



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA EN LA PRODUCCIÓN
DE HARINAS Y ELABORACIÓN DE ATOLES A PARTIR DEL MAÍZ
EN GRANO, POR MEDIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Leonel Fernando Morataya Véliz

Asesorado por la Inga. María Isabel Aguilera Quinteros

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA EN LA PRODUCCIÓN
DE HARINAS Y ELABORACIÓN DE ATOLES A PARTIR DEL MAÍZ
EN GRANO, POR MEDIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LEONEL FERNANDO MORATAYA VÉLIZ

ASESORADO POR LA INGA. MARÍA ISABEL AGUILERA QUINTEROS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Adrian Antonio Soberanis Ibañez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA EN LA PRODUCCIÓN DE HARINAS Y ELABORACIÓN DE ATOLES A PARTIR DEL MAÍZ EN GRANO, POR MEDIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 18 de noviembre de 2014.



Leonel Fernando Morataya Véliz

Guatemala, 6 de julio del 2015

Ingeniero

Víctor Manuel Monzón Valdez

Director

Escuela de Ingeniería Química

Estimado Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA EN LA PRODUCCIÓN DE HARINAS Y ELABORACIÓN DE ATOLES A PARTIR DEL MAÍZ EN GRANO, POR MEDIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO", desarrollado por el estudiante de Ingeniería Química Leonel Fernando Morataya Véliz, identificado con el carné universitario 2009-15639.

Me remito informarle, que después de haber realizado la revisión del respectivo informe final del trabajo de graduación y haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,


María Isabel Aguilera Quinteros
Ingeniera Química
Colegada No. 1660

Inga. María Isabel Aguilera Quinteros

Colegiado 1660

Asesor de Tesis



Guatemala, 10 de agosto de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.046.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **078-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Leonel Fernando Morataya Véliz**.
Identificado con número de carné: **2009-15639**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA EN LA PRODUCCIÓN DE HARINAS Y ELABORACIÓN DE ATOLES A PARTIR DEL MAÍZ EN GRANO, POR MEDIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **María Isabel Aguilera Quinteros**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


ING. Mercedes Esther Roquel Chávez
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.124.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **LEONEL FERNANDO MORATAYA VÉLIZ** titulado: **"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA EN LA PRODUCCIÓN DE HARINAS Y ELABORACIÓN DE ATOLES A PARTIR DEL MÁIZ EN GRANO, POR MEDIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO"**.
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale



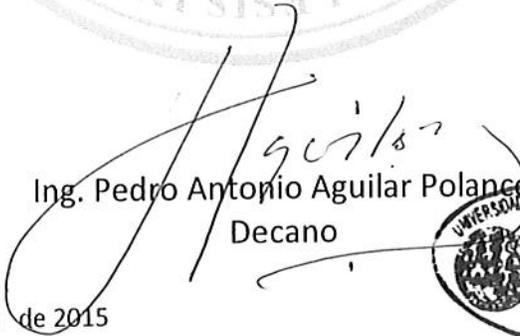
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Grado de Arquitectura y de Ingeniería





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA EN LA PRODUCCIÓN DE HARINAS Y ELABORACIÓN DE ATOLES A PARTIR DEL MAÍZ EN GRANO, POR MEDIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**, presentado por el estudiante universitario: **Leonel Fernando Morataya Véliz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2015



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por siempre estar en mi vida y la de mis seres queridos, protegiéndonos y guiándonos.
Jesús y Virgen María	Por siempre estar a mi lado en todo momento de mi vida y metas alcanzadas.
Mis padres	Jorge Morataya y Ricarda Véliz de Morataya, por su incondicional amor, apoyo, consejos que me han brindado y el esfuerzo que han hecho por mí.
Mis hermanos	Diana y Jorge Morataya Véliz, por siempre estar cuando les necesito y alegrar los días.
Toda mi familia	Por confiar en mí y por el apoyo que me han dado en mis estudios.
Mis amigos	Por siempre estar a mi lado y apoyarnos mutuamente a lo largo de nuestra carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Academia por excelencia en Guatemala.

Facultad de Ingeniería

Por otorgarme los recursos necesarios en mis actividades como estudiante.

Licda. Indra Flores

Por su amistad, asesoramiento y apoyo a la realización de mi trabajo de graduación en la empresa donde labora.

**Inga. María Isabel
Aguilera**

Por su asesoría, inmenso apoyo, múltiples y valiosas enseñanzas, consejos y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. El maíz.....	5
2.2. Reducción del tamaño de partícula	6
2.2.1. Mecanismos básicos de reducción de tamaño de partículas	7
2.3. Análisis realizados a las harinas y atoles.	8
2.3.1. Análisis granulométrico.....	8
2.3.2. Absorción de agua en harinas	10
2.3.3. Humedad en harinas.....	10
2.3.4. Peso hectolítrico	10
2.4. Tipos de molienda de maíz	11
2.4.1. Molienda húmeda de maíz.....	11
2.4.2. Molienda seca de maíz	12
2.5. Equipos utilizados en molienda seca para la obtención de harinas precocidas y harinas gruesas.	12

2.5.1.	Silos de almacenaje de maíz.....	13
2.5.2.	Separador.....	14
2.5.3.	Acondicionador.....	14
2.5.4.	Desgerminadora.....	15
2.5.5.	Extrusor.....	16
2.5.6.	Molino de martillo.....	17
2.5.7.	Molino de discos.....	18
2.5.8.	Molinos de rodillos.....	19
2.5.9.	Mezclador de cinta.....	20
2.6.	Productos de interés generados en la molienda seca.....	21
2.6.1.	Harinas precocidas.....	22
2.6.2.	Harina gruesa de maíz.....	22
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	25
3.1.	Definición de las variables del proceso.....	25
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	26
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	26
3.4.	Recursos físicos y materiales disponibles.....	27
3.4.1.	Recursos físicos disponibles.....	27
3.4.2.	Recursos materiales disponibles.....	27
3.4.2.1.	Materia prima.....	27
3.4.2.2.	Equipo.....	28
3.5.	Técnica cuantitativa y cualitativa.....	28
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	31
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	34
3.7.1.	Formularios de registro.....	34
3.8.	Análisis estadístico.....	36

3.8.1.	Promedio de una muestra	37
3.8.2.	Determinación de errores de muestreo	37
3.8.3.	Varianza	38
3.8.4.	Desviación estándar	38
3.8.5.	Índice de la capacidad de proceso	39
4.	RESULTADOS	43
4.1.	Variación en la granulometría de las harinas que influyen en los atoles e índices de capacidad de proceso para la harina precocida.	43
4.2.	Variaciones en los resultados obtenidos de granulometrías de harina precocida de maíz.....	45
4.3.	Variación de granulometría de las harinas obtenidas con materias primas de distintos orígenes en el producto terminado.....	48
4.4.	Evaluar las variaciones en contenido de humedad de harina precocida y atol.....	50
4.5.	Evaluar las variaciones en peso hectolitrico de maíz de diferente origen.....	52
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	53
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	APÉNDICES	67
	ANEXO	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura del grano de maíz	6
2.	Conversión de <i>mesh</i> a micrones, pulgadas y milímetros.	9
3.	Silo con aireación para almacenamiento de maíz.....	13
4.	Separador de granos	14
5.	Acondicionador de granos	15
6.	Desgerminadora de maíz	16
7.	Extrusor de maíz.	17
8.	Molino de martillo.	18
9.	Molino de discos.	19
10.	Molino de rodillos.	20
11.	Mezclador de cinta.	21
12.	Diagrama de proceso para producción de atol del maíz.	23
13.	Diseño general para la técnica cuantitativa.....	30
14.	Diagrama de recolección de información de granulometrías de harina precocida y atol	31
15.	Diagrama de recolección de información de contenido de humedad.	32
16.	Procedimiento de recolección de información para la determinación del peso hectolítrico.	33
17.	Comportamiento del Cpk dependiendo de su valor.	40
18.	Comparación de retenido <i>mesh</i> 45 de harina precocida y atol.	43

19.	Promedio de gramos retenidos en tamiz <i>mesh</i> 45 de harina precocida.	45
20.	Promedio de gramos retenidos en tamiz <i>mesh</i> 60 de harina precocida.	46
21.	Promedio de gramos retenidos en tamiz <i>mesh</i> 70 de harina precocida.	46
22.	Promedio de gramos no retenidos en tamiz <i>mesh</i> 70 de harina precocida.	47
23.	Porcentaje de gramos retenidos en <i>mesh</i> 45 de harina precocida obtenida con maíz proveniente de Sur América.	48
24.	Porcentaje de gramos retenidos en <i>mesh</i> 45 de harina precocida obtenida con maíz proveniente de Norte América.	48
25.	Porcentaje de gramos retenidos en <i>mesh</i> 45 de atol obtenido con maíz proveniente de Sur América.	49
26.	Porcentaje de gramos retenidos en <i>mesh</i> 45 de atol obtenido con maíz proveniente de Norte América.	49
27.	Porcentaje promedio de contenido de humedad para harina precocida en cada mes.	50
28.	Porcentaje promedio de contenido de humedad para el atol en cada mes.	51
29.	Comparación de peso hectolítrico del maíz de Sur América y Norte América.	52

TABLAS

I.	Equipos involucrados en la producción de atol de maíz.	24
II.	Variables del proceso.	25
III.	Clasificación de las variables en cuantitativas y cualitativas.	29

IV.	Formulario de registro de datos para granulometrías de harina precocida.....	34
V.	Formulario de registro de datos para granulometrías de atol.....	35
VI.	Formulario de recolección de datos de peso hectolítrico	36
VII.	Porcentaje de gramos retenidos promedio en tamiz <i>mesh</i> 45 para harina precocida y atol	44
VIII.	Índice de capacidad de proceso para cada tamiz utilizado en los meses evaluados.	44
IX.	Índice de capacidad de proceso utilizando la totalidad de las muestras obtenidas.	45
X.	Porcentaje promedio de gramos de harina precocida.	47

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
r	Coefficiente de correlación de Pearson
R²	Coefficiente de determinación
ρ	Densidad
Δ	Diferencia
°C	Grados Celsius
g	Gramo
hL	Hectolitro
h	Hora
Mt	Mega tonelada
min	Minuto
%	Porcentaje
T	Temperatura

GLOSARIO

Análisis granulométrico	Es el análisis de tamaño de partículas granulares. Se utiliza en el estudio de suelos, harinas y granos para estudiar sus propiedades.
Atol	En su forma original es una cocción dulce de maíz en agua, en proporciones tales que al final de la cocción tenga una moderada viscosidad y que se sirve lo más caliente posible.
Densidad aparente	Es la relación entre la masa dividido el volumen para sólidos sin ser compactados. Utilizada para sólidos granulados.
Harina de maíz precocida	Es el producto obtenido a partir del endospermo de granos de maíz clasificados para el consumo humano, que han sido sometidos a procesos de limpieza, desgerminación, precocción y molienda.
Índice de capacidad	Indica la capacidad que tiene un proceso para tener resultados dentro de los límites de especificación.
Molienda	Es un proceso utilizado para la reducción del tamaño de partícula, y se realiza por mecanismos de golpeo, prensado, frotación o cortado.

Molienda seca

Es un proceso en el que se completa la separación de diferentes partes del grano, produciendo la máxima cantidad de endospermo córneo como trozos discretos, removiendo tanto como sea posible el germen y pericarpio para dar un producto bajo en grasa y baja fibra.

Molino de discos

Se les conoce como pulverizadores, el sólido avanza en un ducto por acción de un tornillo sin fin o su equivalente, y llega un punto donde se proyecta radialmente hacia afuera, entre dos discos o muelas.

Molino de martillo

Pertenece al tipo de molinos impactadores el cual tiene un elemento que está rotando a gran velocidad y fuerza, en el cual el sólido es golpeado por el martillo al caer el sólido sobre el eje o cruz de rotación.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo principal evaluar el proceso de molienda en la producción de harinas y elaboración de atoles a partir del maíz en grano, por medio de análisis granulométrico. A su vez se evaluarán factores que pueden afectar la granulometría como la procedencia y peso hectolítrico del maíz utilizado, contenido de humedad de harina precocida y producto final y parámetros de control del proceso.

Las variaciones que presentan las granulometrías de la harina precocida y atol intervienen en la cocción y textura sensorial del atol, por lo que la realización de este trabajo de graduación evaluará por medio de resultados de análisis granulométrico y contenido de humedad, el proceso de harina precocida y atol. Asimismo, se evaluará el origen y peso hectolítrico del grano de maíz utilizado, para determinar las causas más importantes que provocan la variación y proponer mejoras para el proceso.

Para la realización del presente trabajo la experimentación se realizó en una empresa procesadora de alimentos, la cual proporcionó todo el equipo y materias primas necesarias, las cuales son: el maíz, soya y vitaminas. Se tomaron las mediciones de las muestras y se proporcionaron datos históricos para realizar un estudio más representativo en las variaciones que presenta el proceso de molienda seca, para la obtención de harina precocida y posteriormente el atol como producto final.

OBJETIVOS

General

Evaluar el proceso de molienda en la producción de harinas y elaboración de atoles a partir del maíz en grano, por medio de análisis granulométrico de producto en proceso y producto final.

Específicos

1. Identificar, a partir de resultados de análisis realizados y parámetros de control, causas de variación en la granulometría de las harinas que influyen en los atoles para optimizar el proceso de molienda.
2. Analizar las variaciones en los resultados obtenidos de granulometrías de harina precocida de maíz para detectar puntos de mejora.
3. Evaluar la variación de granulometría de las harinas obtenidas con materias primas de distintos orígenes en el producto terminado.
4. Evaluar las variaciones en contenido de humedad de harina precocida y atol.
5. Evaluar las variaciones en peso hectolítrico de maíz de diferente origen.

6. Recomendar acciones correctivas para minimizar las variaciones de granulometría.

Hipótesis

Hipótesis alternativa h_a

Existe variación significativa en la granulometría de la harina precocida y atol relacionada con las variaciones en la procedencia, peso hectolítrico del maíz utilizado, porcentaje de humedad de las harinas en proceso y parámetros de control del proceso.

Hipótesis nula h_0

No existe variación significativa en la granulometría de la harina precocida y atol relacionada con las variaciones en la procedencia, peso hectolítrico del maíz utilizado, porcentaje de humedad de las harinas en proceso y parámetros de control del proceso.

INTRODUCCIÓN

La harina de maíz utilizada para el proceso de fabricación de atoles es uno de los productos de la molienda seca del maíz, obtenida de la etapa de desgerminación, la cual es procesada por extrusión, secado, y molienda convirtiéndose en una harina de maíz precocida.

La industria alimenticia utiliza la técnica de molienda seca de maíz para obtener distintos productos en los que se tienen harinas de distintas granulometrías. Del germen de maíz se pueden extraer aceites, y se pueden obtener sémolas utilizados en la industria de *snacks* y cereales, asimismo se utiliza en la industria cervecera para la obtención de etanol.

Para la fabricación de atoles se debe cumplir con determinada granulometría, por lo cual se utilizan técnicas como el análisis granulométrico para conocer el tamaño de partícula, adicionalmente se realizan otros análisis como humedad y densidad con el fin de conocer las condiciones del maíz de entrada y de las harinas obtenidas.

Debido a la importancia de cumplir las especificaciones para la correcta fabricación del producto, la razón principal de este proyecto consiste en analizar las variaciones de granulometrías de harinas de maíz precocidas, determinando la influencia en las condiciones del atol en características sensoriales (producto final). Al mismo tiempo identificar causas de variación de la granulometría, si lo hubiera, durante el proceso para proponer mejoras y optimizar el proceso de molienda.

Adicionalmente a la harina precocida y atol se le realizarán pruebas de humedad para determinar si tiene una relación directa con la granulometría obtenida. Asimismo, se utilizará el peso hectolítrico del grano entrante para conocer si sus características son adecuadas para molienda. Los datos utilizados comprenden los meses de agosto a abril y julio. Julio se evaluó debido a que en este mes se efectuó un cambio de pines en el molino de discos y se quería observar la granulometría obtenida.

1. ANTECEDENTES

En 2001, se presentó un informe final realizado por el ingeniero investigador Leonardo Félicito de León y de León y el Incap titulado *Desarrollo tecnológico para la producción a nivel de pequeña escala de harina de maíz y soya nixtamalizada y fortificada con micronutrientes*, en el que se realizó harina de maíz fortificada con soya. En este trabajo se presentan valores experimentales obtenidos de granulometría de la molienda de maíz, así como la manera en que se relacionan con la Norma Coguanor NGO 34 190, que especifica que el 100 % del producto tiene que pasar por el tamiz *mesh* 40 y que por lo menos el 80 % de la harina generada debería ser capaz de pasar por el tamiz *mesh* 50.

Asimismo, en este trabajo se caracteriza al maíz utilizado, se detalla una comparación de la aceptabilidad de harina de maíz fortificada y harina de maíz sin soya, se estiman costos de maquinaria y personal operativo para el montaje de una microempresa procesadora de harina de maíz.

En 2006, en Colombia se realizó un trabajo de graduación por Angélica Combariza Vargas y David Sánchez Tamayo titulado *Estudio de la obtención de un alimento a partir de cultivos biofortificados*, en la investigación se estudia la obtención de harina precocida de diferentes materias primas, como: raíces de yuca, tubérculos de papa, granos de maíz, arroz, frijol y hojas de yuca. Utilizando dos distintos métodos de obtención de harina precocida, siendo estos: el proceso de extrusión y el tratamiento combinado de precocción en agua y

secado en rodillos. Y se determina que con la tecnología de extrusión se logra conservar mejor las características nutricionales de la harina precocida.

En Guatemala, como porcentaje del requerimiento total, las compras locales de maíz de los fabricantes de alimentos de consumo humano basados en maíz son más sustanciales que las del sector avícola, aunque en términos absolutos están en el mismo rango. Para la producción de harina se compraron dentro del país unos 540 000 quintales, lo cual representa un 2,7 % de la producción nacional de maíz blanco.¹

El mayor proveedor de maíz para Guatemala es EE.UU. Del valor total de importaciones acumuladas en el período 1999-2004, el 78,7 % correspondió a maíz amarillo.²

Los cuatro países con más alto promedio de exportaciones de maíz a nivel mundial son EE.UU que en el período 1994-2002 exportó en promedio la cantidad de 47,6 Mt, seguido por Argentina, con un promedio de 8,8 Mt, luego Francia con 7,6 Mt y por último China 5,9 Mt. ¹

Una buena parte del maíz producido mundialmente es procesado para extraer harina, jarabe, edulcorantes, almidones, aceites, etanol y alimento para animales, productos que a su vez pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración de otros productos industriales y alimenticios.

¹ FUENTES LÓPEZ, Mario Roberto; VAN ETTEN, Jacobo; ORTEGA APARICIO, Álvaro; VIVERO POL, José Luis. *Maíz para Guatemala: Propuesta para la reactivación de la cadena agroalimentaria del maíz blanco y amarillo*. p. 85.

² UNR-MAGA. *Importaciones de maíz y subproductos a Guatemala*. <http://es.slideshare.net/romerokarla89/maiz-para-guatemala>. Consulta: 17 de marzo de 2014.

La industria encargada de la molienda de maíz ha cobrado relevancia en la actualidad, debido a los múltiples subproductos que pueden obtenerse, para usos cada vez más específicos, razón por la que se ha mejorado la calidad de los procesos y de los productos.

Existen en la actualidad dos distintos procesos de molienda de maíz, que producen cada uno una gama única de subproductos, los procesos son molienda húmeda y molienda seca.

La molienda húmeda se creó para la obtención de almidón puro, además de aceite y edulcorantes. Los maíces duros y dentados son los más apreciados por la industria para ser molidos.³

Con la molienda seca se produce una variada gama de productos alimenticios y no alimenticios. Existen tres procesos básicos diferentes para este tipo de molienda, utilizados a nivel industrial mundialmente. La molienda en muelas de piedra, la cual produce una serie de harinas de distinto grosor y otros tipos de harinas ricas en afrecho y germen. El segundo proceso más común se basa en la remoción del germen con lo que el endospermo es utilizado para producir distintas harinas y cereales obteniendo una mayor conservación. Obteniendo subproductos como el germen utilizado en la elaboración de aceites y harina desgrasada. El tercer proceso en la industria de las bebidas en la destilación del alcohol.

³ Financiera rural. *Monografía de los subproductos de la molienda de maíz.*
<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaMa%C3%ADzSubprod%28nov2011%29vf.pdf>. Consulta: 5 de enero de 2015.

En el caso de las harinas de maíz precocidas y atol los cuales son el objeto de estudio de este trabajo, han surgido diferentes técnicas para asegurar su calidad y con lo cual se valida su uso para la creación de un producto en específico, como el análisis granulométrico, el cual proporciona el tamaño de partícula antes, durante y al final del proceso, la humedad, el peso hectolítrico, el cual permite reconocer la calidad del grano, entre otros.

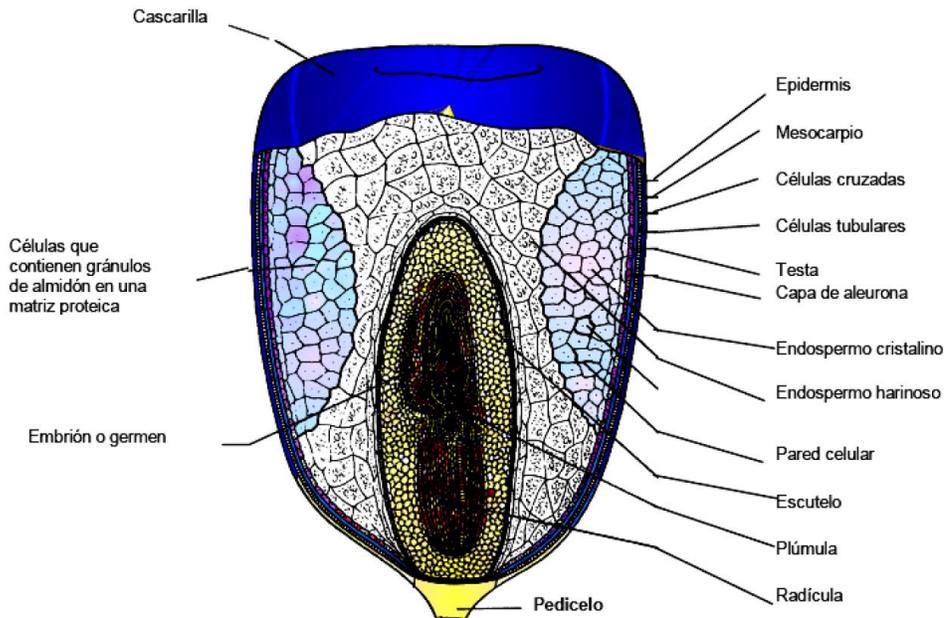
2. MARCO TEÓRICO

2.1. El maíz

Las variedades cultivadas fundamentalmente de maíz para alimentación comprenden: el maíz dulce, reventador, dentado, harinoso y cristalino. El maíz harinoso es un grano con endospermo blando. El maíz de tipo dentado tiene un endospermo calloso y vítreo a los lados y el núcleo central es blando. El maíz de tipo cristalino posee un endospermo grueso, duro, vítreo, con un centro pequeño. El grano posee 4 estructuras principales:

- Pericarpio: capa exterior de cubierta protectora dura y fibrosa que encierra al grano.
- Endospermo: reserva energética, representa el 80-84 % de peso total del grano. Compuesta por 90 % de almidón y 7 % proteínas acompañadas de aceites, minerales y otros compuestos. Funciona como dador de energía a la planta en su desarrollo.
- Germen: en el extremo más bajo del grano ocupando el 9,5 al 12 % del volumen total de grano. Posee dos partes destacables, el eje embrionario (planta nueva) y el escutelo que constituye una gran reserva de alimento. En el grano maduro el germen contiene alto porcentaje de aceites de 35 a 40 %.
- Pedicelo: es un tejido inerte que une al grano al elote.

Figura 1. Estructura del grano de maíz



Fuente: *Estructura del grano de maíz.*

http://www.fastonline.org/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/T0395E/ES/T0395S02.HTM.

Consulta: 8 de mayo de 2015.

2.2. Reducción del tamaño de partícula

Cuando se habla de reducción de tamaño de partícula, se está generalizando la operación, cuyo objetivo es hacer que partículas grandes se reduzcan, no necesariamente por molienda, pues como se verá, este proceso abarca otras variedades de operaciones físicas. La reducción de tamaño tiene varios objetivos entre los cuales están:

- Facilitar el transporte (aprovechar mejor el volumen)

- Facilitar una operación de extracción de masa como lixiviación, entre otras
- Facilitar la reacción química
- Obtención de materias primas

2.2.1. Mecanismos básicos de reducción de tamaño de partículas

Como los sólidos son tan diversos, y diversos son los tamaños que se les puede dar, un solo mecanismo de fraccionamiento no se adapta a todo, así se tendrán 6 fenómenos o mecanismos básicos que son:

- Por prensado: dos masas de material más duro que el sólido se acercan en forma gradual comprimiéndolo, como lo haría un cascanueces.
- Por golpeo: el sólido es proyectado violentamente contra una masa dura o bien la masa dura contra el sólido, en forma violenta y rápida, impactándose ambas. El ejemplo clásico es el martillo.
- Por frotación: una pieza móvil o fija de dureza mayor que el sólido y con aspereza raspa al sólido, o sea desmenuza por atrición y sus ejemplos clásicos son la lima y el esmeril.
- Por cortado: cuchillas filosas y fuertes cortan el sólido (generalmente de tipo fibroso y no muy duro); el corte es por cizalladura y el ejemplo clásico es la tijera y la guillotina.

Existen otros mecanismos que no son 100 % mecánicos:

- *Shock* térmico: si un sólido se calienta y enfría súbitamente se tiende a fracturar.
- *Shock* sónico: algunos sólidos se fracturan en presencia de cierto tipo de ondas acústicas.

2.3. Análisis realizados a las harinas y atoles

Entre los análisis realizados a las harinas y atoles se encuentran el análisis granulométrico, absorción de agua en harinas, humedad de harinas y peso hectolítrico.

2.3.1. Análisis granulométrico

Existen normas internacionales para tamizado, realizando el análisis en una pila vertical de tamices preestablecidos por la norma, los cuales son agitados el tiempo establecido por la misma. Una vez realizado esto, se van separando las fases obtenidas por tamaño y se pesan. Una fase obtenida entre *mesh* 10 y *mesh* 14 se denomina fase 10-14. Por ejemplo su tamaño sería aproximadamente entre 1,68 y 1,19 mm. Se le atribuiría un tamaño de 1,45 mm en promedio.

Como el conocer ciertas características son vitales, pues su actividad química, su densidad aparente y otras propiedades o condiciones depende de la forma y número de partícula, así como de su tamaño, se han diseñado dos tipos de análisis de tamaño de partícula conocido como método acumulativo o integral y el diferencial. Donde a partir de dichos análisis integral y diferencial se puede deducir valores como número de partícula, factores de forma de la partícula, tamaño medio de la partícula, superficie de partícula entre otros.⁴

⁴ MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 1065.

Figura 2. **Conversión de *mesh* a micrones, pulgadas y milímetros**

Tabla de conversión de MESH a Micrones			
Mesh	Micrones	Pulgadas	Milímetros
3	6730	0.2650	6.730
4	4760	0.1870	4.760
5	4000	0.1570	4.000
6	3360	0.1320	3.360
7	2830	0.1110	2.830
8	2380	0.0937	2.380
10	2000	0.0787	2.000
12	1680	0.0661	1.680
14	1410	0.0555	1.140
16	1190	0.0469	1.190
18	1000	0.0394	1.000
20	841	0.0331	0.841
25	707	0.0280	0.707
30	595	0.0232	0.595
35	500	0.0197	0.500
40	400	0.0165	0.400
45	354	0.0138	0.354
50	297	0.0117	0.297
60	250	0.0098	0.250
70	210	0.0083	0.210
80	177	0.0070	0.177
100	149	0.0059	0.149
120	125	0.0049	0.125
140	105	0.0041	0.105
170	88	0.0035	0.088
200	74	0.0029	0.074
230	63	0.0024	0.063
270	53	0.0021	0.053
325	44	0.0017	0.044
400	37	0.0015	0.037
550	25	0.0009	0.025
800	15	0.0006	0.015
1250	10	0.0004	0.010

1 micron = 1/1000 mm



Fuente: *Tabla de conversión de mesh a micrones.*

http://www.molinospulverizadores.com/Mesh%20to%20Microns%20Chart_New.jpg.

Consulta: 2 de noviembre del 2014.

2.3.2. Absorción de agua en harinas

Este índice mide la calidad de precocción en casa mediante la absorción de agua. La prueba consta de adicionar agua a la harina, formar una masa, introducirla en un vaso y luego retirarlo. Al cabo de este proceso la harina no puede extenderse más de 8 cm a su redonda. La expansión de la masa debe estar en 6.5 cm para garantizar la calidad. Cuanto más fina sea la granulometría, más absorción de agua existirá.⁵

2.3.3. Humedad en harinas

Los granos están constituidos por una sustancia sólida, denominada materia seca y por cierta cantidad de agua. El contenido de humedad es en base seca la cual es la relación entre el peso de la masa del agua contenida en el grano y el peso de la materia seca de este. Proporciona la cantidad de agua presente en la harina.⁵

2.3.4. Peso hectolítrico

Se define como el peso en kilogramos de un volumen de grano de 100 litros. Es un valor muy útil porque resume en un solo valor qué tan sano es el grano. Esto es importante porque cuanto más sano sea, mayor será la proporción de almidón en el grano y mejor será la separación del endospermo del resto de grano. Por lo tanto mientras más sano, se obtendrá una mayor extracción de harina. Asimismo, este parámetro indica la dureza del grano, por lo tanto su calidad para la obtención de harinas. Mientras más alto sea el valor

⁵ FENALCE. *Producción de harinas precocidas de maíz*.
<http://www.fenalce.org/archivos/HarinasPrecocidas.pdf>. Consulta: 15 de enero de 2015.

del peso hectolítrico, indica una mayor dureza en el grano y por lo tanto mejor para la obtención de harinas.

2.4. Tipos de molienda de maíz

Existen 2 tipos de molienda de maíz, siendo estos: molienda húmeda y molienda seca. Los cuales son utilizados para procesos diferentes en la industria como la obtención de aceites, harinas y almidón, entre otros.

2.4.1. Molienda húmeda de maíz

Este proceso está creado para la obtención de almidón puro, además de aceite y edulcorantes. Los maíces duros y dentados son los más apreciados por la industria para ser molidos. La extracción de almidón y aceite comprenden cerca del 70 % de los productos obtenidos y el 30 % restante se compone principalmente en la forma de fibras, que en su mayoría se convierten en alimento para animales. Durante este tipo de molienda se separa el germen del grano de maíz, el cual se procesa para obtener aceites comestibles, después que el germen ha sido separado se separa la cáscara, llamada salvado o afrecho, así como la proteína de gluten. El almidón puede ser procesado en etanol o edulcorantes.⁶

⁶ Financiera rural. *Monografía de los subproductos de la molienda de maíz*.
<http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaMa%C3%ADzSubprod%28nov2011%29vf.pdf>. Consulta: 5 de enero de 2015.

2.4.2. Molienda seca de maíz

Con la molienda seca se produce una variada gama de productos alimenticios y no alimenticios. Existen tres procesos básicos como el proceso de molienda en piedras o equivalente, el cual produce una serie de harinas de distinto grosor, ricas en afrecho y germen. El segundo proceso y más común, se basa en la remoción del germen. El endospermo es entonces usado para producir diversas harinas y cereales para desayuno que tienen una buena conservación al retirar el germen, los principales subproductos de este proceso son: el germen que es usado para la extracción de aceites, la harina de germen desgrasada, asimismo es obtenido el salvado. De este proceso se obtiene harina de maíz cruda, *grits* y harina gruesa. El tercer proceso se usa principalmente en la industria de bebidas, en la destilación de alcohol, que es la mayor consumidora de productos del maíz molidos en seco.⁷

2.5. Equipos utilizados en molienda seca para la obtención de harinas precocidas y harinas gruesas

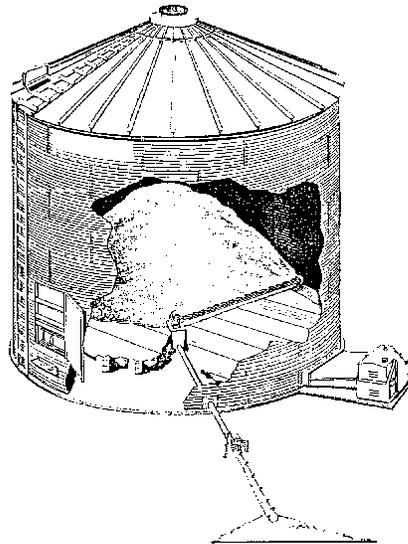
El proceso para la obtención de la harina de maíz es la molienda seca, el cual involucra varios equipos como los silos, separadores, secador, entre otros.

⁷ PAGNACCO, Silvio. *Molienda seca de maíz*.
http://losmolinos.beltres.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=470:moliendas-ecademaiz&catid=109:molineria&Itemid=1053. Consulta: 20 de enero del 2015.

2.5.1. Silos de almacenaje de maíz

En esta etapa del proceso se realiza la recepción y almacenaje del grano de maíz en silos, en los cuales se controla la temperatura del grano por medio de aireadores.⁸

Figura 3. Silo con aireación para almacenamiento de maíz



Fuente: *Silo con aireación*. <http://www.fao.org/docrep/x5054s/x5054S06.gif>.

Consulta: 2 de noviembre de 2014.

⁸ PAGNACCO, Silvio. *Molienda seca de maíz*.

http://losmolinos.beltres.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=470:moliendas-ecademaiz&catid=109:molineria&Itemid=1053. Consulta: 20 de enero del 2015.

2.5.2. Separador

La limpieza del maíz se realiza en un separador, el mismo a través de movimientos circulares de zarandeo separa las impurezas gruesas y finas que puedan provenir con el maíz. Para completar el trabajo el flujo de maíz es conducido a un canal de aspiración, el cual separa a través de una corriente de aire las partículas livianas (polvillo, granza, restos de cáscaras, etc.)⁹

Figura 4. Separador de granos



Fuente: *Separador de granos de maíz*. <http://www.molinoharinero.com/img/grain-cleaning-rotary-sieve.jpg>. Consulta: 2 de noviembre de 2014.

2.5.3. Acondicionador

El acondicionador se utiliza extensamente en la industria de los alimentos para incrementar el nivel de humedad y temperatura. Las partes del acondicionador que están en contacto con el producto están hechas de acero inoxidable. Toda el agua requerida entra al acondicionador en forma de *spray*. La cantidad de agua se puede ajustar a cualquier tiempo para satisfacer los

⁹ PAGNACCO, Silvio. *Molienda seca de maíz*. http://losmolinos.beltres.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=470:moliendas-ecademaiz&catid=109:molineria&Itemid=1053. Consulta: 20 de enero del 2015.

diferentes requerimientos de las tecnologías de procesamiento y materia prima. El acondicionador puede inyectar agua y vapor, lo que ofrece al acondicionador una amplia gama de usos en la industria.

Figura 5. **Acondicionador de granos**



Fuente: *Acondicionador de granos*. http://galeria.innovar.gob.ar/system/as/20759/medium/Modelo_funcional.jpg?1375145557. Consulta: 2 de noviembre de 2014.

2.5.4. Desgerminadora

La desgerminadora de maíz se utiliza para el descascarado intensivo y la desgerminación del maíz. Sirve para preparar sémola laminada mediante descascarado húmedo, o sémola para cervecería y expandidos mediante desgerminación en seco. Debido al tratamiento cuidadoso del producto en la máquina, la raicilla, la epidermis y el endospermo se separan de forma limpia, garantizando una presencia mínima de finos. Como resultado, se obtienen productos finales limpios de calidad constante. Cuenta con un rotor y un tambor.¹⁰

¹⁰ Buhler Group. *Desgerminadora de maíz MHXM-M*. <<http://www.buhlergroup.com/europe/es/productos/desgerminadora-de-maiz-mhxm-m.htm#.VQd7gdKG-Jo>>. Consultado el 25 de enero del 2015.

Figura 6. **Desgerminadora de maíz**



Fuente: *Desgerminador buhler*. <http://www.buhlergroup.com/static/europe/es/media/03-Products/>. Consulta: 2 de noviembre de 2014.

2.5.5. Extrusor

La extrusión de alimentos es un proceso en el que el grano, harina o subproducto es forzado a fluir, bajo distintas condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamiento, a través de una placa o bloque diseñada para dar forma o expandir los ingredientes. En la actualidad un extrusor se considera un bioreactor de alta temperatura y corto tiempo de residencia que transforma una amplia variedad de materias primas en intermedios modificados o productos finales.¹¹

¹¹ GARCÍA, Javier; MOYA DE LA TORRE, Eduardo. *Modelado y simulación de un proceso de extrusión*. <http://www.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXIX/pdf/264.pdf>. Consulta: 25 de enero de 2015.

Figura 7. **Extrusor de maíz**



Fuente: *Extrusor de harina de maíz*. <http://aquafeed.co/wp-content/uploads/2014/01/Extrusoras1.jpg>. Consulta: 2 noviembre de 2014.

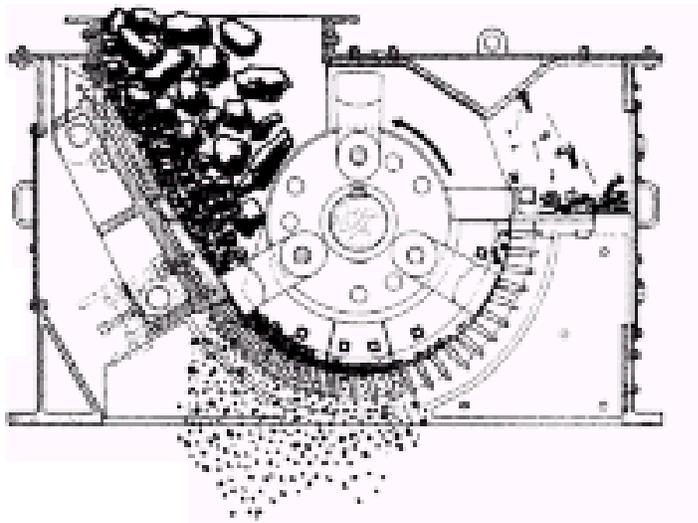
2.5.6. Molino de martillo

Pertenece a la clase de molinos impactadores los cuales tienen un elemento que está rotando a gran velocidad y fuerza, generalmente una especie de cruz en la cual el sólido es golpeado por el martillo al caer dentro el sólido sobre el eje o cruz de rotación. Los molinos de martillo tienen el más amplio rango de reducción de tamaño, pues pueden ser inclusive quebrantadores primarios para partículas gruesas y pueden también recibir partículas finas de pocos milímetros, logra reducciones hasta partículas muy finas o intermedias. Se utilizan para sólidos no muy abrasivos y preferiblemente friables, aunque son capaces de recibir materiales duros.

Existen varios tipos de molinos de martillo entre los que se encuentran: el de estrella, es el más típico, con un eje horizontal, y el molino de martillo de

jaula, el cual rota horizontalmente pero en lugar de martillos tiene una especie de barras en corona a una o varias capas concéntricas.¹²

Figura 8. **Molino de martillo.**



Fuente: PERRY. *Manual del ingeniero químico*. p. 21-59

2.5.7. **Molino de discos**

El sólido avanza en un ducto por acción de un tornillo sin fin o su equivalente, y llega a un punto donde se proyecta radialmente hacia fuera, entre dos discos o muelas, las cuales tienen una convergencia radial, lo que indica que están más separadas entre sí en el centro de rotación que en la periferia de los discos. Estos discos pueden ser uno fijo y el otro móvil o bien los dos móviles, en rotación opuesta. Pueden tener estrías gruesas o finas en las muelas frente a frente. Reciben partículas generalmente de 1 cm o menos y

¹² MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 1056.

pueden producir polvos de *mesh* 200. Se trabajan con sólidos abrasivos y semiduros, pero con aleaciones correctas en la muela, pueden trabajar duros. Es un molino muy típico en la industria.¹³

Figura 9. **Molino de discos**



Fuente: *Molino de discos*. <http://img.interempresas.net/fotos/182797.gif>.

Consulta: 2 de noviembre de 2014.

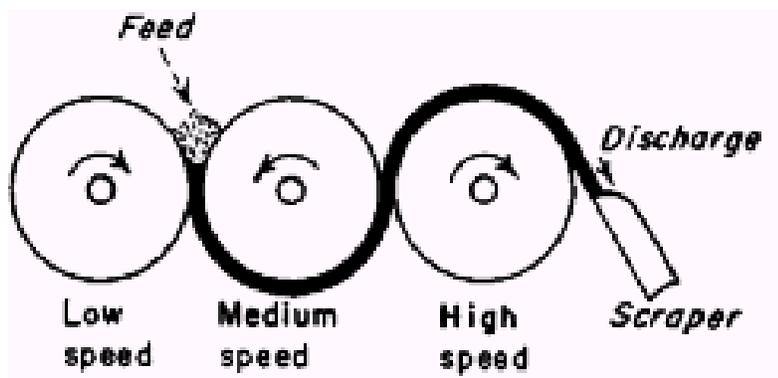
2.5.8. Molinos de rodillos

En este caso dos rodillos rotan a favor mutuo, separados a distancias estrechas, (uno al menos tiene fuerza activa, el otro rueda llevado por la fricción), uno de ellos tiene finas estrías, a veces los dos las poseen. Son típicos de las industrias harineras, siendo que se trabajan en series de hasta 5 y 7 unidades sucesivas, cada cual más estrecha (molienda más y más fina cada

¹³ MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 1061.

vez). Estos molinos reciben partículas de tamaño grano (1cm a 1 mm) y las reducen poco por pasada con razón de reducción de tamaño de 3/1 y 4/1. Las series pueden producir *mesh* 200 inclusive. Se usan en sólidos blandos y poco abrasivos. Se traban mucho y consumen mucha energía.¹⁴

Figura 10. **Molino de rodillos**



Fuente: PERRY, Robert. *Manual del ingeniero químico*. p. 21-68

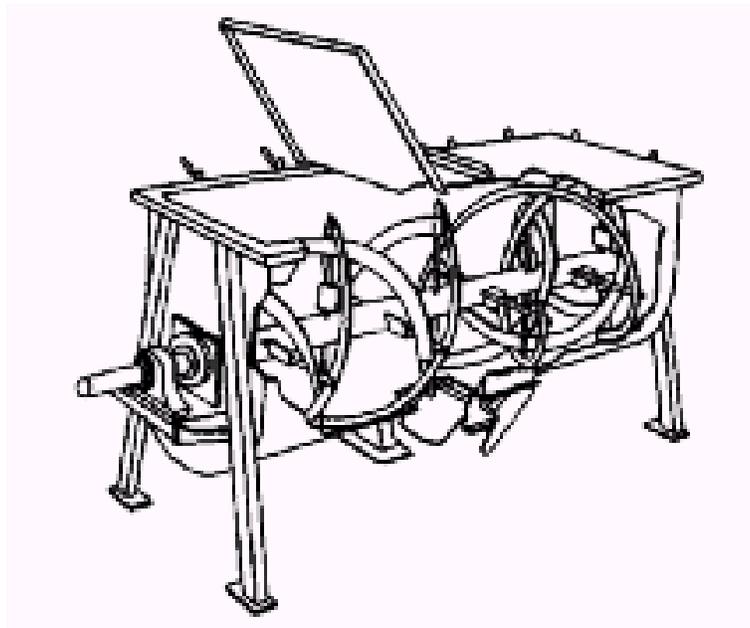
2.5.9. Mezclador de cinta

En esencia se trata de una especie de canaleta de fondo redondeado, con laterales lisos, con tapadera superior, con topes extremos verticales y descarga por el fondo. En los topes extremos se apoya un eje rotatorio, el cual porta un conjunto de paletas en forma de hélices, que mueve en sentido pro y contra (doble hélice) y que rota con RPM de 15-60, y en la que se llena la canaleta a 40 % de su volumen total. Las paletas empujan horizontalmente el sólido hacia adelante unas y hacia atrás las otras, movimiento axial de

¹⁴ MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 1064.

vaivén. También posee alguna paleta que mueve el amasijo radialmente, hacia los lados y hacia arriba. Se adapta a sólidos poco densos (debajo de densidad real 1 g/cc) y preferiblemente poco abrasivos, que se dejen airear.¹⁵

Figura 11. **Mezclador de cinta**



Fuente: PERRY, Robert. *Manual del ingeniero químico*. p. 21-124.

2.6. **Productos de interés generados en la molienda seca**

Los productos de interés generados en el proceso de molienda seca de maíz son: la harina precocida y la harina gruesa de maíz. Debido a que con la

¹⁵ FENALCE. *Producción de harinas precocidas de maíz*.
<http://www.fenalce.org/archivos/HarinasPrecocidas.pdf>. Consulta: 15 de enero de 2015.

harina precocida se produce el atol y el mismo proceso genera harina gruesa de maíz que es utilizada para elaborar *snacks* y cereales.

2.6.1. Harinas precocidas

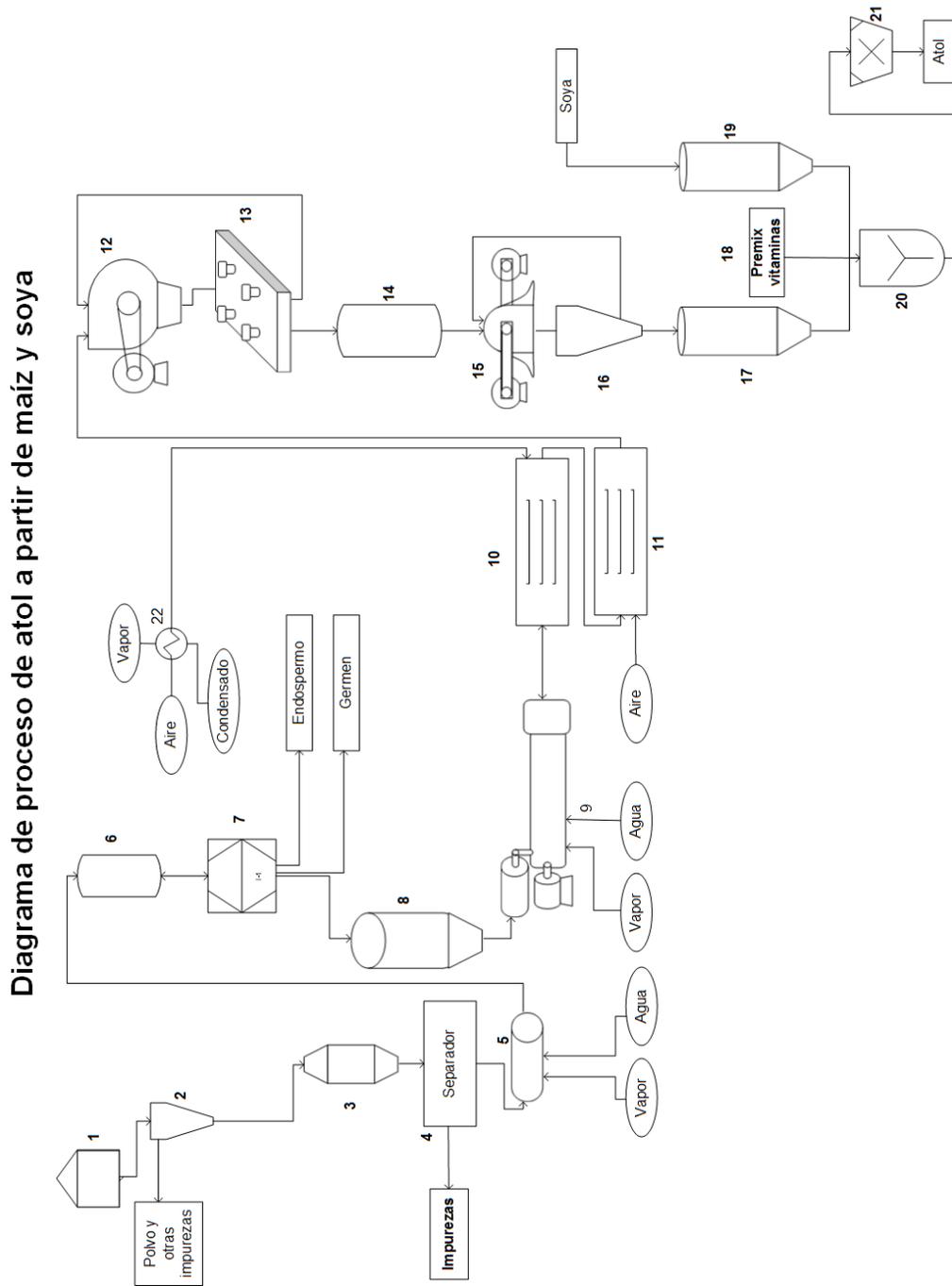
Las harinas precocidas son uno de los productos más importantes del maíz, este proceso consiste básicamente en modificar parcialmente la estructura del almidón logrando una mayor digestibilidad de este y se puede realizar a través de la acción de la temperatura en presencia de humedad a una presión determinada. En la evaluación de las harinas precocidas se tiene en cuenta la absorción de agua y la solubilidad en agua, las cuales están inversamente relacionadas. Los cambios producidos sobre la estructura granular del almidón afectan a las propiedades de hidratación y proporción de sólidos dispersables y gránulos que determinan las características reológicas de la dispersión de harina precocida.¹⁶

2.6.2. Harina gruesa de maíz

Es obtenida en el proceso de molienda seca después que el maíz es sometido a un proceso de separación, acondicionamiento, desgerminación, donde se obtiene el endospermo, el cuál es llevado a los cernedores para clasificar el grano y quitar cascarillas, luego pasa a través de un molino de rodillos el cual lo tritura y lo deja con la granulometría deseada y es recuperado por el cernedor. Este tipo de harina se utiliza con frecuencia en la producción de cereales.⁵

¹⁶ FENALCE. *Producción de harinas precocidas de maíz*.
<http://www.fenalce.org/archivos/HarinasPrecocidas.pdf>. Consulta: 15 de enero de 2015.

Figura 12. Diagrama de proceso para producción de atol del maíz



Fuente: elaboración propia, con programa Visio 2013.

Tabla I. **Equipos involucrados en la producción de atol de maíz**

Núm.	Nombre del Equipo	Variabes
1	Silo de almacenamiento con aireación	Porcentaje de humedad, temperatura
2	Separador tipo Ciclón	Velocidad del aire
3	Báscula	Flujo de maíz
4	Separador de impurezas	Abertura del tamiz
5	Acondicionador	Temperatura, flujo de agua, flujo de vapor, RPM
6	Celda contenedora	Nivel de maíz
7	Desgerminadora	Velocidad del flujo de maíz a la entrada. Velocidad de desgerminado
8	Celda circular de almacenamiento	Nivel de harina cruda en la celda
9	Extrusor	RPM, Flujo de vapor, Flujo de agua
10	Secador	Flujo de aire caliente, RPM del movimiento de las bandas, temperatura, porcentaje de humedad
11	Enfriador	Flujo de Aire a temperatura ambiente, RPM del movimiento de las bandas
12	Molino de Martillo	
13	Separador cernedor	Tamaño de partícula, configuración de los tamices
14	Celda contenedora	Nivel de Harina precocida en la celda
15	Molino de Discos	RPM, Tamaño de los pines de disco. Flujo de alimentación
16	Separador de Ciclón	Velocidad del flujo de aire.
17	Celda de almacenamiento circular	Nivel de harina precocida en la celda
18	Agregado de vitaminas manualmente al mezclador	
19	Celda de almacenamiento circular	Nivel de soya en la celda
20	Mezcladora de cinta	RPM de las hélices, tiempo de mezclado
21	Entoleter	RPM del entoleter
22	Intercambiador de calor	Temperatura, de entrada y salida de los fluidos. Presión del vapor

Fuente: elaboración propia.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Definición de las variables del proceso

Se determinaron las variables que se presentaron de forma directa e indirecta en el proceso de harina precocida y atoles, y afectan los resultados de este trabajo.

Tabla II. **Variables del proceso**

Variables	Independientes	Dependientes	Constantes	No Constantes
Origen y tipo de maíz	x		x	
Tamaño de partícula		X		X
Contenido de humedad		X		X
Velocidad de tornillo de celda de alimentación	X		x	
Peso hectolítrico		X		X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

A continuación se realiza la delimitación del estudio, donde se especifica el tipo de industria en la que se realizó, el proceso específico y los objetivos del estudio realizado.

- Tipo de industria: industria procesadora de alimentos.
- Proceso: molienda seca para la producción de harina precocida y atoles.
- Objetivo del estudio:
 - Existencia de la variabilidad en las granulometrías de harina precocida y producto final.
 - Relacionar los parámetros y variables del proceso con las variaciones encontradas, si es que las hubiera.

3.3. Recursos humanos disponibles

Se muestra información sobre la descripción del perfil e información de contacto del investigador, la persona que realizó la asesoría y la aprobación del estudio.

- Investigador

Nombre:	Leonel Fernando Morataya Véliz
Correo electrónico:	leoextr@gmail.com
Fecha de nacimiento:	14 de enero de 1991
Nacionalidad:	guatemalteco
Profesión:	Estudiante de Ingeniería Química Universidad de San Carlos de Guatemala

3.4. Recursos físicos y materiales disponibles

A continuación se detallan específicamente los recursos disponibles utilizados para la realización de la investigación a nivel laboratorio y en planta de producción.

3.4.1. Recursos físicos disponibles

La parte experimental de la investigación se realizó en los laboratorios de aseguramiento de calidad de una empresa que fabrica atoles, con el equipo necesario para realizar análisis granulométrico, humedad y peso hectolítrico a las harinas trabajadas.

3.4.2. Recursos materiales disponibles

En la siguiente subsección se detallan los materiales utilizados para realizar los análisis de laboratorio, tanto las sustancias como el equipo e instrumentación.

3.4.2.1. Materia prima

Constituye a todos los materiales de la empresa, los cuales fueron objeto de estudio en esta investigación. A continuación el detalle de las materias primas:

- Maíz en grano
- Harina de maíz precocida
- Harina de soya

3.4.2.2. Equipo

Los equipos son los instrumentos y aparatos utilizados como herramientas para determinar distintos datos para el análisis de las harinas. Los utilizados en la empresa fueron los siguientes:

- Tamices de diferente *mesh*
- Tamizadoras
- Determinadores de humedad de harinas
- Equipo general de laboratorio
- Equipo de molienda
- Balanza

3.5. Técnica cuantitativa y cualitativa

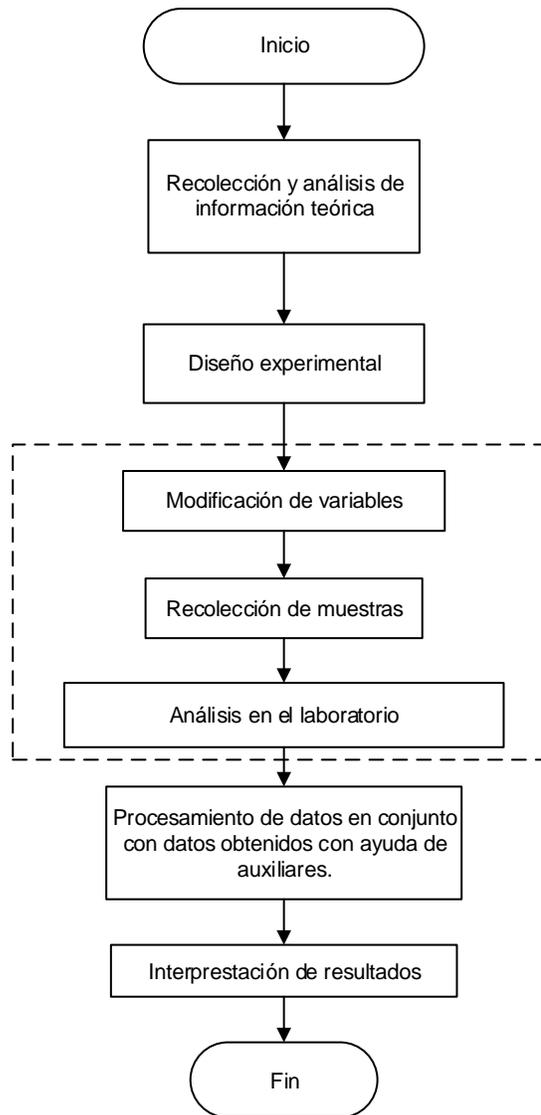
Según las variables a utilizar en la investigación, la técnica a utilizar es cuantitativa. Los parámetros cualitativos adicionales se utilizarán como apoyo en la interpretación del estudio.

Tabla III. **Clasificación de las variables en cuantitativas y cualitativas**

Variable	Cuantitativa	Cualitativa
Origen y tipo de maíz		x
Tamaño de partícula	x	
Contenido de humedad	x	
Velocidad de tornillo de celda de alimentación	x	
Peso hectolítrico	x	

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Diseño general para la técnica cuantitativa**

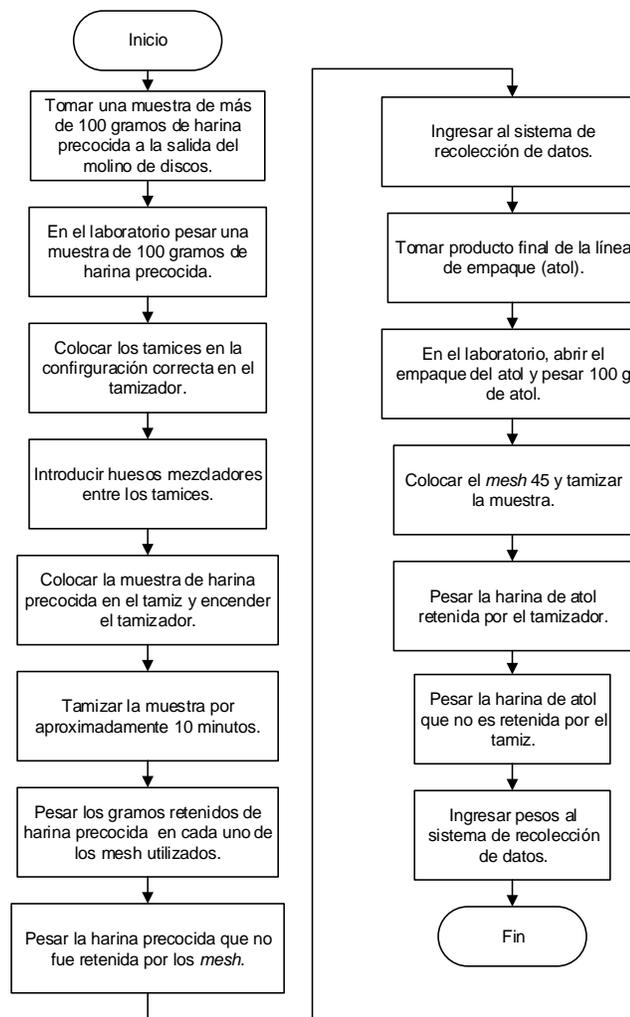


Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

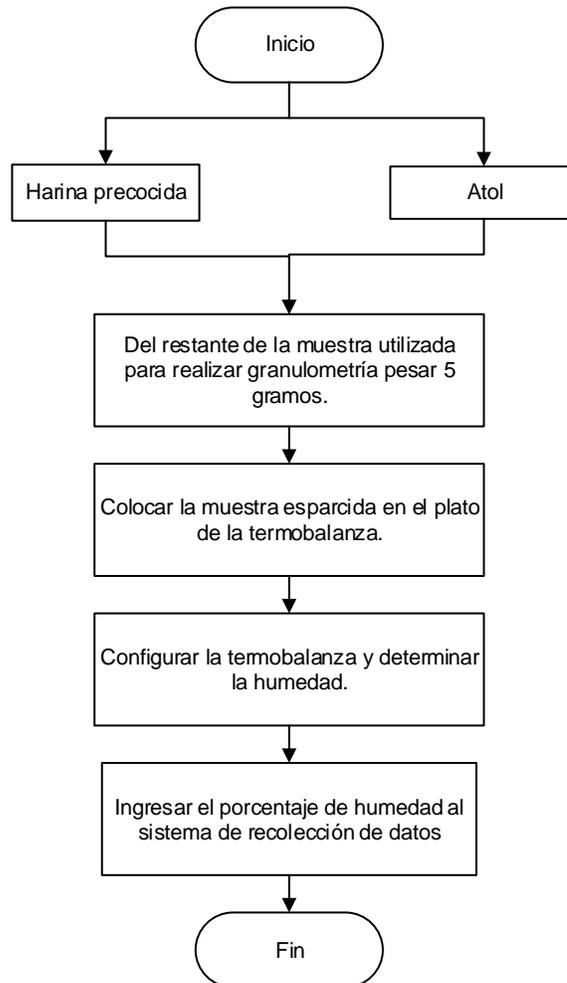
Para poder evaluar el proceso de molienda y sus variaciones se recolectaron datos de granulometrías, humedad y peso hectolítrico.

Figura 14. Diagrama de recolección de información de granulometrías de harina precocida y atol



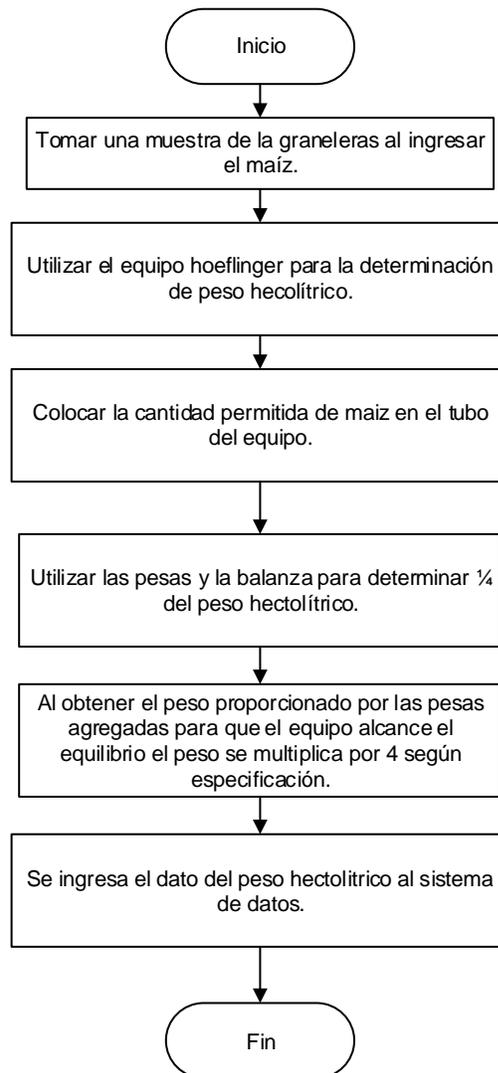
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Diagrama de recolección de información de contenido de humedad**



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Procedimiento de recolección de información para la determinación del peso hectolítrico**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos obtenidos se mezclarán con datos guardados en el sistema de recopilación de datos interno de la empresa, ingresados por auxiliares de laboratorio, para tener una muestra más representativa. Adicionalmente se evaluarán los datos de distintos meses, para observar variaciones presentadas al cambiar procedencia del grano de origen, parámetros de control del proceso e identificar causas y relaciones en la variación de granulometría de harina precocida y atol. La determinación de la magnitud de las variables se realizará conforme a los métodos utilizados por la empresa, ya que utilizan métodos rápidos para el control del proceso y de la calidad.

3.7.1. Formularios de registro

Se elaboraron formularios de registro para facilitar el ordenamiento de la información obtenida de los diferentes análisis realizados.

Tabla IV. **Formulario de registro de datos para granulometrías de harina precocida**

Núm. de muestra	Retenido <i>mesh</i> 45	Retenido <i>mesh</i> 60	Retenido <i>mesh</i> 70	Pasa <i>mesh</i> 70	Porcentaje de humedad
1					
2					
3					
4					

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Formulario de registro de datos para granulometrías de atol**

Núm. de muestra	Retenido <i>mesh 45</i>	Pasa <i>mesh 45</i>	Porcentaje de humedad
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Formulario de recolección de datos de peso hectolítrico**

Núm. de muestra	Procedencia del grano	Peso hectolítrico
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Los cálculos estadísticos que se realizarán una vez se hayan terminado de registrar los datos de los análisis a realizar, pertenecen a los siguientes grupos de pruebas.

- Medidas de dispersión
- Regresión
- Índice de capacidad de proceso

3.8.1. Promedio de una muestra

La media aritmética, representa un promedio, de un conjunto finito de datos, representa una suma de todos los valores de la muestra, dividida entre el número de sumandos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} = \frac{a_1 + \dots + a_n}{n}$$

Expresada de forma más intuitiva, se puede decir que la media es la cantidad total de la variable, distribuida en partes iguales entre cada observación.¹⁷

3.8.2. Determinación de errores de muestreo

Para mejorar el análisis de resultados se plantea utilizar el análisis de dispersión de datos, debido a que las medidas de dispersión permiten retratar la distancia de los valores de la variable a un cierto valor central. Permite identificar la concentración de los datos en un cierto sector del recorrido de la variable.

El término precisión se utiliza para describir qué tan reproducibles son las mediciones; es decir, qué tan semejantes son los resultados con los otros obtenidos exactamente en la misma forma y en las mismas condiciones. Para describir la precisión de un conjunto de datos repetidos se utilizan tres términos

¹⁷WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Capítulos 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10 y 11.

muy conocidos: la desviación estándar, la varianza y el coeficiente de variación.

3.8.3. Varianza

Permite identificar la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto de su punto central (media). Este promedio es calculado, elevando cada una de las diferencias al cuadrado, y calculando su promedio o media; y dividiendo este resultado por el número de observaciones que se tengan.¹⁸

A continuación su forma de cálculo para una muestra:

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

3.8.4. Desviación estándar

Esta medida permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto de la media. La desviación estándar da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto la ecuación es:

¹⁸ WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Capítulos 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10 y 11.

$$S = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} = \sqrt{S^2}$$

3.8.5. Índice de la capacidad de proceso

Se utiliza cuando se necesita determinar si el proceso, dada su variación natural, es capaz de satisfacer las especificaciones establecidas. Los índices de capacidad permiten situar la distribución del proceso en relación a los límites de especificación.

El Cpk sirve para medir no solo la variación del proceso en relación a la especificación permitida sino además la ubicación del promedio del proceso.

$$\hat{C}_{pk} = \min \left[\frac{TS - \hat{\mu}}{3 \times \sigma}, \frac{\hat{\mu} - TI}{3 \times \sigma} \right]$$

Donde:

\hat{C}_{pk} = índice de capacidad de proceso

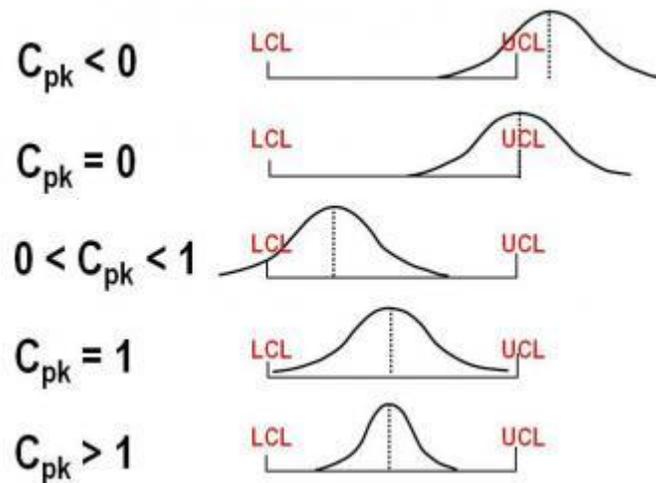
TS = límite superior de especificación

TI = límite inferior de especificación

σ = desviación estándar de los datos muestrales

$\hat{\mu}$ = media los datos muestrales

Figura 17. Comportamiento del Cpk dependiendo de su valor



Fuente: *Comportamiento cpk*. <http://www.hablandocondatos.com/blog/tag/cpk/>
Consulta: 8 de junio de 2015.

- Cuando el Cpk es menor a 0 indica que el proceso está fuera de control y no cumple con las especificaciones establecidas.
- Cuando el Cpk es igual a 0 indica que la media de los valores está sobre uno de los límites de especificación, con una cantidad de datos considerable fuera del rango especificado.
- Cuando el Cpk se encuentra entre 0 y 1 indica que la media de los valores cumple con la especificación, con una cantidad de datos fuera de especificación mínimos. En este caso se puede decir que el proceso está bajo control, pero no cumple las especificaciones en su totalidad.
- Cuando el Cpk tiene un valor igual a 1 indica que todos los datos se encuentran dentro de especificación.

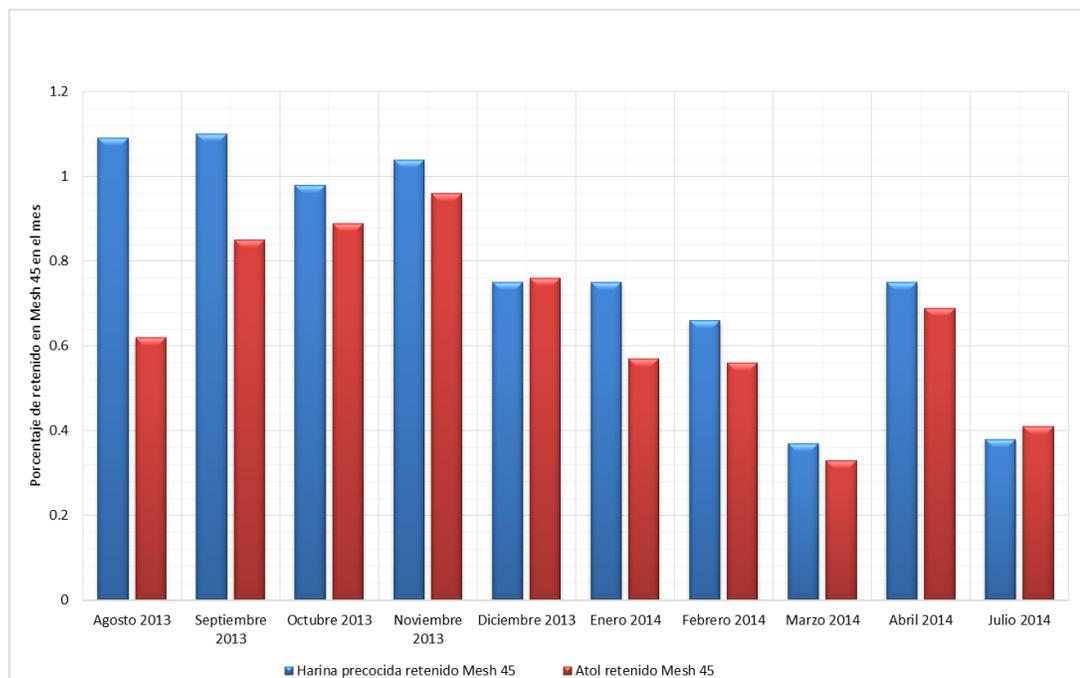
- Cuando el Cpk tiene un valor mayor a 1 indica que todos los datos cumplen con las especificaciones y que el proceso es mejor que las especificaciones.

4. RESULTADOS

4.1. Variación en la granulometría de las harinas que influyen en los atoles e índices de capacidad de proceso para la harina precocida

En la figura 18 y las tablas VII, VIII y IX se muestran los resultados utilizados para analizar la variación de las harinas que influyen en los atoles y los índices de capacidad de proceso para la harina precocida.

Figura 18. Comparación de retenido *mesh* 45 de harina precocida y atol



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Tabla VII. **Porcentaje de gramos retenidos promedio en tamiz *mesh* 45 para harina precocida y atol**

Mes	Harina precocida retenido <i>mesh</i> 45 (%)	Atol retenido <i>mesh</i> 45 (%)
Agosto 2013	1,09	0,62
Septiembre 2013	1,1	0,85
Octubre 2013	0,98	0,89
Noviembre 2013	1,04	0,96
Diciembre 2013	0,75	0,76
Enero 2014	0,75	0,57
Febrero 2014	0,66	0,56
Marzo 2014	0,37	0,33
Abril 2014	0,75	0,69
Julio 2014	0,38	0,41

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Índice de capacidad de proceso para cada tamiz utilizado en los meses evaluados**

Mes	Retenido <i>mesh</i> 45	Retenido <i>mesh</i> 60	Retenido <i>mesh</i> 70	Pasa <i>mesh</i> 70
Agosto	0,42	-0,93	0,38	0,89
Septiembre	0,50	-1,01	0,53	1,08
Octubre	0,53	-1,38	0,31	1,07
Noviembre	0,54	-0,79	0,37	0,81
Diciembre	0,52	-1,35	0,27	0,87
Enero	0,54	-1,13	0,33	0,92
Febrero	0,33	-1,57	0,66	1,16
Marzo	0,46	-1,57	0,59	1,28
Abril	0,43	-1,14	0,28	0,92
Julio	0,28	-1,79	0,59	0,87

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Índice de capacidad de proceso utilizando la totalidad de las muestras obtenidas**

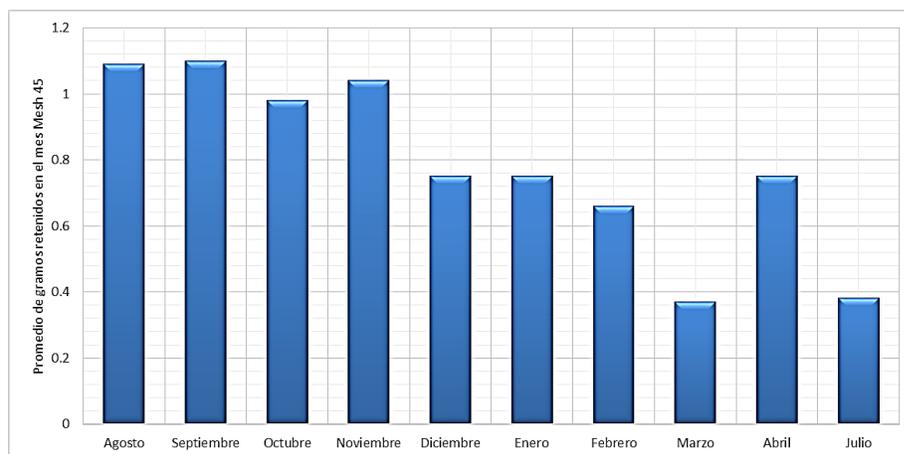
Retenido <i>mesh</i> 45	Retenido <i>mesh</i> 60	Retenido <i>mesh</i> 70	Pasa <i>mesh</i> 70
0,40	-1,05	0,36	0,90

Fuente: elaboración propia.

4.2. **Variaciones en los resultados obtenidos de granulometrías de harina precocida de maíz**

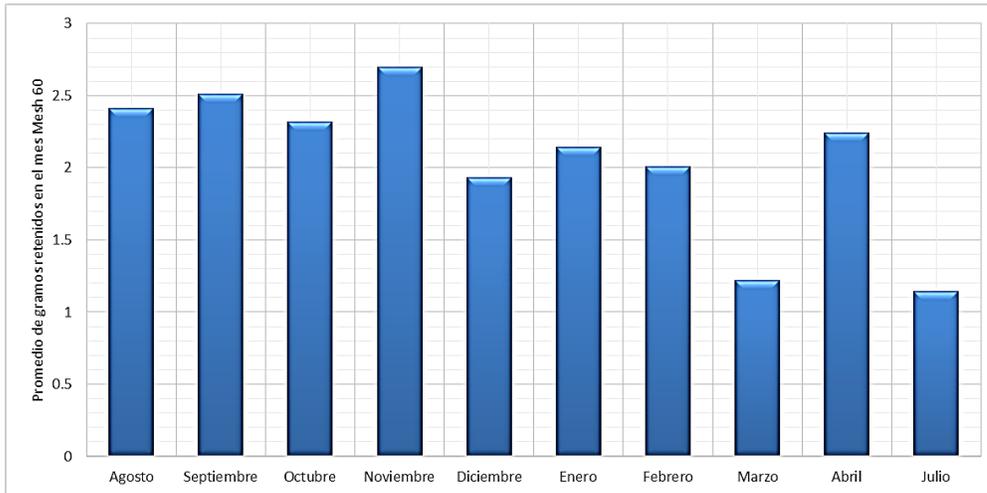
En las figuras 19, 20, 21 y 22 y tabla X se muestran los resultados obtenidos para analizar las variaciones de granulometrías de harina precocida de maíz.

Figura 19. **Promedio de gramos retenidos en tamiz *mesh* 45 de harina precocida**



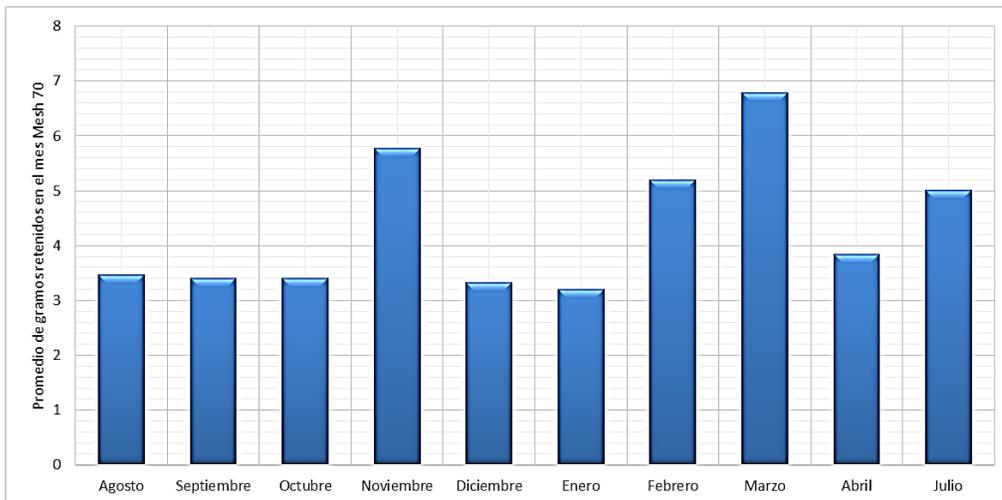
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Figura 20. Promedio de gramos retenidos en tamiz *mesh* 60 de harina precocida



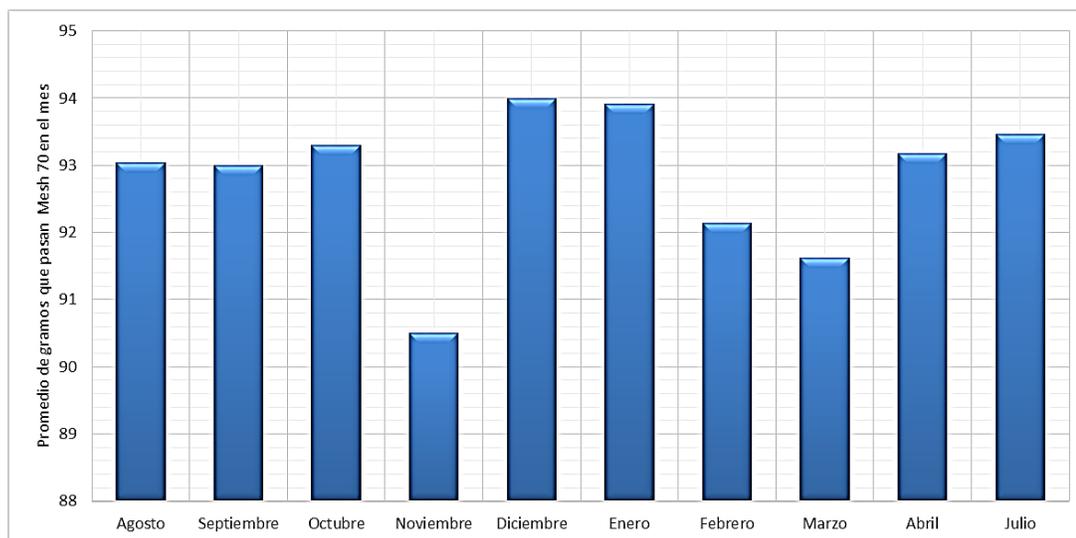
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Figura 21. Promedio de gramos retenidos en tamiz *mesh* 70 de harina precocida



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Figura 22. Promedio de gramos no retenidos en tamiz *mesh* 70 de harina precocida



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Tabla X. Porcentaje promedio de gramos de harina precocida

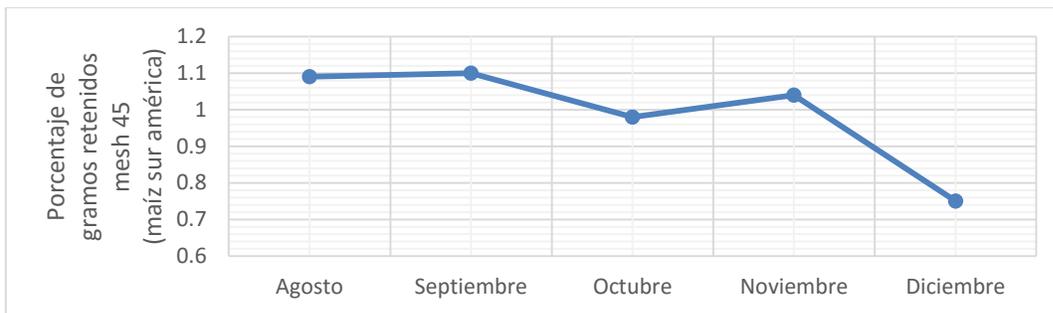
Mes	Retenido <i>mesh</i> 45 (%)	Retenido <i>mesh</i> 60 (%)	Retenido <i>mesh</i> 70 (%)	Pasa <i>mesh</i> 70 (%)
Agosto	1,09	2,41	3,47	93,04
Septiembre	1,1	2,51	3,4	92,99
Octubre	0,98	2,32	3,41	93,29
Noviembre	1,04	2,7	5,77	90,5
Diciembre	0,75	1,93	3,33	93,99
Enero	0,75	2,14	3,2	93,91
Febrero	0,66	2,01	5,19	92,14
Marzo	0,37	1,22	6,79	91,62
Abril	0,75	2,24	3,84	93,17
Julio	0,38	1,15	5,01	93,46

Fuente: elaboración propia.

4.3. Variación de granulometría de las harinas obtenidas con materias primas de distintos orígenes en el producto terminado

En las figuras 23, 24, 25 y 26 se muestran los resultados para analizar la variación de la harina precocida y atol utilizando como materia prima maíz de distintos orígenes.

Figura 23. **Porcentaje de gramos retenidos en *mesh* 45 de harina precocida obtenida con maíz proveniente de Sur América**



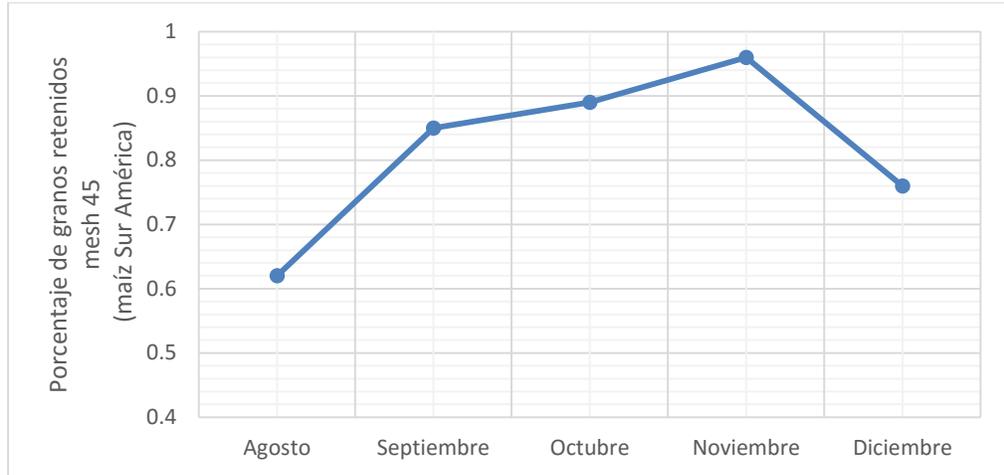
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Figura 24. **Porcentaje de gramos retenidos en *mesh* 45 de harina precocida obtenida con maíz proveniente de Norte América**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Figura 25. **Porcentaje de gramos retenidos en *mesh* 45 de atol obtenido con maíz proveniente de Sur América**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Figura 26. **Porcentaje de gramos retenidos en *mesh* 45 de atol obtenido con maíz proveniente de Norte América**

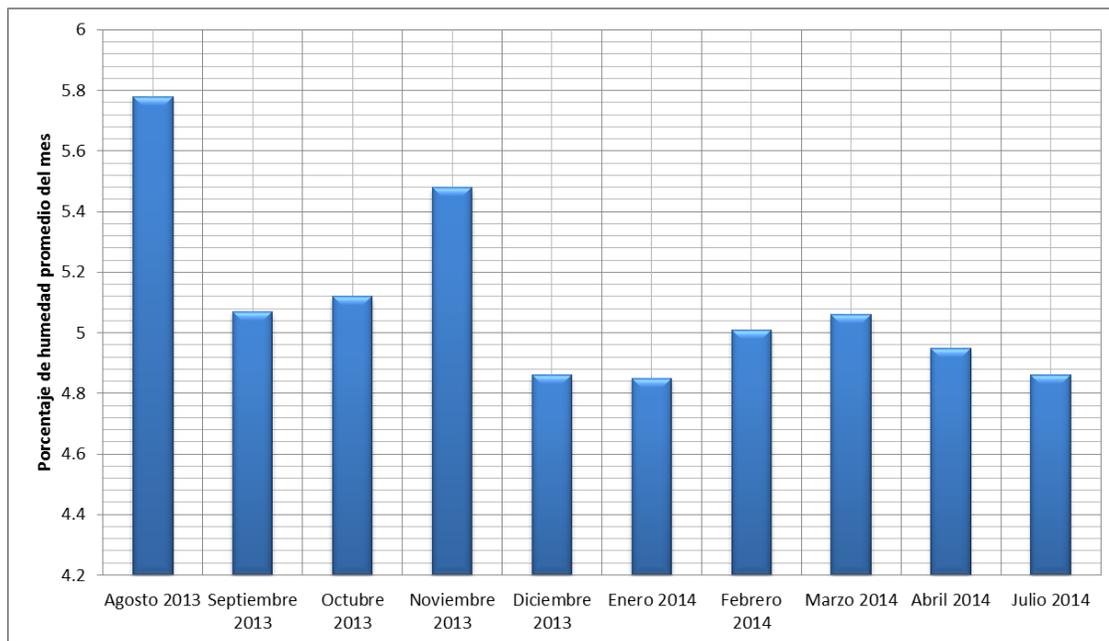


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

4.4. Evaluar las variaciones en contenido de humedad de harina precocida y atol

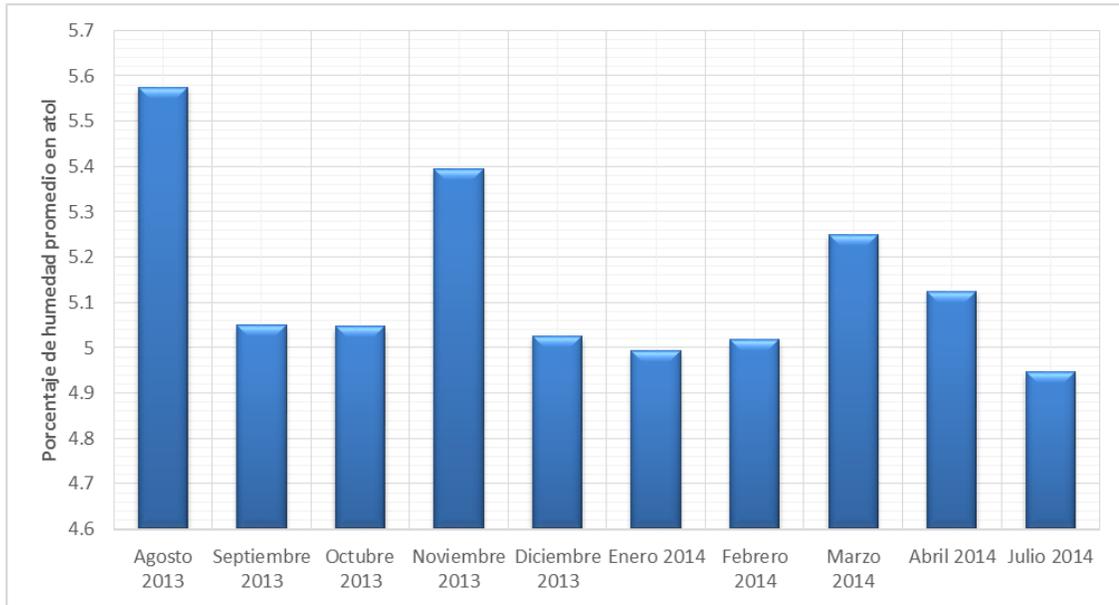
La figura 27 y 28 muestran los porcentajes de humedad promedio en los meses analizados, para la harina de maíz precocida y atol.

Figura 27. **Porcentaje promedio de contenido de humedad para harina precocida en cada mes**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Figura 28. **Porcentaje promedio de contenido de humedad para el atol en cada mes**

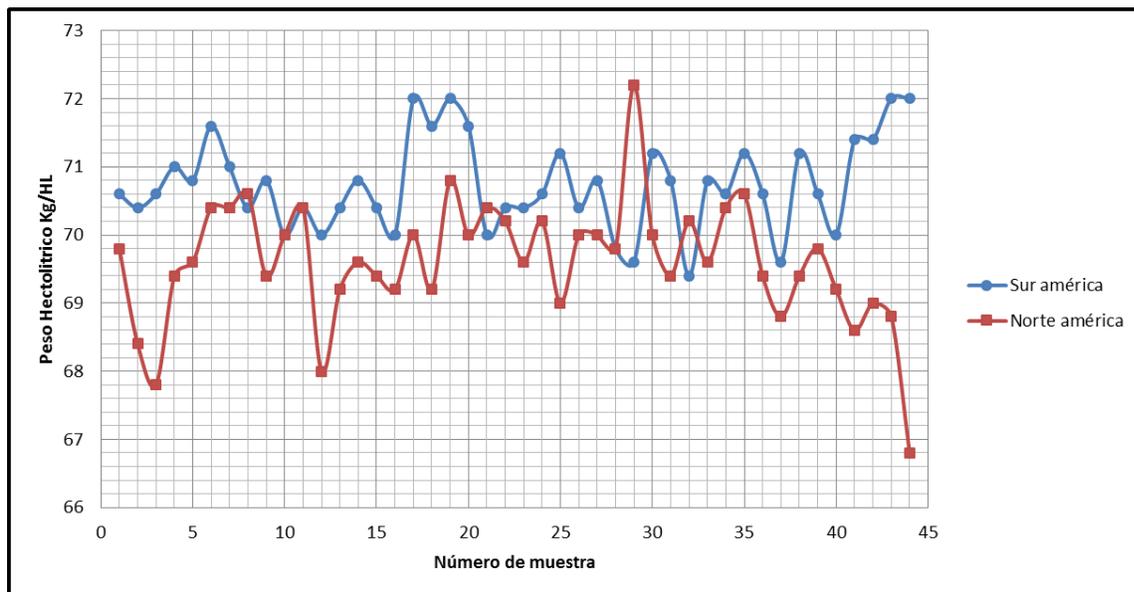


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

4.5. Evaluar las variaciones en peso hectolítico de maíz de diferente origen

La figura 29 muestra una comparación del peso hectolítico del maíz proveniente de Sur América y de Norte América.

Figura 29. Comparación de peso hectolítico del maíz de Sur América y Norte América



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizó la evaluación del proceso de molienda en la producción de harinas y elaboración de atoles, utilizando datos de 10 meses de producción de granulometrías, humedad, peso hectolítrico y parámetros de control establecidos. La granulometría es muy importante en las características sensoriales del atol, por lo que es de gran importancia la relación entre la granulometría de la harina precocida y el atol.

Como se observa en la figura 18, que compara gramos de harina precocida y atol retenidos en el *mesh* 45, el cual es el único *mesh* utilizado en común entre el atol y harina, debido a que el atol tiende a aglomerarse y formar esferas cuando le es aplicado otro tamiz con un *mesh* superior, por lo que no se tiene una granulometría real al aplicarlo. Al visualizar las tendencias de los retenidos promedios se establece que hay relación entre la granulometría de harina precocida y atol, exceptuando diciembre y julio en los cuales el promedio de gramos retenidos en *mesh* 45 de atol superó al retenido de harina precocida, eso puede ser debido a aglomeración de la soya con la harina precocida en el mezclado realizado para la elaboración el atol, los valores de porcentaje de gramos retenidos promedio en *mesh* 45 se puede visualizar en la tabla VII.

Al contar con 2 290 datos por cada tamiz utilizado y los parámetros establecidos para los retenidos en cada *mesh*, se pueden calcular el índice de capacidad de proceso para determinar si el proceso está bajo control y para que límite del rango de aceptación tiende. En la tabla VIII se muestran los valores calculados de índice de capacidad de proceso para cada mes de harina

precocida, para los gramos retenidos en *mesh* 45 se determinaron cpk con valores entre 0,28 y 0,54 lo que indica que hay datos de retenido fuera de especificaciones pero, la media de los datos si se encuentra entre el rango de especificación y los datos muestran una tendencia al límite inferior de los parámetros de especificación.

Para los gramos retenidos en el tamiz *mesh* 60 se obtuvieron cpk con valores negativos entre -1,79 y -0,79 lo que indica que la media de los datos está fuera de especificación, por lo que se sugirió un cambio de parámetros de especificación debido a que a pesar de no cumplir con los parámetros establecidos, el atol no se ve afectado en calidad pudiendo utilizar otros parámetros como aceptables.

Para el retenido en el tamiz *mesh* 70 se obtuvieron valores entre 0,27 y 0,66 por lo tanto no todas las granulometrías cumplen con especificación, pero la media de granulometrías sigue conforme la especificación, los valores mostrados demuestran una cierta tendencia de las granulometrías al límite inferior de especificación. Para los gramos de harina que atraviesan el tamiz *mesh* 70 se obtuvieron cpk entre 0,81 y 1,28 lo que significa que la media de la granulometría cumple con especificaciones teniendo datos fuera de especificación mínimos y muestra que los datos tienden al límite superior.

En la tabla IX se pueden ver los cpk para la totalidad de los datos por cada *mesh* siendo de 0,40 para gramos retenidos en *mesh* 45, -1,05, para gramos retenidos en *mesh* 60, 0,36 para gramos retenidos en *mesh* 70 y 0,90 para harina con tamaño de partícula menor a 0,90.

Al analizar la figura 19 y los datos utilizados disponibles en la tabla X, los datos de gramos retenidos en el tamiz *mesh* 45 de harina precocida para los meses comprendidos de agosto a abril y julio, se determinó que se obtuvieron altas granulometrías en un rango de 0,75 a 1,1 gramos entre agosto a diciembre, en los cuales se utilizó maíz proveniente de Sur América, mientras que en los meses posteriores la granulometría disminuyó obteniendo granulometrías promedio en un rango entre 0,37 y 0,75 al utilizar maíz proveniente de Norte América.

En marzo y julio se mira una disminución considerable con granulometrías en un rango de 0,37 y 0,38 gramos promedio, estas granulometrías por abajo del promedio de otros meses se debieron a un cambio de pines en el molino de discos, por lo que al desgastarse los pines del molino la granulometría tiende a subir.

Al analizar la figura 20 y los datos disponibles en la tabla X de gramos retenidos en el tamiz *mesh* 60 de harina precocida, se mantuvo un comportamiento similar entre los meses en un rango entre 1,93 y 2,7 gramos promedio, exceptuando marzo y julio, que presentan granulometrías de 1,22 y 1,15 debido al cambio de los pines del molino de discos generando una mayor cantidad de finos. Estos valores no cumplen con la especificación de parámetros establecidos y al no afectar la calidad y análisis sensorial del producto a lo largo de los meses analizados, se propone cambiar estos parámetros establecidos tomando en cuenta los valores promedio obtenidos en los 10 meses analizados.

Al analizar la figura 21 y la tabla X en la que se muestran los datos de gramos retenidos en el tamiz *mesh* 70, se puede observar una granulometría

promedio similar en agosto, septiembre, octubre, diciembre, enero y abril en un rango de 3,2 y 3,86 gramos promedio de harina precocida. En noviembre, febrero, marzo y julio se registraron granulometrías mayores a las de otros meses en un rango de 5,01 y 6,79 gramos promedio, a pesar de ser mayor la granulometría a la de otros meses, se encuentra dentro de parámetros establecidos y no afecta la calidad y características sensoriales del atol.

Al analizar la figura 22 y la tabla X en la que se muestra los datos de gramos que atraviesan el tamiz *mesh* 70 se puede apreciar que el porcentaje de retenidos es muy similar en agosto, septiembre, octubre, diciembre, enero, abril y julio, con granulometrías promedio en un rango de 92,99 y 93,99 gramos retenidos promedio. En noviembre, febrero y marzo se obtuvo una granulometría ligeramente menor a los meses anteriormente mencionados, obteniendo granulometrías en un rango de 90,5 y 92,14 gramos de retenido promedio. A pesar de estas variaciones no se registraron problemas en la calidad y características sensoriales en el atol, y cumplen con los parámetros establecidos.

En los meses analizados se trabajó con maíz de distinto origen, siendo el maíz de Sur América el utilizado de agosto a diciembre y maíz de Norte América el utilizado de enero a julio. Para la comparación de las granulometrías de harina precocida obtenidas a partir del maíz de cada procedencia, se utilizó únicamente el tamiz *mesh* 45 para la harina precocida y para el atol.

Al analizar las figuras 23 y 24 las cuales muestran el retenido en tamiz *mesh* 45 de harina precocida obtenida a partir de maíz de Sur América y Norte América respectivamente. Se determinó que la harina precocida con maíz de

Sur América presenta una mayor granulometría promedio, la cual está entre 0,75 a 1,1 gramos, que la harina precocida obtenida a partir de maíz norte americano la cual presenta una granulometría promedio entre 0,38 a 0,75 gramos. Lo que indica que se obtiene una cantidad mayor de finos cuando se trabaja con maíz de Norte América. Al analizar las figuras 25 y 26 las cuales muestran el retenido en *mesh* 45 de atol para Sur América y Norte América respectivamente, se presenta el mismo comportamiento de la harina precocida, obteniendo mayores granulometrías con maíz de Sur América.

La determinación del contenido de humedad es muy importante ya que al tener un contenido de humedad superior al 15 % las harinas están expuestas al ataque de microorganismos. Por lo que se analizaron los porcentajes de humedad obtenidos para harina precocida y atol. Al analizar el porcentaje de humedad promedio para la harina de maíz precocida representados en la figura 27, se determinó que cumplen con el contenido de humedad al estar en un rango del 4,86 al 5,78 % evitando el ataque de microorganismos y cumpliendo los parámetros establecidos. Asimismo, se analizó el porcentaje de humedad para el atol representado en la figura 28, obteniendo humedades de 4,95 a 5,57 % cumpliendo con parámetros establecidos y evitando crecimiento microbiológico.

Los datos de humedades en los meses analizados permanecieron estables durante cada mes independientemente de la variación de granulometría.

Uno de los análisis que se están utilizando para conocer la calidad del grano de maíz utilizado es la determinación del peso hectolítrico del maíz. Un peso hectolítrico con valores cercanos a 75 g/hL demuestra una mejor calidad

del grano, al existir menos gramos fisurados y por lo tanto un mejor aprovechamiento del volumen. Para este estudio se analizaron los datos de peso hectolítrico de 44 muestras de cada uno de los orígenes del grano utilizados en este trabajo de graduación.

La figura 29 muestra la comparación de los pesos hectolítricos del maíz de Norte América y Sur América obteniendo valores para Sur América en un rango de 69,4 a 72 g/hL y para Norte América valores en un rango de 66,8 a 72,2 g/hL. Los valores promedio del peso hectolítrico para Sur América fue de 70,74 g/hL y de 69,6 g/hL para Norte América. Determinando que el maíz de Sur América tiene una dureza mayor que el de Norte América, y por lo tanto mejor para los procesos de generación de harinas. Sin embargo, los valores de peso hectolítrico del grano Norte América también son adecuados para la generación de harinas.

Por lo discutido anteriormente se acepta la hipótesis alternativa de este trabajo de graduación, al existir variaciones entre las granulometrías de los meses analizados, así como las variaciones que son provocadas por utilizar maíz de diferente origen y la distribución de las granulometrías conforme a parámetros establecidos.

CONCLUSIONES

1. El análisis y comparación de granulometrías de harina precocida y atol, determinó que la granulometría de harina precocida afecta a la granulometría del atol, que se ve afectada a su vez por su mezcla con soya creando variaciones.
2. El índice de capacidad de proceso para la harina precocida demostró que la media de las granulometrías cumple con especificaciones, aunque parte de los datos se encuentran fuera de especificación causando variaciones, para el tamiz *mesh* 45 se obtuvieron valores de cpk entre 0,28 y 0,54.
3. Las granulometrías de agosto a diciembre presentan granulometrías más elevadas a los otros meses analizados, al utilizar un maíz con una dureza mayor.
4. En marzo y julio se presentaron las menores granulometrías debido al cambio de pines del molino de discos.
5. Las harinas obtenidas con materia prima de Sur América presentan una granulometría mayor a las harinas obtenidas con materia prima de Norte América.
6. La humedad siguió un comportamiento estable en cada mes que fue evaluado, presentando variaciones mínimas.

7. El peso hectolítrico determinó que el maíz de Sur América tiene una mayor dureza y menor porcentaje de quebrados. Siendo un maíz de mejor calidad. Aunque el peso hectolítrico del maíz de Norte América presenta valores cercanos por lo que es adecuado para su utilización.
8. Se acepta la hipótesis alternativa de este trabajo de graduación, al existir variaciones entre las granulometrías y variaciones por la procedencia del maíz utilizado.

RECOMENDACIONES

1. Cambiar el rango del parámetro de especificación para el retenido en *mesh* 60, debido a que el c_{pk} refleja que las granulometrías se encuentran fuera de parámetros, pero las granulometrías obtenidas no han presentado problemas en la calidad y características sensoriales del atol.
2. Realizar un registro para el desgaste de los pines del molino de discos, debido a que el cambio de los mismos afecta directamente a la granulometría de la harina.
3. Evaluar si el mezclado de harina precocida con los ingredientes necesarios para la elaboración del atol es el adecuado, para obtener una mayor homogenización en la mezcla.
4. Introducir al registro de parámetros de control, la velocidad del tornillo sin fin de la celda de alimentación al molino de discos.
5. Al observar la dispersión de los datos de los distintos análisis realizados, se recomienda realizar una evaluación de resultados para reducir el rango de los parámetros de especificación.
6. Hacer relaciones entre la granulometría y análisis físico químicos de laboratorio a la materia prima, para identificar características en la materia prima que afecten la granulometría final.

BIBLIOGRAFÍA

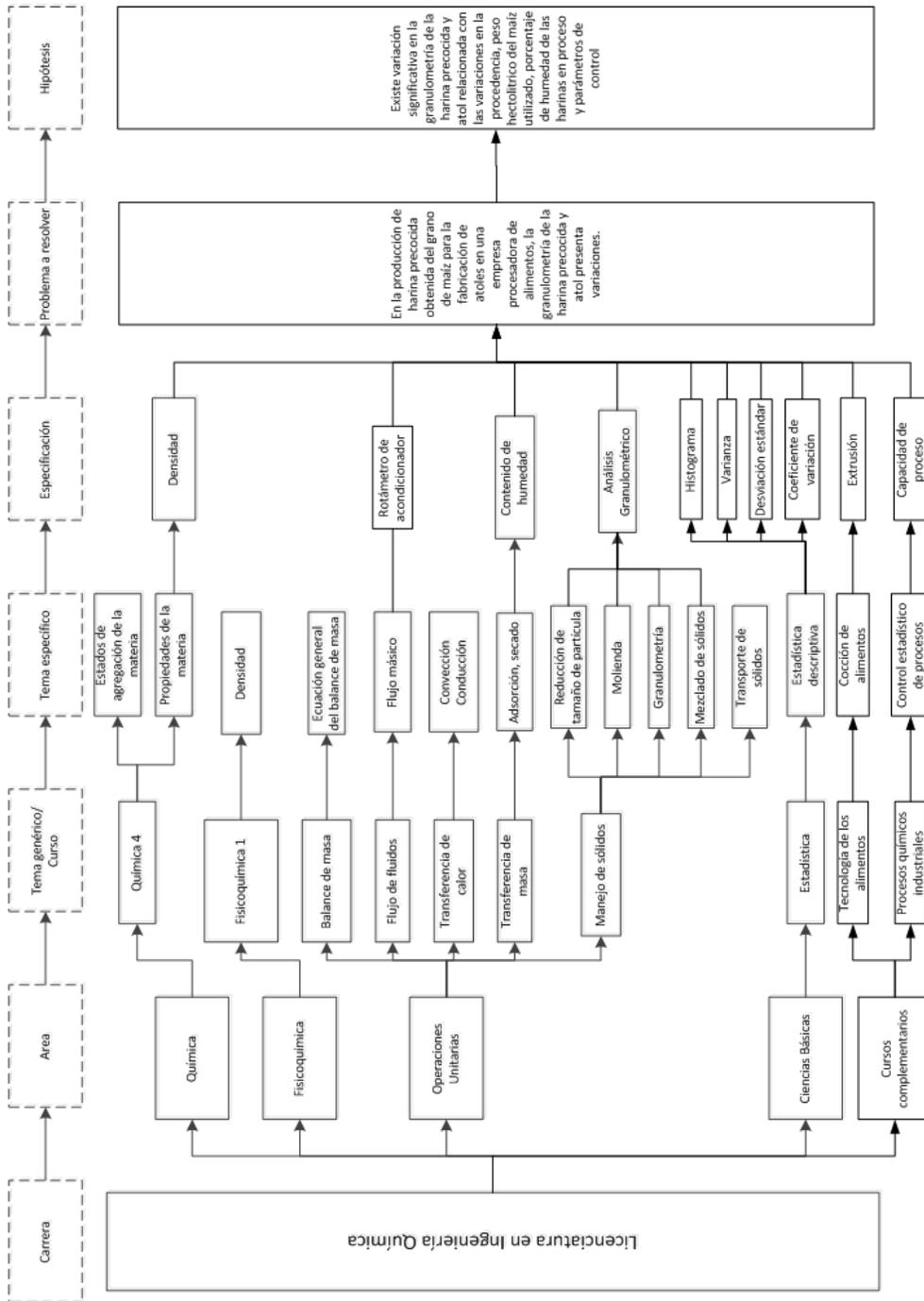
1. ALZATE DE SALDARRIAGA, Rosalba. *Capacidad de proceso*. [en línea]. <<http://www.uvg.edu.gt/DQF/Presentaciones-lunes-23-04-2012-Dra.Rosalba-Alzate/Capacidad%20de%20procesos.pdf>>. [Consulta: 2 de octubre de 2014].
2. Buhler Group. *Desgerminadora de maíz MHXM-M*. [en línea]. <<http://www.buhlergroup.com/europe/es/productos/desgerminadora-de-maiz-mhxm-m.htm#.VQd7gdKG-Jo>>. [Consulta: 25 de enero de 2015].
3. DAVIS, K.S. *Corn milling, processing and generation of co.-products*. [en línea]. <[http://www.distillersgrains.org/files/grains/k.davis--ry&wetmill processing.pdf](http://www.distillersgrains.org/files/grains/k.davis--ry&wetmill%20processing.pdf)>. [Consulta: 25 de enero de 2015].
4. Fenalce. *Producción de harinas precocidas de maíz*. [en línea]. 2007. <<http://www.fenalce.org/archivos/HarinasPrecocidas.pdf>>. [Consulta: 15 de enero de 2015].
5. Financiera Rural. *Monografía de los subproductos de la molienda de maíz*. [en línea]. 2011. <<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaMa%C3%ADzSubprod%28nov2011%29vf.pdf>>. [Consulta: 20 de enero de 2015]

6. FUENTES LÓPEZ, Mario Roberto; VAN ETTEN, Jacobo; ORTEGA APARICIO, Álvaro; VIVERO POL, José Luis. *Maíz para Guatemala: Propuesta para la reactivación de la cadena agroalimentaria del maíz blanco y amarillo.* [en línea]. <http://www.researchgate.net/publication/268397019_Maz_para_Guatemala_Propuesta_para_la_reactivacion_de_la_cadena_agroalimentaria_del_maz_blanco_y_amarillo._SERIE_PESA_Investigacin_1>. [Consulta: 25 de enero de 2015].
7. GARCÍA, Javier; MOYA DE LA TORRE, Eduardo. *Modelado y simulación de un proceso de extrusión.* [en línea]. <<http://www.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXIX/pdf/264.pdf>>. [Consulta: 25 de enero de 2015].
8. GEANKOPLIS, Christie. *Procesos de transporte y operaciones unitarias.* 3a ed. México: Continental, 1998. 1007 p.
9. LEZCANO, E. *Productos de maíz.* [en línea]. Argentina. <http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/farinaceos/Productos/ProductosMaiz_1ra_2012_05May.pdf>. [Consulta 17 de marzo de 2014].
10. MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química.* 6a ed. México: McGraw-Hill, 2002. 1202 p.

11. PAGNACCO, Silvio. *Molienda seca de maíz*. [en línea]. <http://losmolinos.beltres.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=470:moliendasecademaiz&catid=109:molineria&Itemid=1053>. [Consulta: 20 de enero de 2015].
12. PERRY, Robert. *Perry's chemical engineers' handbook*. 8a ed. New York, United States: McGraw-Hill, 2008. 2702 p.
13. UNR-MAGA. *Importaciones de maíz y subproductos a Guatemala*. [en línea]. Hoja electrónica proporcionada por la Ventanilla Única de Importaciones. Unidad de Normas y Regulaciones, 2004. [en línea]. <http://portal2.maga.gob.gt/unr_normativas/search_normativas.php>. [Consulta: 17 de marzo de 2014].
14. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 8a ed. México: Pearson Prentice Hall, 2007. 739 p. ISBN: 9789701702642.

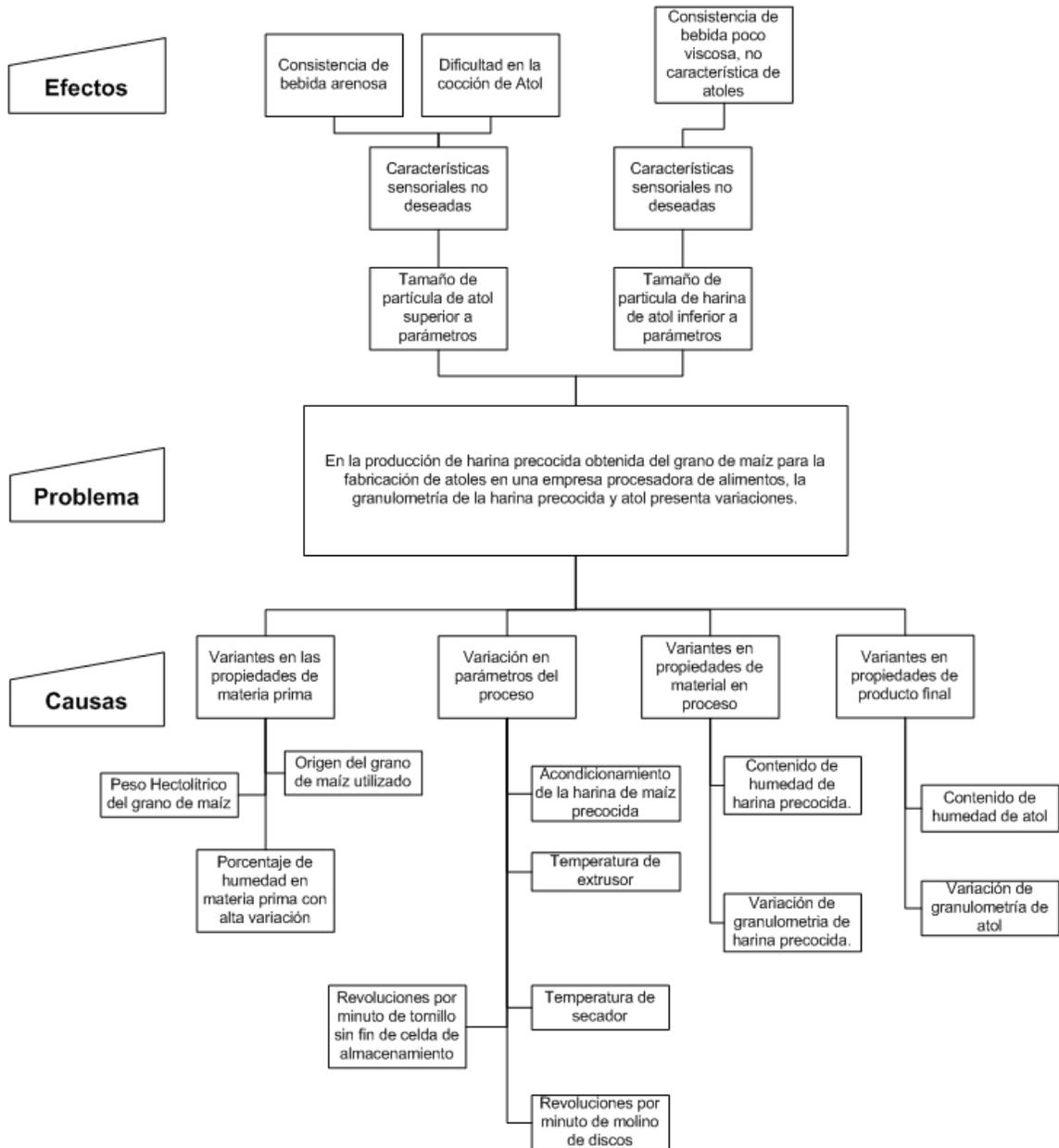
APÉNDICES

1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

3. Muestra de cálculo

Media aritmética de los datos a utilizar

[Ecuación 1]

$$\hat{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

Donde:

\hat{x} = media los datos muestrales

n = cantidad de datos

a = dato individual

Índice de la capacidad del proceso para la densidad del producto final.

[Ecuación 2]

$$\hat{C}_{pk} = \min \left[\frac{TS - \hat{\mu}}{3 \times \sigma}, \frac{\hat{\mu} - TI}{3 \times \sigma} \right]$$

Donde:

\hat{C}_{pk} = índice de capacidad de proceso

TS = límite superior de especificación

TI = límite inferior de especificación

σ = desviación estándar de los datos muestrales

$\hat{\mu}$ = media los datos muestrales

4. Datos calculados y originales

Muestra de datos de granulometrías y humedad de harina precocida de agosto

Granulometría RETENIDO 45	Granulometría RETENIDO 60	Granulometría RETENIDO 70	Granulometría PASA 70	HUMEDAD PLANTA 1
0,56	1,1	2,44	95,9	4,3
0,9	1,94	2,84	94,32	5,65
1,1	1,88	2,76	94,26	5,58
0,6	1	2,2	96,2	6,03
1,7	2,65	2,85	92,8	6,52
1,1	1,3	2	95,6	6,62
0,85	1,75	2,5	94,9	5,62
0,2	0,7	2	97,1	5,56
0,2	1,1	2	96,7	5,5
3,32	3,12	4,86	94,3	5,62
0,5	0,98	2,55	95,97	5,86
0,8	1,16	2,44	95,6	5,92
0,6	2,18	2,66	94,56	5,74
0,32	0,9	1,36	97,42	5,41
0,6	1,12	2,1	96,18	6,05
0,75	1,75	2,4	95,1	6,15
0,35	0,8	2	96,85	6,02
0,6	1	2	96,4	5,98
0,35	1	2	96,65	5,3
0,15	0,35	2,6	96,9	5,32
0,3	6	2	91,7	5,46
0,6	2,1	2,85	94,45	5,65
0,8	2,16	2,84	94,2	5,68
0,82	1,32	2,82	95,04	6,8
0,4	1,6	2	96	6,44
1,1	1,4	3	94,5	6,21
1,15	1,6	3,2	94,05	4,5

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de harina precocida de
septiembre

Granulometría RETENIDO 45	Granulometría RETENIDO 60	Granulometría RETENIDO 70	Granulometría PASA 70	HUMEDAD PLANTA 1
0	0	1,2	98,8	3,54
0	0	1,1	98,9	5,16
0	0	0,9	99,1	3,09
0	0	1,22	98,78	4,94
0	0	1,02	98,98	3,56
0,7	2,02	3,07	94,21	4,6
0,5	1,88	3,56	94,06	3,66
0,8	2,56	4,02	92,62	4,84
0,72	1,72	2,98	94,58	4,92
0,54	1,83	2,18	95,45	5,16
2,3	3,3	4,5	89,9	6,05
3	4,1	5	87,9	5,77
0,6	2,2	3,8	93,4	5,15
0,9	2,9	3,6	92,6	5,38
0,9	3,3	4	91,8	4,91
1	3,5	4,2	91,3	5,03
1,3	2,8	3,5	92,4	5,59
0,76	2,04	1,97	95,23	5,27
0,62	1,67	2,17	95,54	5,73
0,49	2,22	1,73	95,56	5,26
0,76	2,26	2,96	94,02	5,14
0,7	2,7	3,3	93,3	4,73
0,8	2,7	3,85	92,65	5,11
1,1	3	4,5	91,4	5,26
0,8	2,8	3,8	92,6	5,33
0,8	2,6	4,2	92,4	5,5
0,9	2,8	4,6	91,7	5,2
0,55	1,95	2,82	94,68	5,02
0,7	2,12	2,56	94,62	5,22

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de harina precocida de octubre

Granulometría RETENIDO 45	Granulometría RETENIDO 60	Granulometría RETENIDO 70	Granulometría PASA 70	HUMEDAD PLANTA 1
0,94	1,66	2,1	95,3	5,96
1,1	1,48	2,24	95,18	5,78
1,42	1,62	2,02	94,94	6,1
0,63	1,45	2,02	95,9	4,97
0,44	1,23	2,23	97,77	4,59
0,9	1,9	2,04	95,16	5,14
0,92	2,12	2,58	94,38	5,24
0,7	1,2	2,02	96,08	4,79
0,82	1,52	2,6	95,06	4,37
0,9	3,62	2,86	92,62	4,65
0,96	2,41	2,14	94,49	5,1
1,4	1,79	2,44	94,37	4,79
1,33	1,9	2,13	94,64	4,88
0,74	1,1	2,93	95,23	4,92
0,9	1,34	2,8	94,96	5,02
0,54	1,7	1,64	96,12	5,14
2,89	1,89	2,58	92,64	5,28
1,86	3,44	6,24	88,46	5,68
1,74	2,8	3,1	92,36	5,6
0,96	1,68	2,11	95,25	5,33
0,74	1,72	2,44	95,1	6,1
0,5	2	2,76	94,74	4,58
0,67	2,42	2,67	94,24	4,92
1,92	2,82	7,42	87,84	4,9
1,07	2,01	2,46	94,46	4,52
1,1	2,78	4,04	92,08	5
1,68	2,13	2,55	93,64	5,4
1,08	1,69	2,47	94,76	5,26
1,24	2,1	2,52	94,14	5,22
1,62	2,16	2,48	93,74	5,44
1,72	2,16	2,6	93,52	5,62

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de harina precocida de noviembre

Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: RETENIDO 60	Granulometría: RETENIDO 70	Granulometría: PASA 70	HUMEDAD PLANTA 1
0,4	1,56	3,84	94,2	5,84
0,56	2,12	4,14	93,18	5,76
0,24	1,33	4,88	93,55	5,56
0,96	2,28	5,02	91,74	5,42
0,49	2,06	5,18	92,27	5,69
1,23	2,38	5,34	91,05	6,09
0,92	3,78	5,12	90,18	5,29
0,4	2,02	8,72	88,86	5,46
0,62	2,4	9,02	87,96	5,5
0,49	2,1	8,9	88,51	5,52
0,51	2,16	8,4	88,93	5,44
0,51	1,98	6,23	91,28	5,48
1,2	2,12	8,2	88,48	5,94
0,9	2,56	6,58	89,96	5,86
0,66	1,98	7,12	90,24	5,25
0,82	2,54	7,26	89,38	5,46
1,54	2,56	7,72	88,18	5,91
1,2	2,94	7,12	88,74	5,81
2,52	4,15	9,98	83,35	6,3
0,55	2,17	8,14	89,14	6,7
0,76	2,44	9,9	86,9	6,64
1,24	3,06	12,58	83,12	6,72
0,77	2,79	12,89	83,55	6,7
0,74	2,8	9,94	86,52	6,45
0,33	2,55	9,8	87,32	5,59
0,42	2,38	9,13	88,07	6,1
0,41	2,54	7,55	89,5	5,78
0,86	2,76	7,12	89,26	5,66
0,46	1,96	6,36	91,22	5,08
1,18	2,88	7,88	88,06	5,24
0,84	2,68	8,46	88,02	5,46

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de harina precocida de diciembre

Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: RETENIDO 60	Granulometría: RETENIDO 70	Granulometría: PASA 70	HUMEDAD PLANTA 1
0,4	0,75	1,8	97,05	6,47
0,7	2,42	2,56	94,32	5,6
0,6	1,11	3,19	95,1	4,78
0,56	1,13	2,02	96,29	4,86
0,6	1,22	1,68	96,5	4,91
0,74	1,1	1,5	96,66	4,84
0,77	0,96	1,38	96,89	5,02
0,65	1,35	3,6	94,4	4,89
0,75	1,5	4,4	93,35	4,86
0,5	1,6	4,3	93,6	4,57
2,05	2,1	3	92,85	6,97
0,52	1,42	2,03	96,03	5,12
0,6	1,8	1,62	95,98	5,02
0,4	1,15	1,15	97,3	4,84
1,3	2,45	3,1	93,15	5,9
1,05	1,75	2,8	94,4	4,92
0,65	0,75	2,75	95,85	5,16
0,45	1,55	3,05	94,95	5,5
0,9	1,95	7,5	89,65	5,07
0,62	1,95	2,1	95,33	5,74
0,7	1,62	1,86	95,82	5,68
0,66	0,96	2,39	95,99	5,73
0,56	0,82	1,96	96,66	5,6
0,96	1,56	2,38	95,1	5,84
0,9	1,42	2,1	95,58	5,72
0,8	1,9	4,35	92,95	5,11
0,8	1,55	2,5	95,15	5,33
0,85	1,65	4,85	92,65	5,17
0,4	1,05	2,65	95,9	5,2
0,6	1	4,8	93,6	5,06
0,28	1,28	1,68	96,76	5,6
0,65	1,36	2,08	95,91	5,5

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de harina precocida de
enero

Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: RETENIDO 60	Granulometría: RETENIDO 70	Granulometría: PASA 70	HUMEDAD PLANTA 1
0,96	2,13	2,5	94,41	5,6
0,84	5,28	2,11	91,77	5,64
0,5	1,5	3	95	4,38
0,2	1,05	1,1	97,65	4,72
0,55	1,25	0,8	97,4	4,62
0,5	1,65	2,1	95,75	4,68
0,4	0,8	1,1	97,7	5,35
0,2	0,9	2	96,9	4
0,4	2,5	2,85	94,25	4,5
0,4	1,45	4,88	93,27	5,24
1,15	2,67	5,9	90,28	5,19
0,9	2,36	5,14	91,6	5,34
0,86	2,13	4,28	92,73	5,2
1,06	1,97	4,63	92,34	5,4
0,86	2,13	2,96	94,05	5,69
1,2	2,45	5,05	91,3	5,42
1,15	3,35	4,25	91,25	4,13
1,35	3,42	3,8	91,43	4,86
1,85	4,7	7,1	96,35	4,52
1,05	2,7	7,6	88,65	4,9
0,6	1,4	2,25	95,75	4,79
0,3	2,11	2,58	95,01	4,82
0,7	1,94	2,5	94,86	4,67
0,6	1,58	2,17	95,65	4,5
1,02	1,9	2,7	94,38	4,57
1,1	1,99	2,68	94,23	4,84
1,13	2,55	2,714	93,61	4,74
0,6	0,85	1,1	97,45	4,08
0,65	2,2	3,6	93,55	4,32
0,8	2,55	4,1	92,55	4,82
1,3	3,4	6,05	89,25	4,67
1,6	3,05	5,63	89,72	5,63

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de harina precocida de febrero

Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: RETENIDO 60	Granulometría: RETENIDO 70	Granulometría: PASA 70	HUMEDAD PLANTA 1
0,6	1,16	2,3	95,94	4,66
0,12	1,8	2,22	95,86	4,18
0,7	2,18	3,36	93,76	4,7
0,1	1,6	2,34	95,96	4,02
0,2	1,39	3,12	95,29	5,15
0,25	0,64	1,66	97,45	5,36
0,3	1,1	2,14	96,46	5,48
0,4	2,2	2,56	94,84	5,66
0,5	1,6	1,85	96,05	4,9
0,4	2,35	3,4	93,85	5,7
0,65	3,5	6,95	88,9	6
0,7	3,55	7,1	88,65	5,5
1,4	3,9	5,92	88,78	5,72
0,2	1,68	4,64	93,48	5,1
0,4	2,12	4,84	92,64	5,2
0,4	2,66	4,25	92,69	5,45
0,32	2,54	4,38	92,76	5,54
0,2	1,15	2,7	95,95	5
0,16	1,22	3,6	95,02	5,78
0,25	1,9	5,8	92,05	5,55
0,25	2,1	5,65	92	5,6
0,35	2,35	6,8	90,5	5,4
0,25	1,55	5,05	93,15	4,89
0,3	1,4	8,2	90,1	4,3
0,46	2,7	6,11	90,73	4,8
0,35	2,74	5,12	91,79	5,02
0,32	1,7	4,52	93,46	4,74
0,4	1,96	4,74	92,9	4,96
0,2	1,65	4,54	93,61	4,76
0,39	2,06	5,03	92,52	5,32
0,4	2,2	6,05	91,35	6,4

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de harina precocida de
marzo

Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: RETENIDO 60	Granulometría: RETENIDO 70	Granulometría: PASA 70	HUMEDAD PLANTA 1
0	0,78	4,55	94,67	4,03
0,12	0,47	4,99	99,42	3,66
0,12	0,4	3,52	95,96	4,02
0,15	1,4	4,5	93,95	4,49
0,1	0,3	3,3	96,3	4,39
0,2	1	4,1	94,7	4,22
0	1	3,2	95,8	4,02
0,1	0,7	4,6	94,6	4,21
0,9	2,2	3	93,9	4,12
0	0,66	3,99	95,35	4,06
0,05	0,99	4,22	94,74	4,39
0,11	0,59	2,88	96,42	4,08
0,09	0,23	2,48	97,2	4,34
0,1	0,48	3,11	93,31	4,59
1,8	2,5	10,35	85,35	7,36
0,2	1,45	5,7	92,65	4,96
0,25	1,75	5,62	92,38	5,05
0,4	2,14	5,81	91,65	5,14
0,2	0,96	5,38	93,46	5,02
0,32	1,54	5,98	92,16	5,24
0,25	1,38	5,1	93,27	5,09
0,6	2,76	7,16	89,48	5,06
0,45	2,3	8,4	88,85	4,78
0,45	2,15	8,6	88,8	5,2
0,5	2,35	9,5	87,65	4,97
0,4	1,7	8,5	89,4	4,86
0,4	1,7	7,85	90,05	4,19
0,2	1	6,65	92,15	4,62
0,2	0,98	5,02	93,8	4,5
0,35	1,54	5,66	92,45	4,68
0,22	1,3	4,79	93,69	4,77

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de harina precocida de
abril

Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: RETENIDO 60	Granulometría: RETENIDO 70	Granulometría: PASA 70	HUMEDAD PLANTA 1
0	3,88	2,51	93,61	4,56
0,35	5,1	4,5	90,05	5,88
0	3,75	3,48	92,77	4,92
0,1	3,6	3,05	93,25	5,02
0	2,89	2,05	95,06	4,67
0,08	2,89	2,07	94,96	4,18
0,12	3,11	2,22	94,55	4,55
0	4,06	2,02	93,96	5,21
0,2	3,1	2,5	94,2	4,99
0,1	3,5	1,5	94,9	4,77
0,1	3	2	94,9	4,89
0,1	2,5	2,7	94,7	4,8
0,2	3,25	2,78	93,77	4,9
0	3,02	2,01	94,79	4,87
0,12	3,23	2,55	94,11	4,92
0,13	3	2,02	94,72	4,51
0	2,9	2,06	95,04	4,9
0,16	3,14	2,08	94,62	4,92
0,1	1,9	2,5	95,5	5,23
0,1	1,6	2,1	96,2	5,36
0	2,2	2	95,8	5,32
0,1	1,9	2,3	95,7	5,23
0,1	2	2,4	95,5	5,12
0,1	2,2	3	94,7	4,76
0,8	2,66	4,58	91,96	5,99
1,07	3,22	5,61	90,1	5,26
1,17	3,06	4,22	91,55	5,13
0,5	2,06	2,51	95,93	4,7
1,44	2,98	4,01	91,67	4,48
2,1	3,59	2,88	91,43	4,36
0,6	2,55	3,05	93,8	4,48
0,65	1,45	3	94,9	4,69

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de harina precocida de julio

Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: RETENIDO 60	Granulometría: RETENIDO 70	Granulometría: PASA 70	HUMEDAD PLANTA 1
0,2	0,5	2	97,3	6,51
0,4	1,35	2,3	95,95	4,79
0,12	0,3	2,06	97,52	4,98
0,22	0,46	2,13	97,15	5,02
0,26	0,39	2,47	96,88	4,45
0,29	0,47	2,33	96,91	5,06
0,27	0,56	2,16	97,01	4,98
0,35	0,84	2,51	96,3	5,06
0,25	0,4	4,3	95,05	5,07
0,1	0,6	3,6	95,7	4,96
0,2	0,5	4,1	95,2	5,03
0,6	1,35	3,2	94,85	5,43
0,1	1,3	5	93,6	4,69
0,3	0,9	3,8	95	4,81
0,28	0,96	2,15	96,61	4,06
0,36	0,84	2,31	93,49	4,45
0,12	0,64	3,64	95,6	4,51
0,19	0,56	2,41	96,84	4,52
0,22	0,89	2,13	96,76	4,48
0,2	0,32	2,38	97,1	4,15
0,4	0,8	5,2	93,6	4,76
0,2	0,4	4	95,4	5,11
0,1	0,5	3,8	95,6	5,21
0,35	0,7	4,1	94,85	4,86
0,3	1,15	4,5	94,05	4,63
0,2	0,9	3,8	95,1	4,73
0,3	0,62	3,61	95,47	4,63
0,26	0,89	2,49	96,36	4,58
0,22	0,64	4,16	94,98	4,85

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de atol de agosto

HUMEDAD PLANTA	Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: PASA 45
5,01	1,1	98,9
5,06	0,8	99,2
5,54	0,6	99,4
5,27	0,3	99,7
5,51	0,25	99,75
5,51	0,3	99,7
5,38	0,2	99,8
4,74	0,15	99,85
4,97	0,4	99,6
5,1	0,5	99,5
5,05	0,15	99,85
5,1	0,25	99,75
5,06	0,2	99,8
5,26	0,1	99,1
5,29	0,25	99,75
5,17	0,32	99,68
5,38	0,2	99,8
5,68	0,2	99,8
5,62	0,2	99,8
5,91	0,12	99,88
5,92	0,2	99,8
6,02	0,1	99,1
5,94	0,1	99,1
6,02	0,1	99,1
6,06	0,6	99,4
6,09	0,7	99,3
6,37	1,1	98,9
6,13	0,7	99,3
6,22	0,8	99,2
5,95	0,45	99,55
5,76	0,9	99,1
5,84	0,9	99,1
6,04	1	99
5,88	1,15	98,85

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de atol de septiembre

HUMEDAD PLANTA	Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: PASA 45
5,33	0,71	99,29
5,2	0,54	99,46
5,1	0,5	99,5
5,18	0,8	99,2
4,99	0,65	99,15
5,83	1	99
5,12	0,3	99,7
4,7	0,5	99,5
4,87	0,6	99,4
5,04	0,42	99,58
5,22	0,56	99,44
5,03	0,25	99,75
5,06	0,5	99,5
4,81	0,68	99,32
5,01	0,8	99,2
5,15	1	99
4,96	0,3	99,7
5,15	0,6	99,4
5,01	0,8	99,2
4,97	0,85	99,15
4,95	0,64	99,36
5,1	0,7	99,3
5	0,95	99,05
5,17	0,46	99,54
4,94	0,4	99,6
5,18	0,55	99,45
5,13	0,3	99,7
5,17	1	99
4,96	1,1	98,9
4,85	1,05	98,95
4,81	0,66	99,34
5,12	0,7	99,3
4,96	0,66	99,34
4,98	0,36	99,64

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de atol de octubre

HUMEDAD PLANTA	Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: PASA 45
5	0,81	99,19
4,79	0,92	99,08
5,62	1,12	98,88
5,4	0,78	99,22
5,47	0,82	99,18
5,4	0,56	99,44
4,96	1,06	98,94
4,9	0,8	99,2
4,92	1,11	98,89
4,42	1,21	98,79
4,51	1,32	98,68
5,23	0,12	99,8
5,62	0,45	99,55
5,7	0,5	99,5
6,13	0,42	99,58
6,12	0,62	99,6
4,79	1,45	98,58
5,32	0,96	99,04
4,68	0,81	99,19
5,21	1,4	98,6
5,01	0,54	99,46
4,72	0,82	99,18
5,96	0,7	99,3
5,46	1,78	98,22
5,12	0,93	99,07
4,82	0,25	99,75
5,68	0,12	99,88
5,29	0,2	99,8
5,7	0,2	99,8
5,46	0,18	99,82
5,22	1,4	98,6
5,28	0,49	99,51
5,41	0,59	99,41
4,97	0,5	99,5

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de atol de noviembre

Humedad planta	Granulometría: retenido 45	Granulometría: pasa 45
5,06	0,84	99,16
4,75	0,62	99,38
5,3	0,54	99,46
5,28	0,7	99,3
5,35	0,4	99,6
5,1	0,45	99,55
5,08	0,4	99,6
5,56	0,6	99,4
4,96	0,66	99,34
4,9	0,7	99,3
5,12	0,4	99,6
5,16	0,36	99,64
7,6	0,4	99,6
5,31	0,5	99,5
5,57	1,18	98,82
5,31	1,48	98,52
5,27	1,37	98,63
5,31	0,49	99,51
5,33	0,4	99,6
5,22	1,24	98,76
5,26	1,26	98,74
5,37	1,09	98,91
5,22	1,1	98,9
5,29	0,3	99,7
5,97	1,25	98,75
5,58	1,1	98,9
5,7	0,5	99,5
5,58	0,2	99,8
5,32	1,48	98,52
5,3	1,44	98,56
5,2	0,66	99,34
5,16	1,44	98,56
5,07	0,74	99,26
5,12	0,52	99,48

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de atol de diciembre

Humedad planta	Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: PASA 45
5,68	0,96	99,04
6,23	1,12	98,88
5,42	0,82	99,18
5,61	0,85	99,15
5,38	0,65	99,35
5,44	0,5	99,5
5,22	0,85	99,15
5,01	0,9	99,1
4,93	0,7	99,3
5,46	0,8	99,2
5,6	0,74	99,26
5,42	0,4	99,6
5,98	0,6	99,4
6,02	0,74	99,26
4,95	0,7	99,3
4,84	0,55	99,45
4,88	0,6	99,4
4,8	0,4	99,6
5,23	0,65	99,35
5,69	0,5	99,5
5,72	0,26	99,74
5,8	0,4	99,6
5,72	0,56	99,44
5,42	0,6	99,4
4,92	0,65	99,35
4,76	0,7	99,3
4,82	0,7	99,3
4,68	1	99
4,91	1,1	98,9
5,41	1	99
4,79	1	99
4,83	0,7	99,3
4,78	0,62	99,38

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de atol de enero

Humedad planta	Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: PASA 45
5,68	0,56	99,44
5,01	0,6	99,4
4,96	0,5	99,5
5,1	0,45	99,55
4,92	0,3	99,7
5,45	0,1	99,6
5,17	0,35	99,65
5,4	0,65	99,35
5,19	1,19	98,81
5,22	0,96	99,04
5,26	1	99
5,24	0,35	99,65
4,98	0,5	98,5
5,29	0,45	99,55
4,78	0,51	99,49
4,78	0,68	99,32
4,74	0,4	99,6
4,76	0,65	99,35
4,96	0,8	99,2
5,07	1,4	98,6
5,18	1,3	98,7
5,31	1,1	98,9
5,18	0,96	99,04
5,23	0,82	99,18
5,12	0,95	99,05
5,16	1,1	98,9
4,66	1,1	98,9
4,67	0,8	99,2
4,96	1,1	98,9
5,17	1,2	98,8
5,1	1,28	98,72
4,94	1,3	98,7
5,02	0,96	99,04

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de atol de febrero

Humedad planta	Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: PASA 45
5,2	0,4	99,6
4,72	0,23	99,77
4,8	0,2	99,8
4,76	0,18	99,82
4,75	0,2	99,8
4,79	0,14	99,86
5	0,1	99,9
4,79	0,15	99,85
5,01	0,2	99,8
5,26	0,3	99,7
4,82	0,15	99,85
4,97	0,5	99,5
5,31	0,5	99,5
5,44	0,62	99,38
4,82	0,15	99,85
5,18	0,25	99,75
4,92	0,75	99,25
4,91	1,3	98,7
4,96	0,8	99,2
5,41	0,85	99,15
4,77	0,55	99,45
4,81	0,35	99,65
4,71	0,52	99,48
5,02	0,6	99,4
4,75	0,35	99,65
5,14	0,45	99,55
4,66	0,35	99,65
4,67	1	99
5,01	0,2	99,8
5,46	1,35	98,65
4,93	1	99
4,64	0,6	99,4
4,59	0,2	99,8
4,74	0,85	99,15

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de atol de marzo

Humedad planta	Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: PASA 45
4,79	0,29	99,71
4,44	0,1	99,9
4,97	0,4	99,6
5,05	0,2	99,8
5,12	0,5	99,5
4,47	0,1	99,9
4,49	0,1	99,9
4,42	0,1	99,9
4,54	0,39	99,61
4,44	0,26	99,74
4,66	0,32	99,68
4,51	0,3	99,7
5,9	0,1	99,9
5,46	0	100
5,27	0,12	99,88
4,99	0,15	99,85
5	0,3	99,7
5,06	0,35	99,65
5,09	0,45	99,55
4,97	0,45	99,55
5,04	0,4	99,6
4,57	0,3	99,7
4,8	0,25	99,75
4,58	0,25	99,75
4,81	0,22	99,78
4,72	0,5	99,5
5,06	0,45	99,55
4,91	0,4	99,6
4,86	0,25	99,75
4,74	0,6	99,4
4,71	0,5	99,5
4,22	0,55	99,45
4,67	0,25	99,75
4,85	0,1	99,9

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de atol de abril

Humedad planta	Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: PASA 45
5,89	1,5	98,5
5,66	0,1	99,9
5,31	0,2	99,8
5,04	0,5	99,5
4,87	0,4	99,6
4,92	1,4	98,6
4,86	0,7	99,3
4,8	1	99
5,25	0,9	99,1
5,07	0,4	99,6
4,74	0,2	99,8
4,14	0,85	99,15
4,98	0,5	99,5
5,02	0,7	99,3
5,13	0,6	99,4
4,66	0,2	99,8
4,82	0,31	99,69
5,25	0,11	99,89
5,66	0,56	99,44
5,74	0,28	99,72
5,1	1,36	98,64
4,9	0,39	99,61
5,67	0,48	99,52
5,38	0,4	99,6
5,43	0,5	99,5
4,73	0,9	99,1
4,89	0,6	99,4
4,63	0,7	99,3
4,78	0,58	99,42
4,88	0,39	99,61
4,82	0,44	99,56
4,8	0,28	99,72
4,79	0,5	99,5
4,98	0,55	99,45

Fuente: elaboración propia.

Muestra de datos de granulometría y humedad de atol de julio

Humedad planta	Granulometría: RETENIDO 45	Granulometría: PASA 45
5,04	0,4	99,6
5,56	0,6	99,4
5,03	0,2	99,8
5,21	0,3	99,7
4,85	0,36	99,64
4,11	0,31	99,69
4,73	0,2	99,8
4,66	0,1	99,9
4,81	0,3	99,7
4,68	0,1	99,9
5,62	0,1	99,9
5,32	0,2	99,8
4,46	0,2	99,8
4,53	0,26	99,76
4,7	0,16	99,84
4,68	0,41	99,59
5,18	0,4	99,6
4,86	0,2	99,8
5,38	0,1	99,9
4,67	0,3	99,7
4,72	0,4	99,6
4,78	0,67	99,33
4,65	0,46	99,54
5,51	0,27	99,73
5,47	0,26	99,74
4,91	0,77	99,23
4,82	0,2	99,8
4,88	0,1	99,9
4,63	0,2	99,8
4,89	0,1	99,9
4,78	0,2	99,8
4,84	0,7	99,3
4,79	0,56	99,44
4,67	0,2	99,8

Fuente: elaboración propia.

Datos de peso hectolítrico de maíz de Norte América y Sur América

Peso hectolítrico Sur América (g/hL)	Peso hectolítrico Norte América (g/hL)
70,6	69,8
70,4	68,4
70,6	67,8
71	69,4
70,8	69,6
71,6	70,4
71	70,4
70,4	70,6
70,8	69,4
70	70
70,4	70,4
70	68
70,4	69,2
70,8	69,6
70,4	69,4
70	69,2
72	70
71,6	69,2
72	70,8
71,6	70
70	70,4
70,4	70,2
70,4	69,6
70,6	70,2
71,2	69
70,4	70
70,8	70
69,8	69,8
69,6	72,2
71,2	70
70,8	69,4
69,4	70,2
70,8	69,6
70,6	70,4
71,2	70,6
70,6	69,4
69,6	68,8

71,2	69,4
70,6	69,8
70	69,2
71,4	68,6
71,4	69
72	68,8
72	66,8

Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Tabla utilizada para la conversión de los *mesh* de los tamices utilizados a pulgadas, micrones y milímetros.

<i>Mesh</i>	Pulgadas	Micrones	Milímetros
3	0,265	6730	6,73
4	0,187	4760	4,76
5	0,157	4000	4
6	0,132	3360	3,36
7	0,111	2830	2,83
8	0,0937	2380	2,38
10	0,0787	2000	2
12	0,0661	1680	1,68
14	0,0555	1410	1,41
16	0,0469	1190	1,19
18	0,0394	1000	1
20	0,0331	841	0,841
25	0,028	707	0,707
30	0,0232	595	0,595
35	0,0197	500	0,5
40	0,0165	400	0,4
45	0,0138	354	0,354
50	0,0117	297	0,297
60	0,0098	250	0,25
70	0,0083	210	0,21
80	0,007	177	0,177
100	0,0059	149	0,149
120	0,0049	125	0,125
140	0,0041	105	0,105
170	0,0035	88	0,088
200	0,0029	74	0,074
230	0,0024	63	0,063

Fuente: *Tabla de conversiones de Mesh a micrones.*

<<http://www.showmegold.org/news/Mesh.htm>> Consulta: 10 de enero de 2015.

