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

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y PARÁMETROS DE PROCESO CON BASE EN LA DENSIDAD DEL PRODUCTO FINAL, EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BOTANAS FRITAS DE EXTRUIDO DE MAÍZ

Jorge Alejandro Morataya Véliz
Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma de Martini

Guatemala, marzo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y PARÁMETROS DE PROCESO CON BASE EN LA DENSIDAD DEL PRODUCTO FINAL, EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BOTANAS FRITAS DE EXTRUIDO DE MAÍZ

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE ALEJANDRO MORATAYA VÉLIZ
ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
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
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recínos
EXAMINADORA	Inga. Dina Lissette Estrada Moreira
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
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 DE LA RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y PARÁMETROS DE PROCESO CON BASE EN LA DENSIDAD DEL PRODUCTO FINAL, EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BOTANAS FRITAS DE EXTRUIDO DE MAÍZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 29 de octubre de 2012.

Jorge Alejandro Morataya Véliz

Guatemala, 23 de octubre de 2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Ingeniero Víctor Monzón:

Por medio de la presente le notifico y hago constar que he asesorado, revisado y dado mi aprobación del informe final del Trabajo de Graduación titulado "EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y PARAMETROS DE PROCESO EN BASE A LA DENSIDAD DEL PRODUCTO FINAL, EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BOTANAS FRITAS DE EXTRUIDO DE MAÍZ", de el estudiante de ingeniería química Jorge Alejandro Morataya Véliz quien se identifica con el carné número 2007-14678.

Sin otro particular, me suscribo a usted.

Atentamente,

Inga. Qca. Hilda Palma de Martini
Asesora
Colegiado activo No. 453

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453

Guatemala, 10 de febrero de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.009.2015.

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 **070-2012** 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: **Jorge Alejandro Morataya Véliz.**
Identificado con número de carné: **2007-14678.**
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 DE LA RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y PARÁMETROS DE PROCESO EN BASE A LA DENSIDAD DEL PRODUCTO FINAL, EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BOTANAS FRITAS DE EXTRUIDO DE MAÍZ

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma de Martini.**

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"

Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

ESCUELA INGENIERIA QUIMICA
AREA TRABAJOS DE GRADUACION
FIUSAC

C.c.: archivo

Universidad de San
Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Unidad de Lingüística

Guatemala, 10 de marzo de 2015
Ling.5/15

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería, USAC

Señor director:

Por este medio hago de su conocimiento que la Unidad de Lingüística hace una modificación al título del trabajo de graduación del estudiante **Jorge Alejandro Morataya Véliz**, con número de carné: **2007-14678** el cual fue aprobado de acuerdo al protocolo como: **EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y PARÁMETROS DE PROCESO EN BASE A LA DENSIDAD DEL PRODUCTO FINAL, EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BOTANAS FRITAS DE EXTRUIDO DE MAÍZ.**

La Unidad modifica el título del trabajo en virtud de que el mismo no está bien redactado y propone la siguiente forma: **EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y PARÁMETROS DE PROCESO CON BASE EN LA DENSIDAD DEL PRODUCTO FINAL, EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BOTANAS FRITAS DE EXTRUIDO DE MAÍZ.**

FACULTAD DE INGENIERÍA
Oficina de Lingüística
Unidad de Planificación
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Licenciada Rosa Amelia González Domínguez
Coordinadora de la Unidad de Lingüística

Ref.EIQ.TG.032.2015

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, **JORGE ALEJANDRO MORATAYA VÉLIZ** titulado: **"EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y PARÁMETROS DE PROCESO CON BASE EN LA DENSIDAD DEL PRODUCTO FINAL, EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BOTANAS FRITAS DE EXTRUIDO DE MAÍZ"**. 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"

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECTOR
ESCUELA
INGENIERIA QUIMICA
U. S. A. C.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, marzo 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.124-2015

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 DE LA RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y PARÁMETROS DE PROCESO CON BASE EN LA DENSIDAD DEL PRODUCTO FINAL, EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BOTANAS FRITAS DE EXTRUIDO DE MAÍZ,** presentado por el estudiante universitario: **Jorge Alejandro Morataya Véliz,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

FACULTAD DE INGENIERIA
DECANO

Guatemala, marzo de 2015

/cc

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 Leonel Morataya, 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.

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

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES……V
LISTA DE SÍMBOLOS VII
GLOSARIO IX
RESUMEN XI
OBJETIVOS XIII
Hipótesis……..XIV
INTRODUCCIÓN XVII

1. ANTECEDENTES 1

2. MARCO TEÓRICO 5
2.1. Botana, definición y tipos de expansión 5
2.1.1. Tipos más comunes de expansión de botanas 5
2.1.1.1. Directamente expandidos 5
2.1.1.2. Indirectamente expandidos 6
2.1.1.2.1. Expansión por fritura 7
2.2. Proceso de producción de extruido de maíz 8
2.2.1. Recepción de harina de maíz 8
2.2.2. Pesado y mezclado 10
2.2.3. Acondicionamiento de la harina 10
2.2.4. Extrusión 11
2.2.5. Secado del extruido de maíz 12
2.3. Proceso de producción de botana frita de extruido de maíz 12
2.3.1. Recepción de hojuelas de extruido de maíz 12
2.3.2. Fritura de las hojuelas 13

2.3.3. Enfriado y escurrido 14
2.3.4. Aplicación del saborizante..... 14
2.3.5. Variables de operación..... 16
2.3.6. Propiedades de importancia en la botana 17

3. DISEÑO METODOLÓGICO..... 19
3.1. Definición de las variables del proceso 19
3.2. Delimitación del campo de estudio..... 20
3.3. Recursos humanos disponibles 21
3.4. Recursos físicos y materiales disponibles..... 22
3.4.1. Recursos físicos disponibles 22
3.4.2. Recursos materiales disponibles..... 22
3.4.2.1. Materia prima..... 22
3.4.2.2. Reactivos..... 23
3.4.2.3. Equipo 23
3.4.2.4. Otros materiales 24
3.5. Técnica cuantitativa y cualitativa..... 2424
3.5.1. Diseño experimental general..... 26
3.5.2. Análisis del diseño experimental 27
3.5.3. Métodos para medición de las variables 27
3.5.3.1. Medición de flujo másico 27
3.5.3.2. Densidad aparente de botana con y sin recubrimiento..... 28
3.5.3.3. Humedad de botana frita con recubrimiento de sabor 30
3.5.3.4. Humedad de materia prima (extruido de maíz)..... 31
3.5.3.5. Porcentaje de aceite confinado en producto final 32

3.5.3.6. Determinación del porcentaje de sal en el saborizante y en la botana con recubrimiento de sabor 34
3.6. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información 36
3.7. Análisis estadístico 36
3.7.1. Coeficiente de correlación de Pearson 36
3.7.2. Regresión lineal y coeficiente de determinación 37

4. RESULTADOS 39
4.1. Variación de la densidad de la botana frita con recubrimiento 39
4.2. Relación de la humedad de la materia prima con la expansión de la fritura 41
4.3. Relación de la composición del saborizante con la variación de la densidad del producto final 42
4.4. Relación del porcentaje de sal y de aceite en el producto final con la densidad del producto final 43
4.5. Relación del flujo másico de alimentación al freidor con la densidad del producto final 45
4.6. Relación del flujo másico de alimentación al freidor con la cantidad de aceite confinada en la botana frita con recubrimiento 46
4.7. Modelos de regresión lineal, coeficientes de determinación, coeficientes de correlación de Pearson y pruebas de hipótesis, para cada caso de comparación de variables 47

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 49

CONCLUSIONES 55
RECOMENDACIONES 57
BIBLIOGRAFÍA 59
APÉNDICES 61
ANEXO 755

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Ejemplo de botana expandida directamente 6
2. Cilindro para aplicación de saborizante..... 15
3. Diagrama de flujo del experimento..... 26
4. Medidor de flujo másico 28
5. Medición de la densidad aparente de las botanas fritas..... 29
6. Procedimiento gráfico de medición de humedad de botana frita 31
7. Procedimiento gráfico de medición de humedad de materia prima 32
8. Procedimiento gráfico de medición de porcentaje de aceite..... 34
9. Procedimiento gráfico de medición de porcentaje de sal 35
10. Comparación de densidad de pellet frito antes y después del recubrimiento de sabor..... 40
11. Densidad de pellet frito correspondiente a la humedad de la materia prima antes de la fritura..... 41
12. Cantidad de sal en el saborizante comparado con la densidad del producto final 42
13. Cantidad de sal en el producto comparado con la densidad del producto final. 43
14. Cantidad de aceite en el producto comparado con la densidad del producto final. 44

15. Flujo másico de alimentación de materia prima comparado con la densidad del producto final. 45
16. Flujo másico de alimentación de materia prima a freidor comparado con la cantidad de aceite en la botana como producto final. 46

TABLAS

I. Variables del proceso 19
II. Variables de las propiedades y características 20
III. Variables de las propiedades y características cuantitativas 25
IV. Magnitud de variación de la densidad de las botanas 39
V. Coeficiente correlación densidad y humedad de materia prima 41
VI. Coeficiente correlación entre la composición del saborizante y la densidad del producto final 42
VII. Coeficientes de correlación de cantidad de sal y aceite con la densidad final 43
VIII. Coeficiente de correlación entre el flujo másico y la densidad del producto 45
IX. Coeficiente de correlación entre el flujo másico y la cantidad de aceite confinado en la botana 46
X. Resumen de modelos de regresión lineal y coeficientes de determinación 47
XI. Resumen coeficientes de correlación de Pearson, su descripción y se indica la prueba de la hipótesis que se acepta en base al valor obtenido de coeficiente de correlación 48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
r	Coeficiente de correlación de Pearson
R^2	Coeficiente de determinación
ρ	Densidad
Δ	Diferencia
E	Exponencial
°C	Grados Celsius
h	Hora
HR	Humedad relativa
kg	Kilogramo
mL	Mililitro
min	Minuto
%	Porcentaje
psi	Libras sobre pulgada cuadrada
T	Temperatura

GLOSARIO

Botana	Nombre que se le da a alimentos procesados para comer usualmente como merienda.
Densidad aparente	Es la relación entre la masa dividido el volumen para sólidos sin ser compactados. Utilizada para sólidos granulados.
Extrusión	Es la operación en la que un material, puede ser un alimento, es empujado a través de uno o más orificios con la aplicación de presión y calor para formar una masa semisólida y cambiar su estructura y forma.
Fritura de inmersión	Método de cocción de alimentos que consiste en sumergir un alimento en aceite para lograr su cocción, generalmente a temperatura entre 165 a 180 grados Celsius. Entre muchas variables, depende de la temperatura y el tiempo de inmersión la expansión y la textura del producto final.
Índice de capacidad de proceso	Indica la capacidad que tiene un proceso para tener resultados dentro de los límites de especificación

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación, se realizó la evaluación de la relación entre propiedades fisicoquímicas y parámetros de proceso con base en la densidad del producto final en el proceso de producción de botanas fritas de extruido de maíz. Estos parámetros y propiedades son analizados a materias primas y material en proceso. Es de gran interés esta evaluación porque la densidad del producto final tiene un impacto directo en la apariencia que pueda percibir el cliente sobre la botana y su empaque.

Se realizó un muestreo aleatorio de 18 muestras, repitiendo 3 veces dicho muestreo en fechas distintas para obtener una muestra más representativa. Cada repetición con 90 por ciento de confiabilidad. Además se solicitaron datos históricos sobre la densidad del producto final con el fin de evaluar la variabilidad y capacidad de proceso en relación a la densidad aparente del producto final para ser empacado.

Se utilizaron métodos rápidos de análisis para medir la magnitud de distintas variables de proceso y se registraron para compararlas y relacionarlas entre sí posteriormente.

Con los datos obtenidos del proceso se procedió a tratarlos estadísticamente y determinar la magnitud de variación de la densidad del producto final, la determinación de la capacidad de proceso y evaluar la relación de la densidad con los datos obtenidos para otras variables del proceso y propiedades fisicoquímicas.

OBJETIVOS

General

Evaluar la relación entre propiedades fisicoquímicas y parámetros de proceso con base en la densidad del producto final, en el proceso de producción de botanas fritas de extruido de maíz.

Específicos

1. Identificar la magnitud de la variación en la densidad del producto final calculando el coeficiente de correlación y el índice de capacidad de proceso de los datos muestrales y de datos históricos.

2. Determinar la relación de la humedad de la materia prima con la expansión de la fritura, correlacionando por un modelo matemático los datos obtenidos de la medición de la humedad inicial de la materia prima y la densidad del producto frito sin recubrimiento.

3. Cuantificar la variación de la composición del saborizante con la densidad del producto final, por medio de la correlación entre el porcentaje de sal del saborizante y la densidad de la botana.

4. Comparar la relación de los porcentajes de sal y de aceite en el producto final con su densidad, por medio de una correlación de ambos porcentajes con la densidad final de la botana.

5. Determinar la relación entre el flujo másico inicial de la materia prima en la línea de fritura de botana de maíz con la densidad del producto final por medio de correlacionar ambas variables.

6. Verificar si el flujo másico inicial de la materia prima en línea de producción de botana frita de maíz causa algún efecto directo en la cantidad de aceite en el producto final por medio de correlacionar los valores medidos para ambas variables.

Hipótesis

Hipótesis estadísticas de correlación $r_{x;y}$

Hipótesis de investigación$(\boldsymbol{Hi})$

$\boldsymbol{H_1}$: $\boldsymbol{r_{\rho\ prod\ final\ ;\ flujo\ másico}} \neq \boldsymbol{0}$

$\boldsymbol{H_2}$: $\boldsymbol{r_{\rho\ prod\ final}}$; $\boldsymbol{HR\ materia\ prima} \neq \boldsymbol{0}$

$\boldsymbol{H_3}$: $\boldsymbol{r_{\rho\ prod\ final}}$; $\boldsymbol{HR\ botana\ sin\ recubrimiento} \neq \boldsymbol{0}$

$\boldsymbol{H_4}$: $\boldsymbol{r_{\rho prod final\ ;\ \rho botana\ sin\ recubrimiento;}} \neq \boldsymbol{0}$

$\boldsymbol{H_5}$: $\boldsymbol{r_{\rho\ prod\ final\ ,\ porcentaje\ de\ grasa}} \neq \boldsymbol{0}$

$\boldsymbol{H_6}$: $\boldsymbol{r_{\rho\ prod\ final,\ porcentaje\ de\ sal}} \neq \boldsymbol{0}$

$\boldsymbol{H_7}$: $\boldsymbol{r_{\rho\ prod\ final,\ composición\ saborizante}} \neq \boldsymbol{0}$

Existe variación significativa en la densidad final de una botana frita de extruido de maíz relacionada con las variaciones en el flujo másico en la línea de producción, con la humedad de la materia prima y material en proceso, densidad de material en proceso, composición del saborizante y porcentaje de grasa y sal en producto final.

Hipótesis nula$(\boldsymbol{Ho})$

$\boldsymbol{H_{O1}}: \boldsymbol{r_{\rho_{prod\ final}\ ;\ flujo\ másico}} = \mathbf{0}$

$\boldsymbol{H_{O2}}: \boldsymbol{r_{\rho_{prod\ final}}}\ ; \boldsymbol{HR\ materia\ prima} = \mathbf{0}$

$\boldsymbol{H_{O3}}: \boldsymbol{r_{\rho_{prod\ final}}}\ ; \boldsymbol{HR\ bot.\ sin\ recubrimiento} = \mathbf{0}$

$\boldsymbol{H_{O4}}: \boldsymbol{r_{\rho_{prod final}\ ;\ \rho_{botanasinrecubrimiento;}}} = \mathbf{0}$

$\boldsymbol{H_{O5}}: \boldsymbol{r_{\rho_{prod\ final}}}\ ;\ \boldsymbol{porcentaje\ de\ grasa} = \mathbf{0}$

$\boldsymbol{H_{O6}}: \boldsymbol{r_{\rho_{prod\ final}}}\ ;\ \boldsymbol{porcentaje\ de\ sal} = \mathbf{0}$

$\boldsymbol{H_{O7}}: \boldsymbol{r_{\rho_{prod\ final}}};\ \boldsymbol{composición\ saborizante} = \mathbf{0}$

No existe variación significativa en la densidad final de una botana frita de extruido de maíz y no está relacionada con las variaciones en el flujo másico en la línea de producción, en la humedad de la materia prima y material en proceso, densidad de material en proceso, composición del saborizante y porcentaje de grasa y sal en producto final.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación evalúa la incidencia de variables fisicoquímicas y parámetros de proceso en la variación de la densidad del producto final, en el proceso de producción de botana frita de extruido de maíz en una empresa de producción de alimentos fritos en Guatemala.

El proceso de la fritura de extruido de maíz da como resultado una botana frita con recubrimiento de sabor a queso. Con base en los análisis de rutina registrados por el área de aseguramiento de calidad se ha determinado que la densidad del producto final presenta alta variación, saliéndose de los límites tolerables en algunas ocasiones, provocando aumento en costos, presentación no adecuada del producto final, variación de peso o volumen de llenado en el producto empacado, según sea el caso. En contraposición a lo anterior, en el área de producción se afirma que la alta variación en la densidad de dicha botana no existe o es despreciable.

La fritura por inmersión es un proceso de cocción de alimentos que consiste en usar como medio aceite o grasas calentándolos a elevada temperatura. En este medio se introduce el alimento para su cocción y lograr una textura comúnmente más atractiva.

En el proceso de fritura, las características son definidas por ciertas propiedades de la materia prima así como las condiciones y parámetros que rigen al proceso. Algunas de estas características son la humedad que contenga la materia prima, la humedad que tiene el producto al freírse, la

temperatura del aceite, el tiempo de fritura, la velocidad de alimentación al freidor entre otras.

Dependiendo de las características del proceso se definirá la densidad del producto final. Una propiedad física muy importante en el tipo de alimento estudiado en este trabajo es la densidad aparente del producto. Su importancia se debe a que afecta la presentación final del producto provocando que sea muy quebradizo o muy duro, puede afectar el nivel de llenado en el empaque. Dependiendo el tipo de llenadora que se utilice puede afectar en nivel de llenado en el caso de utilizar las volumétricas.

Con el fin de alcanzar el objetivo general, se realizó un muestreo, en el cual se recolectaron materia prima, producto en proceso y producto final. A ellos se les practicó análisis rápidos para determinar su densidad aparente, porcentaje de grasa, porcentaje de sal y humedad relativa, tanto para producto terminado como para materia prima y producto en proceso. También se midió el flujo másico de alimentación de materia prima al freidor. Se solicitaron datos históricos y se consiguieron los de la densidad del producto. Estos últimos para obtener el índice de capacidad de proceso y de estar forma determinar si se encuentra bajo control y entre los límites de especificación.

La investigación se cataloga como correlacional, ya que con las propiedades fisicoquímicas y parámetros de proceso anteriormente mencionados se evalúa la relación de las variables con la densidad del producto final, que es la variable de interés en este estudio.

1. ANTECEDENTES

La fritura es un proceso de cocción que consiste en usar como medio un aceite o grasa calentado a elevada temperatura, en el interior del cual se introduce el alimento para su cocción y darle una textura más atractiva.

No se han encontrado estudios que abarquen el análisis correlacional de parámetros en una línea de producción de botanas fritas y que se basen sólo en observación sin manipulación de variables. Sin embargo, se han realizado estudios como los primeros dos que se mencionarán, en los que se indican cuales son variables importantes a ser medidas y controladas en este proceso. Así como en otros estudios, en el tercero que se mencionará se ha determinado que alguna de las variables que van a ser analizadas tiene alta relación con la expansión del producto final, reflejada en la densidad del mismo.

En el informe de tesis doctoral de la Universitat Politécnica de Valencia, realizado por Juan Eduardo Bravo Vasquez[1] en el 2008, titulado *Contribución al estudio de la fritura al vacío: deshidratación de rodajas de manzana,* se indica que son numerosas las variables que conducen al avance del proceso de fritura y que llevan a la optimización de las condiciones de fritura para cada tipo de producto.

Entre las variables de importancia que describe en su informe se pueden resaltar la temperatura y tiempo de fritura, la humedad, cobertura y la fracción lipídica entre otras. Esas variables son algunas de las que se mencionan en el

[1] BRAVO Vásquez, Juan. *Contribución al estudio de la fritura al vacío: deshidratación de rodajas de manzana.* Disponible en web: <http://hdl.handle.net/10251/3401>. Consulta: 10 de junio de 2012.

diseño de investigación. En el estudio mencionado, entre las conclusiones se indica la importancia de la cantidad de agua en el producto a freír y menciona la misma como una deshidratación que afecta la forma en que se da la fritura y el aspecto del producto final.

En el estudio realizado por Claudia y Verónica Santacruz e Higinio Luna[2], de la Universidad Autónoma de Puebla, en el 2011, titulado *Determinación de los cambios morfométricos, a partir de la dimensión fractal y su relación con los parámetros fisicoquímicos de un producto de harina de trigo en forma laminar durante el proceso de freído por inmersión*, se muestra que el fenómeno de expansión es atribuido a la formación de vapor por la humedad en el interior del producto. Por lo anterior se puede aplicar al actual diseño experimental en el hecho de la importancia de la medición de la humedad de la materia prima a freír y su relación con la expansión.

En dicho estudio se concluyó que los fenómenos de expansión, formación de poros, irregularidad superficial y la textura, son factores determinantes en la absorción de aceite y reducción de agua y pueden ser considerados al momento de interpretar modelos descriptivos del proceso de freído.

En el libro *Deep fat frying Fundamentals and aplications*[3] de Rosana Moreira, Elena Castell y María Barrufet se analiza el proceso de fritura por inmersión. Se describe un diagrama (figura 9-7 del libro) en el cual se representa un proceso de fritura continua donde después de que el producto

---

[2] SANTACRUZ Claudia, SANTACRUZ Verónica, LUNA, Higinio. *Determinación de los cambios morfométricos, a partir de la dimensión fractal y su relación con los parámetros fisicoquímicos de un producto de harina de trigo en forma laminar durante el proceso de freído por inmersión*.. Disponible en web: <http://smcsyv.fis.cinvestav.mx/supyvac/24_4/SV24414511.pdfZ> Consulta: 2 de agosto de 2012

[3] MOREIRA Rosana, CASTELL Elena y BARRUFET, María. *Deep fat frying Fundamentals and applications*, p.251

sale del freidor pasa a la fase de enfriamiento y se colocan sensores que detectan la humedad y contenido de aceite en el producto ya frito. El actual proceso en estudio no cuenta con esta tecnología, pero en este libro se muestra la importancia de la medición de estas dos variables, la humedad del producto frito y su contenido de aceite.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Botana, definición y tipos de expansión

La definición de lo que es una botana abarca varios tipos de alimentos, pero por lo general se denomina con este término a alimentos procesados que se consumen no como alimento principal en el día, si no que como alimento para satisfacer el hambre temporalmente entre las comidas principales del día.

2.1.1. Tipos más comunes de expansión de botanas

Gran variedad de productos alimenticios son catalogados como botanas pero en esta sección se enfoca a los medios para hacer que una botana se expanda. Es decir, crecer en tamaño dejando poros en el interior de la misma que le dan una textura crujiente al producto final. Dependiendo la forma en que se logre lo anterior se pueden clasificar las botanas en los siguientes 2 tipos:

- Directamente expandidas
- Indirectamente expandidas

2.1.1.1. Directamente expandidos

Los directamente expandidos por lo general son botanas producidas por medio de la operación de extrusión. Este tipo de expansión resulta en retirar la humedad del producto directamente en el extrusor, específicamente en la salida de los orificios del molde causada por la diferencia de presión.

En los productos directamente expandidos comúnmente luego de ser extruidos pasan por horneado o por un equipo que les haga pasar aire caliente en el lecho del producto. Estos productos a pesar de que su forma de expansión no implica adicionarlos en un medio que les eleve la temperatura y les retire el agua. Siempre contienen aceite en el producto final, ya que para aplicarles el sabor se recubren de una mezcla de aceite y saborizante. El aceite se usa para poder aglomerar al saborizante en la superficie de la botana.

Figura 1. **Ejemplo de botana expandida directamente**

Fuente: Tecnovam, foodingredients, www.tecnovam.com. Consulta: 12 de julio del 2012.

2.1.1.2. Indirectamente expandidos

Este método de expansión consiste en usar un medio externo, por ejemplo aire caliente a alta presión o aceite para lograr que ebulla el agua confinada en las hojuelas de maíz, lo que la hará expandir dejando poros en su estructura y dándole una apariencia y textura más agradable al producto.

2.1.1.2.1. Expansión por fritura

En la expansión por fritura la botana es inmersa en aceite vegetal caliente lo que hace elevarse la temperatura en el producto y que parte del agua confinada en la estructura de la tortilla extruida de maíz llegue a ebullición, dejando espacios vacíos en la botana y haciendo que expanda. Este tipo de proceso es el más común por factores económicos para la expansión indirecta, en contraposición a la expansión por aire caliente que tiene un mayor costo. Pero si se trata de una producción muy grande puede llegar a ser rentable o bien dando el producto a un mayor precio pero porque es más sano.

La desventaja de la expansión por fritura es el contenido de aceite que se confina dentro de la estructura de la botana, provocando que sea calóricamente muy denso. Este contenido de aceite se da por difusión y por arrastre. Mientras que la expansión con aire caliente logra que el alimento tenga un menor contenido de aceite lo que lo hace que tenga un mejor valor nutricional.

En la expansión por fritura un punto muy importante es el de controlar la calidad del aceite utilizado, tanto las características con las que ingresa el aceite como monitorear su degradación a medida que es usado el mismo. La calidad del aceite puede ser monitoreada en base a su acidez. Otro aspecto de interés en los aceites es el evitar llegar a la temperatura de humo, temperatura a la cual se empieza a sentir un olor a ahumado el cual se impregna en el producto dándole un sabor menos agradable o distinto al esperado.

En la fritura por inmersión es muy importante contar con un sistema que permita retirar los finos de la superficie del aceite, ya que estos dan olor y sabor al producto, afectando en que no se cumpla con las propiedades organolépticas deseadas para el producto. Esto se puede lograr por un sistema de elevación e

inmersión dentro del aceite además de hacer pasar el aceite por un sistema de filtrado continuo. Este filtrado puede realizarse haciendo pasar el aceite en una tela o material que tenga un poro de menor tamaño al de los sólidos presentes en el aceite, haciendo que dichos sólidos no logren seguir en el aceite y sean retenidos.

Otro factor que afecta la calidad el aceite es la humedad del producto que se desea freír. Alta cantidad de agua puede acelerar la degradación del aceite, además de hacer que el producto frito sea más poroso y arrastre mayor cantidad de aceite dentro del mismo.

2.2. Proceso de producción de extruido de maíz

A continuación se describen las etapas de importancia para producir el extruido de maíz, el cual es la materia prima para el proceso de fritura de botana frita de extruido de maíz.

2.2.1. Recepción de harina de maíz

La harina de maíz utilizada es de sémola de maíz (parte blanda de un grano de maíz), está formada por granos finos, necesarios para evitar que aparezcan puntos duros en la hojuela extruida. Esta harina que se encuentra en sacos, es agrupada por lotes según la receta ya establecida junto con los aditivos alimenticios.

La harina utilizada para este proceso productivo debe de cumplir con ciertas características como la granulometría y humedad. Se requiere que tenga una proporción específica de granos finos, medios y gruesos. Para

asegurar esta granulometría se realiza un análisis de granulometría constantemente.

Este análisis de granulometría consiste en tomar una cantidad conocida de harina, comúnmente se toman 100 gramos luego se colocan en unos cilindros, con mallas con distintos tamaños de orificios, que van del que tienen tamaños más grandes de orificios hasta el que tiene un orificio de menor tamaño. Puede ser una configuración de 4 a 5 mallas distintas. Estos cilindros se colocan por un período de aproximadamente 5 minutos en un equipo que hace que vibren y los golpea para hacer que se muevan los granos dentro de él.

Al final se abren los cilindros y se pesa la cantidad de granos que retuvo cada uno. Esto permite conocer las proporciones de finos y gruesos en la mezcla de harina. Pequeños cambios en la granulometría podrían causar que el producto al ser extruido tenga una textura muy dura, para el caso de tener muchos granos grandes. Además que el producto tendría una cocción incompleta, haciendo que tenga un sabor que no es el esperado, por la dificultad que se tendría en lograr la cocción de dichos granos. Cuando la harina tiene elevada la proporción de finos, el producto extruido comúnmente tiende a ser muy quebradizo y a cocerse demasiado.

La harina se recibe en sacos. El lote es cargado a la línea de producción de forma manual, donde un trabajador deposita en un vibro cernidor el contenido del lote de harina y aditivos. Este lote de harina y aditivos se encuentran en una proporción definida por la receta para el producto. Se utiliza el vibro cernedor para reducir el tamaño de partes de harina que puedan estar pegadas. En seguida al vibro cernedor se encuentra un sistema de imanes el cual se encarga de retirar trazas de partículas metálicas que pudieran haber por el desgaste de equipos en el molino.

2.2.2. Pesado y mezclado

Los ingredientes, que principalmente es la harina de maíz, es vertida en el equipo de producción por lotes según la receta establecida para el producto. En la parte inicial del sistema de pesado se hace pasar por otro sistema de imanes para asegurar el retirar partículas metálicas.

La harina es dirigida a un equipo encargado de pesar la harina recibida de modo de que se tenga una misma cantidad de materia prima y de esta forma cumplir con la receta. Luego de pesarse se traslada al equipo de mezclado donde también se tiene función de almacenaje previo al procesado.

Como se mencionó anteriormente se tiene uno dosificador gravimétrico previo al mezclado. Luego del mezclado se tiene un dosificador volumétrico. Esta configuración de primero gravimétrico y luego volumétrico tiene el objetivo de asegurar que la densidad de la mezcla permanezca lo más constante posible, dando un producto con características más uniformes y sin tanto problema en la configuración del proceso, el cual permanece muy estable.

2.2.3. Acondicionamiento de la harina

Es necesario llevar la harina a una temperatura cercana a la que necesita al ingresar al extrusor por lo que se calienta por medio de inyectarle vapor. En esta etapa también es dosificada agua. El calentar la mezcla y humedecerla hace que se facilite el manejo de la misma y evitar que la mezcla se adhiera a las paredes de la tubería de transporte hacia el extrusor. Se tiene el producto en agitación en esta etapa para que al entrar al extrusor se encuentre una mezcla homogénea. Este equipo se encuentra sobre el extrusor, con el fin de aprovechar el transporte por gravedad.

2.2.4. Extrusión

La extrusión consiste en hacer pasar una mezcla de harina de fécula de maíz y agua por un molde a alta presión y temperatura. Lo cual produce que a nivel molecular el almidón se expanda, absorba agua y se dé su gelatinización formando estructuras fibrosas y plásticas.

Esta gelatinización se refleja en forma macroscópica en que el producto adquiere una apariencia elástica la cual por medios de expansión indirectos posteriores da texturas y acabados agradables al producto final. La extrusión permite que según la forma del molde y velocidad de cuchillas se puedan tener diversas formas del producto final extruido.

El extrusor es un equipo con uno o doble tornillo giratorio, con morfología especial, que es distinta a lo largo del mismo según la etapa de la extrusión que se desee. En el inicio se tiene la zona de carga, seguida por una sección de mezclado para pasar luego a una sección de elevación de temperatura y presión, previa al molde, lo cual hace que se tenga un flujo constante de producto, logrando que el producto tenga completa su forma luego de pasar por las cuchillas y el molde.

En el extrusor, gran parte de la elevación de la temperatura se logra con el ajuste del torque de los tornillos, pero esta no es muy controlable por ese medio. El extrusor cuenta con un enchaquetado térmico que sirve para regular la temperatura y lograr alcanzar la deseada.

2.2.5. Secado del extruido de maíz

A la salida del extrusor se encuentra un sistema de transporte del producto extruido hacia un equipo de secado, en el cual se retira superficialmente humedad a las hojuelas de extruido de maíz para evitar que se peguen. En este equipo se hace pasar aire caliente entre el lecho de hojuelas y se da a temperatura elevada. Luego de esta etapa el producto se almacena para su posterior utilización como materia prima en la línea de fritura.

También es de importancia este secado para minimizar el riesgo de crecimiento bacteriano y de mohos en el mismo dentro del período de almacenamiento. Durante el tiempo de almacenamiento se logra una estabilidad en la humedad, logrando que la misma se difunda desde el centro de la hojuela hacia los extremos.

2.3. Proceso de producción de botana frita de extruido de maíz

A continuación se describen las operaciones realizadas en la línea de producción de la botana frita de extruido de maíz, luego de tener la materia prima lista para producción.

2.3.1. Recepción de hojuelas de extruido de maíz

En el inicio de la línea de producción se encuentra una tolva en la cual es vertida la materia prima. Esta se encuentra almacenada en grandes sacos. En la parte inferior de la tolva se tiene un equipo que mide el peso y con base en la velocidad de la banda de transporte da en tiempo real el flujo másico de entrada de materia prima a la línea de producción. En esta etapa del proceso se gradúa

el flujo de entrada de materia prima según sea la capacidad que tenga de empaque o la demanda del producto.

La carga de la materia prima a la línea de producción se hace por medio de una grúa aérea la cual levanta los pesados sacos. Estos sacos tienen una abertura en la parte inferior lo cual facilita su descarga en la tolva de alimentación de materia prima.

2.3.2. Fritura de las hojuelas

La materia prima es transportada de la salida de la tolva de alimentación a la entrada del freidor por una banda transportadora, esta banda de transporte es un elevador de cangilones plásticos. El producto ingresa a la freidora, donde dentro de ella se encuentran tres mecanismos que hacen que el producto avance dentro de ella. Estos mecanismos están graduados en su velocidad de modo que el tiempo de residencia de la materia prima dentro del freidor sea constante, independientemente del flujo másico que se tenga debido a la alta capacidad del freidor y se mantiene una temperatura constante del aceite. La temperatura debe de estar entre 170 y 190 grados Celsius para evitar la aceleración de la degradación del mismo por alta temperatura.

Los mecanismos de movimiento del producto dentro de la freidora hacen que el producto se sumerja y emerja sucesivamente con el fin de ir dejando los finos en la superficie del aceite y no en el producto frito.

El sistema de fritura cuenta con un sistema de filtración de aceite, cuyo objetivo es el de disminuir la cantidad de residuos finos de la materia prima en aceite del freidor, los cuales puedan causar olores indeseables en el producto final. En la etapa de fritura el tiempo de residencia del producto dentro

del freidor está determinado por la temperatura y calidad del aceite, la textura deseada, el tipo de alimento a freír, su morfología y la capacidad de carga al freidor.

El tiempo de fritura también es determinante hasta en la aplicación de sabor, ya que determina la cantidad de aceite que se va a confinar en el producto y por lo tanto la facilidad o no de adhesión del saborizante en polvo a la superficie de la botana.

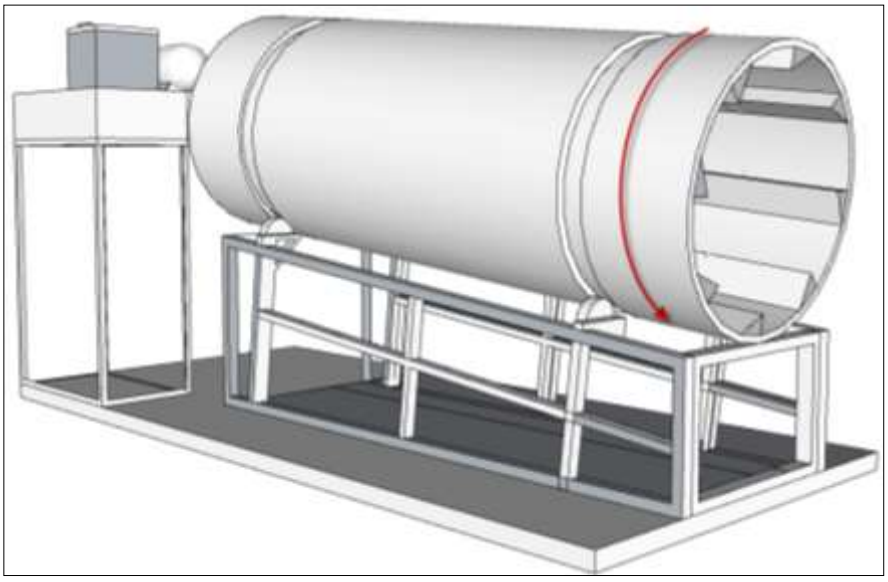
2.3.3. Enfriado y escurrido

Al salir la botana frita del freidor esta pasa al área de enfriado y escurrido por medio de banda transportadora. En esta etapa el equipo usado es una banda transportadora que es cruzada perpendicularmente por una corriente de aire en succión, la cual crea un flujo de aire hacia afuera de la planta. Una parte del aceite escurre y cae a un recipiente en la parte baja del equipo. Esta etapa tiene una duración aproximada de medio minuto.

2.3.4. Aplicación del saborizante

La aplicación del saborizante se realiza por medio de la dosificación con un tornillo sin fin del saborizante en polvo para este caso en específico. Para lograr que todo el producto quede recubierto, esta aplicación se realiza en el interior de un cilindro giratorio que tiene un leve grado de inclinación, permitiendo que el producto se mezcle a medida que va saliendo en el extremo inferior del cilindro. Un diagrama tridimensional del equipo utilizado se presenta a continuación:

Figura 2. **Cilindro para aplicación de saborizante**



Fuente: elaboración propia, con software Google Sketch Up 8.

Para otros casos de botanas, la aplicación se puede hacer por medio de la aspersión de aceite a las botanas acompañada de la aplicación del saborizante en polvo. Se aplica aceite para que el saborizante logre adherirse a la botana. Otra técnica consiste en la mezcla de aceite y saborizante formando una pasta que comúnmente se le llama *slurry*, la cual se aplica en conjunto al producto sin recubrimiento.

Al terminar este proceso el producto se transporta por bandas transportadoras y por transportadores vibratorios hacia el área de empaque, finalizando de esta forma el proceso de producción de la botana frita de extruido de maíz.

2.3.5. Variables de operación

En el proceso de producción de botanas fritas las variables de operación de mayor importancia para tener control sobre la calidad del producto final son las siguientes:

- Flujo másico
- Tiempo de residencia en el freidor
- Temperatura de aceite en el freidor
- Tiempo de secado relacionado con velocidad de banda transportadora
- Velocidad de rotación del aplicador de sabor

La temperatura del aceite es independiente del tipo de producto, ya que esta debe de estar entre rangos que permitan una correcta cocción pero que no degraden la calidad del aceite, en distintas fuentes se sugieren temperaturas entre 170 y 190 grados Celsius. Para una calidad de producto con mayor uniformidad en fritura debería de estar esta temperatura lo más constante posible.

En procesos en los que se tienen productos a ser fritos con características casi constantes, el tiempo de fritura y la temperatura generalmente permanecen constantes o con muy leves variaciones. En cambio, en procesos en los que la materia prima tiene propiedades que pueden variar con el tiempo, lugar de procedencia o clima. Estos parámetros de operación deben de ser ajustados continuamente, como sería un ejemplo el proceso de frituras de papa donde la materia prima puede variar según su forma, clima, manipulación en el transporte entre otros factores.

La velocidad de rotación del aplicador de sabor es muy importante ya que determinará el grado de cobertura que se desee alcanzar en el producto final, lo que puede tener influencia en su densidad, textura y sabor.

2.3.6. Propiedades de importancia en la botana

Entre las propiedades específicas de la botana luego de haber sido procesada y estar como producto final, se pueden mencionar las de mayor importancia y son las siguientes:

- Densidad
- Humedad
- Porcentaje de aceite absorbido
- Porcentaje de sal

De las listadas anteriormente también se puede indicar que todas ellas influyen en las propiedades organolépticas del producto final, como lo son: aroma, sabor, textura, consistencia y apariencia.

La densidad afecta el porcentaje de llenado del empaque. Si el producto tiene una elevada densidad, el producto tendrá una textura dura, además que en el empaque da la sensación de que se tiene muy poco producto. En contraste al caso anterior, si la densidad es baja, el producto será muy quebradizo, encontrandose el producto incompleto dentro del empaque, puede dar problemas de estar muy lleno el empaque y alto porcentaje de finos. Estos finos son problema ya que se quedan atrapados en los pliegues del empaque, en las partes donde es sellado el mismo, haciendo que no sea posible un sellado transversal completo y, por lo tanto, el producto podría estar expuesto al ambiente, lo cual aceleraría muy rápidamente su oxidación.

La humedad en el producto final afecta al producto en su textura. Si la humedad es muy alta el producto tendrá una textura poco crujiente lo cual lo hace menos atractivo al consumidor. Al comer el producto, este se quedará pegado en los dientes lo cual resulta molesto para muchos consumidores. Además de lo anterior, la humedad influye en la actividad de agua del producto, el cual es un parámetro estrechamente relacionado con la capacidad de conservación y de propagación de microorganismos en el mismo.

La cantidad de aceite confinada en el producto final es de importancia ya que hace que se vea afectada la apariencia del mismo, haciéndolo menos atractivo para los clientes exigentes. Además, el valor nutricional del producto disminuye por ser más dañino para la salud por el alto contenido de grasas no digeribles por el organismo humano.

La cantidad de sal afecta básicamente en el sabor del producto final, haciendo que se cumpla o no con el sabor esperado por el cliente.

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 producción de botana frita de extruido de maíz. Además, las variables que se modificaron, como las que se mantuvieron constantes y que conjuntamente influyeron en los resultados.

Tabla I. **Variables del proceso**

Variables	**Independientes**	**Dependientes**	**Constantes**	**No constantes**	**Variables de respuesta**
Flujo másico inicial	X			X	
Humedad inicial de pellet	X			X	
Temperatura del aceite en el freidor	X		X		
Tiempo de residencia en el freidor	X		X		
Densidad de pellet frito		X		X	
Porcentaje de sal en composición de saborizante	X			X	
Humedad producto final		X		X	
Porcentaje de aceite en producto final		X		X	
Porcentaje de sal en producto final		X		X	
Densidad de botana con saborizante (final)		X		X	X

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Variables de las propiedades y características**

No.	Variables	Unidades
1	Flujo másico inicial	kg/h
2	Humedad inicial de pellet	%
3	Temperatura del aceite en el freidor	°C
4	Tiempo de residencia en el freidor	s
5	Densidad de pellet frito	g/L
6	Tiempo de residencia en banda enfriadora/escurrido	s
7	Porcentaje de sal en composición de saborizante	%
8	Humedad producto final	%
9	Porcentaje de aceite en producto final	%
10	Porcentaje de sal en producto final	%
11	Densidad de botana con saborizante (final)	g/L

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: fritura de extruido de maíz
- Objeto del estudio:
    - Existencia de variabilidad en densidad del producto final

- Correlación de variables fisicoquímicas y parámetros de proceso con la densidad el producto final

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:	Jorge Alejandro Morataya Véliz
Correo electrónico:	ja_morataya@hotmail.com
Fecha de nacimiento:	12 de febrero de 1989
Nacionalidad:	Guatemalteco
Profesión:	Estudiante de la carrera de Ingeniería Química Universidad de San Carlos de Guatemala

Asesor:

Nombre:	Hilda Piedad Palma de Martini
Nacionalidad:	Guatemalteca
Profesión:	Catedrática en Universidad de San Carlos de Guatemala y Universidad Rafael Landívar

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 llevó a cabo en los laboratorios de aseguramiento de calidad de la empresa Frituras de Guatemala, específicamente en el laboratorio de la planta de botanas, donde se determinó la densidad de la botana, humedad de la materia prima y botana. Además de la determinación de aceite dentro de la botana. También se trabajó en el laboratorio central de esta empresa donde se realizaron los análisis de sal al saborizante y al producto final.

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. Todos ellos fueron tomados de la línea de producción en el proceso de botana frita de extruido de maíz. A continuación el detalle de las materias primas:

- Extruido de maíz, usado como materia prima en el proceso descrito
- Saborizante en polvo de la botana sabor queso
- Botana frita de maíz extruido sin recubrimiento de sabor
- Botana frita de maíz extruido con recubrimiento de sabor (producto final)

3.4.2.2. Reactivos

Los reactivos constituyen a todos productos químicos utilizados para los distintos métodos de análisis, los cuales llevaron a obtener los datos para la realización de la investigación.

- Solución estándar nitrato de plata 01 N
  - Fórmula química: $AgNO_3$
- Agua desmineralizada

3.4.2.3. Equipo

Los equipos son los instrumentos y aparatos utilizados como herramientas para determinar distintos datos físicos y químicos, que caracterizan a la botana frita extruida de maíz. Los utilizados en la empresa fueron los siguientes:

- Balanza Mettler Toledo Tiger
- Termobalanza marca Precisa modelo XM 60
- Prensa Carver con vaso para extracción de aceite (medición porcentaje de aceite)
- Balanza analítica marca Mettler Toledo AB204-S

3.4.2.4. Otros materiales

En otros materiales se detallan los insumos utilizados como complemento en la toma de muestras y el control de las mismas en la investigación. Los materiales utilizados fueron los siguientes:

- Hojas de papel bond
- Vasos de valoración de 100 mililitros usados en determinador de sal
- 108 bolsas plásticas de volumen de 3 litros
- Marcador permanente

3.5. Técnica cuantitativa y cualitativa

En esta sección se describe la experimentación general de la investigación. Las variables, tipos, diagrama de experimentación y toma de muestras, definición del muestreo y el detalle de los pasos a seguir en los métodos de análisis fisicoquímicos.

Primero se muestra el detalle de las técnicas cuantitativas utilizadas y los respectivos métodos de medición de las variables. Luego, se muestra el diagrama de flujo de la experimentación con el orden de las mediciones y tomas de muestra. Posteriormente se presenta un breve análisis del diseño experimental, por último cada uno de los métodos para la medición de las variables cuantitativas e ilustraciones de cada uno de los procedimientos.

Como parte inicial de esta sección, se elaboró una tabla donde se detallan cada una de las técnicas cuantitativas utilizadas. Para cada una de las técnicas se indica el instrumento o el método utilizado para su medición. Por último, se

indica si son del tipo contínuas o discretas. Esto se muestra en la siguiente tabla.

Tabla III. **Variables de las propiedades y características cuantitativas**

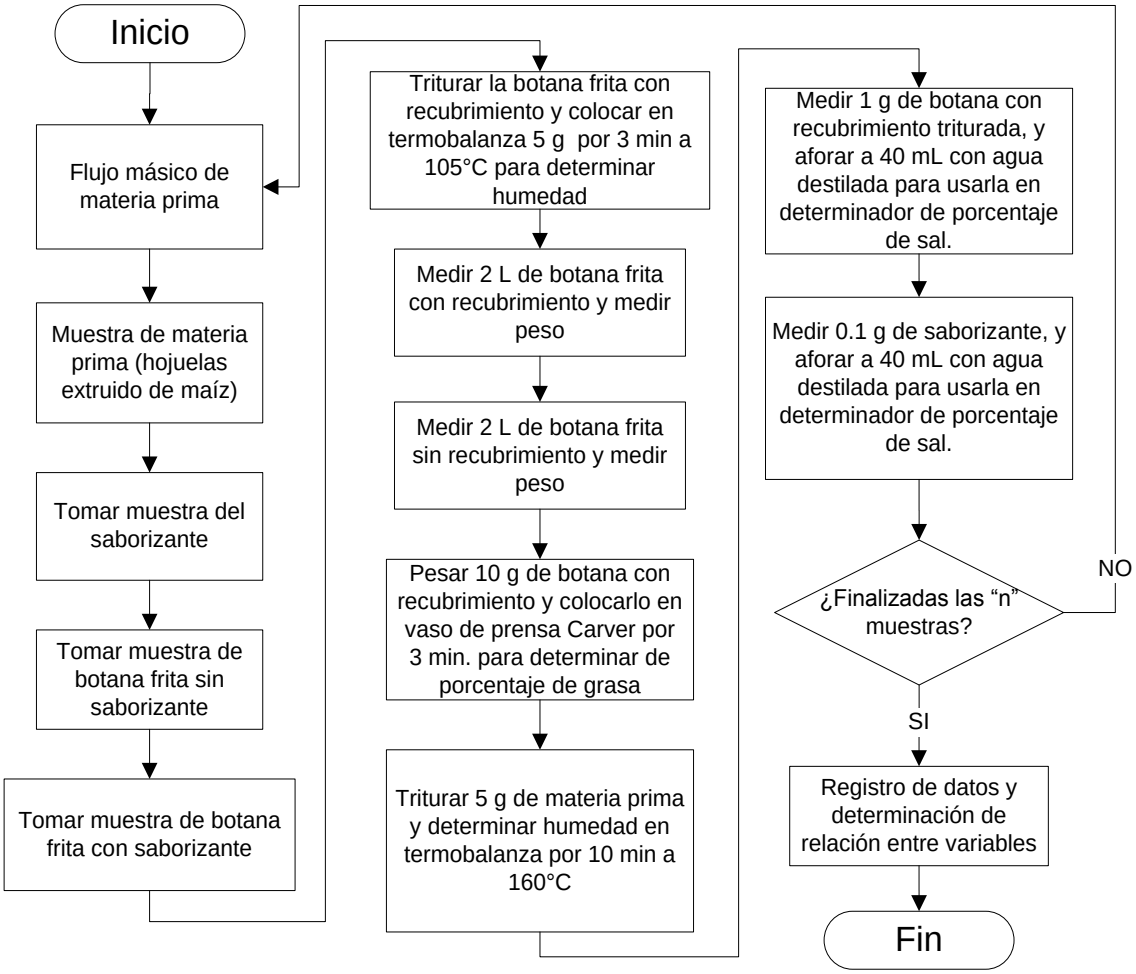
Técnica cuantitativa	**Instrumento / Método**	**Cuantitativa**	
		Contínua	**Discreta**
Flujo másico inicial	Medidor gravimétrico de flujo	X	
Humedad inicial de materia prima	Termobalanza. / Diferencial de masa por remoción de humedad	X	
Densidad de botana frita sin recubrimiento	Balanza y recipiente de volumen definido (2,0 L)	X	
Porcentaje de sal en composición de saborizante	Determinador de sal Mettler Toledo M22 / Titulación complejométrica para determinación de cloruros de plata	X	
Humedad de producto final	Termobalanza	X	
Porcentaje de aceite en producto final	Prensa Carver	X	
Porcentaje de sal en producto final	Determinador de sal	X	
Densidad de botana con saborizante (producto final)	Balanza y recipiente de volumen definido (2,0 L)	X	

Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Diseño experimental general

Logística de experimentación a nivel laboratorio, para la realización de las pruebas fisicoquímicas a través de un diagrama de flujo con el detalle de los métodos fisicoquímicos realizados en la experimentación.

Figura 3. **Diagrama de flujo del experimento**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2007.

3.5.2. Análisis del diseño experimental

Primero se realizó como parte experimental la recopilación de datos históricos, además de datos en la línea de producción para determinar el grado de variación de la densidad, utilizando el coeficiente de correlación y la capacidad de proceso a partir de los datos tomados y de los límites máximo y mínimo de especificación para la densidad. Después se realizó la medición de distintas variables en la línea de producción y en el producto, para evaluar la relación entre ellas y su influencia en la densidad final del producto. Esta influencia se determinó correlacionando las variables.

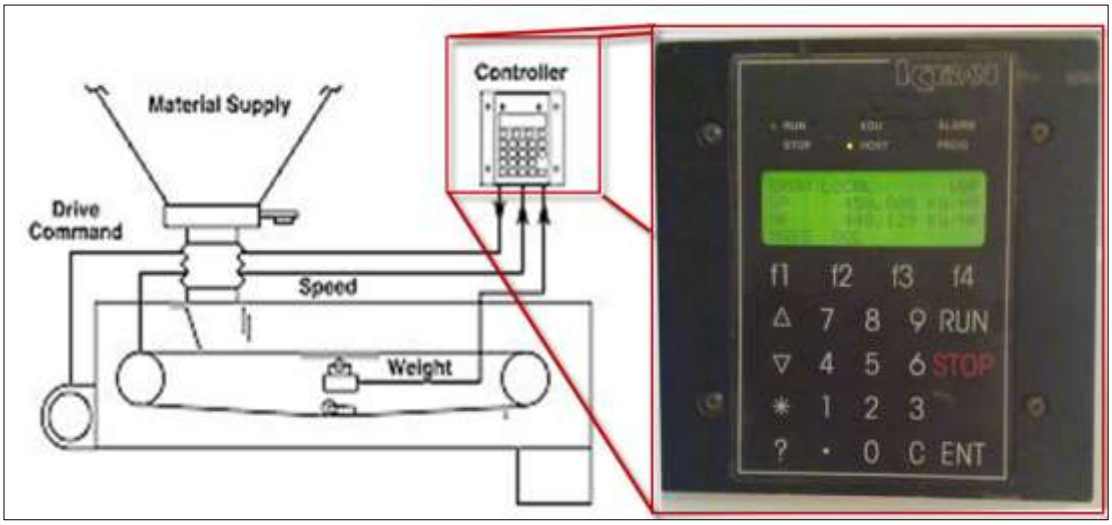
3.5.3. Métodos para medición de las variables

Las técnicas utilizadas para la toma de datos y obtención de los parámetros del producto son métodos rápidos para el monitoreo de la calidad del producto. Estos métodos se detallan a continuación.

3.5.3.1. Medición de flujo másico

El flujo másico de materia prima (extruido de maíz) se determinó por medio de la inspección visual de una pantalla que muestra la magnitud indicada por un medidor gravimétrico en el inicio de la línea de producción. Este medidor da una lectura en tiempo real del flujo másico. Las unidades en que se indica el flujo másico son en kilogramos por hora.

Figura 4. **Medidor de flujo másico**



Fuente: http://www.powderandbulk.com/pb_services/ask_joe_archive/images/ktron_article3.jpg. Consuta: 8 de junio de 2012.

3.5.3.2. Densidad aparente de botana con y sin recubrimiento

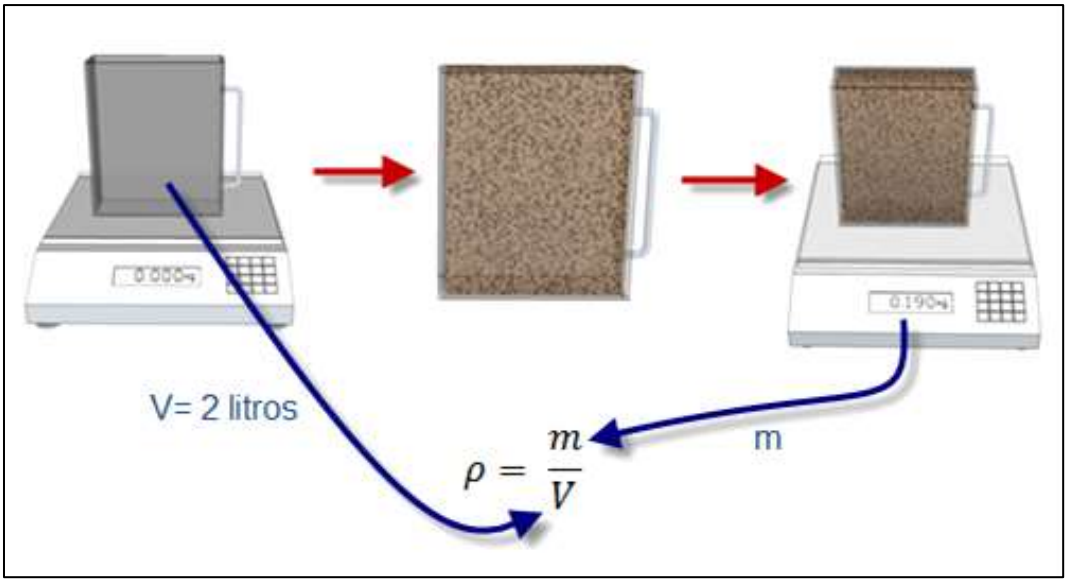
La densidad de la botana frita sin recubrimiento y después de tener recubrimiento de sabor, se determinó a partir de la medición de la masa que tiene la misma al ser contenida en un recipiente de 2 litros.

Para realizar la determinación de la densidad se siguió el siguiente procedimiento:

- Se taró el recipiente de 2 litros vacío, es decir colocarlo en la balanza y presionar el botón de tarar.

- Se llenó el recipiente de 2 litros con la botana, evitando que sobresalga botana sobre la parte superior del recipiente. Se debe de dejar caer el producto sin compactarlo.
- Se colocó en la balanza el recipiente con el producto y se anotó el peso.

Figura 5. **Medición de la densidad aparente de las botanas fritas**



Fuente: elaboración propia, con programa Google Sketch Up 8.

- Se usó la siguiente ecuación para determinar la densidad

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

Donde:

$m =$ masa de la botana contenida en el recipiente [g]

$V =$ volumen de recipiente que contiene a la botana (2 litros)

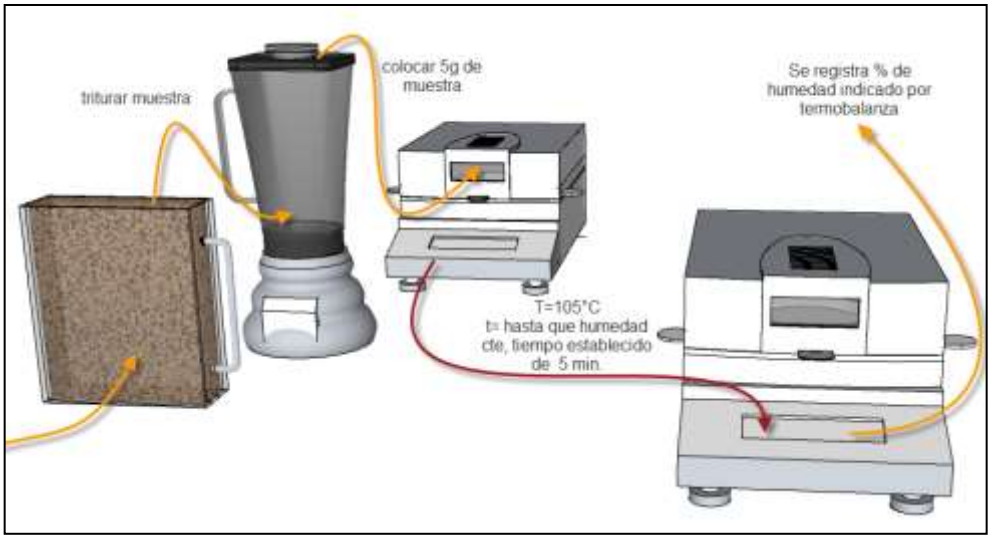
3.5.3.3. Humedad de botana frita con recubrimiento de sabor

Para determinar la humedad relativa de la botana frita con recubrimiento de sabor se realizó utilizando una termobalanza, la cual se basa en el principio de diferencia entre el peso inicial de una muestra y el peso luego de haber estado el producto expuesto a un proceso de secado y se mantuviera por cierto tiempo un peso estable.

La termobalanza utilizada contiene una lámpara infrarroja la cual calienta la muestra a la temperatura deseada para realizar el secado. El procedimiento utilizado fue el siguiente:

- Se trituró una porción de la muestra de botana con recubrimiento de sabor.
- Se colocaron 5 gramos de producto triturado en el platillo de la termobalanza.
- Se definió el programa de secado dependiendo del tipo de producto, para la botana con sabor se definió temperatura de 105 grados Celsius por 5 minutos.
- Se anotó la humedad indicada luego de terminado el programa de secado.
- Se limpió el platillo de la termobalanza.

Figura 6. **Procedimiento gráfico de medición de humedad de botana frita**



Fuente: elaboración propia, con programa Google Sketch Up 8.

3.5.3.4. Humedad de materia prima (extruido de maíz)

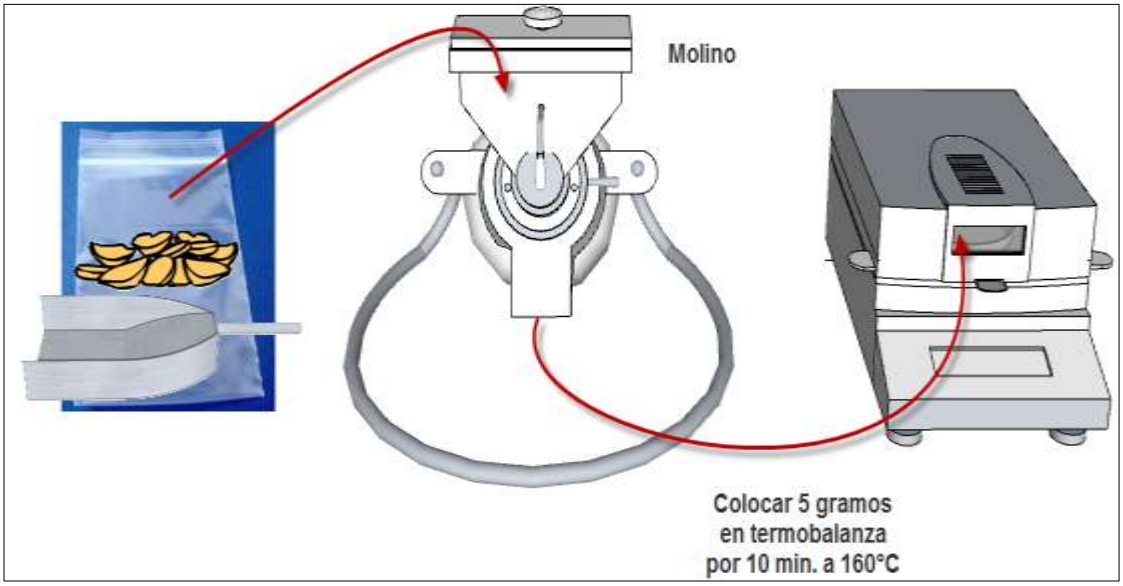
A la materia prima, que es un polímero originado del cocimiento de la fécula de maíz y de la gelatinización de los almidones por la alta temperatura en un extrusor. Se le midió la temperatura y el peso en una termobalanza, pero este producto se molió previamente al medir la humedad.

El procedimiento utilizado para determinar la humedad de materia prima fue el siguiente:

- Se trituró una porción de la muestra de extruido de maíz, esto se hace en un molino pequeño tratando de pulverizar a modo de tener granos finos de la materia prima.

- Se colocaron 5 gramos de producto triturado en el platillo de la termobalanza.
- Se escogió el programa de secado, para este polímero de extruido de maíz se definió el que tiene temperatura de 160 grados Celsius por 10 minutos.
- Se anotó la humedad indicada luego de terminado el secado.
- Se limpió el platillo de la termobalanza.

Figura 7. **Procedimiento gráfico de medición de humedad de materia prima**



Fuente: elaboración propia, con programa Google Sketch Up 8.

3.5.3.5. Porcentaje de aceite confinado en producto final

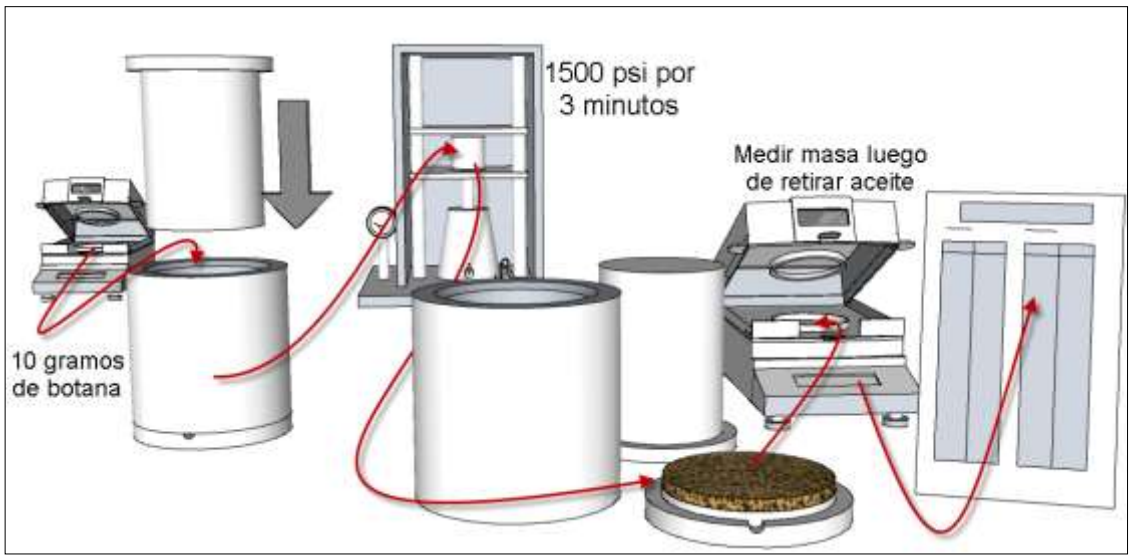
Para la determinación del porcentaje de aceite en el producto final se utilizó equipo proporcionado por la empresa, el cual es un método rápido que es

utilizado para ensayos en otras botanas de la empresa. Este método tarda aproximadamente 4 minutos en su realización y da un estimado confiable el cual permite tomar decisiones rápidas en la línea de producción. Se utilizó una prensa hidráulica marca Carver con un vaso el cual al ser sometido a presión permite que el sólido se compacte y drena el aceite que contiene la muestra. En base al peso final de una muestra inicial de 10 gramos, se hizo referencia a una tabla en la que se indica el porcentaje de aceite correspondiente según el tipo de botana que se está usando.

El procedimiento que se seguió para la determinación del porcentaje de aceite en el producto final es el siguiente:

- Se pesaron 10 gramos de la muestra de botana frita con recubrimiento de sabor sin triturarla.
- Se colocaron los 10 gramos de muestra en el vaso para extracción de aceite de la prensa Carver.
- Se colocó el vaso en la prensa hidráulica por 3 minutos a una presión de 1 500 libras sobre pulgada cuadrada.
- Se retiró el vaso y se desarmó para extraer la torta de botana comprimida con aceite o bajo contenido del mismo.
- Se midió la masa de la torta de botana y se buscó en tabla Carver, donde se encuentran correlacionadas masa y porcentaje de aceite.

Figura 8. **Procedimiento gráfico de medición de porcentaje de aceite**



Fuente: elaboración propia, con programa Google Sketch Up 8.

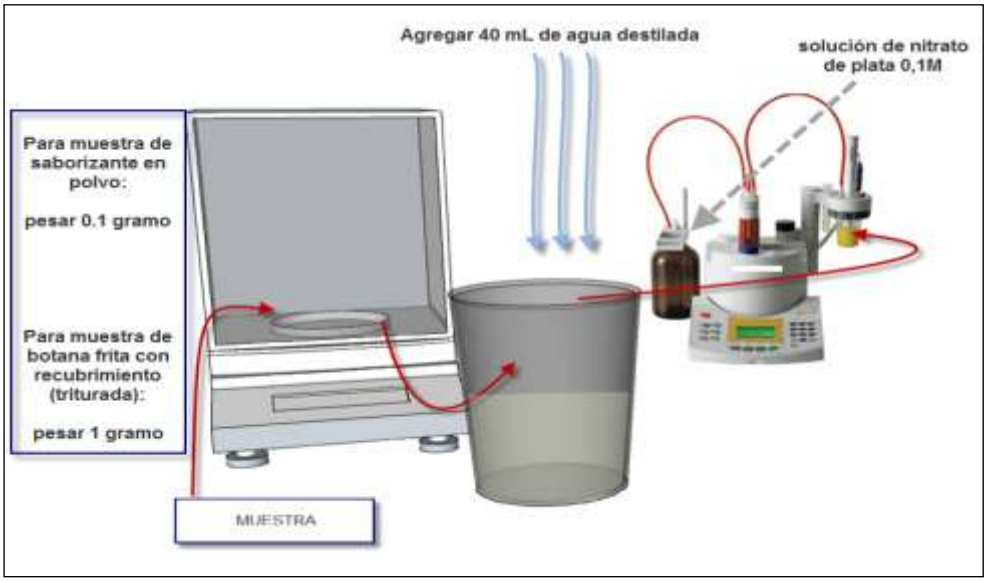
3.5.3.6. Determinación del porcentaje de sal en el saborizante y en la botana con recubrimiento de sabor

Para la determinación del porcentaje de sal en el saborizante y en el producto final, el cual es la botana con recubrimiento de sabor se utilizó un determinador de sal, específicamente un analizador de alimentos y bebidas Mettler Toledo DL22, el cual se basa en una reacción complejométrica de nitrato de plata con el cloruro de sodio presente en la muestra. Este dispositivo controla automáticamente la dosificación de nitrato de plata a medida que se forma cloruro de plata. Debido a que la concentración de cloruro de plata es proporcional a la cantidad de sal en la muestra, el electrodo del equipo es capaz de detectar por conductividad eléctrica el porcentaje de sal en la muestra.

El procedimiento fue el siguiente:

- Se mezcló la muestra a modo de homogenizarla, y midió dependiendo del producto lo siguiente:
  - Botana triturada con saborizante: 1 gramo
  - Saborizante en polvo: 0,1 gramo
- Se agregó 40 mililitros de agua destilada en el vaso de valoración, el cual es acoplado al determinador de porcentaje de sal.
- Se encendió el equipo y escogió como método de usuario el número 1.
- Se presionó el botón de comenzar y de inmediato se debe de ingresar la masa exacta de la muestra (saborizante en polvo o botana con saborizante). Se presionó el botón que simboliza OK.
- Al terminar de realizar el procedimiento, mostró en pantalla el porcentaje de sal.

Figura 9. **Procedimiento gráfico de medición de porcentaje de sal**



Fuente: elaboración propia, con programa Google Sketch Up 8.

3.6. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se utilizó Microsoft Office Excel ® 2010 como herramienta de análisis de datos, valores cuantitativos y estadística, que contiene la capacidad para generar informes y gráficos. Con este programa se puede:

- Realizar operaciones con valores cuantitativos
- Estimar datos estadísticos

3.7. Análisis estadístico

Se utilizó en el estudio un nivel de significancia del 5 por ciento, lo que corresponde a un nivel de confianza del 95 por ciento. Los cálculos estadísticos que se realizaron en este trabajo de investigación fueron:

- Coeficiente de correlación de Pearson
- Regresión lineal y coeficiente de determinación

3.7.1. Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson, consiste en los análisis de la variación de una o más variables entre sí. Este da valores entre -1,00 a +1,00, indicando relación positiva o negativa de una variable con otra.

La obtención del coeficiente de correlación se muestra en el apéndice 3 del presente trabajo. Este se calculó para cada par de variables según se estableció en los objetivos específicos. En todos los casos se relacionaron contra la densidad final del producto.

El coeficiente de correlación es el que se utilizó para comprobar las hipótesis ya que son de tipo correlacional.

3.7.2. Regresión lineal y coeficiente de determinación

Para determinar la regresión lineal de las variables dependientes e independientes, se utilizó el software denominado Microsoft Excel 2007, que contiene las herramientas de análisis de datos en la que se puede determinar a partir del gráfico de las variables, el modelo lineal y su coeficiente de determinación de forma automática. Entonces, simula de un gráfico 2D una línea recta compuesta por las dos variables:

$$y = m*x + b$$

La relación funcional matemática, dada por Microsoft Excel, define directamente la relación lineal existente entre las dos variables cuantitativas. En ella, m representa la pendiente y b el intercepto con el eje Y.

El modelo de regresión lineal Excel puede mostrar el modelo de regresión lineal de 2 formas. La más sencilla es realizando un gráfico de dispersión; después de haberlo generado se va a la pestaña llamada presentación. En ella se presiona el botón línea de tendencia, el cual muestra una ventana donde se puede elegir el tipo de modelo de regresión necesario. Se selecciona en el botón aceptar y Excel coloca el modelo de regresión lineal inserto en el gráfico de dispersión.

La otra forma de obtener el modelo de regresión es utilizando la herramienta análisis de datos, ubicada en la pestaña datos en Excel. En esta herramienta se selecciona el botón de Regresión y al ingresar se presenta una

ventana que solicita seleccionar los datos correspondientes al eje de las ordenadas y los datos correspondientes al eje de las abscisas. Después, se selecciona el nivel de confianza en porcentaje, estando indicado 95 por ciento. Esto es equivalente a un nivel de significancia de 5 por ciento. Habiendo ingresado los datos requeridos se presiona el botón aceptar y se despliegan unas tablas en las que se muestran, el coeficiente de correlación y coeficiente de determinación. En la tabla inferior se presentan el intercepto b, así como también la pendiente m. Con estos datos se obtiene el modelo de regresión lineal.

El coeficiente de determinación también es calculado por Excel de forma automática al realizar un gráfico de dispersión tal como se indicó para la obtención del modelo de regresión lineal. El coeficiente de determinación indica la varianza de factores comunes a las variables en estudio. Dependiendo del tipo de regresión seleccionada, así será el valor del coeficiente de determinación. Este resulta entre el rango de 0 a 1, representando 1 el hecho que hay elevada relación entre las variables.

Además, Excel puede calcular el coeficiente de determinación utilizando la fórmula:

=coeficiente.R2(conocido_y, conocido_x) [Fuente: Microsoft Excel 2007]

Donde “conocido_y” y “conocido_x” representan los rangos de datos para las variables “x” y “y”.

Estos modelos matemáticos de regresión lineal junto con el coeficiente de determinación fueron obtenidos para cada par de variables en las que se relacionaba la densidad con alguna otra de las estudiadas en este trabajo.

4. RESULTADOS

4.1. Variación de la densidad de la botana frita con recubrimiento

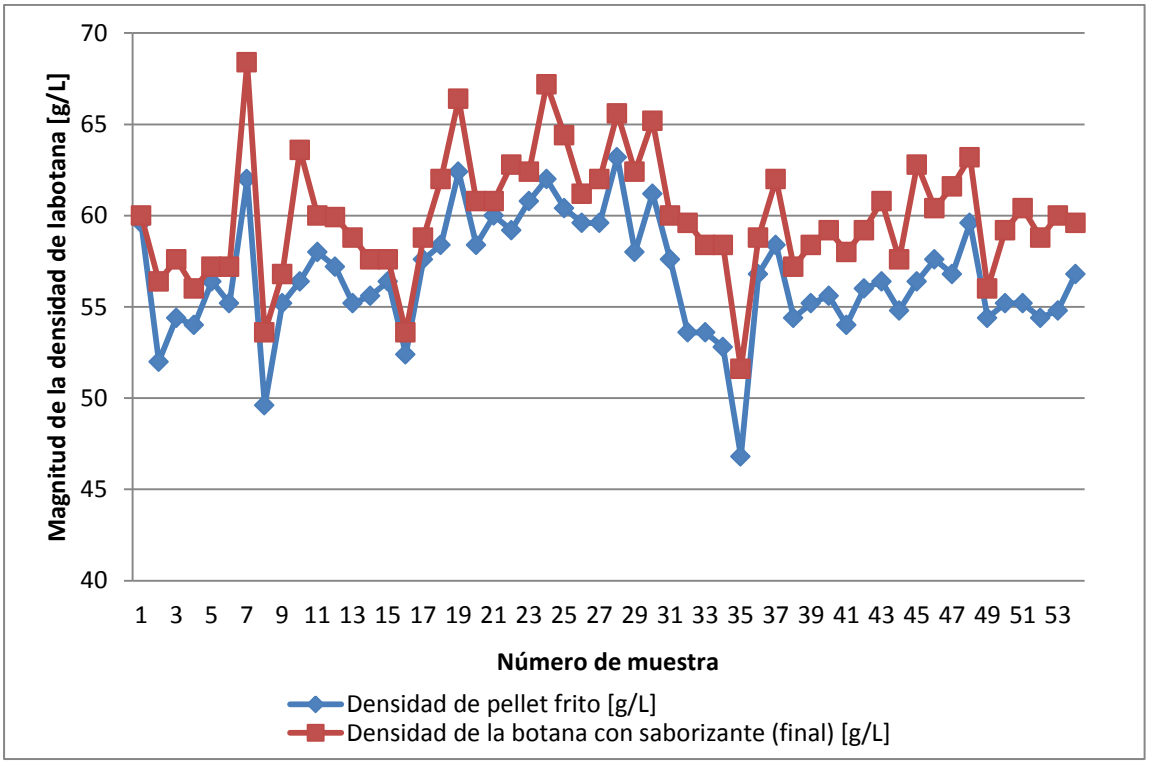
Se presenta el coeficiente de correlación para los datos de densidad aparente de la botana, correspondientes a las muestras tomadas posteriormente de la aplicación del recubrimiento de sabor a las botanas.

Tabla IV. **Magnitud de variación de la densidad de las botanas**

Coeficiente de variación de la densidad de botana con recubrimiento de sabor:	5,53%
Índice de capacidad de proceso Cpk:	0,16

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Comparación de densidad de pellet frito antes y después del recubrimiento de sabor**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Relación de la humedad de la materia prima con la expansión de la fritura

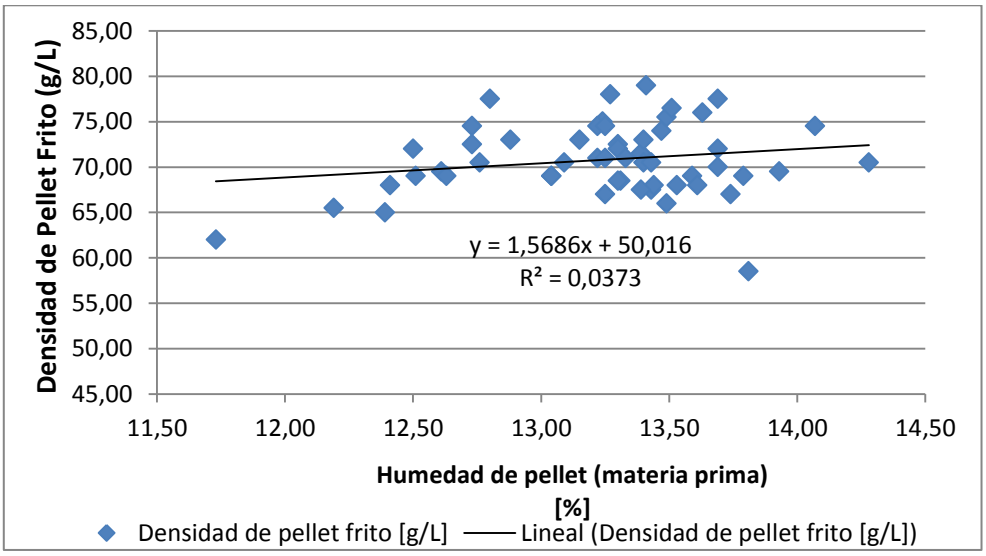
Se presenta el coeficiente de correlación de los datos de la humedad de la materia prima y el coeficiente, para la densidad de la botana frita sin recubrimiento de sabor. En la gráfica se observa la dispersión de la densidad del pellet frito para distintos valores de humedad en materia prima.

Tabla V. **Coeficiente correlación densidad y humedad de materia prima**

Coeficiente de correlación entre la densidad y la humedad de la materia prima:	0,19

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Densidad de pellet frito correspondiente a la humedad de la materia prima antes de la fritura**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Relación de la composición del saborizante con la variación de la densidad del producto final

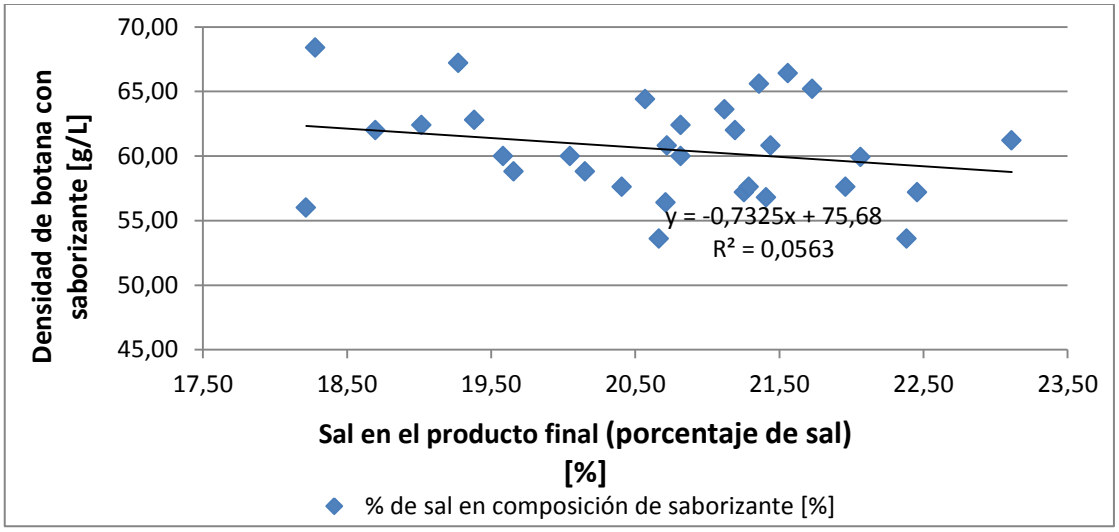
Se presenta el coeficiente de correlación entre la densidad aparente del producto final y la composición del saborizante aplicado a la fritura. Se comparan gráficamente las variables.

Tabla VI. **Coeficiente correlación entre la composición del saborizante y la densidad del producto final**

Coeficiente de correlación entre la composición del saborizante y la densidad del producto final	-0,24

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Cantidad de sal en el saborizante comparado con la densidad del producto final**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Relación del porcentaje de sal y de aceite en el producto final con la densidad del producto final

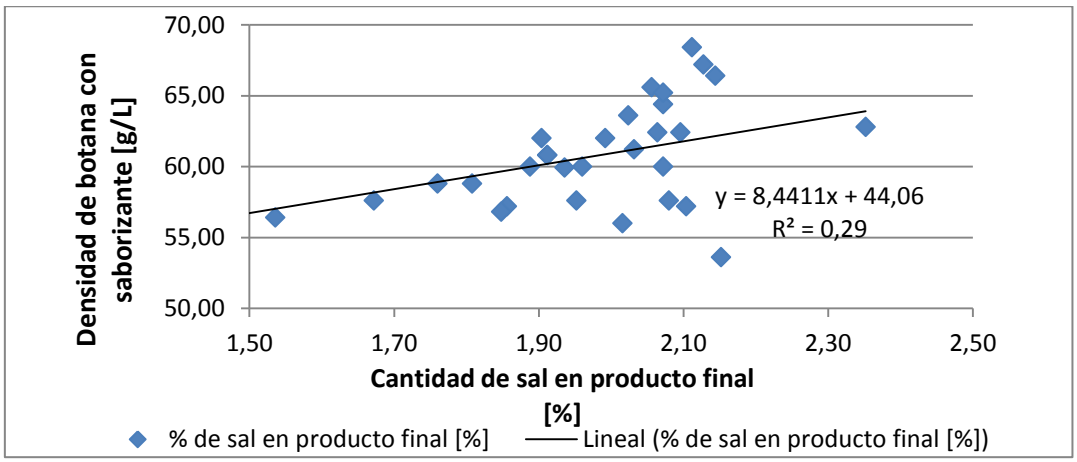
A continuación se presenta 2 relaciones del producto final con su densidad. La primera es la existente entre el porcentaje de sal en el producto final con la densidad. La segunda es la relación de la cantidad de aceite en el producto con la densidad.

Tabla VII. **Coeficientes de correlación de cantidad de sal y aceite con la densidad final**

Coeficiente de correlación entre la cantidad de sal en el producto final y la densidad	0,54
Coeficiente de correlación entre la cantidad de aceite en el producto final y la densidad	-0,25

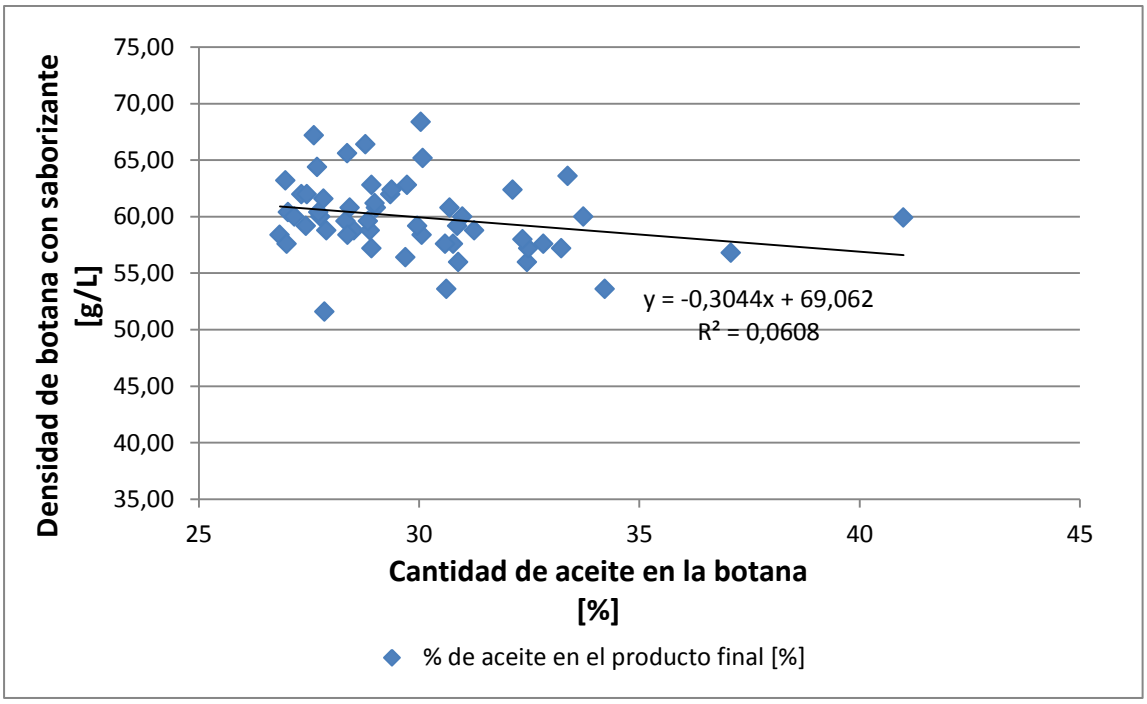
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Cantidad de sal en el producto comparado con la densidad del producto final**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Cantidad de aceite en el producto comparado con la densidad del producto final**



Fuente: elaboración propia.

4.5. Relación del flujo másico de alimentación al freidor con la densidad del producto final

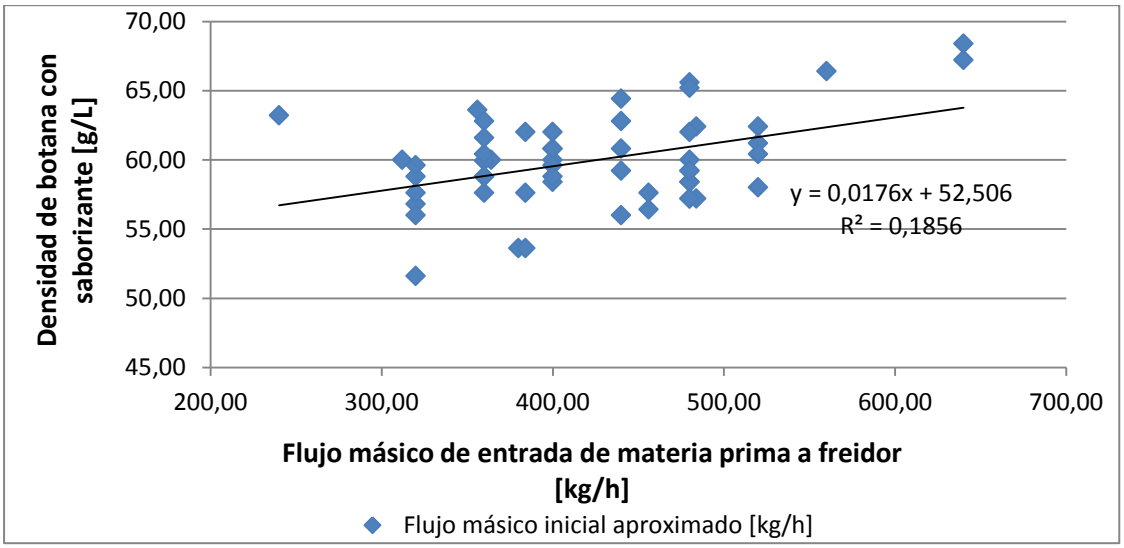
Se presenta la relación que existe entre las variaciones del flujo másico de la alimentación de materia prima, a la línea de producción con la densidad aparente del producto final.

Tabla VIII. **Coeficiente de correlación entre el flujo másico y la densidad del producto**

Coeficiente de correlación entre el flujo másico de entrada al freidor y la densidad del producto	0,43

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Flujo másico de alimentación de materia prima comparado con la densidad del producto final**



Fuente: elaboración propia.

4.6. Relación del flujo másico de alimentación al freidor con la cantidad de aceite confinada en la botana frita con recubrimiento

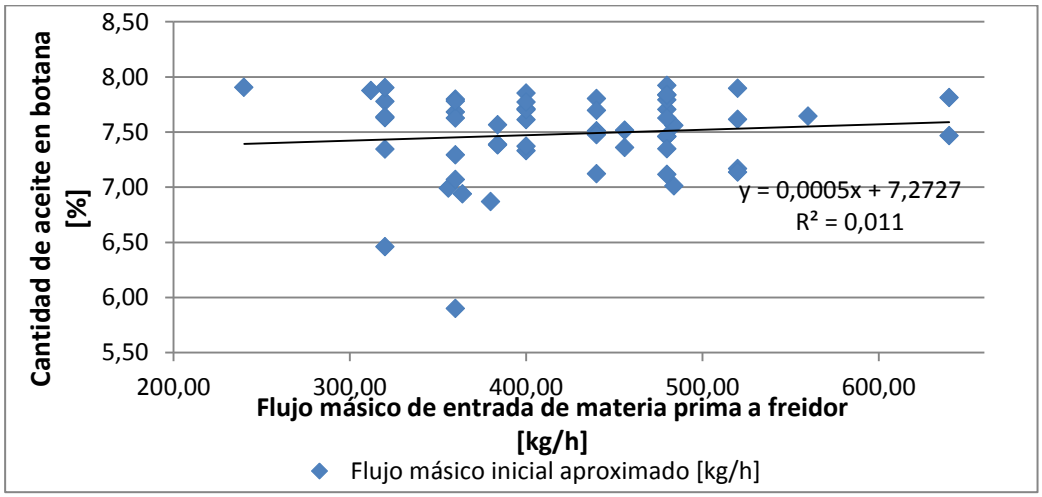
Se presenta la relación que existe entre las variaciones del flujo másico de la alimentación de materia prima con la cantidad de aceite en el producto, luego de haber realizado su determinación con un método rápido de análisis.

Tabla IX. **Coeficiente de correlación entre el flujo másico y la cantidad de aceite confinado en la botana**

Coeficiente de correlación entre el flujo másico de entrada al freidor y la cantidad de aceite confinada en la botana frita con recubrimiento	0,10

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Flujo másico de alimentación de materia prima a freidor comparado con la cantidad de aceite en la botana como producto final**



Fuente: elaboración propia.

4.7. Modelos de regresión lineal, coeficientes de determinación, coeficientes de correlación de Pearson y pruebas de hipótesis, para cada caso de comparación de variables

Se muestran las tablas resumen de datos correspondientes a los modelos de regresión lineal, coeficiente de determinación, coeficientes de correlación de Pearson, nivel de correlación de las variables y pruebas de hipótesis.

Tabla X. **Resumen de modelos de regresión lineal y coeficientes de determinación**

Caso	Modelo matemático lineal	Coeficiente de Determinación R^2
Humedad de pellet frito comparado con la densidad de la botana sin recubrimiento de sabor.	$\rho = 1{,}568\ h_{relativa} + 50{,}01$	0,037
Cantidad de sal en el saborizante comparado con la densidad del producto final.	$\rho = -0{,}732\ x_{sal\ en\ saborizante} + 75{,}68$	0,056
Cantidad de sal en el producto comparado con la densidad del producto final.	$\rho = 8{,}441\ x_{sal\ en\ producto} + 44{,}06$	0,29
Cantidad de aceite en el producto comparado con la densidad del producto final.	$\rho = -0{,}304\ x_{aceite} + 69{,}06$	0,060
Flujo másico de alimentación de materia prima comparado con la densidad del producto final.	$\rho = 0{,}017\ m + 52{,}50$ donde m= flujo másico	0,185
Flujo másico de alimentación de materia prima comparado con la cantidad de aceite en la botana como producto final.	$\rho = 0{,}0079\ m + 7{,}272$ donde m= flujo másico	0,011

Fuente: Resultados, datos calculados, Análisis estadístico.

Tabla XI. **Resumen coeficientes de correlación de Pearson, su descripción y se indica la prueba de la hipótesis que se acepta en base al valor obtenido de coeficiente de correlación**

Caso	Coeficiente de correlación de Pearson r	Nivel descriptivo de correlación	$H_i \neq 0$ Se acepta hipótesis de investigación	Hi=0 Se acepta hipótesis nula
Humedad de pellet frito comparado con la densidad de la botana sin recubrimiento de sabor.	0,19	Correlación positiva muy débil	X	
Cantidad de sal en el saborizante comparado con la densidad del producto final.	-0,24	Correlación negativa débil	X	
Cantidad de sal en el producto comparado con la densidad del producto final.	0,54	Correlación positiva media	X	
Cantidad de aceite en el producto comparado con la densidad del producto final.	-0,25	Correlación negativa débil	X	
Flujo másico de alimentación de materia prima comparado con la densidad del producto final.	0,43	Correlación positiva media	X	
Flujo másico de alimentación de materia prima comparado con la cantidad de aceite en la botana como producto final.	0,10	Correlación positiva muy débil	X	

Fuente: Resultados, datos calculados, Análisis estadístico.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizó la medición de propiedades fisicoquímicas a 54 muestras en la línea de producción de una botana frita extruida con recubrimiento de sabor. En esta línea una de las propiedades físicas que se les da mayor importancia es la densidad. Por tal motivo se tiene como primer objetivo estudiar si existe una variación y si es significativa. Obteniendo el promedio y la desviación estándar de la densidad del producto final es posible el cálculo del coeficiente de variación el cual resultó en 5,53 por ciento según se muestra en la tabla V en la sección de resultados. La magnitud de este coeficiente indicó que se tiene una baja variabilidad, es decir que la densidad de la fritura permanece bastante constante.

Adicionalmente a lo anterior, se ha utilizado una base de datos con la que cuenta la planta de producción en la que se tienen registradas las densidades de 16 meses. Siendo un total de 2061 datos provenientes de los análisis del laboratorio de calidad. Con estos datos se calculó el índice de capacidad del proceso, Cpk para describir la forma en que se comporta el proceso con respecto a los límites establecidos para la densidad.

Este índice resultó en 0,16 el cual se muestra en tabla V. Esto indicó que el proceso está bajo control aún pero con tendencia hacia el límite inferior. Además, se obtuvieron datos de densidad por debajo del límite inferior lo que indicó una variabilidad en la densidad final de esta botana frita en relación a la densidad promedio según los límites de especificación.

Cuando el valor es menor que 1 como en este caso, indicó que la media de las densidades de las botanas fritas cumplió con estar entre los límites establecidos. Sin embargo, parte de los datos resultaron fuera de lo especificado.

En la fritura por inmersión, un factor de importancia es la humedad que contenga el alimento que se va a freír, es decir la materia prima. Es por ello que se ha medido la humedad de dicho extruido de maíz sin freír y estadísticamente se ha relacionado con la densidad del producto frito. Esta comparación sirve para determinar la expansión que puede tener la materia prima después de estar sumergida un tiempo y temperatura en aceite. El valor obtenido para el coeficiente de correlación entre dichas variables fue de 0,19 tabla VI de la sección de resultados. Este valor mostró una correlación positiva baja, indicando que es una de las variables que influyen en la densidad del producto final pero no es muy evidente su influencia.

Se realizó la comparación entre la densidad del producto final con recubrimiento de sabor y el porcentaje de sal en el saborizante. Este último con el fin de relacionar la composición del saborizante y evaluar si es determinante en la densidad de una muestra del producto final listo para empacar. Al estudiar ambas variables y obtener su coeficiente de correlación se determinó que este tiene una magnitud de -0,24. Este valor indicó que se tiene una relación inversa pero de baja magnitud por lo que no se puede afirmar una dependencia de la densidad respecto a la variable de comparación.

Debido a que la humedad no fue suficiente para determinar las causas de variación en densidad de la botana frita. Se realizó adicionalmente la medición de la relación entre el flujo másico de la dosificación en la entrada del freidor con la densidad de la botana frita. Utilizando distintos flujos másicos se varió el

tiempo que se mantiene sumergida la botana. El quinto objetivo planteado realizó esta comparación de variables. Se obtuvo una correlación de 0,43 que indicó una moderada correlación positiva. Esto indicó que a mayor flujo másico en cierto grado se obtuvo una mayor expansión de la botana frita y de igual forma se mantuvo la tendencia moderada al disminuir el flujo másico.

De las variables evaluadas en este estudio la que mayor relación tuvo con la densidad del producto final es el porcentaje de sal en el producto. Con la cantidad de sal, asumiendo una composición constante del saborizante se relaciona la cantidad de saborizante aplicado al producto con la densidad. A pesar de que el saborizante se aplica en un cilindro giratorio que asegura un correcto recubrimiento del producto, se reflejó variabilidad en la densidad final.

Al determinar el coeficiente de correlación entre ambas variables se determinó que este tiene una magnitud de 0,54, indicó una correlación positiva moderada entre ellas. En el gráfico generado para su comparación se muestra notoriamente la relación directa y positiva entre ambas variables. Esto sugiere que teniendo un mejor control en la dosificación del saborizante se tendrían menores variaciones en la densidad aparente del producto final.

Otra característica importante de la botana frita es la cantidad de aceite que haya confinado dentro de ella. Para el producto en estudio el valor típico es de 20 a 30 por ciento. Al relacionar esta característica con la densidad del producto final puede indicar que si se tienen variaciones en la expansión y en la cantidad de aceite puede tener efecto sobre la densidad del producto final. Sin embargo el resultado del coeficiente de correlación mostró una magnitud de -0,25, lo cual indicó una relación baja y negativa entre la densidad y la cantidad de aceite. A mayor cantidad de aceite confinado se tuvo una menor expansión

de la botana y por lo tanto una menor densidad. Al lograr una mayor expansión se evidencia mayor cantidad de aceite en el producto.

Como quinto objetivo de la investigación se tiene el estudio del impacto que tiene el flujo másico de alimentación de materia prima al freidor con la densidad resultante en el producto final. Esta variable es de importancia porque el flujo másico depende del tiempo, a mayor flujo másico se tendrá un menor tiempo de fritura. Al determinar el coeficiente de correlación para estas variables se determinó que tiene una magnitud de 0,43, siendo una correlación positiva moderada entre ellas. Esta es de las de mayor influencia en la densidad del producto final.

Por lo tanto se observó que al aumentar el flujo másico se obtuvo una mayor densidad, debido a que se obtuvo una menor expansión de la fritura. Esto causó que el producto tuviera menos volumen por unidad de masa, fuera menos quebradizo pero con masas altas al momento de ser empacado. En cambio al disminuir el flujo másico de la alimentación se obtuvo disminución de la densidad, teniendo un mayor volumen por unidad de masa y haciendo que el producto fuera más quebradizo. Esto pudo ocasionar que se tuvieran masas bajas al momento de llenar, además que el manejo posterior del producto pudiera llegar a los clientes fragmentado afectando la apariencia que sea percibida del mismo.

Adicional al estudio de la variación de la densidad se analizó la correlación entre el flujo másico de alimentación de la materia prima y el aceite confinado en el producto final. Al relacionar las variables se determinó que el coeficiente de correlación fue de 0,10, el cual es un valor muy bajo para indicar la relación directa. Es muy bajo debido a que después del freidor se tiene un equipo para escurrir el aceite del producto y que no reflejó un notorio incremento en la

cantidad de aceite en el producto final al tener un mayor flujo másico en la alimentación de la línea.

Por todo lo anterior se determinó que los valores encontrados de correlaciones entre las variables son muy bajos para encontrar tendencias claras en el comportamiento de la línea. Lo que sugiere que no son suficientes las variables estudiadas para lograr una mayor consistencia y uniformidad en el proceso. Sin embargo, a partir de las variables que presentaron una mayor influencia en las características de la botana frita como producto final se pudo dar una orientación entre cuales son las que presentaron mayor influencia y entre que magnitud de los parámetros se encontraron.

Según los datos obtenidos, teniendo un flujo másico en la línea ligeramente inferior a la media, en una magnitud cercana a los 425 kilogramos por hora en la alimentación de materia prima, y mejorando la forma en que se aplica el recubrimiento de sabor para lograr una aplicación más homogénea del mismo a la botana frita; se tendrá un producto con menor densidad siempre dentro de los límites de especificación el cual es menos duro, da mejor presentación a la hora del consumo final, por ser más quebradizo. Además, también dará la sensación de tener un empaque más lleno de producto y más expandido. El problema de esto es el cuidado que se debe de tener en la manipulación de los empaques para no afectar la integridad de cada botana y provocar que se destruya la misma.

En contraposición a lo indicado en el párrafo anterior, si se trabaja a flujos másicos altos en la alimentación de materia prima al freidor, en magnitud cercana o superior a los 550 kilogramos por hora. Se tendrá una menor expansión de la botana, provocando que sea más dura y afectando su textura al

momento de comerla además de provocar una sensación que el empaque pudiera estar con un nivel bajo de llenado de botanas.

Los valores obtenidos de la regresión lineal y el coeficiente de determinación como parte del resultado de los objetivos específicos, mostraron en todos los casos pendientes distintas y lejanas a cero. Lo cual es la prueba que evidenció la relación existente entre cada par de variables evaluado. Sin embargo, por ser las hipótesis del tipo correlacional, el coeficiente de correlación de cada par de comparación de variables es el que acepta las siete hipótesis de investigación, que indica que la variabilidad de la densidad de la botana frita está relacionada con las variaciones en el flujo másico en la línea de producción.

La variabilidad de la densidad también está relacionada con variaciones en la humedad de la materia prima y material en proceso, variación de densidad de material en proceso, variación de la composición del saborizante y porcentaje de aceite y sal en producto final; porque en todos los casos el coeficiente de correlación r, resultó distinto a cero. De igual forma, se rechazan las siete hipótesis nulas porque ningún coeficiente de correlación es igual a cero.

Sin embargo, a pesar que existe la relación, los coeficientes de determinación encontrados para cada caso indicaron que la relación es muy baja entre las variables, siendo un resultado similar al que mostraron los coeficientes de correlación.

Soportando la hipótesis de investigación, también se utilizó el índice de capacidad de proceso, que de igual forma demostró que se tuvo una alta variabilidad en la densidad de la botana frita. El proceso estuvo fuera de control con tendencia al límite inferior de especificación de la densidad.

CONCLUSIONES

1. La magnitud de la densidad aparente de la botana frita con recubrimiento se mantuvo con baja variabilidad entre los resultados obtenidos en la experimentación.

2. A pesar de tener baja variabilidad la magnitud de la densidad aparente, el índice de capacidad de proceso indicó que el desarrollo está generando resultados inferiores a la densidad objetivo.

3. El índice de capacidad de proceso para la densidad aparente resultó menor que 1. Esto demostró que se tiene un proceso fuera de control y que la densidad aparente tiende al límite inferior de especificación en cuanto a la densidad promedio.

4. El índice de capacidad de proceso demostró que el producto generalmente tiende a producirse con baja densidad, dando una mejor expansión y presentación.

5. La humedad de la materia prima y la expansión después de la fritura por inmersión obtuvo una correlación de 0.19, la cual es positiva baja.

6. El porcentaje de sal en el saborizante relacionado con la variación de la densidad aparente del producto final obtuvo una correlación de -0.24 la cual es baja y negativa; siendo los valores constantes.

7. El flujo másico de la línea de fritura por inmersión relacionado con la densidad de la botana frita presentó una correlación moderada positiva con valor de 0.43, lo que indica que están moderadamente relacionadas las variables.

8. El flujo másico así como también la cantidad de recubrimiento de sabor que lleva la botana fueron las dos variables que obtuvieron una mayor correlación con la densidad de la botana frita.

RECOMENDACIONES

1. Se deberían de analizar factores ambientales para analizar su influencia en la variabilidad de la botana frita con recubrimiento y principalmente en la materia prima.

2. Se sugiere controlar que la densidad se mantenga siempre sobre el límite inferior de especificación porque el proceso está lejano a la media especificada.

3. Se debería de estudiar la forma de controlar de mejor forma el proceso para evitar que en algún momento la densidad resulte debajo del límite de especificación.

4. Teniendo una baja densidad el producto tiene mejor expansión y presentación, se sugiere analizar los parámetros necesarios y especificaciones de proceso para obtener baja densidad de forma controlada.

5. La relación entre la humedad de la materia prima y la expansión de la fritura no fue concluyente, por lo que se sugiere considerar la humedad del ambiente y su influencia en la materia prima.

6. Evaluar si la homogeneidad en composición del saborizante puede evaluarse en base a algún parámetro distinto del porcentaje de sal, porque el porcentaje de sal permanece muy constante.

7. Se sugiere trabajar a flujos másicos de alimentación de materia prima bajos, cercanos a los 425 kilogramos por hora para obtener mejor densidad y mayor expansión.

8. Se debe de evaluar evitar los flujos másicos altos en la alimentación de la materia prima para evitar alta densidad en el producto. Por otra parte evaluar los parámetros del proceso para trabajar a alta velocidad pero sin que aumente la densidad de la botana.

9. Evaluar si existe alguna relación entre la oxidación del aceite vegetal utilizado y su influencia en la densidad del producto final después de la fritura por inmersión.

10. Evaluar formas o tecnologías alternativas de transporte de la botana en la línea de producción previa al empaque para evitar fragmentación de las unidades y mantener lo más constante y elevada la densidad aparente.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRAVO VÁSQUEZ, Juan Eduardo. *Contribución al estudio de la fritura al vacío: deshidratación de rodajas de manzana.* [en línea]. Universitat Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos. Noviembre 2008 [Valencia, España]. Disponible en web: <http://hdl.handle.net/10251/3401> Consulta: 10 de junio 2012.

2. GARCÍA REVERTER, José. *Revisión de aplicaciones de extrusión*. [en línea] Departamento de Ingeniería y Proceso Industriales, Ainia Centro Tecnológico. [Valencia, España]. Disponible en web: <http://ws71.ainia.es/pdf/extrusion/aplicacionesdeextrusion.pdf> Consulta: 12 de junio 2012.

3. KILCAST, David. *Texture in food, solid foods.* B. M. McKenna. Woodhead Publishing in food science and technology, Abington Hall, Cambridge, Inglaterra. CRC Press, Boca Raton, Florida. 2004. 590 p. ISBN: 9781855737242. Vol. 2.

4. KUME, Hitoshi. *Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad*. Eloisa Vasco, (Trad.) 20a ed. Bogotá, Colombia: Norma, 1994. 243 p. ISBN: 958-04-6719-6

5. LERCKER, Giovanni; CARRASO, Alegría. *El proceso culinario de fritura y el uso del aceite de oliva en el mismo*. [en línea] Economía Andaluza. [Andalucía, España]. Capítulo 10. Disponible en web: <http://www.economiaandaluza.es/sites/ default/files/capitulo%2010.pdf>. Consulta: 28 de junio de 2012.

6. MONTGOMERY, Douglas C. *Diseño y análisis de experimentos*. 2da ed. México: Editorial Limusa Wiley, 2005. ISBN: 9681861566.

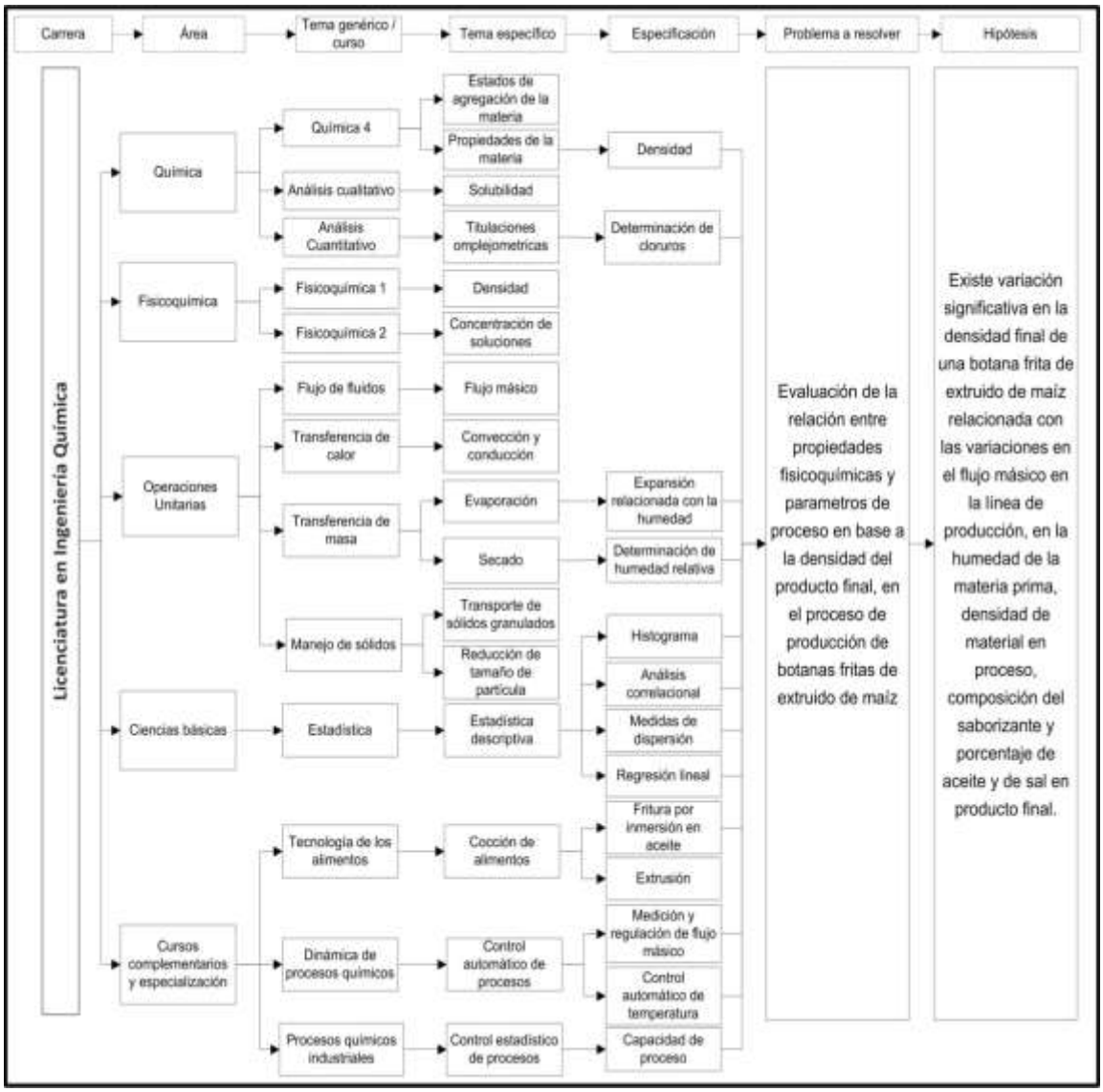
7. MOREIRA, Rosana; CASTELL, Elena; BARRUFET, María. *Deep fat frying Fundamentals and applications*. Chapman & Hall food science book Food Engineering Series. Springer 1999. 350 p. ISBN: 9780834213210

8. SANTACRUZ, Claudia; SANTACRUZ Verónica; LUNA, Higinio. *Determinación de los cambios morfométricos, a partir de la dimensión fractal y su relación con los parámetros fisicoquímicos de un producto de harina de trigo en forma laminar durante el proceso de freído por inmersión*. [en línea] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ingeniería Química. Noviembre 2011. Sitio web: Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. Disponible en web: <http://smcsyv.fis.cinvestav. mx/supyvac/24_4/SV24414511.pdfZ>. Consulta: 20 de agosto 2012.

9. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad & Estadística para ingeniería y ciencias*. 8ª ed. México: Pearson Prentice Hall, 2007. 739 p. ISBN: 9789701702642

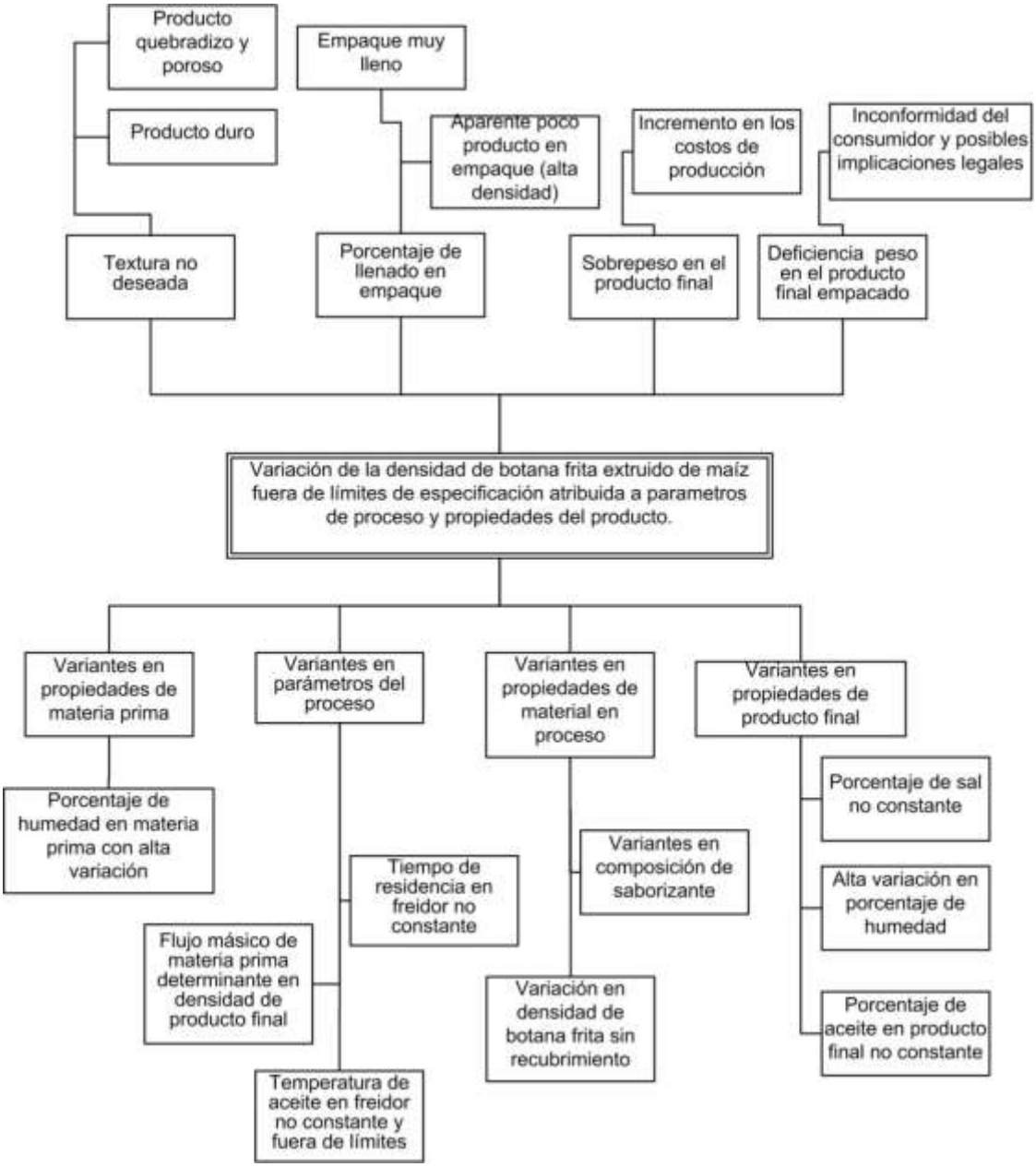
APÉNDICES

1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

3. Muestra de cálculo

Media aritmética de los datos de la densidad de la botana

[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

Coeficiente de variación para los datos muestrales de la densidad de la botana frita

[Ecuación 2]

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

Donde:

C_v = coeficiente de variación [%]

σ = desviación estándar [dimensiones de la variable]

$\bar{x}$ = media muestral [dimensiones de la variable]

Ejemplo: cálculo del coeficiente de variación de los datos para la densidad cuando la media es de 72,99 gramos por litro y la desviación estándar es de 4,09.

$$C_v = \frac{4{,}09 g/L}{72{,}99 g/L} * 100$$

$$C_v = 5{,}53\%$$

El coeficiente de variación resultó en 5,53%

Coeficiente de correlación para los datos muestrales de la densidad de la botana frita

[Ecuación 3]

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} * 100$$

Donde:

$x = x - \bar{x}$ [dimensiones de la variable]

$y = y - \bar{y}$ [dimensiones de la variable]

r = Coeficiente de correlación

Ejemplo: cálculo del coeficiente de correlación de los datos para la densidad del producto final comparado con el flujo másico de alimentación de materia prima a la línea.

Se realiza una tabla con las siguientes columnas:

x: flujo másico	**y: densidad**	**x*y**	**x^2**	**y^2**
X1	Y1	X1y1	$X1^2$	$Y1^2$
X2	Y2	X2y2	$X2^2$	$Y2^2$
X3	Y3	X3y3	$X3^2$	$Y3^2$
X4	Y4	X4y4	$X4^2$	$Y4^2$

Se utilizaron los datos de la tabla XII de datos calculados, que relaciona el flujo másico y la densidad final de la botana.

$$r=\frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} * 100$$

$$r=\frac{6153{,}13}{\sqrt{(349469{,}926)(583{,}57)}} * 100$$

$$r=43{,}08\%$$

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

[Ecuación 3]

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

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

Modelo para la obtención del aceite en la botana

Obteniendo la ecuación del gráfico resultante de la tabla de la prensa Carver [anexo 1], utlizada en el método para la medición del porcentaje de grasa. Se realiza con Excel y se obtuvo:

[Ecuación 4]

$$\text{porcentaje de grasa} = -7 * (\text{peso de botana luego de análisis}) + 82{,}3$$

Fue utilizada para la obtención de todos los resultados del porcentaje de grasa introduciendo en la misma el peso obtenido de la muestra luego de realizar el análisis.

4. Datos calculados y originales

Flujo másico al que se estaba alimentando la materia prima al tomar cada corrida de muestras en la línea de fritura de extruido de maíz

Número de muestra	Flujo másico de alimentación de materia prima [kg/h]	Número de muestra	Flujo másico de alimentación de materia prima [kg/h]
1	400,00	**28**	480,00
2	456,00	**29**	520,00
3	456,00	**30**	480,00
4	440,00	**31**	480,00
5	484,00	**32**	400,00
6	480,00	**33**	480,00
7	640,00	**34**	400,00
8	380,00	**35**	320,00
9	320,00	**36**	400,00
10	356,00	**37**	480,00
11	364,00	**38**	480,00
12	360,00	**39**	480,00
13	360,00	**40**	480,00
14	360,00	**41**	520,00
15	384,00	**42**	440,00
16	384,00	**43**	440,00
17	360,00	**44**	320,00
18	384,00	**45**	360,00
19	560,00	**46**	360,00
20	400,00	**47**	360,00
21	400,00	**48**	240,00
22	440,00	**49**	320,00
23	484,00	**50**	480,00
24	640,00	**51**	520,00
25	440,00	**52**	320,00
26	520,00	**53**	312,00
27	400,00	**54**	320,00

Fuente: elaboración propia.

Datos de la densidad de la botana frita sin recubrimiento además de la densidad de la botana luego de haberle aplicado el recubrimiento de sabor

Número de muestra	Densidad de pellet frito [g/L]	Densidad de la botana con saborizante (final) [g/L]	Número de muestra	Densidad de pellet frito [g/L]	Densidad de la botana con saborizante (final) [g/L]
1	59,60	60,00	**28**	63,20	65,60
2	52,00	56,40	**29**	58,00	62,40
3	54,40	57,60	**30**	61,20	65,20
4	54,00	56,00	**31**	57,60	60,00
5	56,40	57,20	**32**	53,60	59,60
6	55,20	57,20	**33**	53,60	58,40
7	62,00	68,40	**34**	52,80	58,40
8	49,60	53,60	**35**	46,80	51,60
9	55,20	56,80	**36**	56,80	58,80
10	56,40	63,60	**37**	58,40	62,00
11	58,00	60,00	**38**	54,40	57,20
12	57,20	59,92	**39**	55,20	58,40
13	55,20	58,80	**40**	55,60	59,20
14	55,60	57,60	**41**	54,00	58,00
15	56,40	57,60	**42**	56,00	59,20
16	52,40	53,60	**43**	56,40	60,80
17	57,60	58,80	**44**	54,80	57,60
18	58,40	62,00	**45**	56,40	62,80
19	62,40	66,40	**46**	57,60	60,40
20	58,40	60,80	**47**	56,80	61,60
21	60,00	60,80	**48**	59,60	63,20
22	59,20	62,80	**49**	54,40	56,00
23	60,80	62,40	**50**	55,20	59,20
24	62,00	67,20	**51**	55,20	60,40
25	60,40	64,40	**52**	54,40	58,80
26	59,60	61,20	**53**	54,80	60,00
27	59,60	62,00	**54**	56,80	59,60

Fuente: elaboración propia.

Resultados de la medición de humedad relativa a la materia prima y a la botana frita como producto final

Número de muestra	Humedad inicial de pellet [%]	Humedad producto final [%]	Número de muestra	Humedad inicial de pellet [%]	Humedad producto final [%]
1	10,18	0,73	**28**	10,73	0,82
2	9,91	1,07	**29**	10,64	0,87
3	9,93	1,05	**30**	10,81	0,80
4	10,74	0,98	**31**	10,64	0,70
5	10,21	0,96	**32**	10,99	0,76
6	10,01	0,86	**33**	10,60	0,67
7	10,24	0,87	**34**	10,79	0,75
8	9,38	0,47	**35**	11,05	0,73
9	10,43	0,86	**36**	10,58	0,54
10	10,47	0,66	**37**	10,72	0,86
11	10,18	0,83	**38**	10,75	0,72
12	10,71	0,86	**39**	11,03	0,73
13	10,87	0,94	**40**	11,14	0,70
14	10,09	0,92	**41**	10,71	0,72
15	10,72	0,86	**42**	10,95	0,74
16	9,75	0,71	**43**	11,42	0,61
17	10,00	0,79	**44**	10,65	0,89
18	10,30	0,94	**45**	10,74	0,81
19	10,62	0,95	**46**	10,95	0,82
20	10,52	0,81	**47**	10,60	0,78
21	10,59	0,74	**48**	11,26	0,83
22	10,78	0,78	**49**	10,89	0,81
23	10,90	0,68	**50**	10,10	0,67
24	10,95	0,74	**51**	10,43	0,83
25	10,79	0,94	**52**	10,82	0,70
26	10,58	0,74	**53**	10,64	0,81
27	10,60	0,78	**54**	10,66	0,89

Fuente: elaboración propia.

Resultados de la medición de peso de la muestra de botana de 10 gramos luego de someterla a 1 500 psi por 3 minutos

Número de muestra	% de aceite en el producto final [%]	Número de muestra	% de aceite en el producto final [%]
1	7,33	**28**	7,70
2	7,52	**29**	7,17
3	7,36	**30**	7,46
4	7,12	**31**	7,79
5	7,01	**32**	7,71
6	7,12	**33**	7,92
7	7,47	**34**	7,70
8	6,87	**35**	7,78
9	6,46	**36**	7,77
10	6,99	**37**	7,84
11	6,94	**38**	7,63
12	5,90	**39**	7,46
13	7,29	**40**	7,35
14	7,07	**41**	7,14
15	7,39	**42**	7,48
16	7,38	**43**	7,70
17	7,68	**44**	7,90
18	7,56	**45**	7,63
19	7,64	**46**	7,80
20	7,37	**47**	7,78
21	7,61	**48**	7,90
22	7,51	**49**	7,34
23	7,56	**50**	7,84
24	7,81	**51**	7,90
25	7,80	**52**	7,63
26	7,62	**53**	7,88
27	7,85	**54**	7,64

Fuente: elaboración propia.

Valores calculados del porcentaje de aceite confinado en las botanas fritas para cada una de las muestras

Número de muestra	% de aceite en el producto final [%]	Número de muestra	% de aceite en el producto final [%]
1	30,98	**28**	28,37
2	29,69	**29**	32,12
3	30,77	**30**	30,09
4	32,45	**31**	27,76
5	33,23	**32**	28,33
6	32,48	**33**	26,84
7	30,04	**34**	28,38
8	34,22	**35**	27,86
9	37,08	**36**	27,90
10	33,37	**37**	27,45
11	33,73	**38**	28,92
12	40,99	**39**	30,06
13	31,26	**40**	30,87
14	32,82	**41**	32,35
15	30,59	**42**	29,96
16	30,62	**43**	28,43
17	28,52	**44**	26,99
18	29,35	**45**	28,92
19	28,79	**46**	27,72
20	30,70	**47**	27,83
21	29,02	**48**	26,97
22	29,73	**49**	30,89
23	29,38	**50**	27,43
24	27,61	**51**	27,02
25	27,68	**52**	28,89
26	28,99	**53**	27,17
27	27,33	**54**	28,84

Fuente: elaboración propia.

Datos originales de los análisis de sal para cada tipo y muestra, se tomó únicamente hasta la muestra 31, por fallas en el equipo de determinación de sal

Número de muestra	% de sal del saborizante saborizante [%]	% de sal medido a la botana como producto final [%]
1	20,82	1,89
2	20,71	1,54
3	20,41	1,95
4	18,22	2,02
5	22,46	1,86
6	21,26	2,10
7	18,28	2,11
8	20,66	2,15
9	21,41	1,85
10	21,12	2,02
11	20,05	1,96
12	22,06	1,94
13	20,15	1,81
14	21,29	2,08
15	21,96	1,67
16	22,38	0,96
17	19,66	1,76
18	18,70	1,90
19	21,56	2,14
20	20,72	1,91
21	21,44	1,91
22	19,38	2,35
23	20,82	2,10
24	19,27	2,13
25	20,57	2,07
26	23,11	2,03
27	21,19	1,99
28	21,36	2,06
29	19,02	2,06
30	21,73	2,07
31	19,58	2,07

Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Tabla de prensa Carver para la determinación del porcentaje de grasa en una muestra de 10 gramos a partir de la diferencia de peso de la muestra luego de someterla a presión de 1 500 psi por 3 minutos.

Peso (gramos)	Porcentaje de grasa
9,3	17,20
9,2	17,90
9,1	18,60
9	19,30
8,9	20,00
8,8	20,70
8,7	21,40
8,6	22,10
8,5	22,80
8,4	23,50
8,3	24,20
8,2	24,90
8,1	25,60
8	26,30
7,9	27,00
7,8	27,70
7,7	28,40
7,6	29,10
7,5	29,80
7,4	30,50
7,3	31,20

Fuente: empresa de frituras donde se realizó la tesis.