	2.06	0.85
Proteínas	5.25-13.3	5.15	8.80	12.57	5.16

Fibra	1.34-2.14	5.07	1.80	11.62	4.77
Cenizas	1.5-5.58	1.64	1.60	3.19	1.31
Calcio	0.1	0.01			
Tiamina	0.25				
Riboflavina	0.10				
Niacina	3.54				
Ácido ascórbico	13.7				

Fuente: * (Morton, 1987, p. 50) ; ** (Benitez, 2011, p. 27); (Acero, 1998, p. 23); ***Anexo B

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

Para el presente trabajo se realizó la caracterización de la muestra seca y por cálculo se obtuvo los valores consecuentes en base húmeda. Para realizar este procedimiento en primer lugar se realizó el cálculo de la humedad inicial de la muestra según la norma NTE-INEN 540: Alimentos para animal. Determinación de pérdida por calentamiento debido a que la muestra a tratar se encuentra en condiciones análogas a la de alimentos para animales.

3.2.2. Procesamiento de harina

La harina se obtiene moliendo los granos entre piedras de molino o ruedas de acero. En la actualidad se muele con maquinaria eléctrica, aunque también con pequeños molinos manuales y eléctricos, los pasos para la obtención de la harina son:

- Limpieza preliminar de los granos esta se hace mediante corrientes de aire que separan el polvo, la paja y los granos vacíos.
- La selección de los granos es mediante cilindros cribados que separan los granos por su tamaño y forma.
- Despuntado y descascarillado, en esta fase se eliminan el embrión y las cubiertas del grano. Lo que hace que la harina sea más digestible, y que pierda algunas proteínas y lípidos los cuales son los responsables del enranciamiento de las harinas.
- Cepillado de la superficie de los granos, esto es para que queden totalmente limpios.
- Molturación, finalmente se pasa a la molienda por medio de unos rodillos metálicos de superficie áspera o lisa, que van triturando el grano y obteniendo la harina. Cuando las

partículas de menor tamaño han sido cribadas, se introducen las más gruesas a través de nuevos rodillos.

- Refinado, una vez obtenida la harina pasa a través de una serie de tamices que van separando las diferentes calidades de la harina (Charley, 1990, p. 200).

En base a estudios técnicos previos sobre la harina del fruto del pan se comparó los parámetros del análisis proximal de la harina de semillas de fruto del pan (ANEXO B)

El resumen de los parámetros encontrados en 3 investigaciones previas se muestra a continuación:

Tabla 3-3: Composición bromatológica de la harina de las semillas del árbol de pan de tres resultados previos.

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO*	RESULTADO**	RESULTADO***
Proteína	%	11.40	19.25±0.25	12.71-19.02
Humedad	%	4.40	8.00±0.20	4.40
Grasa	%	7.85	3.00±0.17	5.92-27.72
pH		6.14		
Cenizas	%	3.34	3.5±0.1	2.98
Fibra	%	8.32	1.71±0.1	12.01
Carbohidratos	%	64.68	64.04±0.55	72.84
Aporte Calórico	Kcal/100 g	375		395.59-617.00
Acidez	%	0.77		
Betacaroteno	Mg/100 g	LND		
Vitamina C	Mg/100 g	3.45		
Vitamina B2	Mg/100 g	LND		
Vitamina B3	Mg/100 g	5.57		7.93
Fósforo	Mg/100 g	151.20	160±20	305.92-344.16
Hierro	Mg/100 g	5.54		8.70
Magnesio	Mg/kg	469.90	80±10	95.60
Potasio	Mg/kg	13366.00	700±30	3059.20-15487.20
Calcio	Mg/kg	713.00	180±30	630.96-669.20
Sodio	Mg/hg	109.40	290±20	15.29

Fuente: (Benítez, 2011)*, (Oshodi, et al., 1999, p. 403)**; (Ragone, 2006)***

3.2.3. Tipo de estudio

El presente, es un trabajo de tipo técnico, ya que, mediante la descripción de una problemática, el conocimiento teórico y de normas, la experimentación y la propuesta del proceso de producción de la harina, se lleva a cabo la realización de este. Además, su enfoque es cuantitativo, pues, se recolecto datos sobre diferentes aspectos del estudio a través de los cuales se realizaron análisis y mediciones para fomentar el proyecto.

El estudio inició como exploratorio, para posteriormente ser descriptivo y finalmente explicativo.

La metodología está basada en primer lugar en el estudio exploratorio, el cual sirvió para recolectar la información necesaria sobre la línea base del proyecto, es decir los datos de producción de materia prima y generalidades sobre el cantón La Concordia que, considerando las posibles alternativas de solución y las variables relevantes a considerar, posteriormente se analizó con el estudio descriptivo la obtención del producto; finalmente el estudio explicativo se realizó para plasmar de forma teórica la información obtenida de manera organizada, esta información debe ser coherente a los hechos relacionados con el tema de estudio.

3.2.4. Métodos y técnicas.

3.2.4.1. Métodos

- **Método inductivo:** En este método a partir de premisas particulares se obtiene conclusiones generales. Se estudió la posibilidad de procesar “fruto del pan” como la materia prima para obtener un producto alimenticio que permita su aprovechamiento, para lo cual se caracterizó la materia prima, se analizó las alternativas de aprovechamiento, se llevó a cabo la parte experimental y finalmente, se elaboró el producto para compararlo con la norma y su comercialización con respecto a la materia prima de partida.
- **Método deductivo:** Se basa en la presentación de conceptos, normas y leyes mediante las cuales se obtienen conclusiones, este método es importante, a través de este se obtienen los datos aplicados en las encuestas mediante la muestra representativa del universo. Además, mediante esta metodología se consiguen las variables del proceso, las condiciones de diseño y los cálculos respectivos.

- **Método experimental:** Se utilizaron diversas técnicas de laboratorio para caracterizar tanto la materia prima como el producto obtenido, y a través de diversas operaciones unitarias se efectuó la transformación de la materia prima en el producto deseado, en la transformación se controló y manipulo las variables del proceso, asegurándose que el producto se encuentre acorde a la normativa de control.

3.2.4.2. Técnicas

3.2.4.2.1. Análisis Proximal

Los análisis comprendidos dentro de este grupo, también conocido como análisis proximales Weende, se aplican en primer lugar a los materiales que se usarán para formular una dieta como fuente de proteína o de energía y a los alimentos terminados, como un control para verificar que cumplan con las especificaciones o requerimientos establecidos durante la formulación. Estos análisis nos indicarán el contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), fibra cruda, lípidos crudos, ceniza y extracto libre de nitrógeno en la muestra (Food and Agriculture Organization for United Nations, 1993, p. 1).

Los análisis por efectuar tanto en materia prima como en producto terminado son:

Tabla 3-4: Métodos de Análisis Proximal para materia prima y producto terminado

ENSAYO	TÉCNICA	MÉTODO DE ANÁLISIS
Humedad	Gravimetría	INEN 540
Proteína	Kjheldal	INEN 543
Fibra	Weende	INEN 522
Grasa	Gravimetría	INEN 523
Ceniza	Gravimetría	INEN 544
Extracto Libre de Nitrógeno (Carbohidratos)	Cálculo	-

Fuente: (Garófalo, et al., 2016, p. 2)

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

3.2.4.2.2. Análisis Microbiológicos

Los análisis microbiológicos son indispensables para asegurar la calidad sanitaria del producto, Cuando se analice mediante métodos apropiados de muestreo y análisis, el producto:

- Deberá estar exento de microorganismos en cantidades que puedan representar un peligro para la salud
- Deberá estar exento de parásitos que puedan representar un peligro para la salud (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995).

Los parámetros microbiológicos analizados en el producto final se compararon con la norma NTE INEN 616:2015 sobre Harina de Trigo Requisitos, debido a la falta de normativa para el producto en cuestión por su grado de innovación.

Tabla 3-5: Métodos de Análisis Microbiológico para producto terminado

REQUISITO	UNIDAD	Caso	n	c	m	M	MÉTODO DE ENSAYO
Mohos y levaduras	UFC/g	5	5	2	1x10 ³	1x10 ⁴	NTE-INEN 1529-10 AOAC 997.02*
<i>E. coli</i>	UFC/g	5	5	2	<10	-	NTE-INEN 1529-8 AOAC 991.04*
* Los métodos AOAC pueden ser utilizados para fines de control de calidad							

Fuente: (INEN, 2015)

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

Donde:

n: Número de muestras del lote que deben analizarse,

c: Número de muestras defectuosas aceptables,

m: Límite de aceptación,

M: Límite de rechazo.

3.2.5. Acondicionamiento de la materia prima

El acondicionamiento del fruto del pan comprende el procedimiento que va desde la recolección de este hasta la selección de los frutos más idóneos para el procesamiento de harina:

- **Recolección.** - Es difícil de cosechar por su altura. El árbol produce en todo el año, pero hay dos o tres periodos de alta producción. Generalmente se cosechan cuando maduras, pero todavía firmes. Se sabe que están maduras porque aparecen pequeñas gotas de látex en la superficie del fruto. Su cosecha se realiza manualmente, con un palo de horqueta, una segadora afilada o un cuchillo curvo, preferiblemente, el fruto no debe caer al suelo

para evitar daños. Las semillas son recolectadas en frutos maduros y separadas de la pulpa (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2015, p. 30).

- **Pesado y limpieza.** - una forma de valorar el rendimiento de la cosecha es pesando el fruto. Antes del lavado se retira la mugre y las impurezas que traen y se realiza con agua potable y desinfectantes (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2015, p. 31).
- **Selección y clasificación.** - La selección y clasificación de los frutos se realiza dependiendo de su destino y de las normas de calidad exigidas. La selección se hace por sanidad y calidad de los frutos. La clasificación se puede hacer por grado de madurez, por tamaño, peso o color del fruto (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2015, p. 31).
- **Remoción de semillas:** El procedimiento consiste en retirar la cáscara del fruto y su corazón con la finalidad de remover las semillas, las cuales son la base para la producción de la harina.

3.2.6. Procedimiento experimental a escala de laboratorio

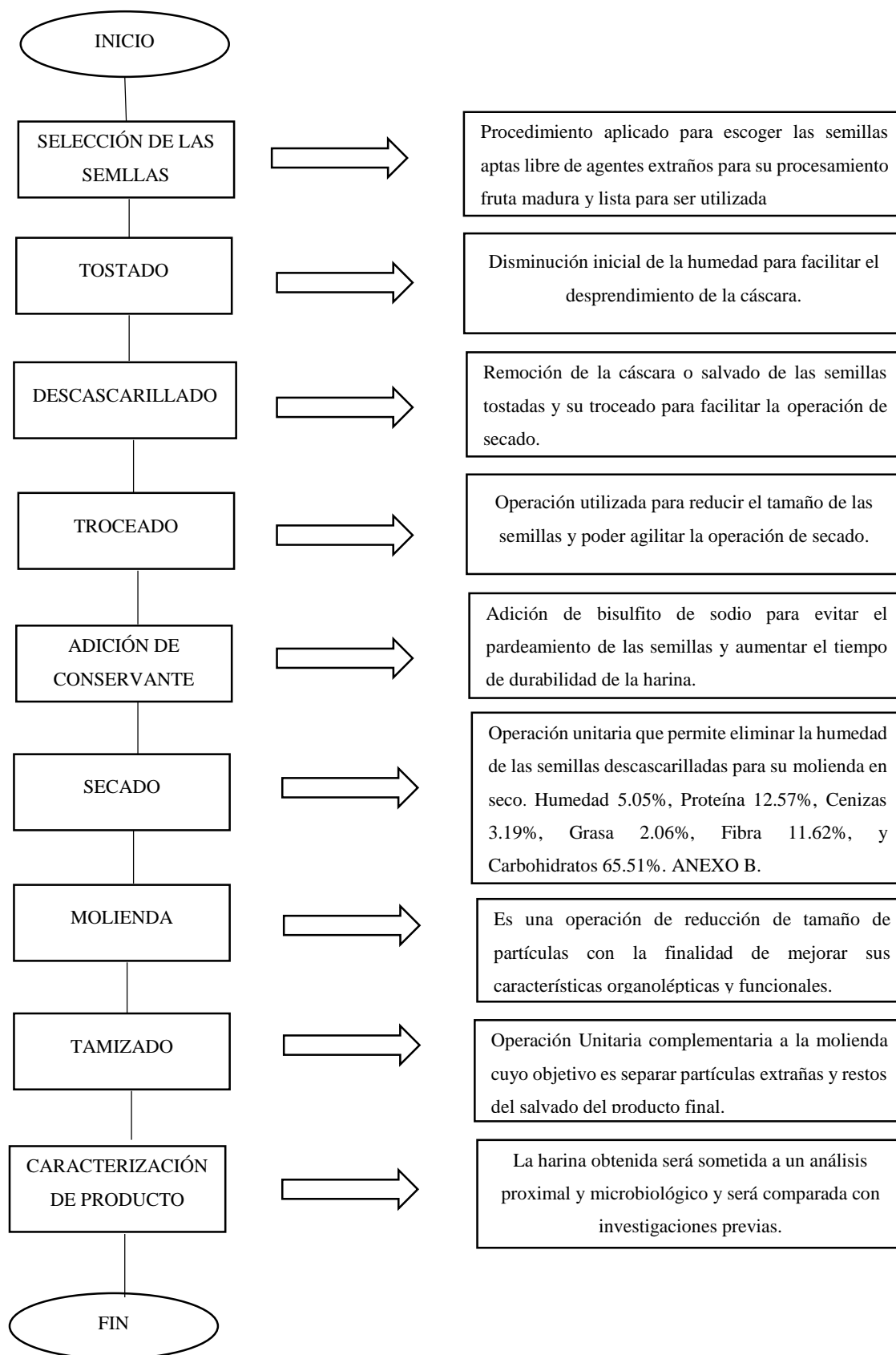


Gráfico 3-1: Procedimiento experimental a pequeña escala.

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

3.2.6.1. Selección de semillas

La semilla de la fruta fue separada de la pulpa de la fruta con la utilización de guantes, mascarilla y un cuchillo. Se seleccionó las semillas que no presentaban indicios de plagas, contaminación o consistencia característica de descomposición, la fruta tenía un tiempo aproximado de maduración de 3 meses tiempo en el que la fruta alcanza un grado de maduración idóneo para que las semillas se encuentren listas para ser utilizadas en diferentes fines alimenticios. (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2015, p. 31).

3.2.6.2. Tostado

Para el proceso de tostado se utilizó una cantidad de 770g de semillas de fruto del pan en ambos procesos es decir tanto en el camino recorrido por secado por fluidización como en el secador de bandejas, esta cantidad fue sometida a calor durante unos 15 minutos aproximadamente. Luego se procedió a retirarlas del tostador y se esperó que se enfríe para poder retirar su corteza y de esta manera facilitar el descascarillado.

3.2.6.3. Descascarillado y troceado

Descascarillado

Después de haber tostado las semillas su peso es de 735g lo que indica que hay una pérdida de 35g de agua. Las semillas de pan sin cascaras tienen un peso de 407g lo que indica que hay un equivalente de 328g de las cascaras o desechos esto en el secado por fluidización. En el secador de bandejas después de ser tostadas las semillas de pan su peso es de 716g lo que indica que hay una pérdida de 54g de agua. Las semillas de pan sin cascaras tienen un peso de 385g lo que indica que hay un equivalente de 331g de las cascaras o desechos. El descascarillado es mucho más fácil ya que la cutícula que rodea a la semilla se desprende con mayor facilidad esta operación es manual.

Troceado

Luego procedemos a trocear la semilla en un rango promedio de cada semilla de 6.79 mm a 8.49 mm y un espesor de 0.5 cm, con el objetivo de aumentar superficie de contacto y de esta manera

maximizar la transferencia de calor en el secado. Se utilizó un cuchillo y la utilización de guantes mascarillas y una cofia para el cabello para evitar la contaminación del producto.

3.2.6.4. Adición de conservante

Las semillas sin cáscaras y ya troceadas con un peso equivalente de 407g en el secado por fluidización fueron sumergidas en una solución de bisulfito de sodio al 1% y después de ser retiradas de la inmersión tuvieron un peso de 419g lo que quiere decir que volvieron a adquirir humedad en un equivalente de 12g.

En el proceso por secado de bandejas las semillas sin cascaras y troceadas con un peso equivalente de 385g fueron sumergidas de igual manera en una solución al 1% de bisulfito de sodio y después de ser retiradas de la inmersión tuvieron un peso de 390g lo que indica que vuelven a adquirir humedad en un equivalente de 5g.

La semilla troceada se sumergió en una solución de bisulfito de sodio al 1% es decir que toda la muestra que tenemos tiene que ser sumergida en la solución para evitar el pardeamiento, durante un lapso aproximado de unos segundos utilizando un cedazo procedemos a hacer esta operación el bisulfito de sodio evita que los alimentos produzcan o generen el pardeamiento enzimático y así poder tener una mayor durabilidad en su aspecto inicial y el final. Se dejó reposar antes de proseguir a la siguiente operación del secado.

3.2.6.5. Secado

El secado es la operación más crítica dentro del proceso para la elaboración de la harina de las semillas del fruto de pan donde procedemos a poner la muestra en el secador de lecho fluidizado y compararla con un secado en bandejas.

Las semillas troceadas y procesadas en el secado por *fluidización* tuvieron un peso de 203g entraron por una apertura y después quedan dentro del secador en un tubo cilíndrico previsto de agujeros por donde pasa el aire que hará que la semilla se seque y queden listas para ser molidas el proceso en sí se demoró aproximadamente 6 horas. En intervalos de 30 minutos se procedió a pesar la muestra para poder hacer las curvas de secado después de las 6 horas las semillas se encuentra casi en su totalidad secas con una humedad de 5.11% y podemos hacer la siguiente operación unitaria de molturación o molienda.

En el secado por *bandejas* la operación nos arrojó un resultado de 224g de semillas secas la operación consiste en colocar las semillas troceadas y procesadas en bandejas cubiertas por papel aluminio se agujereó el papel aluminio para que el calor pase más uniformemente hacia el área de contacto es decir las semillas. El proceso fue igual realizado en un período de 6 horas. Tras

hacer los análisis correspondientes en laboratorio de humedad este nos dio un porcentaje de 15.6% el cual fue mayor que el de fluidización y entonces se decidió continuar con el otro proceso ya mencionado por ser más eficiente.

3.2.6.6. Molienda

Muestra secada por fluidización

La molienda es el proceso unitario para reducir el tamaño de la partícula. En primer lugar se pesó las semillas que salen del secador por fluidización que tuvieron un peso de 203g para ser sometidas al proceso de molienda teniendo este peso procedemos a la operación de trituración o molienda.

En la molienda se utilizó guantes, una cofia, mandil y otros implementos como gafas para no ser irritados los ojos en el proceso de trituración que puede producir polvo. En primera instancia la molienda fue realizada en un molino de tornillo sin fin acoplado a un motor o una bomba que produce fuerza para que el molino triture las partículas. Se recogió la harina ya triturada en una bandeja y después pesamos nuevamente guardamos y procedemos a la siguiente operación que es la de tamizado.

3.2.6.7. Tamizado

De molido por fluidización

El tamizado es la última operación unitaria con el objetivo de cumplir la normativa de tamaño de partícula. Se utilizó la serie de tamices de Tyler, con luz de malla desde tamices de luz de malla de 850 μ m hasta 106 μ m. Después de ser tamizada la harina que fue realizada por el secado de fluidización nos da un peso de 189g lo que quiere decir que hay una pérdida de 14g que quizás se produjo en el proceso de molienda. La harina se tamizó por un tiempo aproximado de 10 minutos para lo cual en cada tamiz se quedó un aproximado de la cantidad que pusimos de la harina triturada y al final obtuvimos con esto la harina como tal ya realizada, para la elaboración de harina cabe recalcar que según normas previstas tiene que pasar mínimo por la luz de malla 212 micrómetros.

3.2.7. Variables de proceso

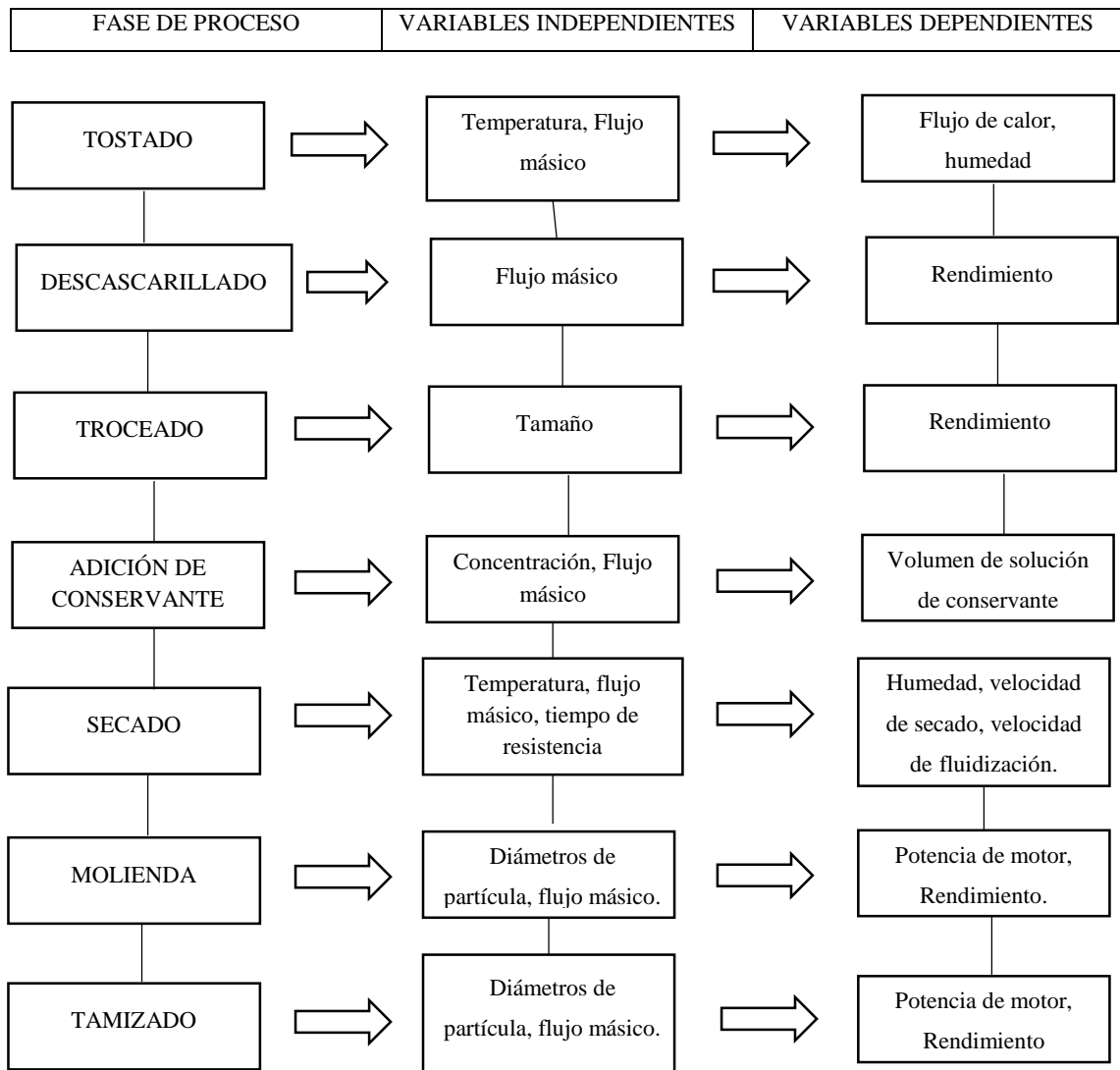


Gráfico 3-2: Esquema de variables de proceso.

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

3.2.8. Dimensionamiento del proceso

3.2.8.1. Tostado

La operación de tostado tiene como objetivo principal incrementar la facilidad para remover la capa externa de las semillas de fruto del pan seleccionadas previamente, es decir el salvado. El proceso será dimensionado para tratar media tonelada diaria de semillas en cuatro lotes, es decir, 125 kg/lote. Se analizó la variación producida en la harina con el uso de dos métodos de secado. Los datos del peso obtenido tras la operación unitaria se muestran a continuación:

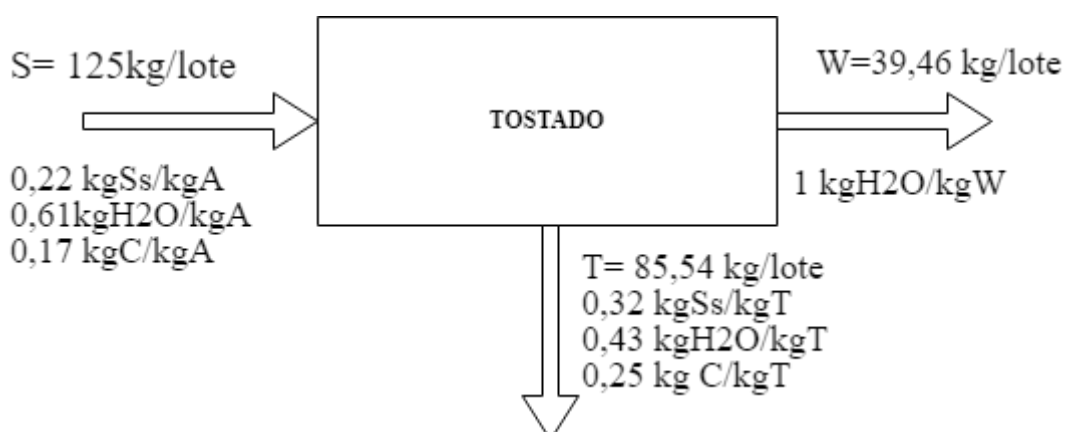
Tabla 3-6: Pesos experimentales (g) del tostado de semillas en el proceso por secadores de fluidización (P1) y bandejas (P2).

PROCESO	ENTRADA DE SEMILLAS	SEMILLAS TOSTADAS
P1	770g	735g
P2	770g	716g
MEDIA ARITMÉTICA		725.5g

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

3.2.8.1.1. Balance de Masa

Según el dimensionamiento asumido se tiene el siguiente balance, teniendo en cuenta que la humedad inicial de las semillas seleccionadas (S) es de 61%, y 39% de sólido seco (Ss):



El tostado reduce la humedad de la muestra hasta 43% debido a la temperatura utilizada (30 °C) en el procedimiento. El flujo másico de agua eliminada (W) es de 39.46 kg/lote.

3.2.8.1.2. Dimensionamiento del tostador

La determinación de la densidad de las semillas se realizó mediante el principio de Arquímedes, es decir se determinó por la diferencia de volumen que se origina en un líquido tras sumergir una cantidad conocida en gramos de sólido (semillas de fruto del pan). Los datos experimentales se muestran a continuación:

Tabla 3-7: Medidas experimentales de masa (g) y volumen (mL) para determinar la densidad de las semillas.

PARÁMETRO	VALOR
Masa	20.00g
Volumen inicial	50mL
Volumen final	66mL

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

El dimensionamiento del tostador requiere la determinación previa de la densidad de las partículas la cual se calcula con la fórmula:

$$\rho_p = \frac{m_p}{V_2 - V_1} \text{ Ec. 1}$$

Donde:

ρ_p : Densidad de las semillas ($\frac{kg}{m^3}$)

m_p : Masa de las semillas (g)

V_2 : Volumen desplazado del agua por las semillas de fruto del pan (mL)

V_1 : Volumen inicial de agua (mL)

$$\rho_p = \frac{20g}{66mL - 50mL} * 1000 = 1250 \frac{kg}{m^3}$$

A partir de la densidad se puede calcular el volumen de semillas a tostar por hora:

$$V_s = \frac{\dot{m}}{\rho_p}$$

Donde:

V_s : Flujo volumétrico de semillas ($\frac{m^3}{h}$)

\dot{m} : Flujo másico de semillas ($\frac{kg}{h}$).

ρ_p : Densidad de las semillas ($\frac{kg}{m^3}$).

$$V_s = \frac{125kg}{\frac{lote}{1250kg}} \frac{1}{m^3}$$

$$V_s = 0.1 \frac{m^3}{lote}$$

Para determinar el área del tostador necesaria para el tostado de las semillas se debe considerar que el mismo tendrá una disposición de bandeja circular con aspas giratorias que evitarán que el grano se queme. La altura asumida de la bandeja será de 15 cm, por lo tanto, el diámetro se calcula a partir de la fórmula de un cilindro.

$$\phi_t = \sqrt{\frac{4V_S}{\pi h_t}} \text{ Ec. 3}$$

Donde:

ϕ_t : Diámetro del tostador (m).

V_S : Flujo volumétrico de semillas ($\frac{m^3}{h}$).

h_t : Altura de la bandeja del tostador (m).

$$\phi_t = \sqrt{\frac{4 \left(0.1 \frac{m^3}{lote}\right)}{\pi(0.15m)}}$$

$$\phi_t = 0.92 \text{ m}$$

Aplicando un factor de seguridad de 1.2 el diámetro de la bandeja debe ser de 1.10 m.

La longitud de las aspas debe ser equivalente a un 50% del diámetro de la bandeja, según la guía del equipo del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. El diámetro de las aspas es de 55cm y su soporte debe ser de 1m de altura y debe ser fabricado con acero inoxidable AISI 304 de grosor de 18 mm.

3.2.8.2.1. Balance de Energía

El tostado es una operación unitaria que tiene tanto transferencia de masa como de energía, por lo tanto, el balance de energía correspondiente es equivalente a:

$$\Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p = Q + W \text{ Ec. 4}$$

Donde:

ΔH : Cambio de entalpía (W).

ΔE_c : Cambio de energía cinética (W).

ΔE_p : Cambio de energía potencial (W).

Q : Flujo de calor (W).

W : Trabajo (W).

En esta fase del proceso se mantendrá a la misma altura los flujos y además se evitará el cambio de velocidad en los flujos, como resultado de esto la diferencia de energía potencial y cinética será nula, además de que el trabajo que se realice en el proceso se da por el cambio de entalpía en el sistema, el balance de energía será igual a:

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T \text{ Ec. 5}$$

Donde:

Q: Flujo de calor (*W*).

m: Flujo másico de semillas ($\frac{kg}{h}$).

ΔT: Cambio de temperatura (°C).

C_p: Capacidad calorífica a presión constante $\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$.

La capacidad calorífica de las semillas de fruto del pan no se encuentra en información bibliográfica, por lo cual se utilizó una correlación matemática con el análisis proximal de un alimento para los fines consiguientes

$$C_p = 1.424X_c + 1.549X_p + 1.675 X_G + 0.837 X_A + 4.187 X_H \left(\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right) \text{ Ec. 6}$$

Fuente: (Heldman & Singh, 1981, p. 265).

Donde:

C_p: Capacidad calorífica a presión constante $\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$.

X_c: Fracción másica de carbohidratos.

X_p: Fracción másica de proteínas.

X_G: Fracción másica de lípidos.

X_A: Fracción másica de cenizas.

X_H: Fracción másica de humedad.

$$C_p = 1.424(0.25) + 1.549(0.07) + 1.675 (0.035) + 0.837 (0.015) + 4.187 (0.61)$$

$$C_p = 3.00 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

En base a los cálculos realizados el calor que se debe suministrar al sistema, además se conoce que la temperatura ambiente en 25 °C, la temperatura de tostado es de 30°C y el tiempo de tostado es 15 min, es equivalente a:

$$Q = \left(125 \frac{\text{kg}}{\text{lote}}\right) \left(3.00 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) (30 - 25)^\circ\text{C} \left(\frac{1000\text{J}}{1\text{kJ}}\right) \left(\frac{1\text{lote}}{900\text{s}}\right)$$

$$Q = 130.2 \text{ W}$$

El calor que debe ser suministrado al sistema es de 130.2 W, para efectos prácticos se utiliza una niquelina eléctrica de 0.15kW que existe comercialmente. Los datos experimentales recabados se muestran a continuación:

3.2.8.3. Descascarillado

Tras la operación de tostado la cáscara o salvado de las semillas se desprenden fácilmente, por lo cual, el procedimiento puede llevarse a cabo manualmente.

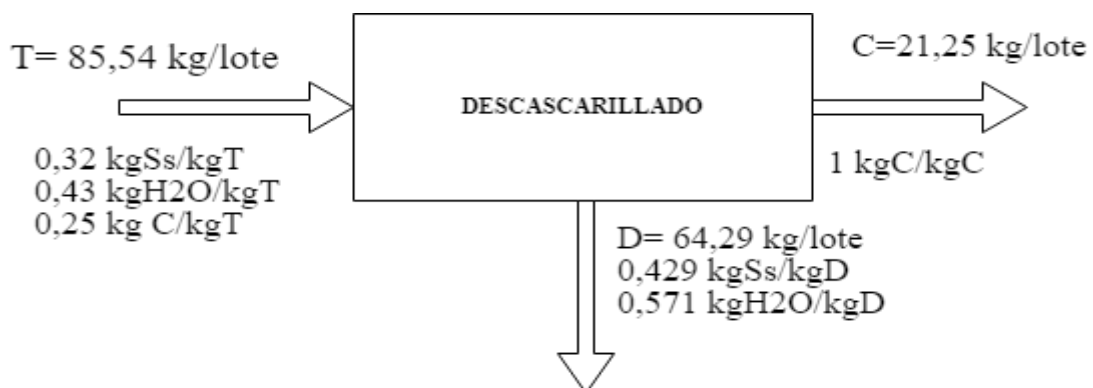
Tabla 3-8: Pesos experimentales (g) del descascarillado de semillas en el proceso con secado por fluidización (P1) y bandejas (P2).

PROCESO	SEMILLAS SIN CÁSCARA	CÁSCARA
P1	407g	328g
P2	385g	331g
MEDIA ARITMÉTICA	396g	329.5g

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

3.2.8.3.1. Balance de Masa

En base a los datos experimentales, el balance de materia queda dimensionado de la siguiente manera:



En base al balance realizado se puede determinar que el porcentaje de cáscara es muy alto en las semillas tostadas (%C) y es equivalente a 25%. El flujo másico de las semillas sin cáscara (D) es de 64.29 kg/lote.

3.2.8.4. Adición de conservante

El pardeamiento de frutas ya sea químico o enzimático, es un fenómeno que altera las propiedades organolépticas de los alimentos. Su control debe ser tomado en cuenta en los procesos productivos donde están involucradas frutas con la finalidad de evitar problemas de calidad en el producto terminado.

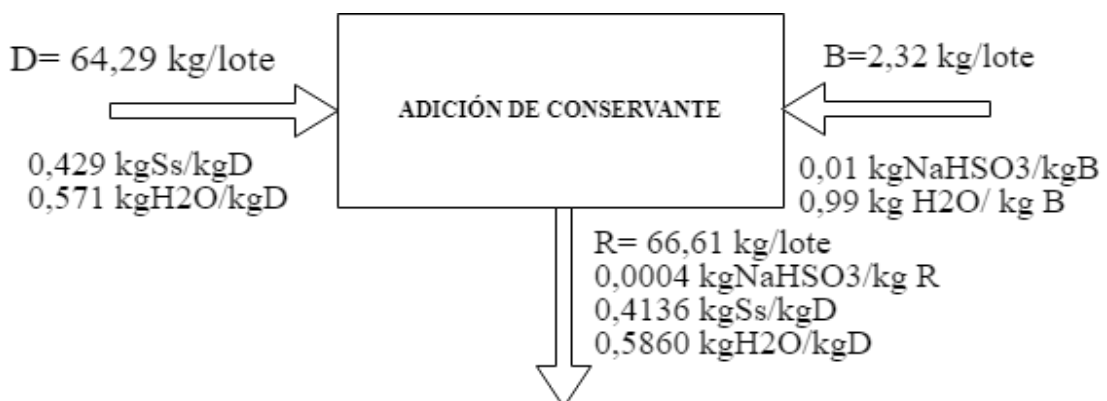
El control del deterioro de frutas por pardeamiento se logra con la adición de conservantes que impidan esta oxidación. En el presente caso se sumergirán las semillas descascarilladas en una solución al 1% de bisulfito de sodio. Los datos tomados se encuentran a continuación:

Tabla 3-9: Pesos experimentales (g) tras la inmersión de las semillas troceadas en conservante en el proceso con secado por fluidización (P1) y bandejas (P2).

PROCESO	TROZOS DE SEMILLAS CON BISULFITO DE SODIO
P1	419g
P2	390g
MEDIA ARITMÉTICA	404.5g

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

3.2.8.4.1. Balance de Masa



El porcentaje de bisulfito de sodio en la corriente de producto (R) es de 0.04%. Esta fase requiere un tanque para sumergir las semillas, el cual será dimensionado a continuación.

3.2.8.4.2. Dimensionamiento del tanque para la adición de conservante.

Al asumir que la densidad de las semillas no tuvo cambio significativo tras las operaciones de tostado y descascarillado se procede a calcular el volumen de semilla descascarillada a tratar:

$$V_R = \frac{\dot{m}}{\rho_p} \text{ Ec. 2}$$

$$V_R = \frac{\frac{64.29 \text{ kg}}{\text{lote}}}{\frac{1250 \text{ kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_R = 0.05 \text{ m}^3$$

Se considera que el volumen de la solución de conservante debe ser equivalente al 125% de la corriente de semillas para que se sumergan totalmente:

$$V_{sol} = V * 1.25 = 0.0625 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} = 62.5 \text{ L}$$

La cantidad de bisulfito de sodio necesaria para la preparación de esta solución al 1% se calcula a continuación:

$$m_{NaHSO_3} = \frac{\% * V_{sol}}{100\%} \text{ Ec. 7}$$

Donde:

m_{NaHSO_3} : Masa de conservante (kg)

%: Concentración porcentual de conservante (% kg/L)

V_{sol} : Volumen de solución (L)

$$m_{NaHSO_3} = \frac{1\% \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 62.5 \text{ L}}{100\%}$$

$$m_{NaHSO_3} = 0.625 \text{ kg}$$

La cantidad de conservante necesaria es equivalente a 625g.

El volumen del tanque para adición de conservante es equivalente a la suma de los volúmenes de la semilla descascarillada y el de la solución, multiplicados por un factor de 1.25 para evitar derrames durante la operación.

$$V_T = (V_{sol} + V_R) * 1.25 \text{ Ec. 8}$$

Donde.

V_T : Volumen del tanque (m^3).

V_{sol} : Volumen de solución (m^3).

V_R : Volumen de semilla descascarillada (m^3).

$$V_T = (0.0625 m^3 + 0.05m^3) * 1.25$$

$$V_T = 0.141 m^3$$

El volumen se redondea al superior en $0.15 m^3$. La relación entre diámetro y altura en tanques no esféricos es de 1.75 (Universidad Autónoma de Barcelona, 2016, p. 38).

$$\frac{h_T}{\phi_{iT}} = 1.75$$

Esta expresión permite deducir la fórmula para obtener el diámetro interno del tanque a partir de la fórmula del volumen de un cilindro.

$$\phi_{iT} = \sqrt[3]{\frac{4V_T}{1.75\pi}} \text{ Ec. 9}$$

Donde:

ϕ_{iT} : Diámetro interno del tanque (m).

V_T : Volumen del tanque (m^3).

$$\phi_{iT} = \sqrt[3]{\frac{4 * 0.141m^3}{1.75\pi}}$$

$$\phi_{iT} = 0.47 m \approx 0.5m$$

El diámetro interno del tanque será equivalente a 50 cm, y se considera que se utilizará acero inoxidable AISI 304 de grosor de 18 mm. Por lo tanto, el diámetro externo se calcula realizando la corrección con el grosor del material de construcción:

$$\phi_{eT} = \phi_{iT} + 2(e) \text{ Ec. 10}$$

Donde.

ϕ_{iT} : Diámetro interno del tanque (m).

ϕ_{eT} : Diámetro externo del tanque (m).

e : Espesor del acero (0.018m)

$$\phi_{eT} = 0.5m + 2(0.018m) = 0.536m$$

La altura del tanque se determina mediante la relación asumida anteriormente:

$$h_T = \phi_{iT} * 1.75$$

Donde.

ϕ_{iT} : Diámetro interno del tanque (m).

h_T : Altura del tanque (m).

$$h_T = 0.5 * 1.75$$

$$h_T = 0.875 m \approx 0.9m$$

3.2.8.5. Secado

Esta variable fue investigada con el objetivo de determinar el método de secado más óptimo de las semillas. Las cuales fueron troceadas para poder agilitar el proceso de secado más eficientemente. Basados en el análisis proximal se comparó la humedad final que el método de secado por bandeja (15.6%) y por lecho fluidizado (5.11%) le otorgan al producto final.

En base a estos resultados de laboratorio se determinó que el proceso de secado más eficiente es el secado por fluidización, además, este parámetro es de gran importancia por estar estrechamente relacionado con la estabilidad microbiológica del producto final y sus diferencias son significativas. Para el correspondiente cálculo del balance de materia y energía seguido de su dimensionamiento se utilizaron los siguientes datos experimentales y adicionales:

Tabla 3-10: Medidas experimentales de los trozos de las semillas de longitud (l) promedio (mm) y el espesor promedio (cm)

ENSAYO	LONGITUD DE PARTICULA (TROZOS DE SEMILLAS)		ESPESOR
MEDIA ARITMÉTICA	RANGO		0.5cm
	6.79mm	8.49mm	

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

Tabla 3-11: Datos experimentales para el diseño del secador de fluidización.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Humedad Inicial	0.586	%
Humedad Final	0.0051	%

Temperatura de entrada del solido	25	°C
Temperatura de salida del solido	33	°C
Temperatura de Entrada del aire	35	°C
Temperatura de salida del aire	30	°C
Peso solido a la entrada	419	g
Peso sólido salida	188.46	g
Diámetro del lecho	0.20	m
Altura del lecho	0.92	m

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

Tabla 3-12: Datos adicionales y asumidos para el diseño del secador de fluidización.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Humedad Relativa	85	%
Contenido de humedad del aire a la entrada	0.017	Kg H2O/kg Ss
Presión atmosférica	1	atm
Capacidad calorífica de las semillas secas	1.356	$\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$
Capacidad calorífica del agua	4.7	$\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$
Calor latente de vaporización a 33°C	2429.04	$\frac{kJ}{kg}$
Viscosidad dinámica del aire a 30°C	1.867E-05	$\frac{kg}{ms}$
Densidad del aire a 30°C	1.164	$\frac{kg}{m^3}$

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

Los valores de humedad relativa, presión atmosférica y temperatura ambiente se tomaron en base al sitio web The Weather Channel para el cantón La Concordia. (TWC Product and Technology LLC, 2018).

El contenido de humedad absoluto y la entalpía del aire se interpoló utilizando la tabla psicrométrica incluida en el Anexo A. Además, las capacidades caloríficas se calcularon en base a la Ec. 6.

Tabla 3-13: Datos experimentales del tiempo (h) en función de la humedad relativa (%) para la construcción de curvas de secado.

N	$\theta(h)$	X relativa (%)
1	0.00	0.586
2	0.50	0.523
3	1.00	0.444
4	1.50	0.385
5	2.00	0.314
6	2.50	0.240
7	3.00	0.205
8	3.50	0.173
9	4.00	0.141
10	4.50	0.108
11	5.00	0.077
12	5.50	0.051
13	6.00	0.051

Realizado por: (Alex Aldaz, 2018).

3.2.8.5.1. Construcción de las curvas de secado

Los datos experimentales obtenidos en la tabla 3-14 se utilizaron para determinar los parámetros para las curvas de secado:

- **Humedad absoluta.** Parámetro que se calcula con el uso de la ecuación:

$$X = \frac{X_{H2O}}{1 - X_{H2O}} \text{ Ec. 11}$$

Donde:

X: Humedad absoluta (KgH₂O/kg Ss).

X_{H2O}: Humedad relativa

- **Humedad absoluta media.** Valores calculados al aplicar la media aritmética entre los valores iniciales y finales de humedad absoluta (kg H₂O/kg Ss).

- **Diferencia de humedades y tiempo.** Se calcula este parámetro mediante la identificación tanto de cambio como humedad cada 0.5h.
- **Velocidad de secado.** Se calcula con la siguiente fórmula:

$$W = \frac{S}{A} \left(-\frac{\Delta X}{\Delta \theta} \right) \text{ Ec. 12}$$

Donde:

W: Velocidad de secado (kg/hm²)

S: Peso experimental de sólido seco (0.188 kg)

A: Área experimental del lecho fluidizado. (0.031m²)

ΔX : Diferencia de humedades absolutas.

$\Delta \theta$: Diferencia de tiempo (0.5h).

Los cálculos respectivos se muestran en la siguiente tabla incluyendo al inverso de la velocidad de secado.

Tabla 3-14: Datos experimentales calculados de las variables involucradas en la construcción de curvas de secado en función del tiempo (h).

TIEMPO	X RELATIVA (%)	HUMEDAD ABSOLUTA	HUMEDAD ABSOLUTA MEDIA	ΔX	$\Delta \theta$	VELOCIDAD DE SECADO	INVERSO DE LA VELOCIDAD DE SECADO
0.00	0.586	1.415					
0.50	0.523	1.096	1.256	-0.319	0.500	3.818	0.262
1.00	0.444	0.799	0.947	-0.298	0.500	3.565	0.280
1.50	0.385	0.626	0.712	-0.173	0.500	2.065	0.484
2.00	0.314	0.458	0.542	-0.168	0.500	2.014	0.496
2.50	0.240	0.316	0.387	-0.142	0.500	1.699	0.589
3.00	0.205	0.258	0.287	-0.058	0.500	0.693	1.442
3.50	0.173	0.209	0.234	-0.049	0.500	0.583	1.717
4.00	0.141	0.164	0.187	-0.045	0.500	0.539	1.855
4.50	0.108	0.121	0.143	-0.043	0.500	0.515	1.940
5.00	0.077	0.083	0.102	-0.038	0.500	0.451	2.219
5.50	0.051	0.054	0.069	-0.030	0.500	0.355	2.815
6.00	0.051	0.054	0.054	0.000	0.500	0.000	

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

Las gráficas correspondientes a la cinética del secado se muestran a continuación:

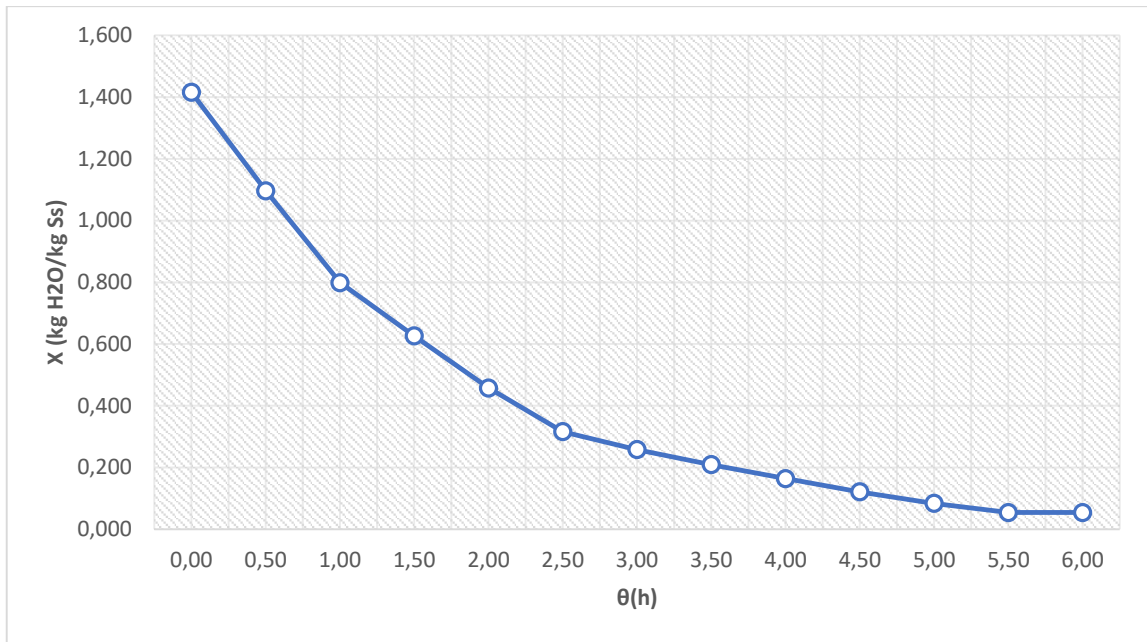


Gráfico 3-3: Humedad Absoluta vs tiempo de secado por fluidización de semillas de fruto del pan descascarilladas.

Realizado por: Alex Aldaz,2018.

En la presente gráfica cabe recalcar que la humedad en equilibrio, es decir la mínima humedad a la que se puede llegar en el proceso de fluidización es de 0.054 kg H₂O/kg Ss. Este proceso se llevó a cabo a 30°C, en consecuencia, la utilización de energía para aumentar la temperatura solo fue suministrada por la corriente de aire.

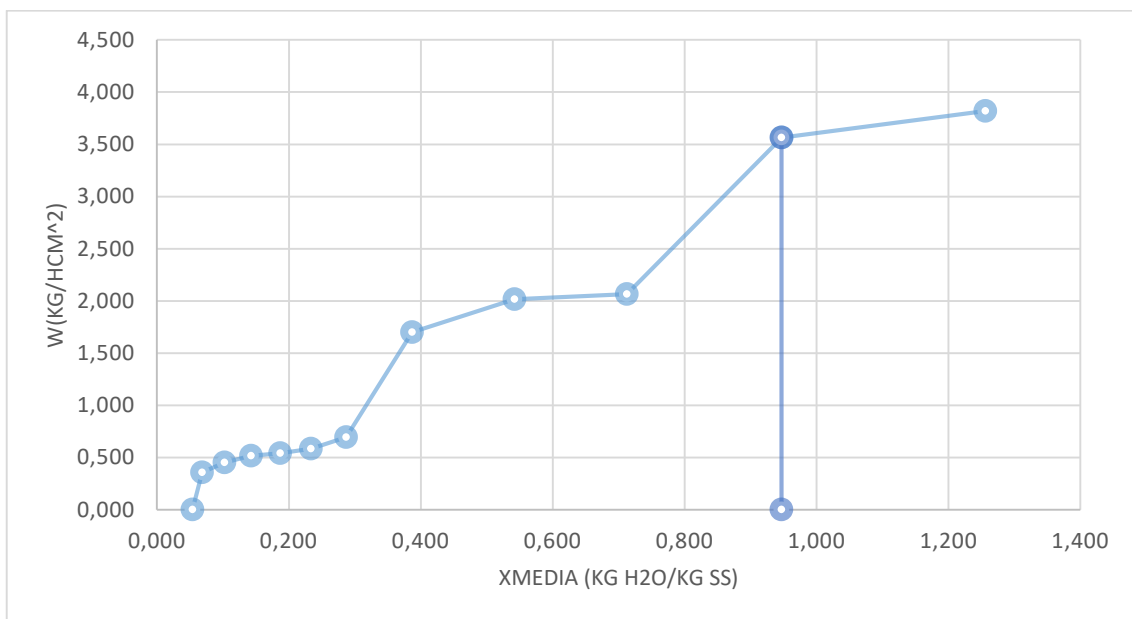


Gráfico 3-4: Velocidad de secado vs humedad Absoluta por fluidización de semillas de fruto del pan descascarilladas.

Realizado por: Alex Aldaz,2018.

En este gráfico se puede visualizar la humedad y velocidades críticas del secado en 0.947 kg H₂O/kg Ss y 3.565 kg/hm² respectivamente.

Con esta información se puede calcular el período antecrítico de secado mediante la fórmula:

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{W_c} \right) \text{ Ec. 13}$$

Donde:

W_c : Velocidad de secado crítica (3.565kg/hm²)

S : Peso experimental de sólido seco (0.188 kg)

A : Área experimental del lecho fluidizado. (0.031m²)

X_i : Humedad absoluta inicial.

X_c : Humedad absoluta crítica.

θ_a : Tiempo antecrítico (h)

$$\theta_a = \frac{0.188}{0.031} \left(\frac{1.415 - 0.947}{3.565} \right)$$

$$\theta_a = 0.82h$$

Para el cálculo del período proscritico de secado se debe recurrir a la integración gráfica de la siguiente fórmula en función de la humedad y la velocidad de secado desde la humedad crítica hasta la humedad final.

$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{X_c}^{X_f} \frac{dX}{dW} \text{ Ec. 14}$$

Donde:

W : Velocidad de secado crítica (3.565kg/hm²)

S : Peso experimental de sólido seco (0.188 kg)

A : Área experimental del lecho fluidizado. (0.031m²)

X_f : Humedad absoluta final.

X_c : Humedad absoluta crítica.

θ_p : Tiempo poscrítico (h).

Para la integración gráfica por triangulación se utiliza la siguiente gráfica:

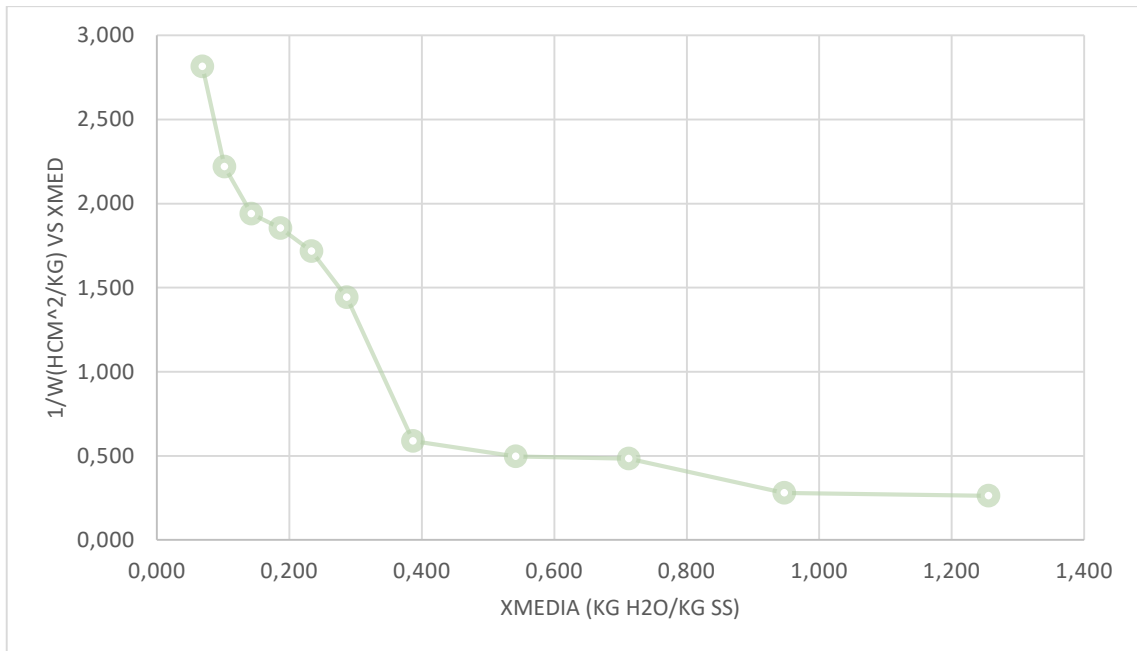


Gráfico 3-5: Inverso de la velocidad de secado vs humedad Absoluta por fluidización de semillas de fruto del pan descascarilladas.

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

$$\theta_p = \frac{S}{A} \sum A_i$$

$$\theta_p = \frac{0.188}{0.031} (0.025 + 0.06 + 0.08 + 0.007 + 0.08 + 0.04 + 0.062 + 0.007 + 0.08 + 0.01 + 0.16 + 0.006 + 0.08 + 0.01 + 0.07)$$

$$\theta_p = 4.65h$$

El tiempo total de secado se calcula por el sumado de los períodos antecrítico y poscrítico.

$$\theta_t = \theta_a + \theta_p \text{ Ec. 15}$$

Donde.

θ_t : Tiempo total de secado (h).

θ_a : Tiempo antecrítico (h).

θ_p : Tiempo poscrítico (h).

$$\theta_t = 5.44h$$

3.2.8.5.2. Balance de masa

En primer lugar, se debe calcular la humedad absoluta y el flujo másico de sólido seco en la corriente de semillas una vez añadidas conservante (R) y la corriente de sólido seco (S).

$$G_S = R * X_{RS} \text{ Ec. 16}$$

Donde:

G_S : Corriente de sólido seco ($\frac{kg}{h}$).

R : Corriente de semillas conservadas.

X_{RS} : Fracción de sólido seco en las semillas conservadas.

$$G_S = 66.61 \frac{kg}{lote} * 0.4136$$

$$G_S = 27.55 \frac{kg}{lote}$$

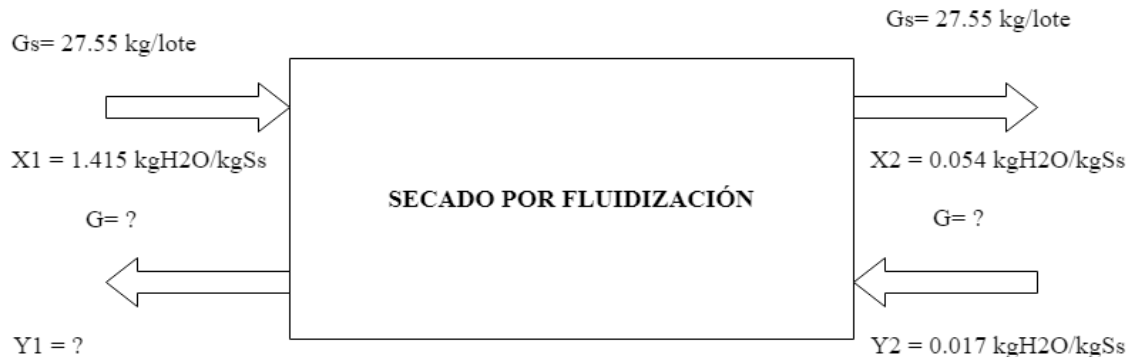
La humedad absoluta de las semillas conservadas (X_1) y secas (X_2) se determina con la ecuación 11 y es equivalente a:

$$X_1 = \frac{0.586}{1 - 0.586}$$

$$X_1 = 1.415 \frac{Kg_{H_2O}}{kg_{Ss}}$$

$$X_2 = \frac{0.0511}{1 - 0.0511}$$

$$X_2 = 0.054 \frac{Kg_{H_2O}}{kg_{Ss}}$$



El balance para el agua quedaría expresado de la siguiente manera:

$$G_S * X_1 + G Y_2 = G_S * X_2 + G Y_1 \text{ Ec. 17}$$

Donde:

G_S : Corriente de sólido seco.

X_1 : Humedad absoluta en la corriente de entrada de semillas (KgH2O/kg Ss).

X_2 : Humedad absoluta en la corriente de salida de semillas (KgH2O/kg Ss).

Y_1 : Humedad absoluta en la corriente de salida de aire (KgH2O/kg Ss).

Y_2 : Humedad absoluta en la corriente de entrada de aire (KgH2O/kg Ss).

$$G(Y_1 - 0.017) = 37,50$$

El presente balance requiere una especificación adicional para ser resuelto, por lo tanto, se procede a realizar el balance de energía correspondiente al proceso.

3.2.8.5.3. Balance de energía.

El balance entálpico incluyendo las pérdidas de calor quedaría establecido de la siguiente manera:

$$G_s * H_{S1} + GH_{A2} = G_s * H_{S2} + GH_{A1} + q_p \text{ Ec. 18}$$

El cálculo inicial corresponde a las entalpías de la semilla a la entrada y salida del secador haciendo uso de los datos adicionales en la tabla 3-13.

$$H = (C_{ps} + X)T \text{ Ec. 19}$$

Donde:

H: Entalpía ($\frac{kJ}{kg}$)

C_{ps}: Capacidad calorífica de las semillas a presión constante ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$)

T: Temperatura ($^\circ C$)

X: Humedad absoluta (KgH₂O/kg Ss).

- Entalpía del sólido a la entrada del secador:

$$H = (1.356 + 1.415) \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} (25^\circ C) = 69.77 \frac{kJ}{kg}$$

- Entalpía del sólido a la salida del secador:

$$H = (1.356 + 0.054) \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} (33^\circ C) = 46.53 \frac{kJ}{kg}$$

- Entalpía del aire a la entrada del secador:

Se utiliza la siguiente ecuación para determinar la entalpía del aire húmedo:

$$H = (C_{pAS} + C_{pv} Y) * T + Y L_F \text{ Ec. 20}$$

Donde:

H: Entalpía ($\frac{kJ}{kg}$)

C_{pAS}: Capacidad calorífica del aire a presión constante ($1.005\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$).

C_{pv}: Capacidad calorífica del vapor de agua a presión constante ($1.8723\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$).

T: Temperatura (°C)

Y: Humedad absoluta del aire (KgH₂O/kg Ss).

L_F: Calor latente del aire húmedo ($2501\frac{kJ}{kg}$).

$$H_{A2} = (1.005 + 1.88(0.017)) * 35 + (0.017 * 2501)$$

$$H_{A2} = 78.81 \frac{kJ}{kg}$$

- Entalpía del aire a la salida del secador:

$$H_{A1} = (1.005 + 1.88(Y_1)) * 30 + (Y_1 * 2501)$$

$$H_{A1} = 2557.4Y_1 + 30.15 \frac{kJ}{kg}$$

Para calcular el flujo de aire y su humedad absoluta de salida se aplica un balance de materia y energía asumiendo un valor práctico de 10% para pérdidas caloríficas a la entrada del aire al sistema, con esta consideración:

$$q_p = 0.1 GH_{A2} \text{ Ec. 21}$$

$$q_p = 7.88G$$

Aplicando la Ec. 12:

$$27.55 * 75 + 78.81G = 27.55 * 46.53 + (2557.4Y_1 + 30.15)G + 10.47G$$

$$54.06G - 2557.4Y_1 = -640.26$$

A continuación, se reemplaza la ecuación obtenida tras el balance de masa para determinar el flujo másico de aire necesario:

$$54.06G - 2557.4G \left(\frac{37.5 + 0.017G}{G} \right) = -640.26$$

$$G = 9000 \frac{kg}{lote} * \frac{1lote}{5.44h} = 1654.4 \frac{kg}{h}$$

$$Y_1 = 0,021 \text{ Kg/h}$$

El cálculo del calor necesario para la operación se realiza en dos partes:

- Calor necesario para calentar el sólido

$$Q_s = C_p * G_s * \Delta T \text{ Ec. 22}$$

Donde:

Q_s : Calor necesario para calentar el sólido (W).

C_{ps} : Capacidad calorífica de las semillas secas a presión constante ($\frac{kJ}{kg^\circ C}$).

G_s : Corriente de sólido seco ($\frac{kg}{h}$).

ΔT : Gradiente de temperatura ($^\circ C$).

$$Q_s = 1.41 \frac{kJ}{kg^\circ C} * 27.55 \frac{kg}{lote} * (33 - 25)^\circ C \left(\frac{1000J}{1kJ}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right) * \frac{1lote}{5.44h} =$$

$$Q_s = 15.87W$$

- Calor necesario para evaporar el agua

En primer lugar, se determina la cantidad de agua evaporada:

$$V = G_s * X_1 - G_s * X_2 \text{ Ec. 23}$$

Donde:

V : Corriente de agua evaporada ($\frac{kg}{h}$).

G_s : Corriente de sólido seco ($\frac{kg}{h}$).

X_1 : Humedad absoluta en la corriente de entrada de semillas (KgH2O/kg Ss).

X_2 : Humedad absoluta en la corriente de salida de semillas (KgH2O/kg Ss).

$$V = 27.55 \frac{kgSs}{h} (1.415 - 0.054) \frac{KgH2O}{kgSs}$$

$$V = 37,5 \frac{kgH2O}{h}$$

$$Q_v = V \lambda_v$$

Donde:

Q_v : Calor necesario para evaporar el agua contenida (W).

V : Corriente de agua evaporada ($\frac{kg}{h}$).

λ_v : Calor latente de vaporización de agua a $53^\circ C$ ($2375.39 \frac{kJ}{kg}$).

$$Q_v = 37,5 \frac{kgH2O}{h} * 2429.04 \frac{kJ}{kg} \left(\frac{1000J}{1kJ}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right) * \frac{1lote}{5.44h} =$$

$$Q_v = 4651.19 W$$

El calor total necesario se obtiene sumando los dos valores anteriores y multiplicandolos por un excedente del 10% que corresponde a las pérdidas:

$$Q_T = (Q_v + Q_s) * 1.1 \text{ Ec. 24}$$

Donde:

Q_T : Calor necesario total (kW).

Q_v : Calor necesario para calentar evaporar el agua contenida (W).

Q_s : Calor necesario para calentar el sólido (W).

$$Q_T = 4667.06W \left(\frac{1kW}{1000w} \right)$$
$$Q_T = 4.67 kW$$

3.2.8.5.4. Dimensionamiento del equipo

Un sistema de fluidización está formado por un lecho fluidizado, un sistema generador de flujo, un sistema de medición de presión y un sistema de adquisición de datos.

Lecho fluidizado

El lecho fluidizado está formado por:

- **Columna de Fluidización.** Consiste en un tubo cilíndrico que contendrá las partículas y por donde pasará el fluido. Este tubo se apoya en un plato perforado denominado distribuidor, el cual actúa como soporte de las partículas que componen el lecho, al mismo tiempo que da paso al flujo sin mucha dificultad (Delgadillo, 2013, p. 32).
- **Distribuidor.** Está localizado dentro de la columna de fluidización justo antes del lecho, es uno de los elementos más importantes porque se encarga de distribuir el aire lo más uniforme posible para evitar la formación de burbujas o canales. Este tipo de distribuidor (plato perforado) ofrece sencillez y uniformidad media, dando lugar a pocas burbujas de tamaño relativamente grandes. Debajo del distribuidor está la sección uniformadora del flujo por donde se introduce el fluido (Delgadillo, 2013, p. 32).
- **Sección uniformadora.** Por lo general se trata de un cono difusor que existe con el objeto de obtener un perfil de velocidad adecuado (Delgadillo, 2013, p. 32).

Sistema generador de flujo

El sistema generador de flujo es el encargado de suministrar el flujo de aire requerido durante la operación. La corriente de aire puede ser generada por un compresor o un ventilador centrífugo. A diferencia de los ventiladores los compresores están diseñados para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos compresibles, su finalidad es generar grandes presiones y flujos relativamente pequeños. Como es un equipo que trabaja a potencia constante el caudal y presión se puede controlar mediante válvulas reguladoras de flujo (Delgadillo, 2013, p. 33).

Sistema de medición de presión

El sistema de medición de presión se puede realizar con manómetro diferencial de columna de agua o con instrumentos capaces de registrar continuamente los datos durante el estudio y así tener un mejor control, pero en este caso es necesario implementar sensores y circuitos electrónicos. (Delgadillo, 2013, p. 33).

El primer parámetro que determinar es el diámetro de superficie y volumen equivalente se calcula asociando las partículas a una esfera a partir de las medidas experimentales de los diámetros y longitudes de las semillas:

$$d_{eq,s} = \sqrt{d_{p,c} * (l_{p,c} + 0.5d_{p,c})} \text{ Ec. 25}$$

Donde:

$d_{eq,s}$: Diámetro de superficie equivalente (m).

$d_{p,c}$: Diámetro promedio de partículas (m).

$l_{p,c}$: Longitud promedio de partículas (m).

$$d_{eq,s} = 0.009m$$

$$d_{eq,v} = \sqrt[3]{\frac{3}{2}d_{p,c}^2 * l_{p,c}} \text{ Ec. 26}$$

Donde:

$d_{p,c}$: Diámetro promedio de partículas (m).

$l_{p,c}$: Longitud promedio de partículas (m).

$d_{eq,v}$: Diámetro de volumen equivalente (m).

$$d_{eq,v} = 0.0084 m$$

El factor de forma o esfericidad de la partícula (φ) se define como la relación entre la superficie de una esfera y la superficie real de la partícula. El área equivalente se calcula a partir del diámetro de volumen equivalente, por lo tanto, la ecuación derivada para el cálculo de la esfericidad es:

$$\varphi = \left(\frac{d_{eq,s}}{d_{eq,v}} \right)^2 \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

φ : Esfericidad

$d_{eq,s}$: Diámetro de superficie equivalente (m).

$d_{eq,v}$: Diámetro de volumen equivalente (m).

$$\varphi = 0,87$$

Los lechos porosos están constituidos por partículas sólidas que dejan huecos entre sí, la relación del espacio libre entre partículas representa la porosidad del lecho (ε). El cual se define como el volumen de huecos dividido entre el volumen total del lecho. Al llevar un lecho de partículas al estado de fluidización, la porosidad del lecho recibe el nombre de porosidad mínima de fluidización, la cual corresponde a la porosidad cuando la velocidad es la de mínima fluidización. La porosidad del lecho se puede calcular con la siguiente gráfica en base a la esfericidad de las partículas y el tipo de empaquetamiento en el lecho.

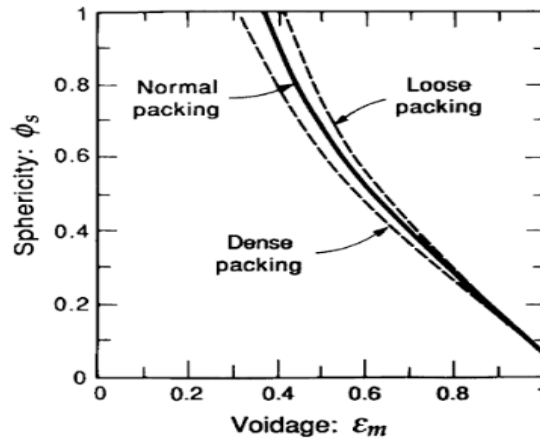


Figura 3-3: Porosidad del lecho empaquetado vs Esfericidad

Fuente: (Kunii & Levenspiel, 1991, p. 61).

Se asume un empaquetamiento bajo debido a que solo dependerá de la acción de la gravedad, por lo tanto, la porosidad mínima de fluidización (ε_{mf}) es igual a 0.44.

Además, se deben calcular el número de Arquímedes y el Número de Reynolds en condiciones de mínima fluidización según las ecuaciones.

$$Ar = \frac{d_p^3 * \rho_G * (\rho_s - \rho_G)g}{\mu^2} \text{ Ec. 28}$$

Donde:

d_p : Diámetro promedio de partículas (m).

ρ_G : Densidad del aire (kg/m³).

ρ_s : Densidad del sólido (kg/m³).

g : Aceleración de la gravedad(m/s²).

μ : Viscosidad dinámica del aire a 30°C (kg/ms).

Ar : Número de Arquímedes.

Fuente: (Kunii & Levenspiel, 1991, p. 69).

$$Ar = \frac{0.00679^3 * 1.164 * (1250 - 1.164) * 9.8}{(1.867E - 05)^2}$$

$$Ar = 1.279E07$$

El número de Reynolds para una partícula en un flujo está definido por la siguiente ecuación:

$$K_1 Re_{mf}^2 + K_2 Re_{mf} = Ar \text{ Ec. 29}$$

Donde:

$$K_1 = \frac{1.75}{\varepsilon_{mf}^2 * \varphi}$$

$$K_2 = 150 \frac{(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3 * \varphi^2}$$

Re_{mf} : Número de Reynolds en condiciones de mínima fluidización

ε_{mf} : Porosidad mínima de fluidización.

φ : El factor de forma o esfericidad de la partícula.

Ar : Número de Arquímedes.

Fuente: (Kunii & Levenspiel, 1991, p. 70).

$$K_1 = \frac{1.75}{(0.44)^3 * 0.87}$$

$$K_1 = 23.61$$

$$K_2 = 150 * \frac{(1 - 0.44)}{(0.44)^3 * (0.87)^2}$$

$$K_2 = 1302.82$$

Reemplazando en la Ec. 18 se tiene:

$$23.61 Re_{mf}^2 + 1302.82 Re_{mf} - 1.279 E07 = 0$$

Tras resolver la ecuación cuadrática el número de Reynolds en condiciones de mínima fluidización es:

$$Re_{mf} = 708.94$$

La velocidad mínima de fluidización se calcula a partir de la fórmula de definición del número de Reynolds.

$$u_{mf} = \frac{Re_{mf} * \mu}{d_p * \rho_G} \text{ Ec. 30}$$

$$u_{mf} = \frac{708.94 * 1.867E - 05 \text{ m}}{0.00679 * 1.164 \text{ s}}$$

$$u_{mf} = 1.677 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El cálculo de la caída de presión por metro de longitud del lecho en condiciones mínimas de fluidización se realiza con la Ecuación de Ergun:

$$\frac{\Delta P_{lecho}}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_G) \frac{g}{gc} \text{ Ec. 31}$$

Fuente: (Kunii & Levenspiel, 1991, p. 69).

$$\frac{\Delta P_{lecho}}{L_{mf}} = (1 - 0.44) * (1250 - 1.164) * \frac{9.8}{9.8}$$

$$\frac{\Delta P_{lecho}}{L_{mf}} = 699.35 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

A continuación, el diámetro de partícula adimensional (d_p^*) para su posterior utilización el cálculo de la velocidad terminal.

$$d_p^* = \sqrt[3]{Ar} \text{ Ec. 32}$$

Donde:

d_p^* : Diámetro adimensional de partícula

Ar: Número de Arquímedes

$$d_p^* = \sqrt[3]{1.279E07}$$

$$d_p^* = 233.86$$

La velocidad terminal en el lecho se determina con el siguiente gráfico en función de la esfericidad y el diámetro de partícula adimensional:

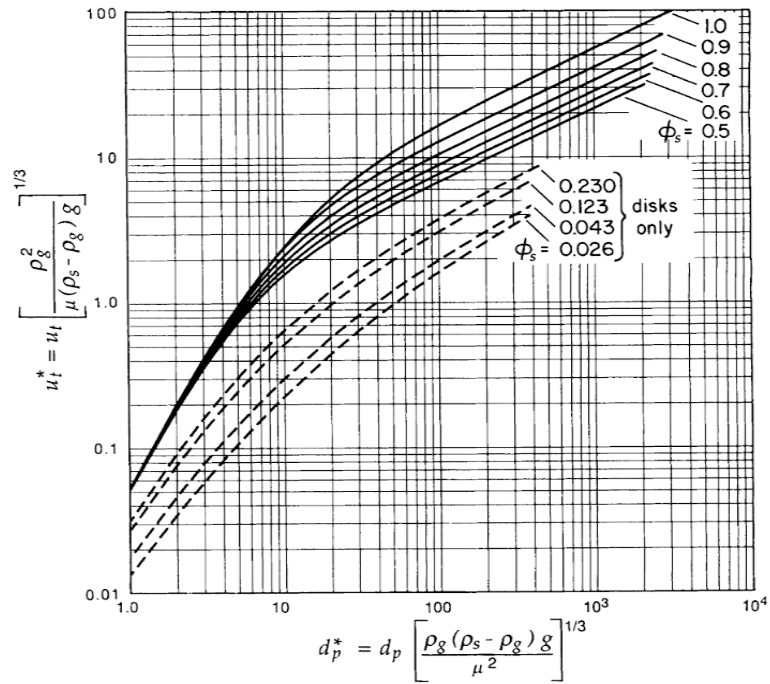


Figura 3-3: Gráfico para determinar la velocidad de las partículas en función de su diámetro adimensional y esfericidad.

Fuente: (Haider & Levenspiel, 1989).

En base a este gráfico se determina que la velocidad terminal adimensional es de 15, la velocidad terminal se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$u_t = \frac{u_t^*}{\sqrt[3]{\frac{\rho_G^2}{\mu^2 * (\rho_s - \rho_G) * g}}} \quad \text{Ec. 33}$$

Donde.

u_t : Velocidad terminal de las partículas (m/s)

u_t^* : Velocidad terminal adimensional de las partículas.

ρ_G : Densidad del aire (kg/m³).

ρ_s : Densidad del sólido (kg/m³).

g : Aceleración de la gravedad(m/s²).

μ : Viscosidad dinámica del aire a 30°C (kg/ms).

$$u_t = \frac{15}{\sqrt[3]{\frac{1.164^2}{1.875E - 05 * (1250 - 1.164) * 9.8}}}$$

$$u_t = 8.54 \frac{m}{s}$$

La velocidad de diseño debe estar comprendida entre el rango de la velocidad mínima y la velocidad terminal, es decir se tomará el valor medio entre estos valores:

$$u_d = 5.10 \frac{m}{s}$$

Para determinar las dimensiones del lecho se debe calcular en primer lugar el caudal de semillas a tratar con la ecuación 2:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho_p}$$

$$Q = \frac{66.61 \frac{kg}{h}}{1250 \frac{kg}{m^3}}$$

$$Q = 0.053 \frac{m^3}{h}$$

La porosidad mínima del lecho es equivalente al volumen de los espacios vacíos dentro del mismo, por tanto, el volumen del lecho se calcula de la siguiente manera:

$$V_L = \frac{Q}{(1 - \varepsilon_{mf})} \text{ Ec. 34}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/h)

ε_{mf} : Porosidad mínima de fluidización

$$V_L = \frac{0.053}{(1 - 0.44)} m^3$$

$$V_L = 0.09 m^3$$

Para determinar las dimensiones del equipo se basa en la relación longitud/diámetro utilizada en el equipo del Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias que es equivalente a 4,6. El diámetro se obtiene reemplazando la relación descrita en la fórmula del área de un cilindro debido a que el lecho a utilizar será cilíndrico:

$$\phi_L = \sqrt[3]{\frac{4V_L}{4.6\pi}} \text{ Ec. 35}$$

Donde:

ϕ_L : Diámetro del lecho (m)

V_L : Volumen del lecho (m³)

$$\phi_L = \sqrt[3]{\frac{4(0.09)}{4.6\pi}}$$

$$\phi_L = 0.30 m$$

La altura del lecho se calcula con la relación antes descrita.

$$h_L = 1.38m$$

Para el diseño de la sección uniformadora se toma en cuenta el siguiente gráfico:

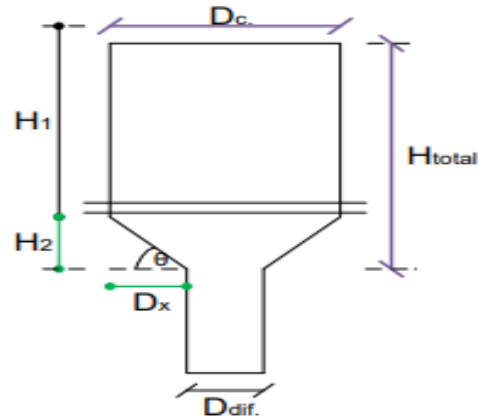


Figura 3-4: Gráfico para determinar las dimensiones de la sección uniformadora.

Fuente: (Delgadillo, 2013, p. 33).

Se tomará en cuenta que D_{dif} es 2 inch, y el ángulo de inclinación es de 50° . De tal manera D_x se calcula:

$$D_x = \frac{\phi_L - 0.051}{2} \text{ Ec. 36}$$

$$D_x = 0.125m$$

La altura del cono se determina con la función tangente:

$$H_2 = D_x * \tan \theta \text{ Ec. 37}$$

$$H_2 = 0.15m$$

Para determinar el ventilador a utilizar, se calcula el caudal de aire necesario a partir del flujo másico calculado con el uso de la Ec2:

$$Q_{aire} = \frac{9000 \frac{kg}{h}}{1.164 \frac{kg}{m^3}} * \frac{1h}{3600s}$$

$$Q_{aire} = 2.15 \frac{m^3}{s}$$

3.2.8.6. Molienda y tamizado

Estas dos operaciones unitarias se analizan en conjunto por ser complementarias y los datos experimentales obtenidos se encuentran a continuación:

Se procedió a moler una muestra de 203g de semillas de fruta de pan secas y procesadas esta operación se llevó acabo en un molino de tornillo sinfín. La potencia del motor es de 4 Hp, el molino está previsto de una banda que hace que el molino sea eléctrico y genere la suficiente fuerza para triturar las semillas hasta llevarlas a polvo. Después de ser molidas las semillas de fruta de pan volvemos a pesarlas teniendo un peso de 189g lo que quiere decir que se a perdido un total de 14g en el proceso de molienda. Lo que determinó un rendimiento de 93.10% en el proceso de molienda.

Tabla 3-15: Pesos experimentales (g) tras la molienda y tamizado en el proceso con secado por fluidización.

HARINA	PESOS
TROZOS DE SEMILLAS SECAS (MOLIDAS)	203g
HARINA DE SEMILLAS DE FRUTO PAN	189g
HARINA DE SEMILLAS DE FRUTO DE PAN TAMIZADA	183g
FINOS	5.68g
TOTAL TAMIZADO	188.68g

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

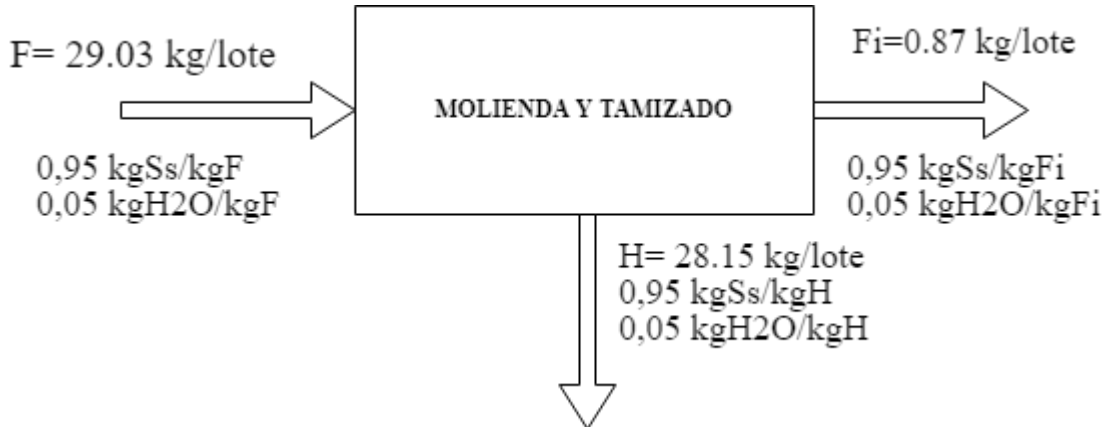
Para los trozos de semillas de fruta de pan secas por fluidización se envió a hacer un análisis proximal los cuales nos dan los siguientes resultados: Humedad 5.05%, Proteína 12.57%, Cenizas 3.19%, Grasa 2.06%, Fibra 11.62%, y Carbohidratos 65.51%. ANEXO B.

De igual manera se envió a realizar el análisis proximal para el producto tamizado es decir la harina de semillas de fruta de pan resultado del secado por fluidización y la molienda por tornillo sinfín y los resultados fueron los siguientes: Humedad 5.11%, Proteína 13.88%, Cenizas 3.01%, Grasa 3.62%, Fibra 11.21%, y Carbohidratos 63.17%. ANEXO C.

La harina obtenida arrojó el análisis microbiológico siguiente: Mohos y Levaduras 80UFC/g, y Coliformes Totales 5 UFC/g. ANEXO C.

3.2.8.6.1. Balance de masa

El proceso dimensionado a escala industrial quedaría de la siguiente manera:



La producción por lote de harina es equivalente a 28.15 kg/lote con un 5% de humedad.

3.2.8.6.2. Análisis granulométrico de la harina de semillas procesadas de fruto del pan.

Los datos experimentales obtenidos tras la utilización de la serie de tamices de Tyler desde 850µm de luz de malla hasta 106 µm se utilizaron para determinar los parámetros de la distribución granulométrica obtenida en la molienda de semillas de fruto de pan en un molino de tornillo sinfín. Los parámetros analizados son los siguientes:

- **Número de malla(N).** Número de tamiz utilizado
- **Apertura.** Luz de malla de cada tamiz(µm)
- **Dmpi.** Tamaño medio de partículas (mm). Se calcula con la siguiente fórmula:

$$d_{mpi} = \frac{d_{max} + d_{min}}{2000} \text{ Ec. 38}$$

Donde:

dmax: Diámetro máximo de luz de malla (µm).

dmin: Diámetro mínimo de luz de malla (µm).

- **M.** Masa retenida en cada tamiz(g)
- **Xi:** Fracción de partículas retenidas.
- **Dw.** Diámetro medio de partículas de descarga.

$$D_W = \sum_{i=0}^n (X_i D_{mpi}) \text{ Ec. 39}$$

- **%Re.** Porcentaje de partículas retenidas en cada tamiz.

Tabla 3-16: Datos experimentales calculados de las variables involucradas en el análisis granulométrico de la harina de semillas de fruto del pan.

N	Apertura	Dmpi	M	Xi	Dmpi * Xi	%Re
Unidades	µm	mm	g	-	mm	%
	850					
1	425	0.638	1.000	0.01	0.003	0.547
2	360	0.393	2.100	0.01	0.005	1.149
3	212	0.286	44.040	0.24	0.069	24.091
4	150	0.181	86.370	0.47	0.086	47.246
5	106	0.128	49.300	0.27	0.035	23.967
SUMATORIA			182.810	1.000	0.197	

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

El diámetro promedio de las partículas de la harina es equivalente a 0.315mm. El porcentaje de finos del procedimiento se calcula de la siguiente manera:

$$\%_{finos} = \frac{m_{finos}}{m_{alim.}} * 100$$

$$\%_{finos} = \frac{5.68}{188.46} * 100$$

$$\%_{finos} = 3\%$$

El grado de desintegración alcanzado en el molino se calcula de la siguiente manera.

$$n = \frac{D_p}{D_w} \text{ Ec. 40}$$

Donde:

n: Grado de desintegración.

D_p: Diámetro promedio de las partículas de alimentación (mm).

D_w: Diámetro promedio de las partículas de descarga (mm).

$$n = \frac{0.197 \text{ mm}}{0.315 \text{ mm}}$$

$$n = 34.47$$

3.2.8.6.3. Dimensionamiento del molino de tornillo sinfín

En primer lugar, se selecciona la velocidad de la molienda de acuerdo con la tabla 3-17

Tabla 3-17: Velocidades Periféricas para molienda

Rango de Velocidad	Uso	Producto por obtener
6 a 10 m/s	Machaqueo	bloques a piedras pequeñas de 2 in Primario
De 10 a 40 m/s	Molienda Gruesa	Hasta obtenciones de 5 mm
De 40 a 80 m/s	Molienda Media	Hasta obtenciones de 100 µm
De 80 a 150 m/s	Molienda Ultra fin	Hasta obtenciones por debajo de 5µm

Fuente: (Blanco, 2014, p. 42).

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

Por lo que para cumplir con la norma establecida para la harina el 95% de partículas debe pasar por el tamiz de 212 µm INEN-616 requisitos, se elige la velocidad de rotación entre el intervalo de 40 a 80 m/s y de acuerdo a las características de los motores trifásicos que se presentan en revoluciones de 900, 1200, 1800 y 3600 RPM eligiendo para el caso práctico 1800 RPM, de acuerdo con esto se calcula el radio de la polea menor:

$$V = w * r \text{ Ec. 41}$$

$$r = \frac{40}{1800 \text{ RPM} * \frac{1 \text{ m}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}}$$

$$r = 0.21 \text{ m}$$

Para el presente trabajo experimental se requiere una capacidad de molienda de 29.03 Kg/ h, de acuerdo con esto se calcula la potencia del motor aplicando la ley de Bond.

$$E_m = 0.316 * w_i \left[\frac{1}{\sqrt{D_w}} - \frac{1}{\sqrt{D_p}} \right] \text{ Ec. 42}$$

Donde:

E_m : Energía consumida en la molienda (kW/ton)

w_i = constante de trabajo de la molienda (kWh/ton)

D_w = tamaño de la partícula después de la molienda (m).

D_m = tamaño de la partícula después de la molienda (m).

En base al autor (Guayllas & Montero, 2012, p. 100), el valor de la constante de molienda es igual a $6.43 \frac{kWh}{kg}$, la energía consumida para la molienda resulto igual a:

$$E_m = 94.07 w \cdot h / kg$$

La potencia consumida resulto igual a:

$$P_m = E_m \cdot \dot{m} \text{ Ec. 43}$$

$$P_m = 3650.12 W * \frac{1 Hp}{745.7W}$$

$$P_m = 4.89 * fs$$

$$P_m = 5 Hp$$

Diseño de la tolva de alimentación

La tolva de alimentación tiene que ser de estructura cónica para mejor alimentación del almidón seco de acuerdo con esto el volumen de la tolva será igual a:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = 0.023 m^3$$

En donde el área de la tolva será igual a:

$$A_t = \pi g_t r_t + \pi r_t^2 \text{ Ec. 44}$$

A_t : Área total de la tolva de alimentación (m^2).

g_t : Generatriz (m)

r_t : Radio de la tolva (m).

Y como ecuación adicional se tiene que la generatriz es igual a:

$$g_t = \sqrt{r_t^2 + h_t^2} \text{ Ec. 45}$$

Donde:

g_t : Generatriz (m)

r_t : Radio de la tolva (m).

h_t : Altura de la tolva (m).

Para respetar las leyes de diseño ingenieril la altura no debe ser mayor a un tercio del diámetro de la tolva por lo que reemplazando estos valores en el volumen del cono se tiene que:

$$V = \frac{h\pi r^2}{3}$$

$$0.023 = \frac{1}{3}r * \frac{\pi r^2}{3}$$

$$r = 0.26 \text{ m}$$

$$D = 2 * r$$

$$D = 0.52 \text{ m}$$

Altura va a ser igual a 1.54m metros, por lo que el área lateral de la maquina será igual a:

$$g = \sqrt{1.54^2 + 0.52^2}$$

$$g = 1.63\text{m}$$

$$A_t = \pi g r + \pi r^2$$

$$A_t = 1.55 \text{ m}^2$$

Área de relleno del molino

Según los datos bibliográficos para molinos de extracción que requieran una velocidad de giro de 1800 RPM se requiere de un tornillo sin fin de diámetro 600 mm, de acuerdo con esto se calcula el área de relleno del molino:

$$S = \frac{\gamma\pi D^2}{4} \text{ Ec. 46}$$

Donde:

S: es el área de relleno del transportador, en m^2

D: es el diámetro del canalón del transportador, en m

γ : es el coeficiente de relleno de la sección.

Este coeficiente de relleno (γ) deberá ser menor que la unidad con objeto de evitar que se produzca amontonamiento del material que dificultaría su correcto flujo a lo largo del canalón.

$$S = \frac{\gamma\pi D^2}{4}$$

$$S = 0.17 \text{ m}^2$$

También se debe conocer el diámetro de paso por donde pasaran las moléculas de almidón para su extracción esto se calcula de acuerdo con:

$$Paso = D_{\text{tornillo}} * Fp \text{ Ec. 47}$$

Donde:

Fp: Factor de paso, para que se dé una máxima extracción este debe ser igual 50% permitiendo el contacto de las moléculas con el tornillo y produciéndose la extrusión.

$$Paso = 0.3 \text{ m}$$

Por lo que la longitud del área de extrusión será igual a:

$$S = \frac{\pi D^2 L}{4} + Paso \text{ Ec. 48}$$

$$L = 0.45 \text{ m}$$

Conociendo las dimensiones del molino se debe determinar la velocidad dentro del extrusor de acuerdo con la ecuación:

$$v = \frac{\text{Paso} * \eta}{60} \text{ Ec. 49}$$

v : Es la velocidad de desplazamiento del transportador, en m/s

η : Es la velocidad de giro del eje del tornillo, en $r.p.m.$

$$v = 9 \text{ m/s}$$

3.2.8.6.4. Selección del tamaño de criba y armazón del tamiz

Debido a que se tiene que tamizar un flujo másico de 29.03kg por lote de producción, este valor se debe ajustar al volumen de acuerdo con lo que las condiciones de dimensionamiento serán:

$$V \text{ tamiz} = \frac{m \text{ harina}}{\rho \text{ harina}} * Fs$$

$$V \text{ tamiz} = \frac{29.03 \text{ kg}}{1250 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} * 1.2$$

$$V \text{ tamiz} = 0.03 \text{ m}^3$$

Según Blanco, 2014, p. 40 el cálculo de la superficie necesaria en un tamiz se calcula mediante el método de Le-Blanc, el cual requiere el empleo de la siguiente fórmula:

$$S = \left(\frac{T}{C} \right) * f_s \text{ Ec. 50}$$

Donde:

S: Superficie de la criba (m^2)

T: Flujo másico tratado (ton/h)

C: Capacidad unitaria (ton/ m^2h)

f_s : Factor de seguridad, 1.25

Para determinar la capacidad de la criba se hace uso de la siguiente fórmula, tomando en cuenta que el porcentaje de rechazo de esta es de 5% para una malla de 212 μm . El cálculo es un método empírico basado en capacidades base de un producto considerado con condiciones preestablecida y coeficientes de la operación deseada. Los parámetros utilizados están ligados al equipo, al material y al proceso.

$$C = Q * \frac{H}{H_0} * \frac{\rho}{1.5} * F_1 * F_2 * F_3 * F_4 * F_5 * F_6 * F_7 * F_8 \quad \text{Ec. 51}$$

Donde:

C: Capacidad unitaria (ton/m²h)

Q: Capacidad base para productos de forma regular, tales como arenas o cantos rodados (0.1708 ton/ m²h)

H: Porcentaje en huecos de la superficie cribante que se utiliza (65) (El riego.com, 2018).

H₀: Ho el correspondiente a la capacidad base que se utiliza y tabulado según la capacidad base (31.64).

ρ : Densidad aparente del material ($1.25 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$).

F₁: Factor que corrige por la desviación de la forma de los granos. Se toma el valor 1 para cantos rodados o arenas de superficie regular.

F₂: Toma el valor 1 para cribas inclinadas entre 18° y 22° y 0,80 para cribas horizontales

F₃: Aplicable solo para criba de varios pisos.

F₄: Aplicable solo para tamizados en húmedo.

F₅: Factor que corrige por la desviación del porcentaje de rechazo del valor tipo.

F₆: Factor que tiene en cuenta la eficiencia deseada en el cribado.

F₇: Factor que corrige por la proporción de material inferior a la dimensión mitad de la malla.

F₈: Factor que corrige según el contenido en humedad superficial del producto (Blanco, 2014, p. 40).

Los factores F3 y F4 no son aplicables puesto que la criba necesaria solo tendrá un piso y el tamizado será en seco. Los factores F5, F6 y F7 no son tomados en cuenta para un porcentaje de rechazo de 5% (Blanco, 2014, p. 42). Por lo tanto, la fórmula queda expresada de la siguiente manera.

$$C = 0.171 * \frac{65}{31.64} * \frac{1.25}{1.5} * 1 * 0.8 * 0.8$$

$$C = 0.187 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2\text{h}}$$

El área correspondiente del tamiz circular es.

$$S = \left(\frac{29.03 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0.187 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2\text{h}}} \right) * 1.25 * \frac{1 \text{ton}}{1000 \text{kg}}$$

$$S = 0.194 \text{ m}^2$$

El diámetro del tamiz se calcula a partir de la fórmula del área del círculo:

$$\varphi_T = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \text{ Ec. 52}$$

Donde.

φ_T : Diámetro del tamiz (m).

S: Superficie del tamiz (m²).

$$\varphi_T = \sqrt{\frac{4(0.194)}{\pi}}$$

$$\varphi_T = 0.5m$$

La potencia del motor necesaria se calcula con la suposición que el peso de la parte móvil del tamiz es equivalente a dos veces el flujo másico por lote, es decir 78.02 kg:

$$P_T = \frac{G * a * n * g * \pi}{30 * 745.7} \text{ Ec. 53}$$

Donde:

P_T : Potencia del tamiz (Hp)

a: Amplitud del movimiento (m).

n: Frecuencia (rpm).

G: Peso de la parte móvil (kg).

g: Aceleración de la gravedad (9.8 m/s)

El tamizado de partículas de granulometría grande requiere amplitud grande y frecuencia baja, mientras que partículas pequeñas requieren condiciones inversas. Las amplitudes menores originan bloqueos y disminuyen tanto la capacidad, como la eficiencia. Se debe escoger una relación adecuado entre la amplitud (0,5 mm-50 mm) y la frecuencia en rpm (100-1.500 r.p.m.) (Blanco, 2014, p. 31).

La siguiente figura se emplea para determinar la amplitud y la frecuencia en función de la luz de malla:

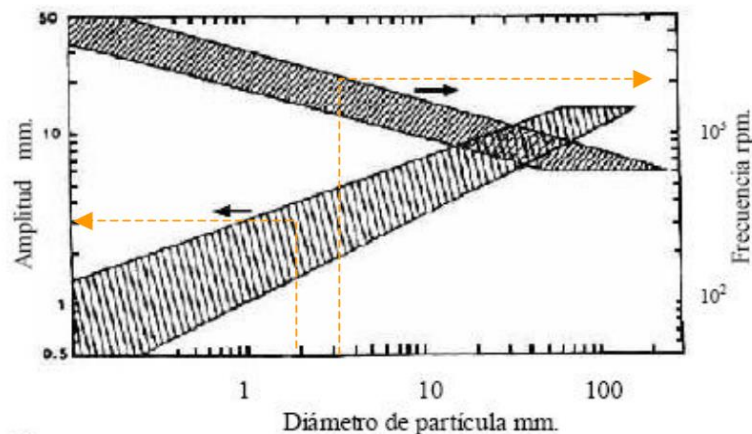


Figura 3-3: Gráfico para determinar la frecuencia (rpm) y la amplitud (mm) del tamiz en función del diámetro de la luz de malla.

Fuente. (Blanco, 2014, p. 31).

Para el presente caso en una luz de malla de 0.212mm se ha escogido una amplitud de 1.5mm con una frecuencia de 1300 rpm.

$$P_T = \frac{78.02 * 0.0015 * 1300 * 9.8 * \pi}{30 * 745.7}$$

$$P_T = 0.21Hp$$

La potencia calculada se encuentra en 0.21Hp, tomando en cuenta una eficiencia de 85% la potencia necesaria se sitúa en 0.25Hp.

3.2.9. Resultados del diseño

3.2.9.1. Resultados de diseño del tostador

Tabla 3-18: Parámetros técnicos del tostador.

PARÁMETRO	MEDIDA
DIÁMETRO DEL TOSTADOR	1.1m
DIÁMETRO DE LAS ASPAS	0.55m
ALTURA DEL SOPORTE	1m
ACERO RECOMENDADO	AISI 304, 18mm
CANTIDAD DE CALOR NECESARIO	0.13kW
CAPACIDAD NIQUELINA	0.15kW

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.2.9.2. Resultados de diseño del tanque de adición de conservante

Tabla 3-19: Parámetros técnicos del tanque de adición de conservante.

PARÁMETRO	MEDIDA
DIÁMETRO INTERNO DEL TANQUE	0.5m
DIÁMETRO EXTERNO DEL TANQUE	0.536m
ALTURA DEL TANQUE	0.9m
ACERO RECOMENDADO	AISI 304, 18mm

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.2.9.3. *Resultados de diseño del secador de lecho fluidizado.*

Tabla 3-20: Parámetros técnicos del secador de lecho fluidizado.

PARÁMETRO	MEDIDA
FLUJO MÁSSICO DE AIRE DE SECADO	1654.4 kg/h
CALOR NECESARIO POR SUMINISTRAR	4.67 kW
ESFERICIDAD	0.87
POROSIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN	0.44
VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN	1.68 m/s
VELOCIDAD TERMINAL DE FLUIDIZACIÓN	8.54 m/s
VELOCIDAD DE DISEÑO	5.10 m/s
DIÁMETRO DEL LECHO	0.30m
ALTURA DEL LECHO	1.38m
DIÁMETRO DEL CONO DE LA TUBERÍA DE SUMINISTRO DE AIRE	2 inch
ALTURA DEL CONO DE LA SECCIÓN UNIFORMADORA	0.35m
TIEMPO DE SECADO	5.44h
HUMEDAD DE EQUILIBRIO DEL SÓLIDO	0.054kgH ₂ O/kgSs
TEMPERATURA DE SECADO	35 °C
CAIDA DE PRESIÓN	699.38 Pa/m

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.2.9.4. *Resultados del diseño del molino de tornillo sinfín.*

Tabla 3-21: Parámetros técnicos del molino de tornillo sinfín.

PARÁMETRO	MEDIDA
DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULAS MOLIDAS	0.197mm
PORCENTAJE DE FINOS	3%
GRADO DE DESINTEGRACIÓN	34.47

POTENCIA DEL MOTOR	4 Hp
DIÁMETRO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN	0.52m
GENERATRIZ DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN	1.53m
REVOLUCIONES DEL MOTOR	1800 rpm
LONGITUD DEL ÁREA DE EXTRUSIÓN	0.45m
PASO DEL MOLINO	0.3m
VELOCIDAD EN EL EXTRUSOR	9m/s

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.2.9.5. Resultados del tamiz

Tabla 3-22: Parámetros técnicos del tamiz.

PARÁMETRO	MEDIDA
DIÁMETRO DEL TAMIZ	0.50m
SUPERFICIE DEL TAMIZ	0.194m ²
POTENCIA DEL MOTOR	0.25 Hp
REVOLUCIONES DEL MOTOR	1300 rpm
LUZ DE MALLA	212µm

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.2.9.6. Cálculo del rendimiento del proceso

El rendimiento general del proceso se calcula mediante la relación entre la salida de producto terminado y la entrada de materia prima e insumos:

$$\text{Rendimiento} = \frac{28.15 \frac{kg}{h}}{125 \frac{kg}{h} + 2.32 \frac{kg}{h}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 22.11\%$$

3.3. Proceso de producción.

El proceso industrial para la producción de harina de fruto del pan se detalla a continuación:

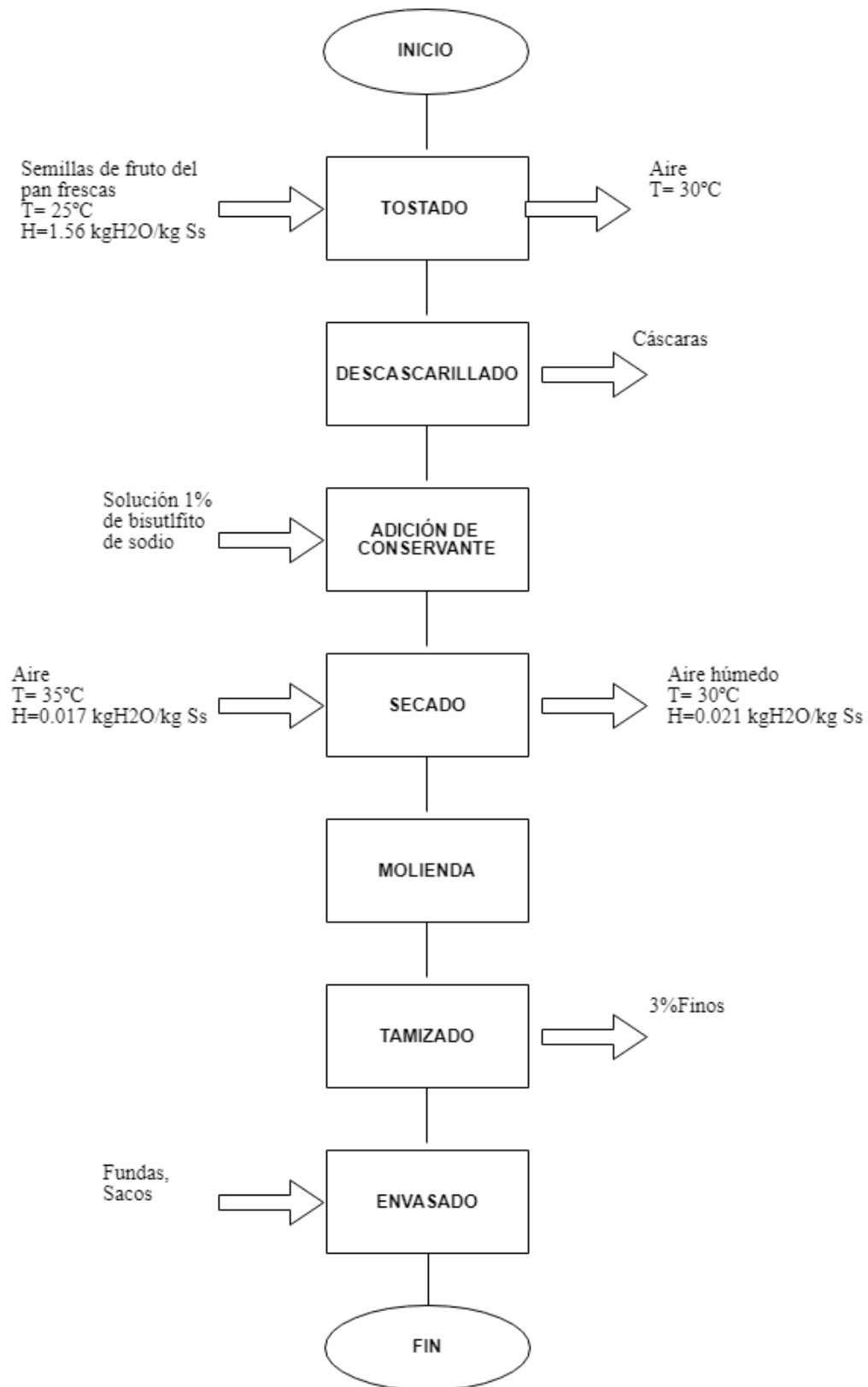


Gráfico 3-6: Proceso de producción de harina de fruto del pan.

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.3.1. Descripción del diagrama

3.3.1.1. Tostado

La semilla de fruto del pan ingresa por lotes de 125 kg/h a la operación de tostado tras una inspección organoléptica preliminar y control de la humedad inicial de las semillas es crucial debido a que el tiempo de secado depende directamente de este parámetro. La humedad se controlará con un medidor de humedad para granos, y debe ser menor al 61%. Una vez superada la inspección inicial las semillas serán trasladadas al tostador durante 15 min hasta que su cáscara sea removible. Una vez completado el proceso las semillas serán trasladadas a una mesa de trabajo por los operadores.

3.3.1.2. Descascarillado

Las semillas tostadas serán desprendidas de su cáscara la misma que se desechará. Además, los obreros se encargarán de trocearlas con la finalidad de aumentar su superficie de contacto durante la operación de secado.

3.3.1.3. Adición de conservante.

Las semillas descascarilladas serán colocadas dentro de coladores de aluminio y sumergidas en un tanque que contiene una solución 1% de bisulfito de sodio con la finalidad de evitar el pardeamiento de estas. Tras sumergirlas serán escurridas y alimentadas al secador de lecho fluidizado.

3.3.1.4. Secado

El secado es la operación crítica del proceso estipulado debido a que su tiempo promedio es de 5.44 horas, por tal razón esta parte del proceso se realizará en dos jornadas con la finalidad de producir 2 lotes diarios de harina. El tiempo empleado se debe tanto a la reducción significativa en la humedad de las semillas que va desde 1.415 kgH₂O/ kgSs hasta 0.054 kgH₂O/ kgSs, como al empleo de una temperatura relativamente baja de 35°C suministrada por el flujo de aire de 1654.4 kg/h. El valor alto del flujo másico se debe a la alta humedad relativa promedio del aire en la zona geográfica donde se propone la instalación de la planta.

3.3.1.5. Molienda

El proceso requiere la disminución del tamaño de partícula desde un promedio de 6.79 mm de diámetro hasta 0.127 mm, con la finalidad del cumplimiento de la norma NTE INEN 616: Harina de Trigo: Requisitos (Tomada como referencia por falta de normativa de harina de fruto del pan). Esta normativa estipula que el 95% de partículas de la harina deben pasar por un tamiz de 212 μm . El análisis granulométrico de la harina de semillas de fruto del pan con el uso de un molino de tornillo sinfín demuestra que se retiene un 1.969% en el tamiz mencionado. Por tal motivo se requiere de un molino de este tipo con un motor de 5Hp, 1800rpm y capacidad para 29.03 kg/lote.

3.3.1.6. Tamizado

El tamizado se llevará a cabo en una criba vibratoria acoplada al molino con una luz de malla de 212 μm y de capacidad de 0.03 m^3 .

3.3.1.7. Envasado

La harina producida será vendida en presentaciones de 1kg y 0.5kg, en fundas de polietileno, con envasado manual.

3.3.2. *Materia prima, insumos y materiales*

El proceso de obtención de harina de fruto del pan a seguir requiere asegurar proveedores para los siguientes elementos necesarios para la manufactura del producto final:

Tabla 3-23: Especificación de la materia prima, insumos y materiales de proceso.

MATERIA PRIMA	Semillas de fruto del pan	Serán provistas por agricultores de la zona
INSUMOS	Conservante	Bisulfito de sodio
	Diluyente del conservante	Agua destilada
MATERIALES	Bolsas plásticas	De 1 kg y 0.5kg de capacidad

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.3.3. Validación del proceso

El proceso fue validado mediante el contraste del análisis proximal del producto terminado con proyectos previos y bibliografía sobre la harina del fruto del pan debido a que este producto en particular carece de normativa para su reglamentación.

Los resultados del análisis proximal realizado en el laboratorio SAQMIC se compararon con la tabla 3.3 de resultados previos para a experimentación con harina de fruto del pan:

Tabla 3-24: Contraste de resultados del análisis proximal de la harina de semillas de fruto del pan con resultados previos.

Parámetros	Método/Norma	Unidad	Resultado (Secado Fluidización)	Resultado (Secado Bandejas)	Rango	
					Min	Max
Humedad	INEN 540	%	5.11	16.29	4.40	8.20
Proteína	INEN 543	%	13.88	10.05	11.40	19.50
Fibra	INEN 522	%	11.21	11.09	8.32	12.01
Grasa	INEN 523	%	3.62	2.56	3.17	27.62
Ceniza	INEN 544	%	3.01	3.50	2.98	3.60
Carbohidratos	-	%	63.17	56.51	63.51	72.84

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

Además, se realizó la determinación de parámetros microbiológicos de la harina de semillas de fruto del pan, contrastándola con la norma NTE INEN 616: Harina de Trigo. Requisitos:

Tabla 3-25: Contraste de resultados del análisis microbiológico de la harina de semillas de fruto del pan con normativa de harina de trigo.

Parámetros	Método/Norma	Unidad	Resultado	Rango	
				Min	Max
Mohos y levaduras	INEN 1529-10	UFC/g	80	1E3	1E4
Coliformes totales	INEN 1529-7	UFC/g	5	<10	19.50

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.4. Dimensionamiento de la planta

La planta necesaria para el procesamiento de semillas de fruto del pan contará con el terreno descrito en la línea base de 1491.72 m² ubicado en la parroquia Las Villegas, cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo el cual fue escogido debido a su ubicación estratégica para el acopio de materia prima.

Las áreas requeridas para el correcto funcionamiento de la fábrica se detallan a continuación:

- **Área de recepción de materia prima:** Es el área donde se recolecta las semillas de fruto del pan, se realiza una inspección organoléptica y control de humedad.
- **Área de producción:** En esta área se encuentran la línea de producción de harina, con una disposición que permita la facilidad de limpieza, movilidad de personal y reducción de los tiempos de cada operación. Esta área debe tener comunicación directa con el almacenamiento de materia prima, insumos y producto terminado
- **Área de almacenamiento de materia prima e insumos de producción:** Esta área tiene como objetivo brindar las condiciones de aireación necesarias para mantener las semillas de fruto del pan en buenas condiciones para su procesamiento. Además, de ser el almacén del conservante y el agua destilada. Debe tener espacio libre para la movilización entre la recepción de materia prima y el área de producción.
- **Área de almacenamiento de producto terminado:** Esta área está destinada al acopio de la harina hasta su distribución. Es indispensable en esta bodega el control de plagas y cuidados necesarios para evitar la contaminación del producto final.
- **Oficinas:** En este lugar se controla las funciones administrativas y de contabilidad de la planta.

3.5. Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria.

Los equipos necesarios en el proceso se detallan a continuación:

Tabla 3-26: Detalle de equipos necesarios para el proceso de producción de harina.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
TOSTADOR	Es un equipo manufacturado con acero inoxidable AISI 304 de grosor de 18 mm que tiene la finalidad de facilitar la remoción de cáscaras de las semillas.	Diámetro: 1.1m Longitud de las aspas: 0.55 m Capacidad de la niquelina: 0.15 kW Altura del soporte: 1 m
TANQUE PARA ADICIÓN DE CONSERVANTE	Es un equipo manufacturado con acero inoxidable AISI 304 de grosor de 18 mm cuya finalidad es contener una solución de bisulfito de sodio 1% al 64% de capacidad para evitar derrame. Su utilidad es para sumergir las semillas descascarilladas y evitar su pardeamiento	Diámetro interno: 0.50 m Altura del tanque: 0.9 m Diámetro externo: 0.536 m
SECADOR	Es un secador de lecho fluidizado utilizado para reducir la humedad de las semillas hasta el punto de equilibrio y permitir su molienda en seco. El equipo deberá ser de acero inoxidable AISI 304	Flujo de aire: 1654.4 kg/h Calor requerido: 4.67 kW Altura del lecho: 1.38m Diámetro del lecho: 0.30m Diámetro de la tubería de suministro de aire: 2 inch Temperatura de secado: 35°C Altura de sección uniformadora: 0.35m
MOLINO	Es un molino de tornillo sinfín utilizado para reducir el tamaño de las semillas secas hasta la granulometría normalizada para la harina, es decir 212µm. El molino debe ser adquirido con una manga para acoplarse a la boca del tamiz.	Porcentaje de finos: 3% Potencia del motor: 4 Hp Altura de la tolva: 0.52m Generatriz de la tolva: 1.53m Longitud del área de extrusión: 0.45m Revoluciones del motor: 1800 rpm
TAMIZ	Se utilizará una criba vibratoria circular que será acoplada al molino	Luz de malla: 212 µm Diámetro: 0.50m

	mediante una manga. En la salida del tamiz los operarios llenarán las fundas de 0.5 kg y 1 kg	Superficie: 0.194m ² Revoluciones del motor: 1300 rpm Potencia del motor: 0.25 Hp
MÁQUINA SELLADORA	Se utilizará una máquina selladora de fundas plásticas.	Longitud del área de sellado: hasta 20 cm. Ancho del área de sellado: 3 mm

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

El control de calidad de materia prima y producto terminado que se realizará dentro de la fábrica es el control de humedad, para esta utilidad se adquirirá una máquina medidora de humedad en granos.

3.6. Análisis costo/beneficio del proyecto

3.6.1. Costo de los equipos

A continuación, se presenta el costo de los equipos y materiales necesarios para la producción de harina de pan, cabe recalcar que estos valores se los obtuvo de algunas proformas y mercado libre ecuador por lo tanto son valores estimados.

Tabla 3-27: Costos de los equipos y materiales usados en el proceso

Equipo	Cantidad	Costo (\$)
Secador de lecho fluidizado	1	8000
Molino de tornillo sin fin	1	4800
Mesa de trabajo	1	600
Tanque	1	800
Tamiz	1	600
Tostador	1	900
Canastas plásticas	10	80
Coladores industriales	3	60
Cuchillos	4	40
Medidor de humedad para granos	1	30
Máquina selladora	1	1600
TOTAL		17510

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.6.2. Costo de la materia prima

Se presenta los costos de la materia prima para la producción de harina de pan en dos presentaciones en fundas de 1Kg y 0,5 Kg, cabe mencionar que diariamente se producirán dos lotes, la producción de la mañana destinada a la presentación de 1 Kg y la producción de la tarde destinada a la presentación de 0,5 Kg.

Tabla 3-28: Costo de la materia prima para producir fundas de harina de 1 Kg

Materia prima	Cantidad	Unidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Semillas del fruto del árbol de pan	4,5	Kg	0,35	1,58
Aditivos				
Solución de bisulfito de sodio	0,0045	Kg	1,25	0,006
Agua destilada	0,45	L	0,78	0,35
Insumos				
Fundas de polietileno de 1kg etiquetadas	1	Unidades	0,19	0,19
TOTAL				2,12

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

Tabla 3-29: Costo de la materia prima para producir fundas de harina de 0,5 Kg.

Materia prima	Cantidad	Unidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Semillas del fruto del árbol de pan	2,23	Kg	0,35	0,78
Aditivos				
Solución de bisulfito de sodio	0,00223	Kg	1,25	0,003
Agua destilada	0,223	L	0,78	0,17
Insumos				
Fundas de polietileno de 1kg etiquetadas	1	Unidades	0,10	0,10
TOTAL				1,06

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

El proceso de producción genera por lote 28 Kg de Harina a partir de 125 Kg de semilla del fruto de pan, a continuación, se muestra los costos para la producción de un lote de harina en presentación de 1 Kg.

Tabla 3-30: Costo de la materia prima por lote de 1 Kg.

Materia prima	Cantidad	Unidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Semillas del fruto del árbol de pan	125	Kg	0,35	43,75
Aditivos				
Solución de bisulfito de sodio	0,125	Kg	1,25	0,16
Agua destilada	12,5	L	0,78	9,75
Insumos				
Fundas de polietileno de 1kg etiquetadas	28	Unidades	0,19	5,32
TOTAL				58,98

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

En la siguiente tabla se muestra los costos para la producción de un lote de harina de 0,5 Kg

Tabla 3-31: Costo de la materia prima por lote de 0,5 Kg.

Materia prima	Cantidad	Unidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Semillas del fruto del árbol de pan	125	Kg	0,35	43,75
Aditivos				
Solución de bisulfito de sodio	0,125	Kg	1,25	0,16
Agua destilada	12,5	L	0,78	9,75
Insumos				
Fundas de polietileno de 1kg etiquetadas	56	Unidades	0,10	5,6
TOTAL				59,26

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.6.3. Costo de mano de obra

El costo de la mano de obra directa es decir que interviene directamente en el área de producción, se considera tomando en cuenta que el personal labora 25 días al mes.

Tabla 3-32: Costo de mano de obra.

Personal	Cantidad	Salario unitario (\$)	Salario mensual (\$)
Técnico	1	600	600
Operario	5	386	1930
TOTAL			2530

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.6.4. Costo de los análisis de laboratorio

Se da a conocer el costo de los análisis de laboratorio, basados en la cotización de un laboratorio acreditado, cabe recalcar que los análisis de laboratorio se realizarán una vez al mes.

Tabla 3-33: Costo de los análisis de laboratorio.

Análisis de Laboratorio	Costo (\$)
Análisis proximal de la materia prima	150
Análisis proximal de la Harina de pan	100
Análisis microbiológico de la Harina de pan	60
TOTAL	310

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.6.5. Costos fijos

Se presenta los costos de la materia prima, mano de obra y otros gastos que no interviene directamente en el proceso. Se considera el costo del combustible usado para camioneta que adquirirá la empresa, en este caso se usará diésel que en el Ecuador tiene un valor de \$1,05 por galón, se presupuesta que diariamente de usará \$4,00 considerando que se trabajará 25 días al mes.

En relación con los servicios básicos se presupuestó el pago de agua luz y teléfono, considerando que todos los equipos a usarse son eléctricos, además se asignó presupuestos aceptables para vallas publicitarias, propaganda y algunos suministros de oficina

Tabla 3-34: Costos fijos.

Materia prima indirecta	
Rubros	Valores por mes (\$)
Combustible	100
Mano de obra indirecta	
Secretaria	386

Otros gastos	
Servicios básicos (agua, luz, teléfono)	500
Publicidad	100
Suministros de oficina	50
TOTAL	1136

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.6.6. Muebles y enseres

Tabla 3-35: Costo de los muebles y enseres.

Área de producción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Estanterías	2	100	200
Área administrativa	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Escritorio	2	150	300
Sillas	2	50	100
TOTAL			600

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

3.6.7. Presupuesto de producción

Para obtener el precio de venta del producto final se tomó en consideración los costos de la materia prima directa detallados en las tablas 3-30 y 3-31, además de la utilidad para la fábrica de un 20%, en un escenario de producción de 25 días al mes. La empresa va a lanzar al mercado dos presentaciones de harina de pan, una funda de 1 Kg y otra de 0,5 Kg las cuales tendrán distintos precios de expedición.

Tabla 3-36: Relación costo-beneficio para producción de harina de pan.

Cantidad de harina a producir por día (Kg)	Cantidad de producción de fundas de 1Kg	Costo por unidad de fundas de 1Kg (\$)	Cantidad de producción de fundas de 0,5Kg	Costo por unidad de fundas de 0,5 Kg (\$)	Total de ingresos vendido (\$)
56	28	5,00	56	2,50	280
Ingresos (\$)					
Diario	Mensual			Anual	
280	7000			84000	
Egresos (\$)					
Diario	Mensual			Anual	

118,24	2956	35472
Ganancia (\$)		
Diario	Mensual	Anual
161,76	4044	48528

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

El proceso genera 28 Kg de harina de pan por lote, diariamente se va procesar 2 lotes, por lo tanto diariamente se genera 56 Kg, de los cuales el 50% de la producción es destinado a fundas de 1Kg y el otro 50% a fundas de 0,5Kg a un costo por unidad de \$5,00 y \$2,50 correspondientemente, en un escenario optimista en donde se venda todo lo que se produzca se tendrá un ingreso diario de \$280 y una cantidad de egresos de \$118,24 por lo tanto una ganancia de \$161,76 cada día, realizamos una proyección mensual y anual donde se puede evidenciar que se tendrá un total de ganancias de \$48528, cabe mencionar que esta proyección solo se basa en los costos de producción.

Tabla 3-37: Presupuesto total anual para la producción de harina de fruto de pan.

Rubros	Inicial	1er año	2do año
Ingresos			
Ventas netas	-	84000	122849,76
Egresos			
Materia prima fundas de 1Kg (Tasa de inflación 0,0159)	-	636,49	646,61
Materia prima fundas de 1Kg (Tasa de inflación 0,0159)	-	317,17	322,21
Mano de obra	-	30360	30842,72
Inversión en equipos y materiales	-17510	-	-
Mantenimiento y seguros de los equipos	-	328,8	334,03
Depreciación de los equipos (a 5 años-20%)	-	3182	6364
Sueldos (Secretaria)	-	4632	4705,65
Combustible	.	1200	1219,08
Suministros de oficina	-	600	609,54
Servicios básicos	-	6000	6095,4
Permisos de funcionamiento(RISE)	-	146,4	148,73
Análisis de laboratorio	-	3720	3779,15
Transporte	-	600	609,54
Publicidad	-	100	101,59
Intereses Bancarios	-	100	100
Muebles y enseres	-600	-	-
Inv. Terreno y obra física	-70000	-	-
Vehículo	-40000	-	-
Capital socio/Préstamo	+50000	-	-

TOTAL GANANCIAS	-78110,00	26703,38	26080,92
FLUJO ACUMULADO	-78110,00	-51406,62	

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

Para la implementación de la planta de producción de harina de pan se necesita una inversión inicial de \$128110 tomando en cuenta que el capital socio es de \$50000 la inversión inicial disminuye a \$78110 este valor abarca valores de adquisición de equipos, materiales, muebles, enseres, inversión de terreno, obra física y la adquisición de 2 camionetas. Se puede evidenciar el flujo de caja en un año en donde se considera como ingresos el valor de las ventas netas \$84000 y como egresos los costos de materia prima para las dos presentaciones del producto considerando una tasa de inflación anual de 0,0159, mano de obra, mantenimiento y seguros de los equipos, depreciación de los equipos a 5 años, sueldos, combustible, servicios básicos, permisos de funcionamiento(RISE), análisis de laboratorio, transporte considerando los imprevistos de funcionamiento, publicidad, de esta manera se determina una ganancia anual de \$26703,38 considerando el flujo acumulado se calcula que la inversión se recupera en aproximadamente 3 años.

El estudio financiero presenta un valor de VAN (Valor actual neto) \$29889,4 el cual representa la diferencia entre los ingresos y la inversión inicial, además el TIR (Tasa interna de retorno) 15,4% que comparado con la Tasa de Rendimiento del Mercado 12% quiere decir que conviene invertir en la empresa, ya que se obtendrá una rentabilidad mayor, por lo tanto se puede decir que el proyecto es económicamente rentable y producirá ganancias económicas una vez consolidado.

3.7. Cronograma de ejecución del proyecto

Tabla 3-38: Cronograma de ejecución del proyecto.

ACTIVIDADES	TIEMPO DE DURACIÓN																							
	1er mes				2do mes				3er mes				4to mes				5to mes				6to mes			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión Bibliográfica				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Selección de la materia prima				■	■																			
Selección de equipos necesarios electromecánicos necesarios para el proceso de elaboración de harina de las semillas del fruto de árbol de pan						■																		
Preparación de la semilla de pan (descascarado y secado)							■																	
Especificaciones técnicas del molino que finalmente se utilizará								■																
Desarrollo del proceso de obtención de harina									■	■	■													
Realización de Pruebas fisicoquímicas de la harina natural obtenido												■												
Ejecución y validación de los procesos que constituyen el diseño													■											
Realización del análisis proximal (humedad, fibra, proteína, ceniza, etc.)														■	■									
Estructuración del Trabajo de Titulación																		■	■	■				
Presentación del Trabajo de titulación.																					■			
Defensa del Trabajo de Titulación																							■	

Realizado por: Alex Aldaz, 2018.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El proceso de producción de harina a partir de semillas de fruto del pan empieza con la caracterización de la materia prima mediante un análisis proximal. El resultado de este análisis fue contrastado con proyectos técnicos previos sobre el tema y referencias bibliográficas (Benitez, 2011; Oshodi, et al., 1999 p. 403; Ragone, 2006). La humedad calculada con la aplicación del procedimiento establecido en de la norma NTE INEN-540.

La humedad inicial de las semillas de fruta de pan tuvieron un porcentaje de 61% este resultado fue alto lo que indica que la fruta tiene una gran cantidad de agua en su composición inicial. La importancia de conocer este valor es para futuros cálculos que queramos realizar de base fresca a base seca ya que tenemos resultados de las semillas de pan preparadas antes de ser molidas y de la harina obtenida de la molienda en el molino de tornillo sinfín y del tamizado de una torre de tamices.

El tostado es una operación que decidimos incluirla ya que facilita el descascarillado de las semillas de fruta de pan al someter las semillas a calor la remoción de la cascara es mucho más fácil esta operación se la llevó a cabo en un lapso de tiempo de aproximadamente 15 minutos.

El proceso de troceado favorece el tamaño ya que la condición inicial de las semillas recién sacados del racimo de la fruta es bastante grande y lo que hacemos es cortarlas para tener muestras más pequeñas que al ser después sometidas al proceso de secado su superficie de contacto sea mayor con la transferencia de calor que se da en esta operación.

Al ser inmersas las semillas de fruta de pan troceadas en una solución de bisulfito de sodio al 1% lo que buscamos es que sea un inhibidor de pardeamiento enzimático y también para aumentar el tiempo útil de la harina es decir como conservante.

Al realizar el proceso de molienda a nivel de laboratorio entran a ser molidas un total de 203g de semillas de frutas de pan preparadas y secas con un porcentaje de humedad de 5.11% realizados en el secador por fluidización. Al realizar el proceso de molienda en el molino de tornillo sinfín tenemos un peso de harina de fruta de pan de 189g lo que nos indica que se perdió un peso de 14g en el proceso y nos da un rendimiento del molino de un 93.10%.

El análisis proximal de las semillas preparadas troceadas nos dio los siguientes resultados: Humedad 5.05%, Proteína 12.57%, Cenizas 3.19%, Grasa 2.06%, Fibra 11.62%, y Carbohidratos 65.51%. Mientras que el análisis proximal de la harina de pan obtenida dio los siguientes resultados: Humedad 5.11%, Proteína 13.88%, Cenizas 3.01%, Grasa 3.62%, Fibra 11.21%, y Carbohidratos 63.17%.

En la determinación del análisis microbiológico realizada a la harina de fruta de pan obtenida por secado por fluidización nos dio que Mohos y Levaduras 80UFC/g, y Coliformes Totales 5 UFC/g. Dichos resultados fueron contrastados con la normativa NTE INEN 616:2015 sobre Harina de Trigo Requisitos por falta de normativa para harina de pan la norma de Mohos y Levaduras INEN 1528-10 tiene que ser mínimo 1×10^3 y máximo 1×10^4 y para Coliformes Totales INEN 1528-7 menor a 10. Lo que nos indica que el proceso para obtención de la harina de pan fue realizado de una forma higiénica y libre de contaminación.

La primera operación unitaria del proceso fue el tostado, la cual tuvo como objetivo utilizar un flujo de calor para facilitar la remoción de la cáscara de las semillas tratadas. Este es un proceso físico que disminuyó la humedad de las semillas hasta 58.6%, se partió de 770g de semilla fresca y se obtuvieron en promedio 725.5g. La operación consecuente fue el descascarillado, en esta parte del proceso se eliminan 329.5g de cáscara, la semilla también fue troceada en esta operación.

El secado es la parte crítica del proceso y fueron evaluados dos métodos: secado por bandejas y fluidización. La decisión del método a utilizar se hizo en base a la caracterización de la harina de semillas de fruto del pan en cada método. La harina de semillas de fruto del pan con un secado de lecho fluidizado (M1) se ha escogido sobre el proceso por bandejas (M2) por la diferencia en el parámetro de humedad.

La humedad de M1 es de 5.11% mientras que M2 es 15.68% de los valores obtenidos se puede deducir que para el rango bibliográfico entre 4-8.20% solo M1 cumple con este. Se obtuvieron 188.46g de sólido seco. El análisis de las curvas de secado permitió determinar el tiempo total de secado en 5.44h, para reducir la humedad absoluta de las semillas desde 1.415 hasta 0.054 kg H₂O/kg Ss. Los valores críticos de humedad absoluta y velocidad de secado son 0.947 kg H₂O/kg Ss y 3.565 kg/hm².

La molienda y el tamizado son las operaciones finales del proceso a pequeña escala. Las dos son operaciones complementarias y se aplicó un análisis granulométrico de la harina de semillas de fruto del pan. El porcentaje de finos del proceso es de 2% y se determinó que 98% de partículas pasan por un tamiz de 212 μ m.

La utilización de un molino de tornillo sinfín para esta operación se justifica porque se garantizó cumplimiento de la norma NTE INEN 616: Harina de Trigo: Requisitos (Tomada como referencia por falta de normativa de harina de fruto del pan), la cual estipula que el 95% de partículas de la harina deben pasar por un tamiz de 212 μm . El proceso requiere la disminución del tamaño de partícula desde un promedio de 6.79 mm de diámetro hasta 0.127 mm con un grado de desintegración de 34.47. El rendimiento de todo el proceso fue de 22.11%.

El dimensionamiento del proceso se hizo para el tratamiento de dos lotes diarios de semillas de fruto del pan de 125kg cada uno. Para este fin se necesitará un tostador de acero inoxidable AISI 304 de grosor de 18 mm que tiene la finalidad de facilitar la remoción de cáscaras de las semillas. Sus características técnicas son: Diámetro 1.1m, longitud de las aspas 0.55 m, capacidad de la niuelina 0.15 kW y altura del soporte 1 m. El descascarillado y troceado será manual.

La adición de conservante para el proceso industrial requerirá de un tanque manufacturado con acero inoxidable AISI 304 de grosor de 18 mm cuya finalidad es contener una solución de bisulfito de sodio 1% al 64% de capacidad para evitar derrame. Su utilidad es para sumergir las semillas descascarilladas y evitar su pardeamiento. Sus características técnicas son: Diámetro interno 0.50 m, altura del tanque 0.9 m y diámetro externo 0.536 m.

El secado de las semillas requerirá de un secador de lecho fluidizado y será utilizado para reducir la humedad de las semillas hasta el punto de equilibrio y permitir su molienda en seco. El equipo deberá ser de acero inoxidable AISI 304. Las características técnicas del equipo son: Flujo de aire 1654.4 kg/h, calor requerido 4.67 kW, altura del lecho 1.38m, diámetro del lecho 0.30m, diámetro de la tubería de suministro de aire 2 inch, temperatura de secado: 35°C y altura de sección uniformadora: 0.35m.

La molienda de las semillas secas requiere un molino de tornillo sinfín utilizado para reducir el tamaño de las semillas secas hasta la granulometría normalizada para la harina, es decir 212 μm . El molino debe ser adquirido con una manga para acoplarse a la boca del tamiz. Las características técnicas del equipo son: Potencia del motor 4 Hp, altura de la tolva 0.52m, generatriz de la tolva 1.53m, longitud del área de extrusión 0.45m, revoluciones del motor 1800 rpm.

El tamizado de la harina requiere una criba vibratoria circular que será acoplada al molino mediante una manga. En la salida del tamiz los operarios llenarán las fundas de 0.5 kg y 1 kg. Las características técnicas del equipo son: Luz de malla 212 μm , diámetro 0.50m, superficie 0.194m², revoluciones del motor 1300 rpm y potencia del motor 0.25 Hp. El envasado será manual

con el uso de una máquina selladora de fundas plásticas. Sus características técnicas son: Longitud del área de sellado hasta 20 cm y ancho del área de sellado 3 mm.

El análisis granulométrico fue realizado en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y el análisis microbiológico se realizó en el laboratorio SAQMIC. Estos dos análisis fueron contrastados con harina de trigo mediante la norma NTE INEN 616: Harina de Trigo. Requisitos. Los valores obtenidos fueron que 98.1% de partículas pasan por un tamiz de 212 μm , E. coli 5 UFC/g y para mohos y levaduras 80 UFC/g.

Para la implementación de la planta de producción de harina de pan se necesita una inversión inicial de \$128110 tomando en cuenta que el capital socio es de \$50000 la inversión inicial disminuye a \$78110 este valor abarca valores de adquisición de equipos, materiales, muebles, enseres, inversión de terreno, obra física y la adquisición de 2 camionetas. El proceso genera 28 Kg de harina de pan por lote, diariamente se va a procesar 2 lotes, por lo tanto diariamente se genera 56 Kg, de los cuales el 50% de la producción es destinado a fundas de 1Kg y el otro 50% a fundas de 0,5Kg a un costo por unidad de \$5,00 y \$2,50 correspondientemente. La ganancia anual se puede determinar en \$26703,38 considerando el flujo acumulado se calcula que la inversión se recupera en aproximadamente 3 años.

El estudio financiero presenta un valor de VAN (Valor actual neto) \$29889,4 el cual representa la diferencia entre los ingresos y la inversión inicial, además el TIR (Tasa interna de retorno) 15,4% que comparado con la Tasa de Rendimiento del Mercado 12% quiere decir que conviene invertir en la empresa, ya que se obtendrá una rentabilidad mayor, por lo tanto se puede decir que el proyecto es económicamente rentable y producirá ganancias económicas una vez consolidado.

CONCLUSIONES

- La caracterización de la semilla de fruto de pan seco y la humedad inicial se utilizó para calcular el análisis proximal de la muestra fresca. El análisis se comparó con referencias bibliográficas y se determinó que la humedad de la materia prima es mayor que los rangos referenciales. Los valores adicionales estuvieron dentro del rango.
- Las variables utilizadas para el tostado fueron flujo de calor y humedad absoluta en función de la temperatura y flujo másico; en el descascarillado rendimiento en función de flujo másico; en la adición de conservante volumen de solución conservante en función de flujo másico y concentración de conservante; en el secado velocidad de secado, velocidad de fluidización y humedad absoluta en función de tiempo de residencia, flujo másico y temperatura; en la molienda y tamizado la potencia del motor y rendimiento en función de diámetros de partícula y flujo másico.
- Se realizó el diseño de ingeniería para el proceso de producción de harina de semillas de fruto del pan con un secado por fluidización se determinó que el rendimiento del proceso es 22.11%. Este porcentaje es bajo debido al alto contenido de humedad inicial y porcentaje de cáscaras.
- El tostador requerido es de acero inoxidable AISI 304, Diámetro 1.1m, longitud de las aspas 0.55 m, capacidad de la niquelina 0.15 kW y altura del soporte 1 m. El descascarillado y troceado será manual.
- La adición de conservante para el proceso industrial requerirá de un tanque manufacturado con acero inoxidable AISI 304 de grosor de 18 mm y va a contener una solución de bisulfito de sodio 1% al 64% de capacidad, diámetro interno 0.50 m, altura del tanque 0.9 m y diámetro externo 0.536 m.
- El secado de las semillas requerirá de un secador de lecho fluidizado de acero inoxidable AISI 304, Flujo de aire 1654.4 kg/h, calor requerido 4.67 kW, altura del lecho 1.38m, diámetro del lecho 0.30m, diámetro de la tubería de suministro de aire 2 inch, temperatura de secado: 35°C y altura de sección uniformadora: 0.35m.
- La molienda de las semillas secas requiere un molino de tornillo sinfín utilizado para reducir el tamaño de las semillas secas hasta 212µm. Las características técnicas del

equipo son: Potencia del motor 4 Hp, altura de la tolva 0.52m, generatriz de la tolva 1.53m, longitud del área de extrusión 0.45m, revoluciones del motor 1800 rpm. El tamizado de la harina requiere una criba vibratoria circular que será acoplada al molino mediante una manga. Las características técnicas del equipo son: Luz de malla 212 μm , diámetro 0.50m, superficie 0.194m², revoluciones del motor 1300 rpm y potencia del motor 0.25 Hp. El envasado será realizado con una máquina selladora de fundas plásticas cuyas características del área de sellado son: Longitud hasta 20 cm y ancho 3 mm.

- El proceso de laboratorio fue validado mediante el análisis proximal, granulométrico y microbiológico del producto terminado. Al pasar las semillas de fruta de pan preparadas a la condición de harina realizada por secado por fluidización y un molino de tornillo sinfín podemos comparar que aumento el porcentaje de proteína subió su valor nutricional de 12.57% a 13.88%, y grasa de 2.06% a 3.52%, y disminuyó el porcentaje de fibra de 11.62% a 11.21%, y de carbohidratos de 65.51% a 63.17%. Estos valores se dan por la pérdida de sustancias en el tamizado.
- Considerando los valores nutricionales de la harina de trigo Requisitos NTE INEN 616 para proteína, grasas y carbohidratos digeribles deben estar dentro de este rango: proteínas mínimo un 9%, para grasas mínimo 3.17% y máximo 27.62% y para carbohidratos digeribles mínimo 63.51% y máximo 72.84%. **Tabla 3-24.** Nuestro valor de proteína fue de 13.88%, el de grasas fue de 3.62 y el de carbohidratos digeribles de 63.17%. Lo que nos indica que a excepción del valor de carbohidratos que es mínimo todos los valores referencialmente están dentro del rango sugerido en la norma NTE-INEN 616 Requisitos para la harina de trigo. Sería adecuado realizar proteína verdadera en la harina de pan y de ratificarse el valor obtenido de proteína sería de estudiar la calidad de la proteína.
- La relación costo-beneficio para una producción de 14 fundas de 1kg y 28 de 0.5kg de harina diarios en la planta propuesta genera en el primer año de producción una ganancia \$26703,38 considerando el flujo acumulado se calcula que la inversión se recupera en aproximadamente 3 años. El producto será vendido en \$5,00 y \$2,50 correspondientemente.

RECOMENDACIONES

- La humedad y el porcentaje de cáscaras en las semillas frescas son las variables determinantes en el rendimiento bajo del proceso. Por lo tanto, se recomienda que la compra de semillas para el proceso exija parámetros rigurosos de humedad (menores al 50%) y si es posible ya descascarilladas.
- El troceado es muy importante ya que permite reducir el tamaño de las semillas hasta un tamaño más manejable y que sea más rápido su proceso de secado para posterior molienda.
- En la operación de tostado se recomienda una agitación constante para evitar la quema excesiva de las semillas y para que el calor se distribuya más uniformemente en la fruta de pan y esta facilite su descascarillado.
- Las ganancias obtenidas en el proceso pueden maximizarse si los equipos se utilizan para producir también otro tipo de harina que tenga materia prima cultivada en la zona y que no ocasione contaminación cruzada con la de fruto del pan.
- El cultivo de fruto del pan debe incentivarse en la zona para garantizar proveedores seguros para el proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- **Acero, Luis**, "Guía para el cultivo y aprovechamiento del árbol del pan" *SECAB, Ciencia y Tecnología*. [En línea], 1994, (Colombia), 72, pp. 20-56. [Consulta: 7 Septiembre 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books>.
- **Benitez, Francisco**, Desarrollo del proceso de elaboración de harina del fruto de las semillas del árbol de pan (*Artocarpus camansi*) y determinación de una mezcla nutritiva con harina de soya (*Glycine max L*) para uso humano. [En línea] (Tesis) (PreGrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2011. pp. 1-121 [Consulta: 16 Septiembre 2018] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2745/1/CD-3407.pdf>.
- **Bennet, F. & Nozzolillo, C**, How many seed in a seeded breadfruit, *Artocarpus altilis*. *Economic Botany*, [En línea] 1987 (Estados Unidos de America) 41(3), pp. 370-374. [Consulta: 16 Septiembre 2018] Disponible en: https://www.jstor.org/stable/4254987?seq=1#page_scan_tab_contents.
- **Blanco, Emilio**, *Tecnología metalúrgica: Clasificación y Cribado*. [En línea]. España; Universidad de Cantabria, 2014. [Consulta: 09 Octubre 2018] Disponible en: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/9.clasificacion_cribado.pdf.
- **Charley, Helen**, *Tecnología de Alimentos: Procesos Químicos y Físicos En La Preparación de Alimentos* 1 ed. México: Limusa. 2004 pp. 1-767
- **Delgadillo, Jeannette**, Diseño de una instalación versátil para el estudio hidrodinámico de lechos de combustibles forestales. (Tesis) (PreGrado) [En línea] Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial, Barcelona, España. 2013. pp. 1-83 [Consulta: 28 Septiembre 2018] Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20607/00_Memoria_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- El riego.com, *Número de mesh*. [En línea] Madrid, España. [Consulta: 9 Octubre 2018] Disponible en: <http://elriego.com/numero-de-mesh/>

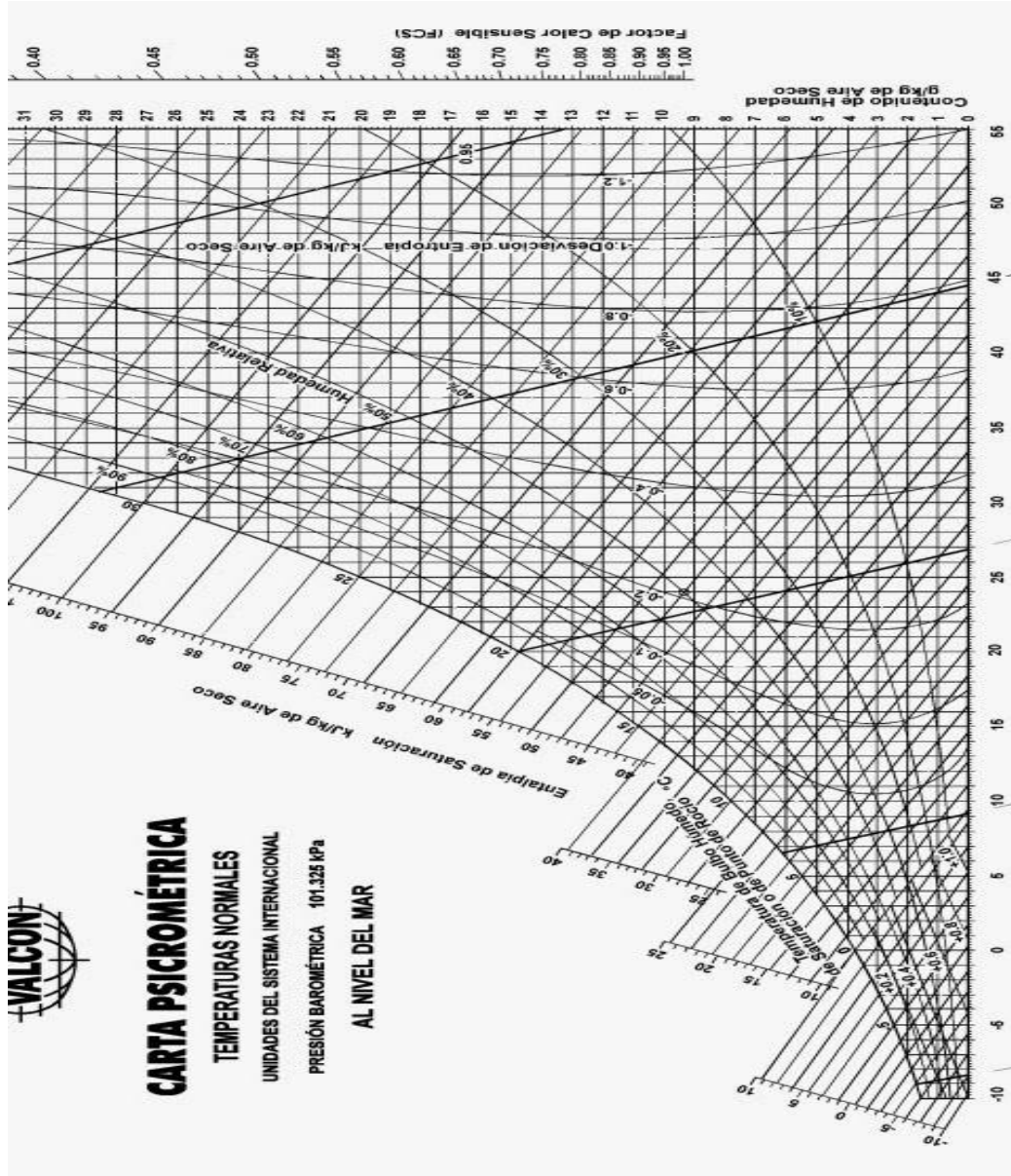
- **Olvera, Angel.** *Food and Agriculture Organization for United Nations.* [En línea] MEXICO, D.F. 1993, Analisis Proximales. [Consulta: 16 Septiembre 2018] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB489S/AB489S03.htm#ch3.1>
- **CODEX STAN 152-1985: NORMA DEL CODEX PARA LA HARINA DE TRIGO.** [En línea] Disponible en: http://www.fao.org/input/download/standards/50/CXS_152s.pdf
- **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION FOR UNITED NATIONS,** *Fichas técnicas para productos frescos de frutas.* [En línea] 2015. CODEX STAN 152-1985 [Consulta: 05 Septiembre 2018] Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-au173s.pdf>
- **Garófalo, Geovanny., Chasi, Magaly. & Cepa, Alicia.** Servicio de Acreditación Ecuatoriano. (Tesis) (PreGrado) [En línea] Universidad Central, Quito, Ecuador. 2016. pp1-20 [Consulta: 16 Septiembre 2018]. Disponible en: http://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/2016/10/OSP-UCE-v2-aa_m-o_26julio2016.pdf
- **GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA CONCORDIA,** *La Concordia: Alcaldía del Pueblo.* [En línea] La Concordia, Santo Domingo, Ecuador. 2016. [Consulta: 05 Septiembre 2018] Disponible en: <http://www.laconcordia.gob.ec/laconcordia/index.php/la-ciudad/geografia/clima-y-recursos-hidricos>
- **Guayllas, Luis. & Montero, Jose.** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS CON TAMIZ INTERCAMBIABLE, PARA PULVERIZAR YESO CRUDO. (Tesis) (PreGrado) [En línea] Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. [Consulta: 28 Septiembre 2018]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/2029/1/96T00171.pdf>

- **Haider, A. & Levenspiel, O.**, *Powder Technology*. [En línea] Segunda ed. Estados Unidos: s.n. 2008 [Consulta: 16 Septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.wiley.com/en-us/Introduction+to+Particle+Technology%2C+2nd+Edition-p-9780470014288>
- **Heldman, Dennis. & Singh, Paul**, *Food Process Engineering* [En línea] . Segunda ed. Paises Bajos, Holanda. Dordrecht: Springer, 1981 pp. 261-331. [Consulta: 16 Septiembre 2018]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=q5zuCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Food+Dehydration.+In:+Food+Process+Engineering.&ots=CsC7FiWmzJ&sig=4RtSNb9eJSU6mth_mT-SdZM9Lfg#v=onepage&q&f=false.
- **INEC**, *Censo Nacional Agropecuario*, [En línea] Primera ed. La Concordia, Ecuador. 2010 [Consulta: 16 Septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-nacional-agropecuario/>
- **INEC**, *Sistemas Nacional de Informacion*. [En línea] Primera ed. Santo Domingo, Ecuador. 2010 [Consulta: 05 Septiembre 2018]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/2302_LA%20CONCORDIA_SANTO%20DOMINGO%20DE%20LOS%20TSACHILAS.pdf
- **NTE INEN 616: Harina de trigo. Requisitos**. [En línea] Cuarta ed. Quito, Ecuador. 2015 [Consulta: 26 Septiembre 2018] Disponible en: <https://edoc.site/nte-inen-616-4pdf-pdf-free.html>
- **Kunii, Daizo. & Levenspiel, Octave.**, *Fluidization Engineering*. [En línea] Segunda ed. Reed Publishing. Estados Unido, 1991. [Consulta: 26 Septiembre 2018] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780080506647/fluidization-engineering#book-description>
- **Morton, Julia**. *Breadfruit*. [En línea] Miami, FL, Fruits of warm climates, 1987. [Consulta: 08 Septiembre 2018] Disponible en: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/breadfruit.html#FoodUses>

- **Oshodi, A., Ipinmoroti, K. & Fagbemi, T.,** *Chemical composition, amino acid analysis and functional properties of breadnut (Artocarpus altilis) flour.* [En línea] Primera ed, Alemania, 1999. [Consulta: 08 Septiembre 2018] 43(6), pp. 402-405. Disponible en: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/\(SICI\)1521-3803\(19991201\)43:6%3C402::AID-FOOD402%3E3.0.CO;2-Y](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1521-3803(19991201)43:6%3C402::AID-FOOD402%3E3.0.CO;2-Y)
- **Quijano, Jairo. & Arango. Gabriel.,** *The Breadfruit from Colombia - a detailed chemical analysis.* [En línea] Segunda ed. Bogota 1997: Economic Botany. [Consulta: 08 Septiembre 2018] p.p. 199-202 Disponible en: https://www.jstor.org/stable/4254046?seq=1#page_scan_tab_contents
- **Ragone, Diane.,** *Artocarpus camansi, Breadnut.* [En línea] Primera ed. Puerto Rico, 2006 . [Consulta: 01 Octubre 2018] p.p. 1-11 Disponible en: <http://www.agroforestry.net/images/pdfs/A.camansi-breadnut.pdf>
- **Sanchez, Cristina.** *Estudio de mercado para la comercializacion de la fruta jackfruit en la parroquia Valle Hermoso.* [En línea] (Tesis) (PreGrado) Universidad Catolica del Ecuador, Santo Domingo. 2016. [Consulta: 05 Septiembre 2018] Disponible en: https://issuu.com/pucesd/docs/trabajo_de_titulacion_cristina_juli/20
- **TWC PRODUCT AND TECHNOLOGY LLC.** *The Weather Channel.* [En línea] La Concordia, Ecuador, 2018. [Consulta: 26 Septiembre 2018]. Disponible en: <https://weather.com/es-EC/tiempo/hoy/l/0.01,-79.39?par=google>
- **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA.** *Vam Industry.* [En línea] Barcelona, España, 2016. [Consulta: 23 Septiembre 2018] Disponible ent: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

ANEXOS

ANEXO A. Tabla psicrométrica



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input checked="" type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: ALDAZ ALEX	Tabla psicrométrica		
			ESCALA	FECHA	LÁMINA
			1:1	2018	1

ANEXO B. Caracterización de la materia prima seca.




EXAMEN BROMATOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS
CÓDIGO 142-18

CLIENTE: Sr. Alex Christopher Aldaz Toala		TELÉFONO: 2318657
DIRECCIÓN: Barrio 25 de noviembre		
TIPO DE MUESTRA: Semilla de Pan		
FECHA DE RECEPCIÓN: 15 de agosto del 2018		
FECHA DE MUESTREO: 15 de agosto del 2018		
EXAMEN FISICO		
COLOR: Característico		
OLOR: Característico		
ASPECTO: Normal, libre de material extraño		
PARAMETROS	MÉTODO	RESULTADO
Proteína %	INEN 543	12.57
Humedad %	INEN 540	5.05
Cenizas %	INEN 544	3.19
Grasa %	INEN 523	2.06
Fibra%	INEN 522	11.62
Carbohidratos %	-	65.51
OBSERVACIONES:		
FECHA DE ANÁLISIS: 15 de agosto del 2018		
FECHA DE ENTREGA 25 de septiembre del 2018		
RESPONSABLE:		
 		
Dra. Gina Álvarez R.		
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.		
*Las muestras son receptados en laboratorio.		


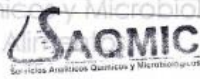
Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Contactanos: 0998580374 - 032 942 322
Riobamba - Ecuador

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Análisis proximal de la materia prima seca		
	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	REALIZADO POR: ALDAZ ALEX	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			1:1	2018	2

ANEXO C. Caracterización de la harina de semillas de fruto del pan con secado por lecho



EXAMEN BROMATOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS
CÓDIGO 142-18

CLIENTE: Sr. Alex Christopher Aldaz Toala		TELÉFONO: 2318657
DIRECCIÓN: Barrio 25 de noviembre		
TIPO DE MUESTRA: Harina M1		
FECHA DE RECEPCIÓN: 15 de agosto del 2018		
FECHA DE MUESTREO: 15 de agosto del 2018		
EXAMEN FÍSICO		
COLOR: Característico		
OLOR: Característico		
ASPECTO: Normal, libre de material extraño		
PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO
Proteína %	INEN 543	13.88
Humedad %	INEN 540	5.11
Cenizas %	INEN 544	3.01
Grasa %	INEN 523	3.62
Fibra%	INEN 522	11.21
Carbohidratos %	-	63.17
Mohos y levaduras UFC/g	INEN 1529-10	80
Coliformes totales UFC/g	INEN 1529-7	5
OBSERVACIONES:		
FECHA DE ANÁLISIS: 15 de agosto del 2018		
FECHA DE ENTREGA: 25 de septiembre del 2018		
RESPONSABLE:		
 		
Dra. Gina Álvarez R.		
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.		
*Las muestras son receptados en laboratorio.		

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Contactanos: 0998580374 - 032 942 322
Riobamba - Ecuador

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Análisis proximal y microbiológico de la harina de semillas de fruto del pan con secado por fluidización		
	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO APROBADO POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR POR VERIFICAR	REALIZADO POR: ALDAZ ALEX	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			1:1	2018	3

fluidizado.

ANEXO D. Caracterización de la harina de semillas de fruto del pan con secado de bandejas.



EXAMEN BROMATOLÓGICO DE ALIMENTOS **CÓDIGO 143-18**

CLIENTE: Sr. Alex Christopher Aldaz Toala		TELÉFONO: 2318657
DIRECCIÓN: Barrio 25 de noviembre		
TIPO DE MUESTRA: Harina M2		
FECHA DE RECEPCIÓN: 15 de agosto del 2018		
FECHA DE MUESTREO: 15 de agosto del 2018		
EXAMEN FÍSICO		
COLOR: Característico		
OLOR: Característico		
ASPECTO: Normal, libre de material extraño		
PARÁMETROS MÉTODO RESULTADO		
Proteína %	INEN 543	10.05
Humedad %	INEN 540	16.29
Cenizas %	INEN 544	3.50
Grasa %	INEN 523	2.56
Fibra%	INEN 522	11.09
Carbohidratos %	-	56.51
OBSERVACIONES:		
FECHA DE ANÁLISIS: 15 de agosto del 2018		
FECHA DE ENTREGA: 25 de septiembre del 2018		
RESPONSABLE:		
 Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos 		
Dra. Gina Álvarez R. El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables. *Las muestras son receptados en laboratorio.		

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
 Contactanos: 0998580374 - 032 942 322
 Rimacamba - Ecuador

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Análisis proximal y microbiológico de la harina de semillas de fruto del pan con secado de bandejas		
	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO APROBADO POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	REALIZADO POR: ALDAZ ALEX	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			1:1	2018	4

ANEXO E. Proceso de elaboración de harina a partir de semillas de fruto del pan

A.



B.



C.



D.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Análisis proximal y microbiológico de la harina de semillas de fruto del pan con secado de bandejas		
A. Tostado	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	REALIZADO POR: ALDAZ ALEX	ESCALA	FECHA	LÁMINA
B. Descascarillado	<input type="checkbox"/> APROBADO		1:1	2018	5
C. Adición de conservante.	<input type="checkbox"/> POR APROBAR				
D. Secado por fluidización	<input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR				

E.



F.

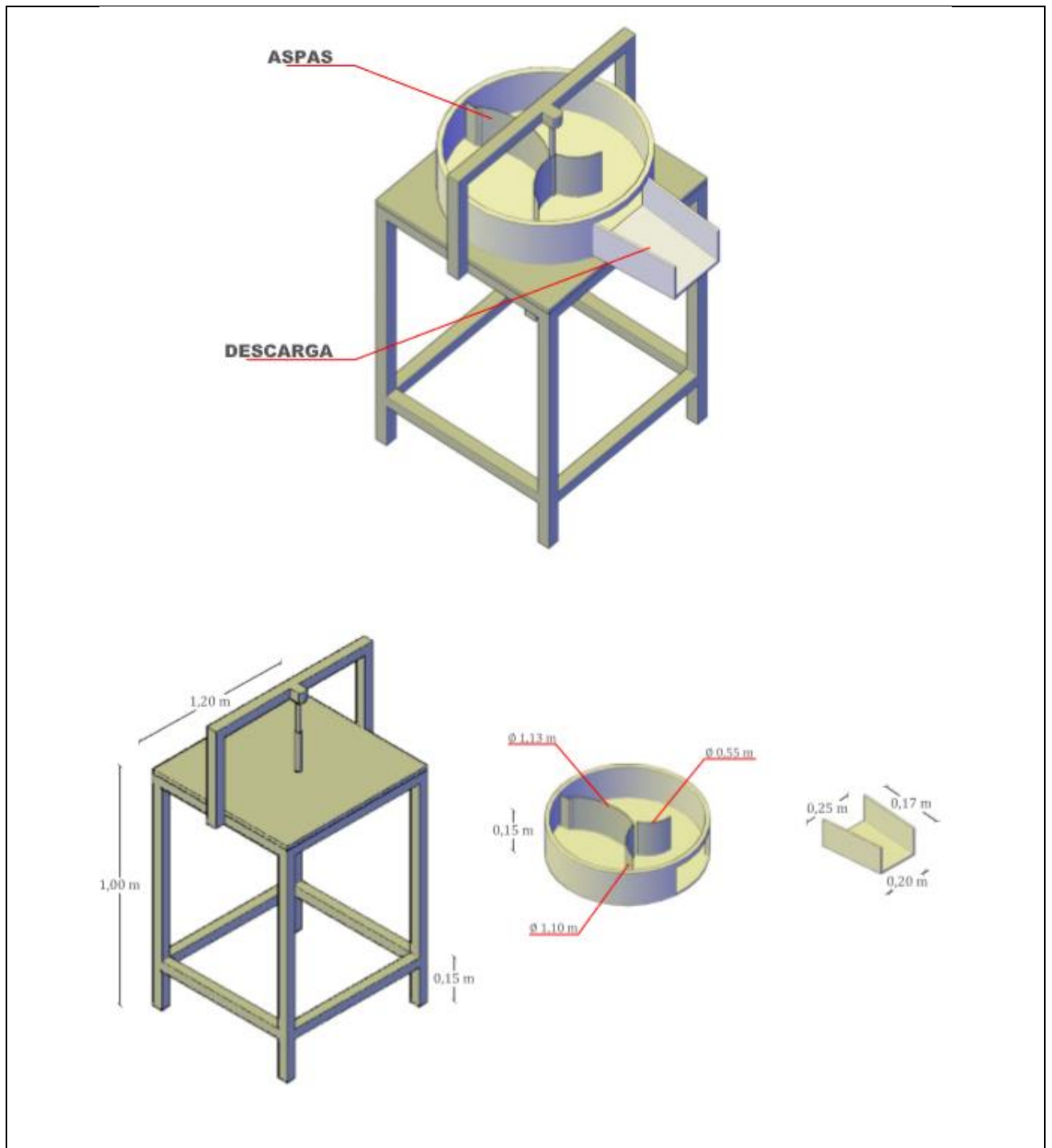


G.



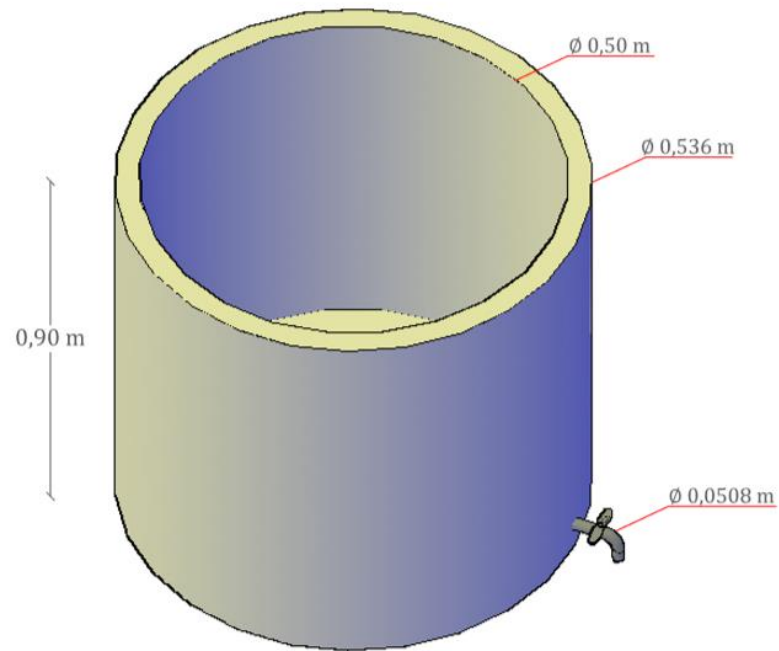
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: ALDAZ ALEX	Análisis proximal y microbiológico de la harina de semillas de fruto del pan con secado de bandejas		
E. Secado por fluidización. F. Molienda G. Tamizado.	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR		ESCALA	FECHA	LÁMINA
			1:1	2018	6

ANEXO F. Dimensionamiento del tostador.



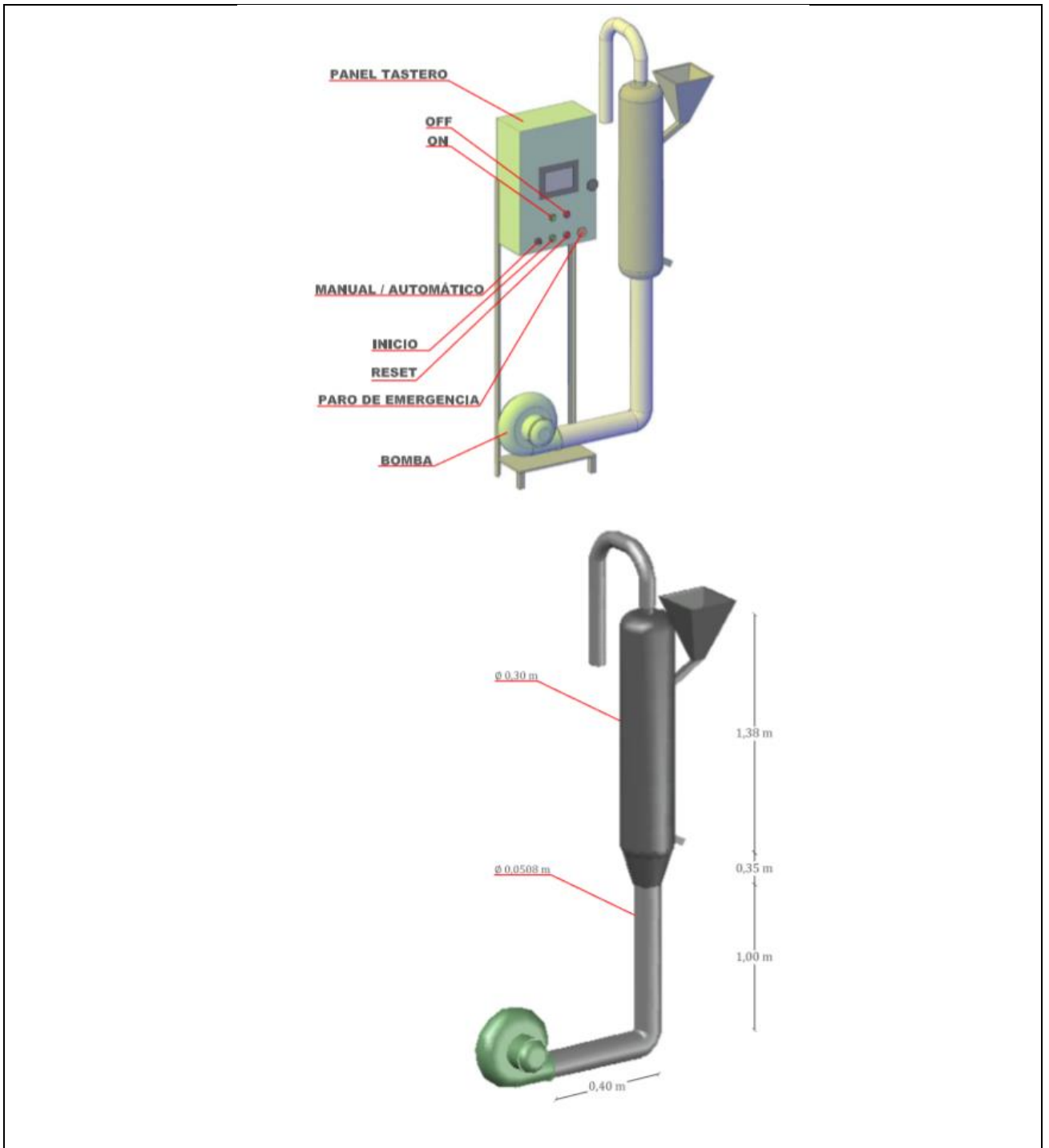
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Dimensionamiento del tostador		
	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR				

ANEXO G. Dimensionamiento del tanque de adición de conservante.



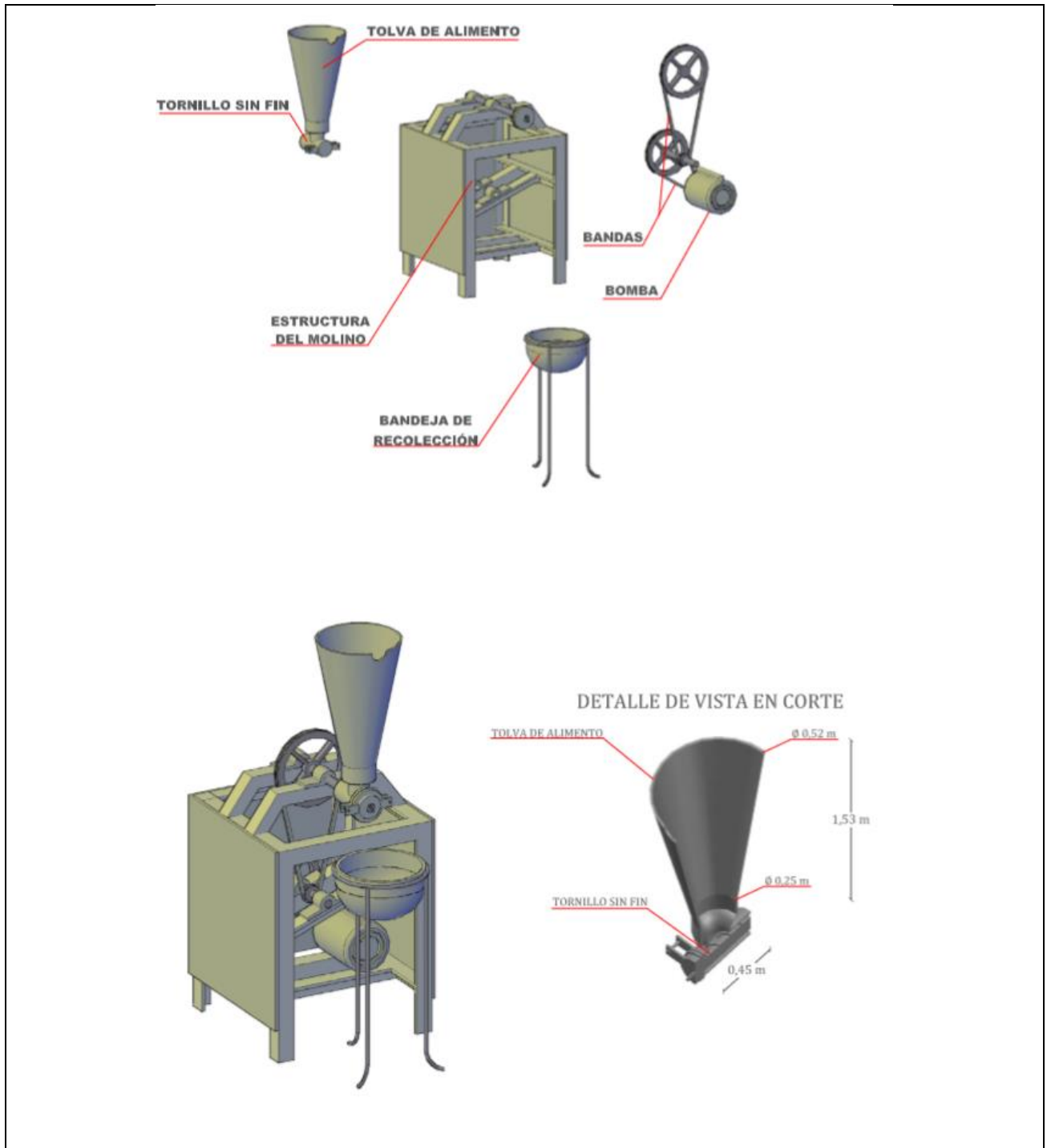
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: ALDAZ ALEX	Dimensionamiento del tanque de adición de conservante		
			ESCALA 1:1	FECHA 2018	LÁMINA 8

ANEXO H. Dimensionamiento del secador de lecho fluidizado.



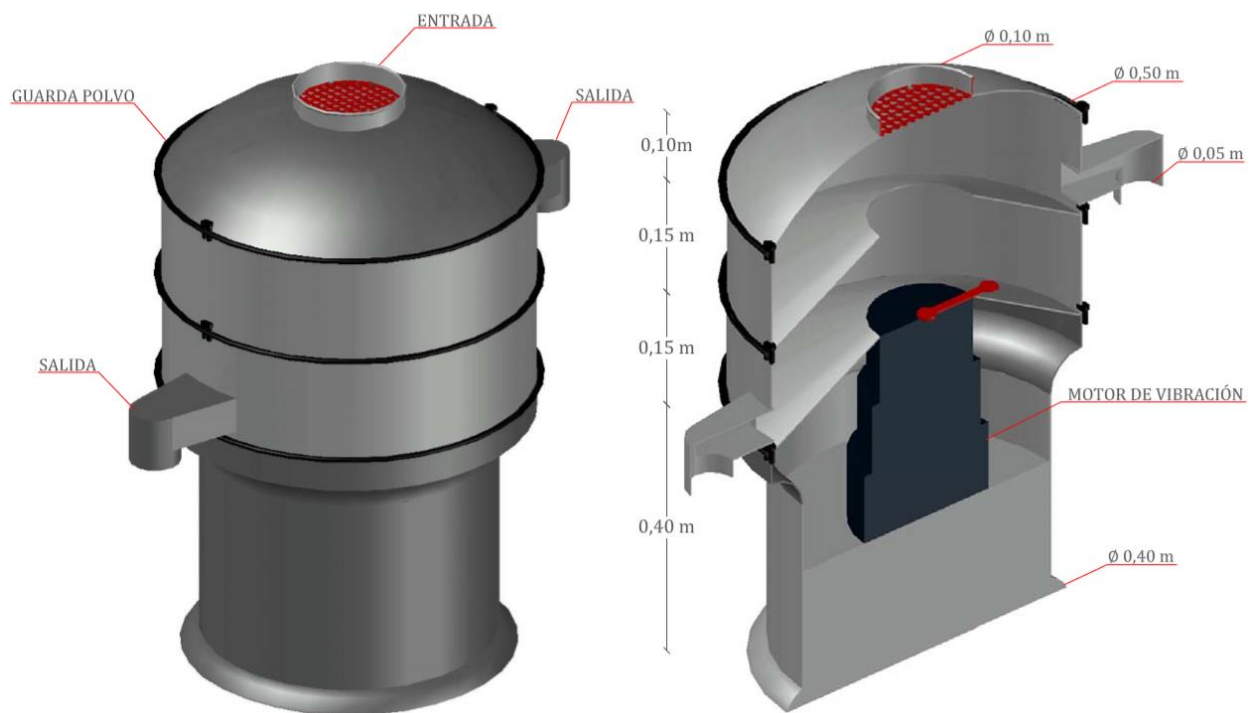
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Dimensionamiento del secador de lecho fluidizado		
	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR				

ANEXO I. Dimensionamiento del molino de tornillo sinfín.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Dimensionamiento del molino de tornillo sinfín		
	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR				

ANEXO J. Dimensionamiento del tamiz vibratorio.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	Dimensionamiento del tamiz vibratorio.		
	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	REALIZADO POR: ALDAZ ALEX	ESCALA 1:1	FECHA 2018	LÁMINA 11