

Área del Conocimiento de Agricultura

# “EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE MÉTODOS DE FRITURA POR INMERSIÓN DE ACEITE Y CONVECCIÓN DE AIRE FORZADO CALIENTE EN LA EMPRESA DE FRITURAS CHISTIN, CHISTIN”

Trabajo Monográfico para optar al título de  
Ingeniero Químico

**Elaborado por:**

Br. Rafael Arcángel  
Vílchez Cortes  
Carne no:  
2018-0985u

**Tutor:**

MSc. Luis Porras Álvarez

Junio de 2024  
Managua, Nicaragua

## DEDICATORIA

*El presente estudio lo dedico a Dios por permitirme llegar con bien hasta este momento y por guiarme en cada paso de mi vida, a mis padres por su apoyo incondicional en mi formación como profesional.*

## AGRADECIMIENTO

A mis padres que son un pilar fundamental en mi vida, por su arduo labor, consejos, valores y herramientas que me han proporcionado para formarme y desarrollarme en la vida. Al mismo tiempo quiero expresar mi agradecimiento a mi alma mater UNI, a mis maestros a lo largo de mi carrera, especialmente a mi tutor el MSc. Luis Porras por todo el apoyo y orientación brindada en la realización de esta tesis, al MSc. Guillermo Guzmán por su asesoría en la parte técnica experimental que fue fase fundamental en el desarrollo de esta monografía y a la compañía *Chistin Chistin* y laboratorios *Fatra* por todo el apoyo brindado en sus instalaciones.

## OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUIA

Por este medio yo Luis Porras Álvarez, en mi calidad de tutor de la monografía **“EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE MÉTODOS DE FRITURA POR INMERSIÓN DE ACEITE Y CONVECCIÓN DE AIRE FORZADO CALIENTE EN LA EMPRESA DE FRITURAS CHISTIN, CHISTIN”**, que elaboro el egresado Br. Rafael Arcángel Vílchez Cortes, Avalo la entrega del documento final de tesis por considerar que el mismo cumple con los criterios de calidad establecidos en las normativas que la Universidad Nacional de Ingeniería UNI Managua tiene establecido para la modalidad de monografía evaluación tecnológica.

Considero que el postulante ha realizado la tesis monográfica mencionada, con todo el rigor científico mediante un gran esfuerzo por llevar a feliz término su trabajo de investigación, habiendo demostrado mucha dedicación y empeño y un alto nivel profesional en su tarea.

Los resultados de la investigación realizada por el Br. Vílchez Cortes constituyen un valioso aporte para desarrollo futuro de la empresa procesadora de tostones Chistin Chistin y brinda elementos claros y contundentes en sus conclusiones, correctamente documentadas, con suficientes elementos de juicio en la toma de decisiones que ayudara al propietario de la empresa a seleccionar la tecnología que ofrece los mejores resultados para su negocio de fritura.

Los mejores deseos de éxito en la defensa de su tesis al Br. Vílchez y que sus excelencias del jurado calificador imponga las más alta calificaciones que se merece.

Son mis mejores deseos que vuestras excelencias continúen cosechando éxitos en sus carreras profesionales.

---

MSc. Luis Porras Álvarez

## Resumen

El presente trabajo monográfico se desarrolló en la sede de la empresa Chistin Chistin, contó con la participación y apoyo de la empresa de frituras y bocadillos de Don Elvis Castillo y La fina atención del Laboratorio Fatra.

Por medio de los respectivos análisis fisicoquímicos a la materia prima se comprobó que esta reunía las condiciones de madurez fisiológica necesaria para realizar los ensayos correspondientes.

El estudio estadístico arrojó un esquema basado en:

Selección de variables: Independiente como el tiempo de operación y el medio de fritura (aceite o aire). La variable dependiente la temperatura de gelatinización en los almidones del plátano o de conformado (de 90 °C en tiempo de 4 minutos, utilizando el método de fritura en baño de aceite caliente, mientras que su comparativo de fritura por convección de aire caliente convectivo forzado, registro 90 °C en un tiempo de 10 minutos) y la absorción de aceite en las pre formas de plátano tostón para ambos métodos de fritura.

En estimación del consumo de aceite vía analítica se encontró que el tostón frito en el medio de inmersión de aceite caliente, registró un consumo promedio del 27.8 %. Mientras que la modalidad de fritura en aire caliente convectivo forzado, el porcentaje de aceite absorbido por la pre forma de tostón fue de 7.2 %.

Con el afán de contrastar los resultados a nivel de la empresa, con los obtenidos mediante los estudios de laboratorio, se realizaron dos corridas paralelas a la tesis apoyados por la implementación de un balance de masas, el cual reportó: 23.30 % de aceite, usando la técnica de inmersión en aceite (Vulcano) y un 7.5 % de consumo de aceite con el método de aire caliente forzado.

Para brindar una mayor comprensión y claridad visual del fenómeno de transporte se empleó un análisis colorimétrico que en el caso de las pre formas en la técnica de fritura por aire, la superficie de tinción fue totalmente saturada por la solución tintórea en un tiempo de 40 minutos, mientras en el caso de las pre formas sometidas al segundo método (fritura por inmersión en aceite), la superficie de tinción en el mismo tiempo de exposición (40 minutos), alcanzo escasamente dos milímetros de la superficie, mostrando así que los tostones tenían saturados los capilares con aceite de fritura

Luego de analizar los resultados obtenidos tanto en el ámbito empresarial como el académico se puede afirmar que el método que menos aceite consume es la fritura por aire caliente convectivo forzado.

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUIA .....	III
RESUMEN.....	IV
TABLA DE CONTENIDO .....	V
LISTA DE TABLAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE ECUACIONES .....	IX
LISTA DE ANEXOS .....	X
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>III. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA: PLÁTANO .....	3
3.1.1 <i>Propiedades del plátano musa paradisiaca</i> .....	3
3.1.3 <i>Aplicaciones en la industria alimentaria</i> .....	4
3.2 LA FRITURA.....	4
3.2.1 <i>Fritura por inmersión en aceite</i> .....	6
3.2.2 <i>Métodos de frituras</i> .....	7
3.2.3 <i>Fritura profunda</i> .....	8
3.2.4 <i>Fuentes de aceite utilizadas en fritura</i> .....	9
3.3 REACCIONES QUÍMICAS.....	10
3.4 PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA DURANTE LA FRITURA .....	11
3.4.2 <i>Conducción a través de una pared plana</i> .....	17
3.4.3 <i>Transferencia de calor por convección</i> .....	17
3.4.4 <i>Teoría de la fritura por convección o aire forzado caliente</i> .....	18
3.5 TIPOS DE FREIDORAS DE AIRE.....	20
3.6 FUNDAMENTO TECNOLÓGICO METODOLOGÍA SOXHLET .....	22
3.7 LA ESTADÍSTICA Y SU APLICACIÓN EN EL ESTUDIO CIENTÍFICO .....	24
<b>IV. MATERIAL Y MÉTODO.....</b>	<b>25</b>
4.1 METODOLOGÍA .....	25
4.1.1 <i>Caracterización de materia prima</i> .....	26
4.1.2 <i>Etapas de proceso de elaboración de tostones pre-fritos congelados</i> 26	
4.1.3 <i>Variables dependientes e independientes</i> .....	30
4.1.4 <i>Diseño experimental</i> .....	30
4.1.5 <i>Planteamiento de hipótesis</i> .....	31

4.2	MATERIALES .....	31
4.3	DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	34
4.3.1	<i>Método Soxhlet</i> .....	34
4.3.2	<i>Prueba de colorimetría en fritura</i> .....	36
<b>V.</b>	<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
5.1	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	38
5.2	BALANCES DE MASA.....	39
5.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO: TAMAÑO DE MUESTRA .....	40
5.4	RESULTADOS DEL PERFIL DE TEMPERATURA .....	40
5.4.2	<i>Fritura por conveccion de aire forzado y caliente</i> .....	41
5.5	RESULTADOS DE ABSORCIÓN DE GRASA .....	44
5.5.1	<i>Comprobacion de Hipotesis</i> .....	47
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>56</b>

## Lista de Tablas

<i>Tabla 1</i> .....	9
<i>Tabla 2</i> .....	12
<i>Tabla 3</i> .....	14
<i>Tabla 4</i> .....	32
<i>Tabla 5</i> .....	33
<i>Tabla 6</i> .....	38
<i>Tabla 7</i> .....	39
<i>Tabla 8</i> .....	39
<i>Tabla 9</i> .....	40
<i>Tabla 10</i> .....	40
<i>Tabla 11</i> .....	41
<i>Tabla 12</i> .....	42
<i>Tabla 13</i> .....	44
<i>Tabla 14</i> .....	45
<i>Tabla 15</i> .....	46
<i>Tabla 16</i> .....	48
<i>Tabla 17</i> .....	49
<i>Tabla 18</i> .....	50
<i>Tabla 19</i> .....	50

## Lista de Figuras

<i>Figura 1</i> .....	3
<i>Figura 2</i> .....	5
<i>Figura 3</i> .....	6
<i>Figura 4</i> .....	11
<i>Figura 5</i> .....	16
<i>Figura 6</i> .....	18
<i>Figura 7</i> .....	20
<i>Figura 8</i> .....	21
<i>Figura 9</i> .....	22
<i>Figura 10</i> .....	25
<i>Figura 11</i> .....	28
<i>Figura 12</i> .....	29
<i>Figura 13</i> .....	41
<i>Figura 14</i> .....	42
<i>Figura 15</i> .....	43
<i>Figura 16</i> .....	44
<i>Figura 17</i> .....	45
<i>Figura 18</i> .....	46
<i>Figura 19</i> .....	47
<i>Figura 20</i> .....	48
<i>Figura 21</i> .....	50
<i>Figura 22</i> .....	51
<i>Figura 23</i> .....	51

## Lista de Ecuaciones

<i>Ecuación 1</i> .....	12
<i>Ecuación 2</i> .....	13
<i>Ecuación 3</i> .....	13
<i>Ecuación 4</i> .....	14
<i>Ecuación 5</i> .....	16
<i>Ecuación 6</i> .....	17
<i>Ecuación 7</i> .....	17
<i>Ecuación 8</i> .....	17
<i>Ecuación 9</i> .....	18
<i>Ecuación 10</i> .....	23
<i>Ecuación 11</i> .....	24
<i>Ecuación 12</i> .....	35

## Lista de Anexos

<i>Anexo 1</i> .....	56
<i>Anexo 2</i> .....	57
<i>Anexo 3</i> .....	58
<i>Anexo 4</i> .....	59
<i>Anexo 5</i> .....	60
<i>Anexo 6</i> .....	61
<i>Anexo 7</i> .....	64
<i>Anexo 8</i> .....	67
<i>Anexo 9</i> .....	69
<i>Anexo 10</i> .....	70
<i>Anexo 11</i> .....	71
<i>Anexo 12</i> .....	72
<i>Anexo 13</i> .....	77
<i>Anexo 14</i> .....	79

## I. INTRODUCCIÓN

El emprendimiento Chistin Chistin nace como un pequeño negocio con propósitos y metas comunes de desarrollar una empresa sostenible, la que se fundó el año 2019. Actualmente procesa y distribuye productos de diversas frituras entre las que se pueden mencionar, platanitos fritos, papitas, yuquitas, enchiladitas leonesas entre otros. La empresa se encuentra en una fase de mejora tecnológica continua, entre las cuales está la automatización, adopción de un sistema logístico computacional, implementación de BPM (Buenas Practica de Manufactura) y mejora de la eficiencia de sus procesos.

En la empresa se busca diversificar sus productos, ya que ha recibido de algunas empresas de comida rápida a nivel nacional, ofertas para suplir tostones y tienen su mirada puesta en ese proyecto. Actualmente en el país existen pequeños emprendimientos en el procesamiento del plátano a nivel artesanal entre las que se destacan frituras Chistin Chistin, Comercial Horeb, O de Hogar y en escala semiindustrial, Nicaragua Agroindustrial S. A – (NAISA), Agro-Food S.A.

Chistin Chistin nace como un emprendimiento con propósitos y metas comunes de desarrollar un negocio sostenible que se fundó en el año 2019, saliendo al mercado 15 días después de su inicio de operaciones, actualmente tienen 16 productos activos entre los que se pueden mencionar platanitos, Yuquitas, enchiladitas leonesas.

Esta tesis presenta un contraste entre dos métodos, la tecnología existente, y en operación, mediante inmersión en aceite caliente vs el método alternativo, tratamiento de convección de aire forzado caliente, que comercialmente se conoce como freidoras de aire. Cada tecnología a evaluar tiene sus particularidades y es tarea de este estudio de presentarlas en un lenguaje científico que se pueda traducir a una nomenclatura algorítmica de solución, de la problemática planteada (Alto consumo de aceite).

Se hizo uso de los conocimientos ingenieriles adquiridos durante la formación del egresado, entre los cuales se destacó, la caracterización de la materia prima, el análisis de datos, la comparación de resultados, la medición, discusión, muestreo, los cuales son elementos del método científico.

Los resultados del estudio servirán al propietario a tener una idea clara de la tecnología que se adecue al grado de rentabilidad relativo al ahorro económico reflejado en el consumo de aceite.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

- Evaluar la tecnología de fritura existente, inmersión de aceite caliente en la industria Chistin Chistin vs el método alternativo de convección de aire forzado y caliente en la elaboración de tostones pre-fritos congelados a fin de aportar una alternativa de toma de decisión a la problemática del alto consumo de aceite.

### 2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima en sus propiedades reológicas y físico-química.
- Analizar las técnicas de fritura en estudio y determinar sus potencialidades en cuanto a las temperaturas de conformado y consumo de aceite a fin de establecer un patrón de contraste entre ellas.
- Establecer una metodología de análisis cuantitativo y cualitativo que permita cuantificar y observar los fenómenos de transporte de materia y energía que ocurren en el medio de inmersión (aceite o aire) durante el proceso de fritura.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Características de la materia prima: Plátano

El plátano como alimento es considerado uno de los cultivos más importantes en el mundo, ocupando el cuarto lugar en importancia después del arroz, trigo y leche. FAO (2004) menciona que este mismo es cultivado extensivamente en trópicos y en las zonas templadas obteniendo una fruta tal y como se observa en la Figura 1.

#### Figura 1

*Plátano verde musa paradisiaca*



*Nota:* Recuperado del blog de Fagro “El cultivo del Banano y Plátano en México”.

##### 3.1.1 Propiedades del plátano musa paradisiaca

En el momento de la cosecha obtiene el 66.2 % de agua, 0.3% grasas, 1.3% proteínas, 1.1 % fibra, 0.8% vitamina y cenizas y 30.7% carbohidratos. El almidón es el carbohidrato predominante en el fruto verde, mientras que en estado maduro presenta mayor contenido de azúcares invertidos. La fibra en la pulpa del fruto tiene bajas concentraciones y no cambian su concentración durante la maduración. Según Quinceno (2014) el ácido predominante del plátano verde es málico y en menor proporción cítrico y oxálico.

La vida útil del fruto se analiza a través del estado de maduración, la identificación de este se determina según Giraldo et al. (2000) mediante la valoración de ciertas características químicas (pH, acidez, almidón, sólidos solubles totales (SST), azúcares, entre otros). En el proceso de maduración del plátano se presentan variaciones fisicoquímicas, como la glucosa, xilosa, manosa, fructosa y trazas de galactosa, y xiloglucano que se incrementan en los procesos de la maduración (Cheng et al., 2009).

### 3.1.2 Fenómenos reológicos

La reología es la ciencia que estudia la deformación y flujo de los materiales. En la definición de los parámetros reológicos se toma en cuenta el flujo laminar, en el cual se considera un fluido como varias capas que se deslizan una sobre otra. En los estudios reológicos se observa la respuesta de un material a un estrés o deformación aplicado, por lo que la reología en la fabricación de alimentos es de fundamental importancia para comprender la manera en la cual una sustancia se mueve y se comporta para poder transportarla y mezclarla durante su procesamiento.

También, la reología de un producto dicta mucho de la experiencia del consumidor, por ejemplo, en relación con la textura y la sensación en la boca (Norton et al., 2011). Para evaluar el perfil reológico de polisacáridos, tales como el almidón y la pectina, el modelo más utilizado es el de Ostwald de Waele o ley de la potencia:  $\sigma = k\dot{\gamma}^n$  Donde:  $\sigma$  (Pa) es el esfuerzo de corte en la interfase del fluido y el elemento que produce el esfuerzo;  $k$  es el coeficiente de consistencia ( $\text{Pa s}^n$ );  $\dot{\gamma}$  ( $\text{s}^{-1}$ ) es la velocidad de corte o deformación en la interfase, y  $n$  es el índice de flujo (adimensional).

Los valores  $k$  y  $n$  describen el comportamiento del fluido. La consistencia  $k$  es un indicador de la naturaleza viscosa del sistema, resultando que a mayor  $k$  más viscoso es el material (Mechetti, 2011). El índice de flujo  $n$  es una medida del grado de comportamiento no Newtoniano. Si  $n < 1$  el fluido es pseudo plástico; si  $n > 1$  el fluido es dilatante; y si  $n = 1$  es un fluido newtoniano.

### 3.1.3 Aplicaciones en la industria alimentaria

El plátano verde es utilizado para elaborar una variedad de productos que incluyen: tostones, tostones congelados, harina de plátano; mezclas para concentrado animal; hojuelas de plátano, secas y/o fritas. También se producen derivados como el bolón y cuando el plátano está maduro se lo consume frito, horneado, en tortas, etc. (Coello, 2009)

### 3.2 La fritura

La fritura es un proceso de deshidratación en el que las sustancias solubles en agua se extraen del producto que se fríe y se traspasan a la grasa de cocinar. Al mismo tiempo, el producto que se fríe absorbe la grasa que le rodea. Cuando el producto a freír se sumerge en la grasa caliente (aproximadamente a  $180\text{ }^\circ\text{C}$ ), el agua se evapora por los poros del producto y primero genera un recubrimiento de vapor de agua que recubre los productos a freír. En la Figura 2 se puede observar el fenómeno conocido como reacción de Maillard al someter un alimento a fritura.

## Figura 2

### Reacción de Maillard



Nota: Recuperado de (Academia online, 2018)

El agua expulsada se transporta a la superficie por la grasa y se evapora aquí. El recubrimiento de vapor que rodea al producto impide que la grasa penetre demasiado rápido. Si el contenido en agua del producto disminuye, entonces se reduce el recubrimiento de vapor protector y la grasa caliente puede entrar a través de los poros y se cocerá el centro del producto a freír.

Al mismo tiempo la temperatura en la superficie del producto a freír aumenta y produce el pardeamiento (Reacción de Maillard observada en la Figura 2). Dependiendo de la calidad y edad de la grasa, este procedimiento puede suceder con mayor o menor rapidez y, por consiguiente, influye sobre la calidad de los productos a freír.

- La extracción rápida del agua

Si el agua escapa con demasiada rapidez (con grasas más viejas), puede entrar más grasa a través de los poros y cocerse demasiado el producto frito. (por ejemplo, patas fritas huecas).

- La extracción lenta del agua

Si la extracción del agua es muy lenta (con grasa fresca) entonces la costra se cocina con mucha rapidez y no permite que se evapore el agua suficiente del centro (por ejemplo, patatas fritas blandas).

### 3.2.1 Fritura por inmersión en aceite

Se entiende por fritura al proceso culinario que consiste en introducir un alimento en un baño de aceite o grasa caliente a temperaturas elevadas (150-200° C), donde el aceite actúa de transmisor del calor produciendo un calentamiento rápido y uniforme del producto.

La diferencia de temperatura entre el alimento y el aceite desencadena un proceso simultáneo de transferencia de calor y de materia. El calor es transferido del aceite al alimento y sirve para evaporar el agua del alimento, pasando al aceite como burbujas de vapor; además, el aceite va a penetrar en el alimento. Al mismo tiempo las propiedades físicas del alimento varían con los cambios de temperatura y de humedad que suceden en el interior del mismo. (Bravo, 2008)

La compañía Chistin, Chistin utiliza la Freidora a gas tal y como se observa en la Figura 3, el modelo es LG300 marca Vulcan - Línea restaurantera.

#### **Figura 3**

*Freidora Vulcan de gas modelo LG - 300*



*Nota: Recuperado de (DIAGNHOS , n.d.)*

Esta misma fue fabricada de la siguiente manera, parte frontal superior y la puerta reforzada son de acero inoxidable, cestas gemelas con mangos de plástico, tanque para freír de acero inoxidable, con capacidad de 15.87 a 18.14 kg; dimensiones: 39.37 cm de ancho x 120.97 cm de altura x 74.93 cm de profundidad, peso 95 kg. El tanque para freír cuenta con tres, cuatro y cinco tubos intercambiadores de calor para una transferencia máxima de calor.

### Características:

- Tanque de acero inoxidable 35-40 lb.
- Frente superior y puerta de acero inoxidable.
- Tres tubos intercambiadores de calor de alta eficiencia y posicionados para facilitar la limpieza.
- Canastillas gemelas con manijas recubiertas en plástico atérmico.
- Equipo a Gas licuado de petróleo.

### 3.2.2 Métodos de frituras

Dentro de los métodos de fritura utilizados comúnmente en las actividades comerciales son:

- En profundidad: los alimentos se sumergen en el baño de materia grasa caliente.
- Salteado: se emplea una pequeña cantidad de grasa o aceite en sartén.
- Rostizado: cocción de alimentos ricos en proteína en horno o plancha con agregado mínimo de materia grasa.

Existe una amplia variedad de aceites en el mercado y a nivel mundial los aceites que más se utilizan en la fritura son los hidrogenados de soja o girasol, por ser más estables y económicos. El aceite de oliva, por otro lado, presenta en su composición una baja concentración de ácidos grasos poliinsaturados y una alta concentración de ácido oleico, a su vez cuenta con la presencia de antioxidantes naturales, lo cual lo vuelve excelente para freír; la única desventaja que presenta es su alto costo. (Marchesino, P.L, Guerberoff, & Olmedo, 2020)

Otro aceite con bajo contenido en ácidos grasos poliinsaturados es el aceite de maní. El aceite Palma se utiliza ampliamente a nivel industrial y es muy estable debido a su alto contenido en ácidos grasos saturados. El aceite de girasol alto oleico es el que presenta mayor rendimiento con un grado de aceptabilidad para las papas, similar al aceite de oliva y al aceite vegetal hidrogenado, con una clara ventaja nutricional sobre este último. El aceite de girasol convencional es el que presenta menor rendimiento y la menor aceptación sensorial.

A medida que el proceso de fritura avanza, el aceite utilizado sufre una serie de cambios en el cual va perdiendo valor nutricional y a su vez se forman nuevas moléculas que pueden ser perjudiciales para la salud. Entre esos cambios podemos destacar:

- Hidrólisis: Se liberan ácidos grasos debido a las altas temperaturas y la humedad proveniente del alimento.
- Oxidación: La oxidación de lípidos es considerada la causa más importante de deterioro en la composición química del aceite y su tasa influye en la vida útil de los alimentos fritos, al generar compuestos volátiles y no volátiles.
- Polimerización: Produce otras moléculas de alto peso molecular que provoca el aumento de la viscosidad y la generación de espuma.
- Cambio de color: Puede deberse a residuos provenientes de los alimentos, que generan distintos tipos de reacciones químicas, o por la oxidación del mismo aceite con generación de compuestos no volátiles.

La exposición de los aceites de cocina ricos en ácidos grasos poliinsaturados a las altas temperaturas del proceso de fritura, genera altas concentraciones de productos de oxidación lipídica citotóxicos y genotóxicos

### 3.2.3 Fritura profunda

El proceso de sumergir los alimentos parcial o completamente en aceite durante parte o la totalidad del período de cocción a presión atmosférica (760 mm Hg o 101.3 kPa absolutos) se denomina fritura profunda o fritura a profundidad. El alimento está completamente rodeado por el aceite, que es un medio de transferencia de calor muy eficiente. Además de cocinar los alimentos, el aceite para freír produce una textura crujiente en alimentos como tostones pre-fritos congelados, papas fritas y pollo frito rebozado. El producto resultante suele ser de color marrón dorado con un contenido de aceite que oscila entre 8 y 25%. (Nicholas M. Holden)

Una freidora típica de grasa profunda consiste en una cámara en la que se colocan aceite caliente y un producto alimenticio. La velocidad y eficiencia del proceso de fritura dependen de la temperatura y la calidad general del aceite, en términos de degradación de triglicéridos y cambios en las propiedades térmicas y físicas como el color y la viscosidad. La temperatura de fritura suele estar entre 160° y 190°C. En la Tabla 1 se puede observar un listado de distintos tipos de productos fritos con su correspondiente porcentaje en contenido de aceite.

**Tabla 1**

*Contenido de aceite de los productos comúnmente grasos profundos*

<b>Producto</b>	<b>Contenido de aceite (%)</b>
Patatas fritas	33-38
Chips de tortilla	23-30
Tostones pre-fritos congelados	22-30
Productos expandidos de snacks	20-40
Frutos secos tostados	5-6
Papas fritas	10-15
Donas	20-25
Alimentos congelados	10-15

*Nota:* En la Tabla 1 se detalla el contenido de aceite de algunos productos grasos. Recuperado de (Nicholas M. Holden)

El aceite de cocina (como el aceite de girasol, aceite de canola, aceite de soya, aceite de maíz, aceite de maní y aceite de oliva) no solo actúa como medio de transferencia de calor, sino que también ingresa al producto, aportando sabor. Además de freír a presión atmosférica, los productos alimenticios también se pueden freír al vacío, donde la presión se reduce a aproximadamente 60 mm Hg (8 kPa absolutos). (Nicholas M. Holden)

A esta menor presión, el punto de ebullición del agua disminuye a 41°C permitiendo que la temperatura del aceite de fritura se reduzca a 90°—110°C; como resultado, los productos sensibles al calor, como frutas con alto contenido de azúcar (por ejemplo, plátanos, manzanas, yucas y piñas) se pueden freír hasta que queden crujientes. Además, los productos fritos son capaces de mantener un color fresco y un sabor intenso, mientras que el aceite para freír tendrá una vida más larga debido al menor contacto con el oxígeno atmosférico. (Nicholas M. Holden)

#### 3.2.4 Fuentes de aceite utilizadas en fritura

Se plantan cultivos de semillas oleaginosas en todo el mundo para producir aceite de cocina. Las semillas se lavan y trituran antes de retirar el aceite mediante un proceso de extracción. Luego, el aceite se refina para eliminar cualquier sabor, olor, color o impurezas no deseados. Algunos aceites, como el aceite de oliva virgen, el aceite de nuez y el aceite de semilla de uva, se prensan directamente de la semilla o fruto sin refinar más. Algunas otras fuentes de aceite para freír incluyen girasol, canola, palma y soja.

La mayoría de los aceites vegetales son líquidos a temperatura ambiente. Cuando los aceites se calientan, los ácidos grasos insaturados, que son los componentes básicos de los triglicéridos, se degradan. Los aceites ricos en monoinsaturados, como el aceite de oliva o el aceite de maní, son más estables y pueden reutilizarse mucho más que los aceites ricos en poliinsaturados como el aceite de maíz o el aceite de soja. Por esta razón, al freír alimentos, es importante no sobrecalentar el aceite y cambiarlo frecuentemente.

### 3.3 Reacciones químicas

Muchas reacciones químicas, incluyendo hidrólisis, isomerización y pirólisis, tienen lugar durante la fritura y afectan la calidad y el tiempo de almacenamiento del aceite. Varias de estas reacciones conducen al deterioro del aceite.

La hidrólisis es una reacción química en la que una molécula de agua se inserta a través de un enlace covalente y rompe el enlace. La hidrólisis es la principal reacción química que se produce durante la fritura. A medida que el producto alimenticio se calienta, el agua de los alimentos se evapora y el vapor de agua se difunde en el aceite.

Las moléculas de agua provocan hidrólisis en el aceite, resultando en la formación de ácidos grasos libres, reducción del punto de humo del aceite y sabores desagradables tanto en el aceite como en los alimentos. El punto de humo, o el punto de combustión, de un aceite o grasa es la temperatura a la que comienza a producir un humo azulado continuo que se vuelve claramente visible. El polvo de hornear también promueve la hidrólisis del aceite. (Nicholas M. Holden).

En el Anexo 8 de caracterización de materia prima se enumeran los puntos de humo de algunos aceites comunes utilizados en la fritura. Para la cocción a alta temperatura (160—190°C), un aceite con bajo punto de humo, como el aceite de girasol sin refinar y el aceite de maíz sin refinar, puede no ser adecuado.

La isomerización (polimerización) es el proceso por el cual una molécula se transforma en otra molécula que tiene exactamente los mismos átomos, pero dispuesta de manera diferente. La isomerización ocurre rápidamente durante los períodos de espera y fritura. Los enlaces en los triglicéridos se reordenan, haciendo que el aceite sea más inestable y más sensible a la oxidación.

El pirólisis da como resultado la descomposición extensiva de la estructura química del aceite formando compuestos de menor peso molecular. Los alimentos fritos pueden absorber muchos productos oxidativos, como el hidroperóxido y los aldehídos, que se producen durante la fritura, afectando así la calidad del aceite. (Nicholas M. Holden)

La fritura repetida (usando el mismo aceite varias veces) aumenta la viscosidad y oscurece el color del aceite de cocina. Si las propiedades fisicoquímicas del aceite de cocina se deterioran, el aceite debe desecharse porque puede resultar dañino para el consumo humano. Los antioxidantes, como la vitamina E, que se agregan durante la fritura son extremadamente efectivos para disminuir la tasa de oxidación lipídica, mientras que enzimas como el superóxido dismutasa, catalasa y peroxidasa también son beneficiosas. Sin embargo, la efectividad de la Vitamina E disminuye con el aumento de la temperatura. (Nicholas M. Holden)

### 3.4 Procesos de transferencia de calor y masa durante la fritura

El proceso de fritura, ya sea fritura atmosférica o al vacío, es bastante complicado, involucrando calor acoplado y transferencia de masa a través de un medio poroso (el alimento), formación de costras y contracción y expansión del producto. Todos estos mecanismos contribuyen a las dificultades para predecir la apariencia física y estructural del producto final. Por lo tanto, la comprensión del mecanismo de fritura y los fenómenos de transporte de calor y masa es útil para los procesadores de alimentos con el fin de producir y desarrollar nuevos refrigerios fritos y fritos al vacío para satisfacer las demandas de los consumidores.

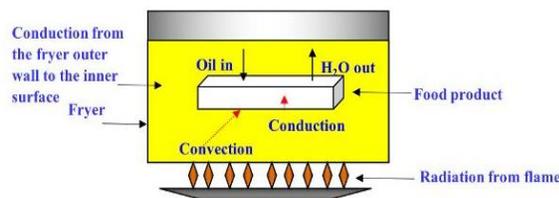
- Transferencia de calor

Durante el proceso de fritura se realiza tanto la transferencia de calor como de masa, saliendo agua y entrando aceite al producto. Los procesos de transferencia de calor incluyen radiación de la fuente de calor a la freidora, conducción desde la pared exterior de la freidora a la superficie interna y de la superficie interna al petróleo. Una vez calentado el aceite, la energía térmica es transferida por convección a la superficie del producto.

Debido a la alta temperatura de fritura (160—190°C), el coeficiente de transferencia de calor por convección es mucho mayor que los procesos de secado al aire. Finalmente, el calor se conduce desde la superficie más caliente hasta el centro más frío del producto, aumentando así su temperatura tal y como se representa en la Figura 4.

#### Figura 4

##### *Esquema general de transferencia de calor y masa*



*Nota:* En la Figura 4 se representa los fenómenos que ocurren durante la fritura de un producto alimenticio. Recuperado de (Yamsaengsung, 2014)

La transferencia de calor durante el proceso de fritura se puede describir usando los tres supuestos simplificadores siguientes Ecuaciones relacionados con la convección, conducción y calor sensible. La primera suposición es que el calor se transfiere del aceite a la superficie del producto por convección tal y como se observa en la Ecuación 1.

$$q = h\Delta T = hA(T_s - T_\infty) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$q$  = flujo de calor ( $\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2}$  o  $\text{W m}^{-2}$ ) (debido a la convección, en este caso)

$h$  = coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\text{W m}^{-2} \text{°C}^{-1}$ )

$A$  = superficie del producto ( $\text{m}^2$ )

$\Delta T$  = diferencia de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre la temperatura superficial del producto y la temperatura del aceite =  $T_s - T_\infty$

$T_s$  = temperatura superficial del producto ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_\infty$  = temperatura del aceite ( $^{\circ}\text{C}$ )

La convección forzada aumenta drásticamente el coeficiente de transferencia de calor en comparación con la convección libre. Al mismo tiempo, los líquidos tienen un valor de  $h$  mucho mayor que los gases, mientras que un proceso de convección con cambio de fase puede crear un coeficiente de transferencia de calor tan alto como 2,500—100,000  $\text{W m}^{-2}$ . La segunda suposición es que el calor se transfiere desde la superficie del producto internamente a través de la conducción.

En la Tabla 2 se enumeran los rangos de valores del coeficiente de transferencia de calor convectivo ( $h$ ) para varios procesos y medios.

**Tabla 2**

*Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección*

<b>Convección libre</b>	<b><math>h</math> (<math>\text{W m}^{-2}</math>)</b>
Gases (por ejemplo, aire)	2—20
Líquidos (por ejemplo, agua, aceite)	50—1000
<b>Convección forzada</b>	
Gases (por ejemplo, aire)	25—300
Líquidos (por ejemplo, agua, aceite)	100—40,000
<b>Convección con cambio de fase</b>	
Evacuación o condensación	2,500—100,000

*Nota:* Recuperado de (Engineering Toolbox, 2003)

En la Ecuación 2 de transferencia de calor por conducción desde la superficie del producto internamente, se propone la explicación física del proceso de transferencia de calor en las frituras. (Nicholas M. Holden)

$$q = hA \frac{\Delta T}{\Delta x} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$q$  = flujo de calor ( $\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) o ( $\text{W m}^{-2}$ ) (debido a la conducción en este caso)

$k$  = conductividad térmica ( $\text{W m}^{-1} \text{°C}^{-1}$ )

$A$  = superficie del producto ( $\text{m}^2$ )

$\Delta T = T_1 - T_2$  = diferencia de temperatura entre la superficie interna y externa del producto ( $\text{°C}$ )

$\Delta x$  = espesor del producto (m)

El tercer supuesto es que el calor del aceite también se usa como calor sensible (cambio en la temperatura del producto sin cambio de fase) para aumentar la temperatura del producto hacia la temperatura del aceite. Como se muestra en la Ecuación 3. (Yamsaengsung, 2014)

$$Q = \Delta H = \dot{m}C_p\Delta T = \dot{m}C_p(T_1 - T_2) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$Q$  = calor sensible ( $\text{J s}^{-1}$ )

$H$  = cambio en la entalpía (J)

$\dot{m}$  = caudal másico ( $\text{kg s}^{-1}$ )

$C_p$  = calor específico ( $\text{kJ kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$ )

$\Delta T = T_1 - T_2$  = cambio en la temperatura del material sin sufrir un cambio de fase ( $\text{°C}$ )

En la Tabla 3 se brinda el valor del calor específico del agua, el aceite vegetal y los materiales comunes. Como se muestra, el calor específico del aceite vegetal es menor a la mitad que el del agua líquida, lo que indica que se necesita mucha menos energía para elevar la temperatura de la misma cantidad de material en  $1\text{°C}$ .

**Tabla 3***Calor específico de algunos materiales comunes*

<b>Material</b>	<b>Calor Específico (Cp)</b>
	<b>(kJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>)</b>
Agua Líquida	4.18
Agua sólida (hielo)	2.11
Vapor de agua	2
Aceite vegetal	2
Aire seco	1.01

*Nota:* Dichos valores de calor específicos fueron obtenidos de Nicholas M. Holden.

El calor sensible del aceite aumenta la temperatura del agua hasta su punto de ebullición. La liberación de energía térmica en el punto de ebullición se conoce como el calor latente de vaporización, o el calor requerido para evaporar el agua o cambiar su fase de líquido a gas.

El calor latente de vaporización enfría la región del producto durante la evaporación, manteniendo la temperatura del producto cerca del punto de ebullición (hasta que se haya eliminado la mayor parte del agua).

La Ecuación 4 simplificada del balance térmico, consiste en el término de acumulación de calor [ $\rho C_p (dT/dt)$ ], el término de conducción  $div [k (T)]$ , el término fuente de calor ( $Q_{\text{fuente de calor}}$ ) que denota el calor latente de vaporización, y el término de convección,  $h (T_{\text{oil}} - T)$ , en la superficie límite, respectivamente.

El término de acumulación de calor representa el cambio en la entalpía del sistema en función del tiempo. Este cambio explica el calentamiento del producto (cambio en la entalpía) y la transferencia del calor desde el producto calentado hacia la evaporación del vapor de agua del producto. (Yamsaengsung, 2014)

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} - \text{div}[k \nabla T] = Q_{\text{fuente de calor}} + h(T - T_{\infty}) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$\rho$  = densidad del producto (kg m<sup>-3</sup>)

$C_p$  = capacidad calorífica del producto (J kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>)

$x$  = dirección x (m)

$y$  = dirección y (m)

$z$  = dirección z (m)

$k$  = conductividad térmica (W m<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>)

$Q_{\text{fuente de calor}}$  = término de calor latente de evaporación ( $\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2}$ )  
 $h$  = coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\text{W m}^{-2} \text{°C}^{-1}$ )  
 $T_{\infty}$  = temperatura del aceite en el tiempo  $t$  ( $\text{°C}$ )  
 $T$  = temperatura del producto en el tiempo  $t$  ( $\text{°C}$ )  
 $t$  = tiempo (s)

El término de conducción explica la transferencia del calor desde la superficie del producto hacia el centro del material, mientras que el término de convección representa la transferencia de calor del aceite a la superficie del producto y depende del coeficiente de transferencia de calor del aceite de cocina. (Yamsaengsung, 2014)

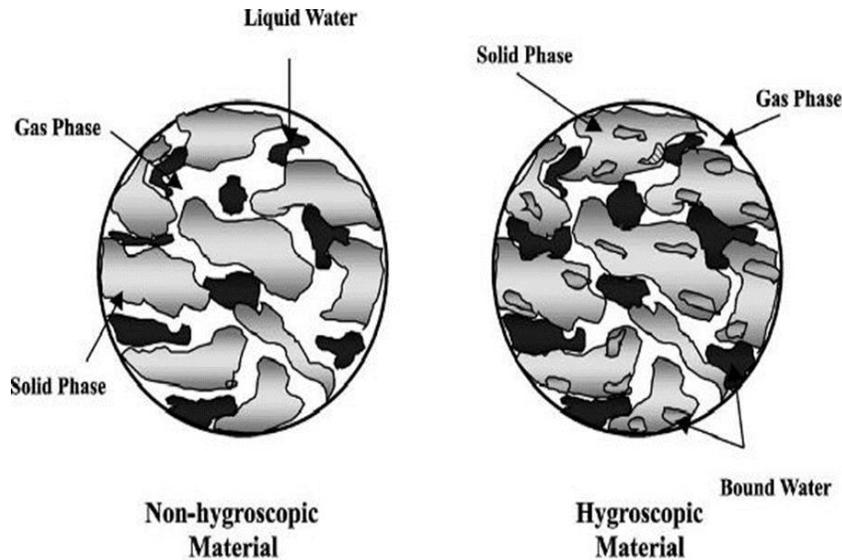
- Fenómeno de transferencia de masa
  1. A medida que el aceite caliente incrementa la temperatura del producto por conducción, este mismo evapora el agua en el producto, cuando se alcanza la temperatura de ebullición del agua.
  2. A medida que el agua se convierte en vapor, se difunde dentro del producto y sale del producto por convección.
  3. El aceite se introduce en el producto a través de la presión capilar (que es la diferencia de presión entre dos fluidos inmiscibles en un tubo delgado), resultante de las interacciones de fuerzas entre los fluidos y las paredes sólidas del tubo. La presión capilar puede servir tanto como una fuerza contraria como una fuerza impulsora para el transporte de fluidos.
  4. El producto final está compuesto por sólidos, agua, aire y aceite. En general, el producto se vuelve más higroscópico, es decir, atrae fácilmente el agua de su entorno, a medida que avanza la fritura.

Las papas fritas son un excelente ejemplo de un producto con una superficie o corteza crujiente y una porción interna suave llamada miga. En resumen, después de un tiempo específico, la superficie del producto se vuelve crujiente, mientras que la parte interna del producto puede retener cierta cantidad de humedad, dejándolo con una textura más suave. (Yamsaengsung, 2014)

En la Figura 5 se representa un material típico no higroscópico y un material higroscópico. Cada material consta de las tres fases: gas, agua líquida y sólida. Una diferencia importante es que en un material higroscópico hay agua ligada. El agua ligada se define como agua que se adhiere fuertemente a la superficie interna de los poros de los materiales y muy difícil de eliminar. En contraste, el agua libre se puede eliminar a través de difusión capilar y flujo de convección desde un gradiente de presión. El agua ligada requiere un mayor tiempo de secado y fritura para ser removida.

## Figura 5

Material no higroscópico e higroscópico



Nota: Recuperado de (Yamsaengsung, 2014)

Si bien se requiere más energía térmica para eliminar esta agua unida, su eliminación conduce a la contracción del material. El secado también puede llevar a la contracción del material, pero la fritura puede conducir a un inflado adicional y expansión de la estructura a medida que el vapor de agua y el gas se expanden durante las etapas posteriores del proceso de fritura. (Yamsaengsung, 2014)

Un material higroscópico atrae fácilmente el agua de sus alrededores, mientras que un material no higroscópico no atrae fácilmente el agua de sus alrededores. La difusión capilar es el movimiento de fluidos en medios porosos insaturados debido a la tensión superficial y las fuerzas impulsoras adhesivas; capilaridad.

### 3.4.1 Transferencia de calor por conducción

Cuando en un medio sólido existe un gradiente de temperatura, el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. En la Ecuación 5, El calor transmitido por conducción por unidad de tiempo  $q_k$  es proporcional al gradiente de temperatura  $\frac{dT}{dx}$  multiplicado por el área  $A$  a través del cual se transfiere. (UNET, 2011)

$$q_k \propto A \frac{dT}{dx} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

T: temperatura; x: dirección del flujo de calor.

El flujo de calor depende de la conductividad térmica  $k$  que es la propiedad física del medio [W/m K], luego se expresa en la Ecuación 6 la Ley de conducción de calor de Fourier

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{Ecuación 6}$$

### 3.4.2 Conducción a través de una pared plana

El calor fluye en dirección perpendicular a la superficie. Si la conductividad térmica es uniforme, la integración de la ecuación queda como se observa en la Ecuación 7. (UNET, 2011)

$$q_k = -\frac{kA}{L}(T_2 - T_1) = \frac{kA}{L}(T_1 - T_2) \quad \text{Ecuación 7}$$

### 3.4.3 Transferencia de calor por convección

Cuando un fluido se pone en contacto con una superficie sólida a una temperatura distinta, el proceso resultante de intercambio de energía térmica se denomina transferencia de calor por convección. Hay dos tipos de procesos de convección: convección libre o natural y convección forzada.

En el primer caso la fuerza motriz procede de la diferencia de densidad en el fluido que resulta del contacto con una superficie a diferente temperatura y da lugar a fuerzas ascensionales.

En el segundo caso una fuerza motriz exterior mueve un fluido sobre una superficie a una temperatura mayor o inferior que la del fluido. Para una u otra forma de transferencia de calor por convección, la cantidad de calor es expresada en la Ecuación 8. Por la Ley de Newton de enfriamiento. (UNET, 2011)

$$q_c = \bar{h}_c A (T_s - T_{f,\infty}) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$\bar{h}$ : Conductancia convectiva térmica unitaria o coeficiente de transferencia de calor por convección en la interfase líquido-sólido.

A: área superficial en contacto con el fluido en  $m^2$

$T_s$ : Temperatura de la superficie, K

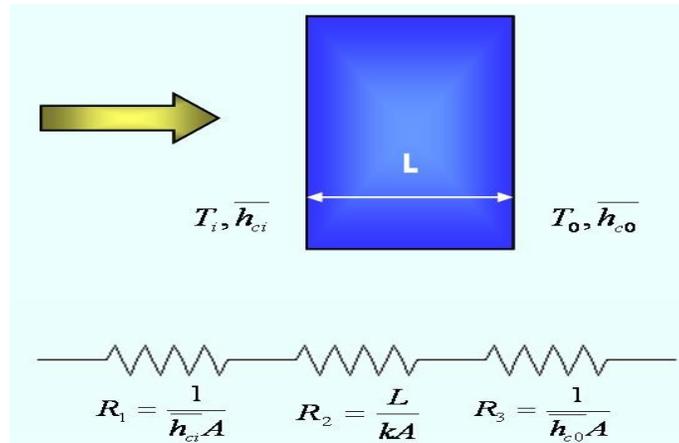
$T_{f,\infty}$ : Temperatura del fluido no perturbado lejos de la superficie transmisora del calor

En la Ecuación 9 se expresa el coeficiente de transferencia de calor por convección depende de la densidad, viscosidad y velocidad del fluido, así como de sus propiedades térmicas conductividad térmica y calor específico). En la Figura 6 se observa a su vez, el diagrama de resistencia propuesto para un proceso de transferencia de calor

$$\overline{R}_c = \frac{1}{h_c A} \quad \text{Ecuación 9}$$

**Figura 6**

*Analogía resistencia térmica para la convección*



*Nota:* Recuperado de (UNET, 2011).

#### 3.4.4 Teoría de la fritura por convección o aire forzado caliente

En general, se reconocen tres modos distintos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación, aunque, en rigor, solo la conducción y radiación debieran considerarse formas de transmisión de calor, porque solo ellas dependen exclusivamente de un desequilibrio térmico para producirse. Para que se produzca convección, tiene que haber un transporte mecánico de masa además de una diferencia de temperatura, sin embargo, teniendo en cuenta que la convección también transfiere energía de zonas con mayor temperatura a zonas con menor temperatura, normalmente se admite el modo transferencia de calor por convección.

**Conducción:** Es la transferencia de calor que se produce a través de un medio material por contacto directo entre sus partículas, cuando existe una diferencia de temperatura y en virtud del movimiento de sus micropartículas. La transferencia ocurre en todos los estados de la materia y el medio puede ser sólido, líquido o gaseoso, aunque en líquidos y gases solo se da la conducción pura si se excluye la posibilidad de convección. La cantidad de calor que se transfiere por conducción, viene dada por la ley de Fourier.

Convección: La transmisión de calor por convección se compone de dos mecanismos simultáneos. El primero, es la transferencia de calor por conducción, debido al movimiento molecular, a la que se superpone la transferencia de energía por el movimiento de fracciones del fluido que se mueven accionadas por una fuerza externa, que puede ser un gradiente de densidad (convección natural), o una diferencia de presión producida mecánicamente (convección forzada) o una combinación de ambas. La cantidad de calor transferido por convección, se rige por la ley de enfriamiento de Newton.

La transferencia de calor por convección se produce por el movimiento de fluidos sobre la superficie del cuerpo. Este fluido convectivo puede ser un líquido o un gas. Para la transferencia de calor desde la superficie exterior del cuerpo, el mecanismo de convección depende de la superficie del cuerpo, la velocidad del aire y el gradiente de temperatura entre la superficie de la piel y el aire ambiente.

Radiación: Se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas. En ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas, debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. El calor emitido por una superficie en la unidad de tiempo, viene dado por la ley de Stefan-Boltzmann.

La fritura con aire forzado utiliza los mismos mecanismos de transferencia de calor que se necesitan para la fritura en aceite caliente con la diferencia que el medio que transfiere el calor es aire forzado. Este detalle consigue alcanzar el objetivo de cocción al punto de gelatinización de los almidones en las preformas de tostones.

El aire caliente turbulento choca contra las paredes de la preformas conduciendo el calor hacia el interior hasta alcanzar el centro térmico la temperatura de la formación del almidón gelatinizado.

Técnicamente se habla de una fritura en aire caliente más se puede decir que es una cocción con aire convectivo forzado. Particularmente esta condición permite al usuario graduar la cantidad de aceite, modulando de esta manera los contenidos del mismo a voluntad del producto final

Los alimentos fritos son muy consumidos en el mercado Latinoamericano ya que las grasas le brindan elementos palatales al gusto de ellos no obstante el sin número de problema de salud que arrastran el alto consumo de las grasas. (Avera blog, s.f.) Las freidoras de aire gracias a su mecanismo de operación son capaces de cocinar los alimentos haciendo que queden dorados y crujientes sin usando poco aceite. De esta manera podemos disfrutar de una comida igual de rica, pero mucho más saludable.

El funcionamiento de las freidoras de aire es bastante parecido a los hornos de convección eléctrica o los hornos eléctricos comunes. La comida es sometida a un flujo constante de aire muy caliente que circula de forma homogénea dentro de la bandeja gracias a un circuito de ventiladores integrados. Se podría decir que una freidora de aire es un horno eléctrico potente con ventilador.

Debido a este sistema, el término freidora puede no ser muy preciso, ya que no se necesitará sumergir los alimentos en aceite caliente ni en ningún otro tipo de grasa. Sin embargo, como la circulación de aire permite que la comida se dore y quede crujiente, casi como si se tratase de frituras, se le otorgó el nombre de freidora de aire a este interesante electrodoméstico. (Avera blog, s.f.)

La resistencia de una freidora puede calentar el aire hasta llegar a los 200°C de forma casi instantánea, y el ventilador interno hace que el aire circule de forma homogénea para que las patatas, el pollo, o cualquier alimento quede cocido a la perfección. La misión de la freidora es reducir al máximo posible la cantidad de aceite con la que se cocinan los alimentos. Esto quiere decir que, aunque se pueda cocinar sin nada de grasa, para obtener un resultado mucho más similar al de la comida frita, se recomienda colocar una cucharadita de aceite en la bandeja.

### 3.5 Tipos de freidoras de aire

Gracias a la popularidad de este aparato, las diferentes marcas han diseñado sus propios modelos de freidoras de aire, que, aunque en aspecto son distintos, en función son prácticamente iguales; algunos quizás con funciones extras. Estos son algunos de los modelos que podrás encontrar:

- Freidora con cesto frontal

Este es el modelo más común, por haber sido el primero en comercializarse. Es un aparato con forma similar a un ovoide que cuenta con una cubeta con cesto en la parte frontal, en donde se colocarán los alimentos para ser cocidos. Véase En la Figura 7.

#### **Figura 7**

*Freidora con cesto frontal*



*Nota:* Recuperado de Google.

En algunos casos, y dependiendo del tamaño, puede tener el cesto dividido en dos partes, o incluso pueden llegar a tener dos cestos separados. También incluyen un panel de control que puede ser virtual o contar con una o dos perillas para regular la temperatura y el tiempo.

- Freidora Multifunción

En la Figura 8 se observa que el diseño de esta freidora parezca más un horno de sobremesa que una freidora de aire.

### **Figura 8**

*Freidora multifunción*



*Nota:* Recuperado de Google.

Es un modelo mucho más moderno que permite freír, asar y hornear, todo en un solo aparato. En tamaño es generalmente más grande que los anteriores, pero también tiene un precio más elevado. En lugar de tener un cesto, cuentan con una compuerta en la parte frontal, y rejillas en su interior, como si de un horno se tratase.

La freidora de aire es una tecnología nueva en el mercado de Nicaragua que se utiliza para procesar alimentos fritos y cocidos, por ejemplo: Alitas picantes, Pizza, que se colocan en una bandeja perforada que permite la circulación directa entre una emulsión externa de gotas de aceite en aire caliente y el producto dentro de una cámara. El aire forzado está constantemente en movimiento para promover un contacto homogéneo, de esta manera el producto se deshidrata formando una película que se genera en la parte externa del alimento, (Crunch) crujiente y resultando una textura suave en la parte interna (Arafat, 2014).

### 3.6 Fundamento Tecnológico Metodología Soxhlet

En 1879, el químico alemán Franz Ritter Von Soxhlet propuso un método para la determinación de grasa en alimentos

En el método de Soxhlet, el componente de interés son las grasas, y su solubilidad es la propiedad en la que se basa. Se sabe que las grasas se disuelven en disolventes no polares, como el cloroformo, el hexano y el éter de petróleo. Cuando un alimento está en contacto con este tipo de disolventes, las grasas muestran tal afinidad que al disolverse se separan del resto de los componentes, a este principio se le conoce como extracción sólido-líquido.

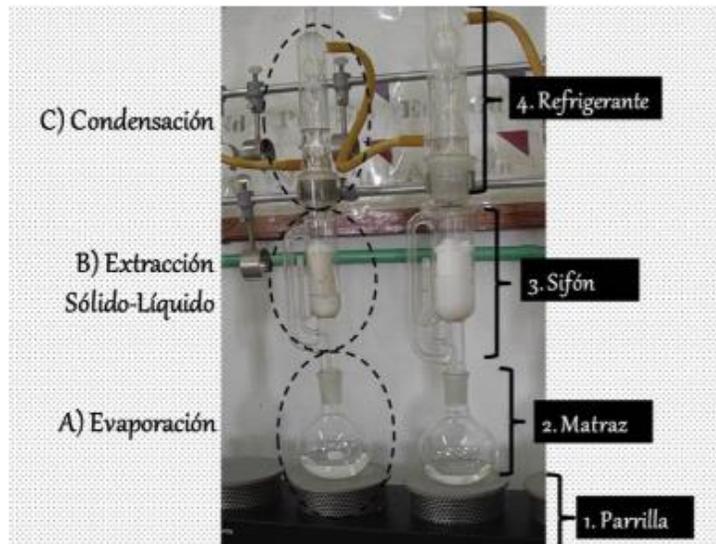
En la Figura 9 se ilustra el equipo Soxhlet, el cual lleva el mismo nombre que el método de extracción de aceites para determinar la cantidad de grasa de los alimentos.

El equipo está integrado de abajo hacia arriba por:

1. Parrilla. Fuente de calor para evaporar el disolvente.
2. Matraz. Contiene el disolvente y el aceite extraído.
3. Sifón. Contiene la muestra dentro de un dedal de celulosa y donde ocurre la extracción sólido-líquido.
4. Refrigerante. Provee un ambiente frío en el que se condensa el disolvente

#### Figura 9

*Equipo Soxhlet*



Nota: Recuperado de (Sabermas, 2014)

El proceso inicia a partir de una muestra previamente seca, para evitar que el agua se combine con el disolvente y altere la prueba. La cantidad de muestra necesaria se especifica en los métodos oficiales según el alimento de que se trate, ésta se coloca dentro de un cartucho en forma de dedal de celulosa, en el sifón. Lo que sucede en el equipo es que el disolvente contenido en el matraz alcanza su punto de ebullición por efecto de la fuente de calor, sube en forma de vapor por el cuello de éste, recorre el sifón y llega al refrigerante. En éste, se condensa y regresa al sifón en forma líquida. (Saberamas, 2014)

La condensación es gradual, podemos observarla en la formación de gotas que caen del refrigerante al sifón. Así, gota a gota, el disolvente se acumula justo donde está el cartucho de celulosa, éste es el momento en que entra en contacto con la muestra y aunque la separación de las grasas del alimento original no es visible a nuestros ojos, al empaparla, una parte de lípidos son disueltos en el disolvente y extraídos del alimento. El sifón acumula el disolvente con los lípidos extraídos hasta que alcanza el nivel suficiente para regresar al matraz.

El disolvente se recircula por el equipo repetidamente, extrayendo en cada recorrido una fracción de lípidos. Conforme se repite este ciclo, podemos ver que el disolvente cambia de color, lo que manifiesta la extracción de las grasas y de compuestos de color con solubilidad afín o liposoluble. Dependiendo el alimento y su composición, será el tiempo requerido para la extracción. Con la extracción completa, se realiza un último paso de evaporación, para eliminar por completo el disolvente del aceite.

En la Ecuación 9 se expresa el calculo de Determinación de grasas por el metodo Soxhlet. (Saberamas, 2014)

$$\% \text{ Grasas (extracto etereo)} = \frac{(P_2 - P_1)}{m} * 100 \quad \text{Ecuación 10}$$

$P_2$  = Peso en gramos del matraz con la grasa extraida

$P_1$  = Peso en gramos del matraz sin grasa

$m$  = Peso en gramos de la muestra

### 3.7 La estadística y su aplicación en el estudio científico

La estadística es una disciplina matemática que estudia el comportamiento de un conjunto de datos en un contexto determinado mediante una serie de métodos aritméticos. Proporciona información, a partir del análisis de un grupo relativamente pequeño de datos, que refleja la naturaleza de un grupo mayor.

El método estadístico se refiere a la recopilación, organización y análisis de información, y su posterior adaptación o representación a través de tablas y gráficos, de manera sistemática, para facilitar la interpretación de los datos, así como permitir la comparación entre los mismos y obtener las conclusiones pertinentes de la investigación.

- El modelo de regresión lineal múltiple

La ecuación de regresión múltiple minimiza la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre los valores reales de “Y” con sus estimaciones, basadas en el plano de regresión.

Al desarrollar la ecuación de regresión múltiple, se minimiza  $\sum (y - \hat{y})^2$ , mediante el procedimiento de mínimos cuadrados.

En la Ecuación 10, el modelo de regresión múltiple supone que la función de regresión que relaciona la variable dependiente con las variables independientes es lineal, es decir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon \quad \text{Ecuación 11}$$

$\beta_0$ : es el término independiente. Es el valor esperado de Y cuando  $X_1, \dots, X_p$  son cero.

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ : son los coeficientes parciales de la regresión:

$\beta_1$ : mide el cambio de Y por cada unitario en  $X_1$ , manteniendo  $X_2, X_3, \dots, X_p$  constantes.

$\beta_2$ : mide el cambio en Y por cada cambio unitario en  $X_2$ , manteniendo  $X_1, X_3, \dots, X_p$  constantes.

$\beta_p$ : mide el cambio en Y por cada cambio unitario en  $X_p$ , manteniendo  $X_1, \dots, X_{p-1}$  constantes.

$\xi$ : es el error de observación debido a variables no controladas.

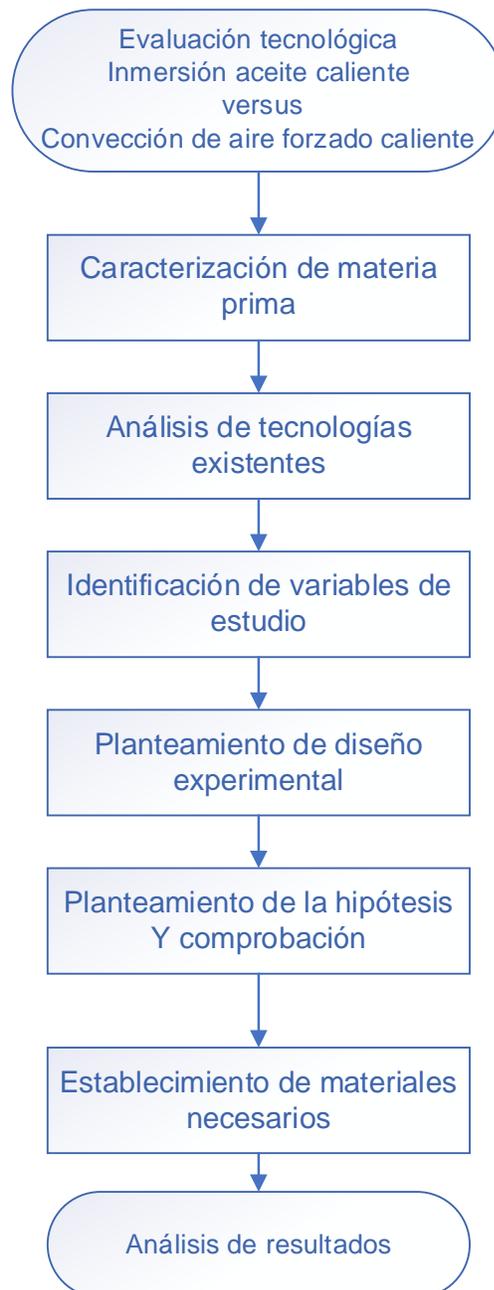
## IV. MATERIAL Y MÉTODO

### 4.1 Metodología

Con el propósito de conocer la magnitud de la problemática relacionada a los altos consumos de aceite, fue necesario establecer la siguiente metodología de trabajo la cual se ve reflejada Figura 10.

#### Figura 10

*Metodología a realizar en la parte experimental*



#### 4.1.1 Caracterización de materia prima

La investigación experimental se realizó en el laboratorio Chemicals Fatra y en la empresa de frituras Chistin Chistin. En este se trabajó con una muestra de plátanos verdes de la variedad cuerno enano, comprados en el mercado Mayoreo. Para caracterizar el plátano se realizaron los siguientes ensayos:

- Determinación de acidez por medio de acidez titulable.
- Contenido en azúcares por conteo de grados Brix utilizando un refractómetro.
- Determinación de viscosidad.
- Densidad del plátano.
- Contenido en azúcares por conteo de grados Brix utilizando un refractómetro,
- Características físicas del plátano a procesar como longitud, diámetro, rendimiento de tostones por plátano.

#### 4.1.2 Etapas de proceso de elaboración de tostones pre-fritos congelados

##### a. Recepción de Materia prima

Fueron recibidos Plátanos de la variedad musa paradisiaca (cuerno enano).

##### b. Selección

Se verificó que la materia prima estuviera libre de defectos físicos visibles y se retiraron las unidades defectuosas.

##### c. Lavado

Los plátanos que fueron aceptados en la recepción de materia prima se sumergieron en una solución clorada a 200ppm para reducir la carga microbiana en la superficie de las mismas, y reducir la posibilidad de contaminación.

##### d. Pelado

Después de lavados los plátanos se pelaron de forma manual utilizando cuchillos de acero inoxidable. (se pesó la pulpa y los desechos para llevar registros). Como desecho quedaron las cáscaras y los pedúnculos.

##### e. Inmersión NaCl 5%

Los plátanos pelados, inmediatamente se sumergieron en una solución de NaCl al 5% para reducir la velocidad del pardeamiento enzimático mientras se pasaban a la etapa de corte.

f. Corte

Los plátanos sumergidos en la solución de NaCl al 5% se les corto 1 cm de cada extremo y se cortaron a 2.5 cm para la obtención de preformas uniformes. (Se separan los extremos por ser poco uniformes).

g. Frituras

Una vez obtenidas las preformas de tostones pasan a la etapa de coccion conocida como fritura responsable de las modificaciones organolepticas, entres las cuales destaca la gelatinizacion de los almidones. Esta puede ser por los siguientes metodos:

- Inmersion en Aceite Caliente
- Conveccion de Aire Forzado y Caliente

h. Conformado

Las preformas calientes se manipularon con cuidado y se conformaron en las tostoneras con aproximadamente 1cm de profundidad en cada molde y 8 cm de diámetro, para garantizar uniformidad en las preformas.

i. Enfriado

Las preformas pre-fritas se escurrieron y se ubicaron en una mesa para evitar accidentes en la siguiente etapa

j. Congelación

Una vez formado los tostones, se enfriaron a temperatura ambiente para posteriormente ubicarlos en bandejas metálicas en donde se congelados de forma individual en un sistema de congelación de alta velocidad hasta que los tostones alcanzaron  $-8^{\circ}\text{C}$ .

k. Pesado y Empacado

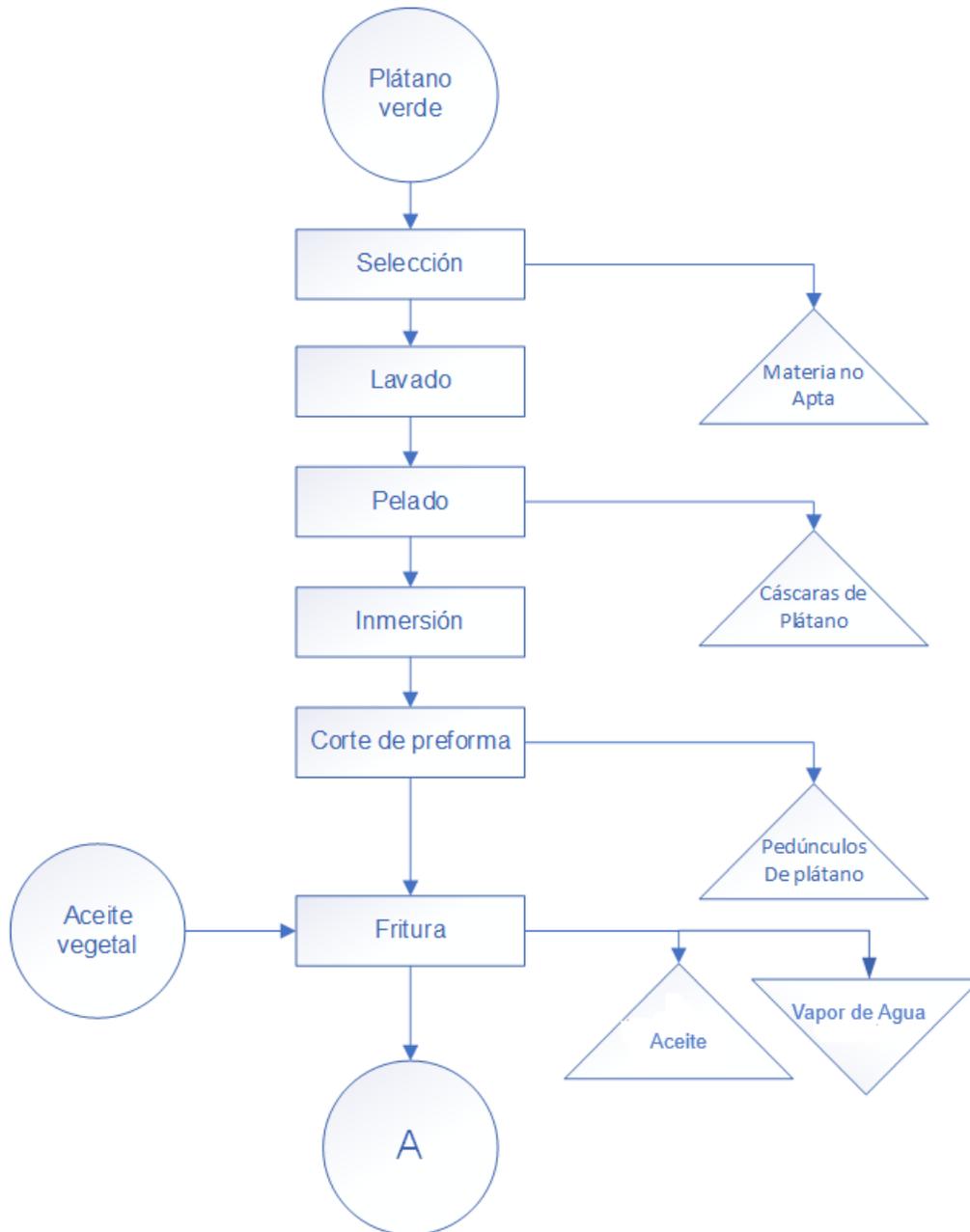
Los tostones congelados de forma individual se empacaron y se pesaron siendo empacados en bolsas de polietileno.

l. Etiquetado y producto final

Los tostones se etiquetaron y se enviaron al cuarto frio para su respectivo almacenamiento.

**Figura 11**

*Flujograma del proceso existente*



**Figura 12**

*Continuación del flujograma de proceso*



#### 4.1.3 Variables dependientes e independientes

Para analizar el fenómeno de absorción de aceite a mayor profundidad, se separó el proceso en dos etapas y se analizaron los dos métodos de fritura.

- Paso 1
- Variable Independiente (Parámetro que se puede controlar)

Tiempo de Operación (Ambos métodos de fritura)

- Variable Dependiente (Variable de respuesta no manipulable)

Temperatura de Conformado (Ambos métodos de fritura)

- Paso 2
- Variable Independiente (Parámetro que se puede controlar)

Medio de Inmersión (Ambos métodos de fritura)

- Variable Dependiente (Variable de respuesta no manipulable)

Absorción de Grasa (Ambos métodos de fritura)

#### 4.1.4 Diseño experimental

Para determinar el tamaño de muestra de los experimentos para ambos métodos de fritura resulta conveniente el uso de un software estadístico G\*Power 3.1.9.7, Basado en la linealidad de los datos el modelo estadístico que mejor se ajusta es la regresión lineal múltiple ya que solamente son dos variables y la varianza entre los resultados es pequeña. La regresión lineal múltiple pertenece a la categoría de las pruebas estadísticas F por lo cual se eligió esta. Además, se cuenta con tres niveles de efecto de muestra:

- 1) Efecto de Tamaño de prueba = 0.01 cambios mínimos de varianza de datos
- 2) Efecto de Tamaño de prueba = 0.15 cambios medianos de varianza de datos
- 3) Efecto de Tamaño de prueba = 0.35 cambio grandes de varianza de datos

Al trabajar con dos métodos de fritura que utilizan diferentes medios de inmersión uno líquido y el otro gaseoso se infiere un efecto de muestra de 0.35, y se corre el programa este a su vez general el tamaño de muestra.

Una vez obtenido el tamaño de muestra se realizarán 4 corridas:

Corrida 1,2 (Temperatura de Conformado en Inmersión de Aceite Caliente) vs (Temperatura de Conformado en Convección de Aire forzado y caliente).

Corrida 3, 4 (Absorción de Grasa en Inmersión de Aceite Caliente) vs (Absorción de Grasa en Convección de Aire forzado y caliente)

Una vez realizado las 4 corridas, 2 correspondientes a la temperatura de conformación y las otras 2 correspondientes a absorción de grasa, se realizara una correlación de datos a través de la prueba estadística de regresión lineal múltiple usando la función de análisis de datos, contenida en el programa Excel, la cual permite matemáticamente la comprobación de las hipótesis.

#### 4.1.5 Planteamiento de hipótesis

- Primer planteamiento

Hipótesis Nula: El tiempo de operación para ambos métodos de fritura no influye en la temperatura de Conformado.

Hipótesis Alternativa: El tiempo de operación para ambos métodos de fritura si influye en la temperatura de Conformado.

- Segundo planteamiento

Hipótesis Nula: El medio de inmersión para ambos métodos de fritura no influye en la absorción de grasa.

Hipótesis Alternativa: El medio de inmersión para ambos métodos de fritura si influye en la absorción de grasa.

#### 4.2 Materiales

Dentro de los materiales necesarios para poder desarrollar la parte experimental, se plantea la utilización de los establecidos en las Tablas 4 y 5 donde se establecen tanto la cantidad del material como su especificación.

**Tabla 4***Materiales y equipos utilizados en las corridas experimentales*

<b>No.</b>	<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
1	Plátanos Verdes	250	Kg
2	Aceite	60	l
3	Sal común	12	Kg
4	Bascula de Piso	1	Unidad
5	Canastas de Acero Inoxidable Estándar	2	Unidad
6	Tostoneras manuales	2	Unidad
7	Bolsas Polipropileno calibre 200 de 17.7 cm x 19.5 cm	20	Unidad
8	Cuchillos Tramontina	2	Unidad
9	Tablas de picar de teflón	3	Unidad
10	Mascarillas industriales	1	Caja
11	Guantes de Nitrilo	1	Caja
12	Cubre Pelo o Redecillas	1	Caja
13	Gabachas Estándar	3	Pieza
14	Marcadores Permanentes	3	Pieza
15	Freidora de Aire Kitchen Aid, Modelo KCO124BM	1	Unidad
16	Empacadora al Vacío, Modelo Rival VS125-S Seal -a- Meal	1	Unidad
17	Cesto Escurridor Metálico	1	Unidad
18	Freidora Vulcano LPG 30 LTS	1	Unidad
19	Calibrador Vernier	1	Unidad
19	Gas licuado de petróleo	25	lb

**Tabla 5***Lista de equipos y/o materiales de laboratorio utilizados en Chemicals Fatra*

<b>No.</b>	<b>Equipos y/o materiales</b>	<b>Marca</b>	<b>Capacidad</b>
1	Balanza Digital	Sartorius	2000 g
2	Refractómetro de baja	SR0017-ATC	0 – 32 Bx
3	pH-metro	Apera EC20	0 a 14
4	Termómetro de 4 probetas	ASIN BOBS61STJC	0 a 300 C
5	Estufa	Memmert	Estándar
6	Desecador	Stony Lab 7.1 Inch	2500 ml
7	Rotavapor	Büchi R-100	1500 ml
8	Extractor digestor Soxhlet	Tecnilab	1000 ml
9	Viscosímetro de Oswald	Belpycno	Estándar
10	Densímetro	Rotavisc	Estándar
11	12 vidrios Reloj	Pyrex	Estándar
12	Papel Filtro Whatman estándar	Whatman	Estándar
13	Beaker	Pyrex	50 ml
14	Probeta	Kimax	200 ml
15	1 mortero con Pilon	Simax	500 g
16	Balón de Extracción	Pyrex	250ml
17	Plancha de Calentamiento	Termo Cientific	0 a 400 (°F)
18	Refrigerante (condensador)	Pyrex	500 ml
19	Espátula Metálica	Duran	Estándar
20	Hexano	Merck	1000 ml
21	Agua Destilada	Merck	500 ml
22	Colorante Rojo N°40 (Soluble en grasas)	Merck	50 g

### 4.3 Desarrollo experimental

#### 4.3.1 Método Soxhlet

La metodología utilizada en el desarrollo del método Soxhlet para la extracción de aceite de los tostones prefritos congelados será la planteada a continuación:

##### a. Pesaje

Se pesaron cada una de las muestras colectadas de tostones prefritos congelados y se rotularon, como muestra 1, muestra 2, muestra 3 etc.

##### b. Desecado

Cada una de las muestras se llevó a un horno a 100°C durante 3 horas a fin de evaporar toda el agua residual que podría interferir con el solvente Hexano.

##### c. Pesaje

Se pesaron cada una de las muestras después de 3 horas y se anotó su peso respectivamente para corroborar linealidad con el porcentaje de humedad.

##### d. Desecado

Se colocaron las muestras calientes en un desecador con sílica gel hasta estabilizar a temperatura ambiente durante 30 min.

##### e. Pesaje

Se anotó el peso de cada una de las preformas una vez deshidratadas para su posterior uso.

##### f. Molienda

Las preformas deshidratadas se pulverizaron con un pilón y un mortero hasta alcanzar una textura granular, uniforme.

##### g. Muestreo con cartuchos

De cada muestra se colectaron 2 gramos por separado en un vidrio reloj y se etiquetaron, luego se dispusieron en un papel filtro rectangular a manera de crear un sobre que no permitiera la salida del producto.

##### h. Pesaje balón de extracción

Se lavó el balón de extracción y se llevó al horno a 105°C durante 30 minutos y luego se pesó en una balanza analítica y se anotó el peso inicial.

i. Adición de solvente

Se midieron en una probeta 150 ml de solvente hexano y se agregaron al balón de extracción.

j. Montar equipo

Se montaron los siguientes equipos: plancha de calentamiento, el balón de extracción, extractor Soxhlet, sistemas de enfriamiento y se dejó correr el sistema durante 4 horas.

k. Recuperación del solvente

Se colocó el matraz de extracción en un rota vapor a 70°C hasta que se recuperó completamente todo el hexano.

l. Desecado

Una vez recuperado el solvente se colocó en una mufa 105°C durante 2 horas y luego se colocó en un desecador de sílica gel, para obtener peso constante

m. Pesaje

Se pesó el matraz de extracción y se anotó el peso final donde la diferencia es el porcentaje de absorción de aceite.

- Cálculos

Para los cálculos en este método se hará uso de la Ecuación 9 planteada anteriormente, donde:

$P_2$  = Peso en gramos del matraz con la grasa extraída

$P_1$  = Peso en gramos del matraz sin grasa

$m$  = Peso en gramos de la muestra

- Análisis del consumo de aceite para ambos métodos de fritura a nivel macro.

Se analizó el consumo de aceite, utilizando balance de masa como se detalla en la Ecuación 12.

$$PA = \frac{(C_{OA} - C_{FA})}{\Delta M} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

PA = Porcentaje de absorción de aceite tanto en el método por inmersión como por convección forzada de aire caliente

C<sub>0</sub>A= Cantidad Inicial de Aceite en gramos

C<sub>F</sub>A = Cantidad Final de Aceite en gramos

$\Delta M$  = (Peso inicial en gramos de materia prima antes de freír – Peso final en gramos de materia prima después de freír)

#### 4.3.2 Prueba de colorimetría en fritura.

- Fritura por inmersión en aceite caliente

La metodología utilizada para la prueba de colorimetría en fritura por inmersión en aceite caliente será la explicada a continuación:

##### a. Pesaje

Se pesaron 1 g de Rojo N°40 (liposoluble) y se mezcló con 1 litro de aceite para preparar la solución madre de tintura.

##### b. Inmersión

Cuatro preformas de plátanos sometidas al proceso de cocción por inmersión de aceite caliente a 180°C durante 4 min de fritura, fueron utilizadas para realizar la prueba colorimétrica la cual consistió en sumergir los tostones fritos en la solución aceitosa de tintura temperada a 80°C durante 10 min, 20min, 30 min y 40 min.

##### c. Inspección Visual

Cada uno de las preformas llegado al tiempo determinado se realizó un corte longitudinal colocándose contra un fondo blanco a fin de hacer la respectiva medición de la difusión aceite coloreado desde la pared periférica hasta el centro térmico del cilindro, anotándose el desplazamiento en milímetros. Procediendo seguidamente con la medición para cada segmento de tiempo determinado.

- Fritura por convección de aire forzado y caliente

La metodología utilizada para la prueba de colorimetría en fritura por convección de aire forzado y caliente se llevará a cabo de la siguiente forma:

a. Pesaje

Se pesaron 1 g de Rojo N°40 y se mezcló con 1 litro de aceite para preparar la solución madre de tintura.

b. Inmersión:

Cuatro preformas de plátanos sometidas al proceso de convección forzada de aire caliente a 205°C durante 10 min, fueron utilizadas para demostrar la prueba colorimétrica la cual consistió en sumergirlas en la solución aceitosa de tintura temperada a 80°C durante 10 min, 20min, 30 min y 40 min.

c. Inspección Visual

Cada uno de las preformas llegado al tiempo determinado se realizo un corte longitudinal colocandose contra un fondo blanco a fin de hacer la respectiva medicion de la difusion del aceite coloreado hacia el centro termico del producto, anotandose la distancia correspondiente.

## V. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Caracterización de la materia prima

En la Tabla 6 se presentan los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio en la caracterización de materia prima elaboradas en el laboratorio Chemicals Fatra.

**Tabla 6**

*Datos obtenidos en la caracterización de materia prima*

N°	Parámetro	Unidad	Método
1	Humedad	66%	Gravimetría
2	PH	6.7	Potencial de Hidrogeno
3	Grados Brix	4.5	Refractometría
4	Densidad	52.84	picnometria
5	Viscosidad	2068 cP	Viscosimetro de Oswald
6	Inertes (Cascara)	28 %	Gravimetría
7	Pedúnculos (merma)	15%	Gravimetría
8	Peso promedio proforma de tostón (2.5 cm)	30 g	Gravimetría
9	Diámetro de los Plátanos	17 cm	Sistemas SI
10	Longitud Promedio	31 cm	Sistemas SI
11	Peso Promedio	385 g	Gravimétrico

Se observo durante la caracterización de la materia prima, que el porcentaje de grados brix, estaba dentro de los limites necesarios para la elaboración de los tostones, otros indicadores como el ph, humedad, viscosidad tienen una incidencia para los distintos rendimientos de fritura y posteriores características organolépticas.

Se observo durante la caracterización de la materia prima, que el porcentaje de grados brix, estaba dentro de los limites necesarios para la elaboración de los tostones, otros indicadores como el pH, humedad, viscosidad tienen una incidencia para los distintos rendimientos de fritura y posteriores características organolépticas.

## 5.2 Balances de masa

- Fritura por inmersión de aceite caliente

El balance realizado en el método de fritura por inmersión de aceite caliente se observa en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Balance de masa en fritura por inmersión de aceite caliente*

Corrida	Recepción Kg	Selección Kg	Pelado Kg	Corte Kg	Fritura Kg	Evaporación Kg	Aceite restante Kg	Masas totales por rubro Kg
Fritura en Aceite								
Plátano	95	90.9	65.3	49.78	75.08	62.48	48.48	48.48
Aceite					25.3		14	11.3
Vapor de agua						12.6		-12.6
Cascara			25.6					-25.6
Impurezas		4.1						-4.1
Puntas				15.52				15.52

- Fritura por convección de aire forzado y caliente

El balance realizado en el método de fritura por convección de aire forzado y caliente se observa en la Tabla 8 y 9.

**Tabla 8**

*Balance de masa en fritura por convección de aire forzado y caliente*

Corrida	Recepción Kg	Selección Kg	Pelado Kg	Corte Kg	Fritura Kg	Evaporación Kg	Aceite restante Kg	Masas totales por rubro Kg
Fritura en aire forzado								
Plátano	95	90.9	64.17	48.1	73.4	61.85	39.85	39.85
Aceite					25.3		22.3	3
Vapor de agua						11.55		-10.55
Cascara			26.73					-26.73
Impurezas		4.1						-4.1
Puntas				14.39				-14.39

**Tabla 9***Balance de masa en fritura por convección de aire forzado y caliente*

Cantidad de aceite que queda en el producto final	Diferencial de aceite en kg	Masa de Tostones en kg	Porcentaje de grasa
Inmersión en aceite caliente	<b>11.3</b>	<b>48.48</b>	<b>23.30 %</b>
Cantidad de aceite que queda en el producto final	Diferencial de aceite en kg	Masa de Tostones en kg	Porcentaje de grasa
Convección en aire forzado y caliente	<b>3</b>	<b>39.85</b>	<b>7.5%</b>

A partir de los datos obtenidos a través de un balance másico aplicado a ambos métodos de fritura teniendo el mismo flujo de entrada, las masas del producto final fueron distintas, esto se explica debido a que las preformas que son sumergidas en aceite absorben un considerable porcentaje (23.30%).

### 5.3 Análisis estadístico: Tamaño de muestra

A través del software estadístico G\*Power 3.1.9.7, se estimó que el tamaño muestral fue de 31 muestras para cada set de datos. Ver tabla 1 de Anexo.

### 5.4 Resultados del perfil de temperatura

Los resultados del análisis del perfil de temperaturas de conformacion en los distintos métodos de frituras fueron los siguientes

#### 5.4.1 Perfil de temperaturas de conformado para metodo de fritura en inmersión de aceite caliente.

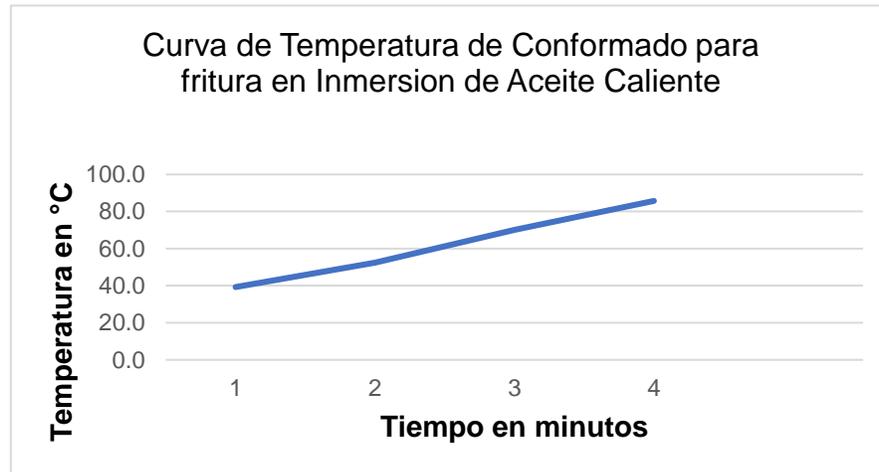
**Tabla 10***Perfil de temperaturas medias versus tiempo de operación en minutos.*

<b>Tiempo en minuto</b>	1	2	3	4
<b>Valor de temperatura media</b>	39.3	52.4	70.2	85.7

*Nota:* Ver Anexo 4 los resultados de las corridas experimentales a los distintos tiempos.

**Figura 13**

*Comportamiento gráfico de temperatura media versus tiempo.*



#### 5.4.2 Fritura por conveccion de aire forzado y caliente

Perfil de temperaturas de conformado para metodo de Conveccion de Aire Forzado y Caliente, ver Anexo 4.

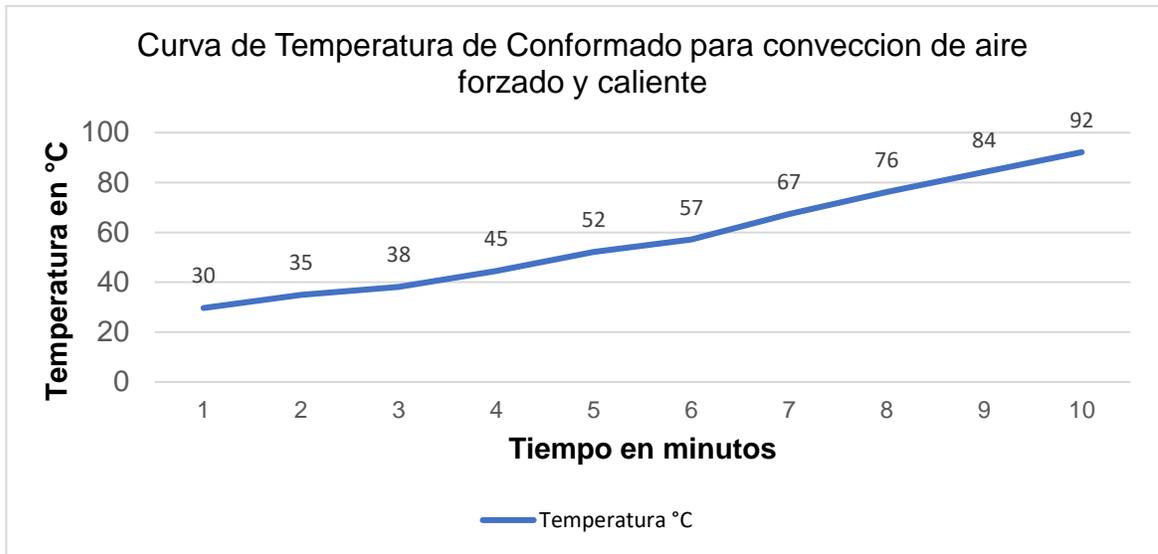
**Tabla 11**

*Perfil de temperaturas medias versus tiempo de operación en minutos*

<b>Temperatura °C</b>	30	35	38	45	52	57	67	76	84	92
<b>Tiempo en minutos</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**Figura 14**

*Comportamiento gráfico de temperatura media versus tiempo*



5.4.3 Analisis comparativo de temperatura de conformacion para ambos metodos de fritura.

En la Tabla 12 y la Figura 15 se pueden observar los resultados obtenidos posterior al análisis de temperatura de conformación en la comparación de ambos métodos de fritura a partir de un tiempo determinado en minutos.

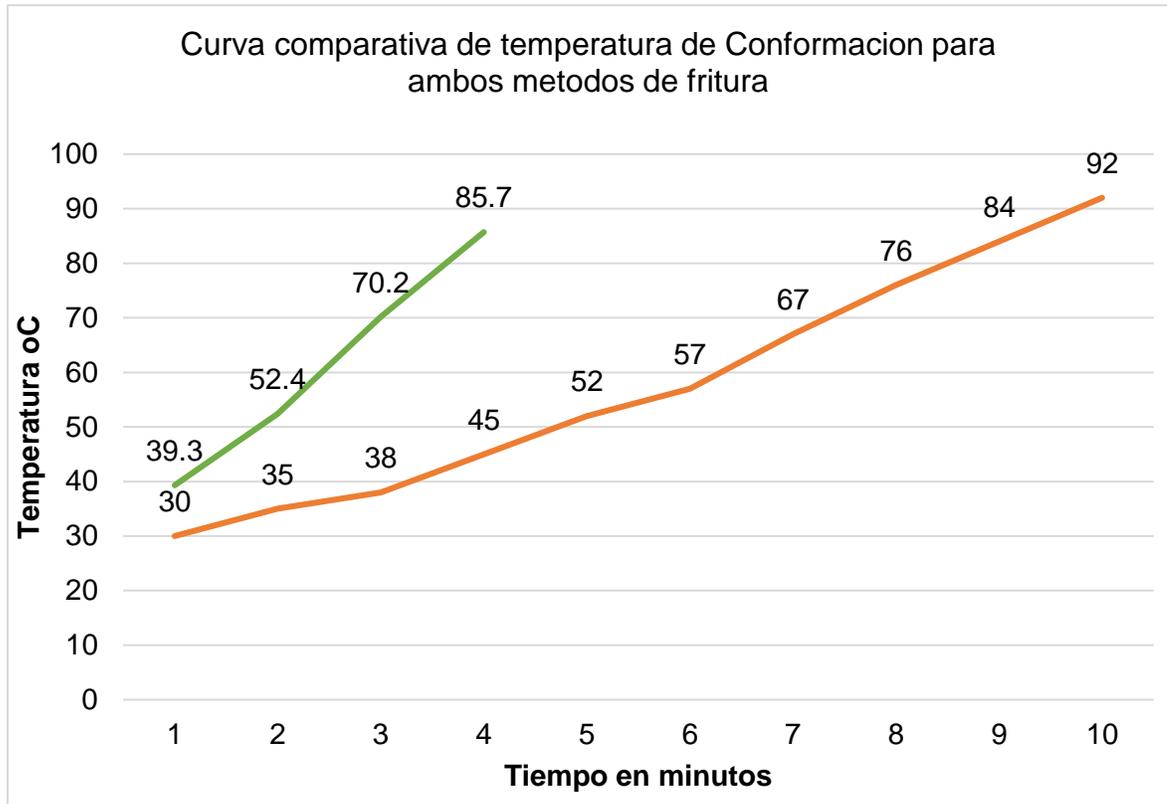
**Tabla 12**

*Comparación de temperatura media versus tiempo de ambos métodos*

Tiempo en minutos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura de Conformación en Aceite	39.3	52.4	70.2	85.7						
Temperatura de Conformación en Aire	30	35	38	45	52	57	67	76	84	92

**Figura 15**

*Comportamiento gráfico de la temperatura de conformación para ambos métodos*



De la curva comparativa, se puede interpretar que el tiempo de operación para lograr la temperatura de conformado, es distinto para ambos métodos de fritura, (4 minutos a 180 °C en Inmersión en Aceite Caliente vs Convección en Aire Forzado y Caliente que fue 10 min a 205 °C).

## 5.5 Resultados de absorción de grasa

La determinación de la absorción de grasa para ambos métodos de inmersión en aceite caliente versus convección de aire forzado y caliente se realizó mediante las ecuaciones anteriormente planteados y el método Soxhlet, los resultados obtenidos se reflejan en la Tabla 13 y 14, así como su representación gráfica en las Figuras 16 y 17.

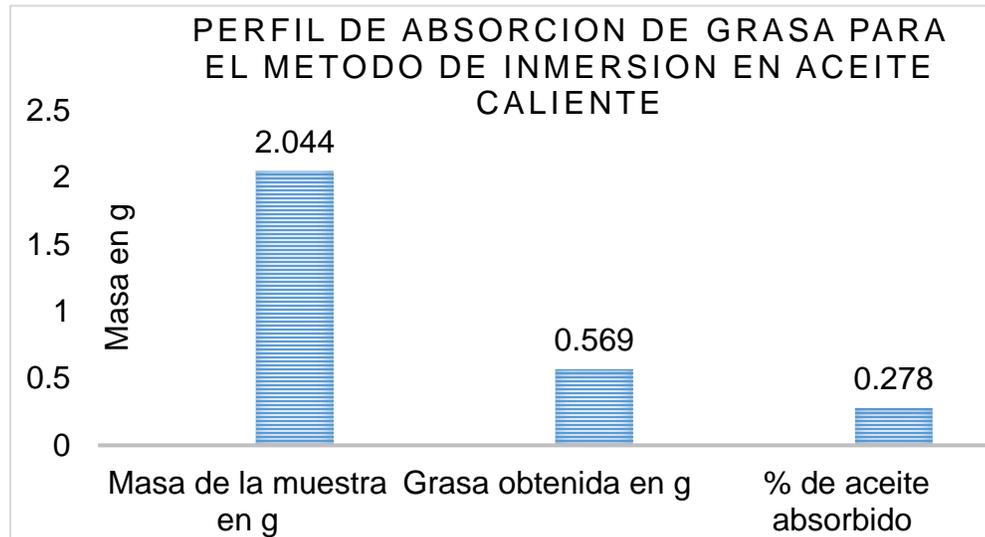
**Tabla 13**

*Perfil de absorción de grasa para el método de inmersión de aceite caliente*

Masa de la muestra en g	2.044
Grasa obtenida en g	0.569
% de aceite absorbido	0.278

**Figura 16**

*Perfil de absorción de grasa para el método de inmersión en aceite caliente*



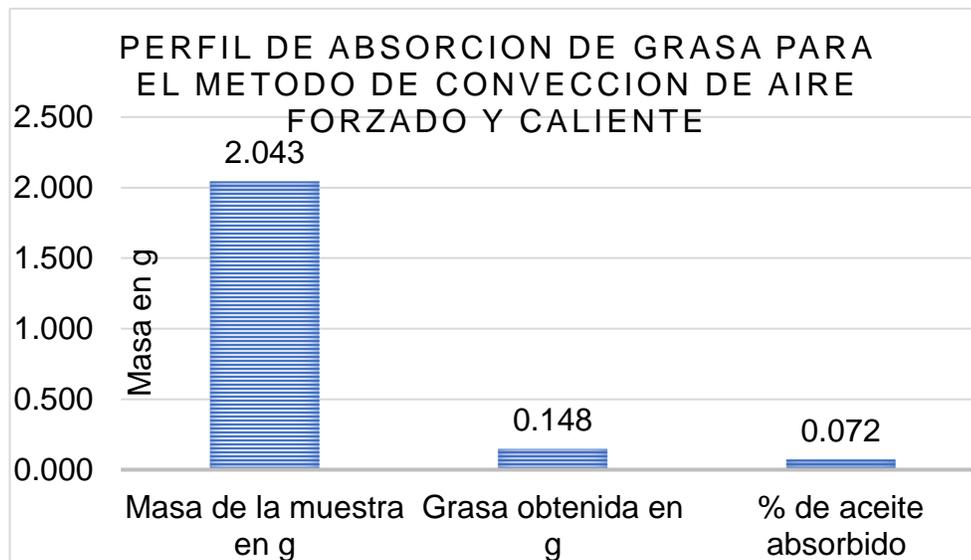
**Tabla 14**

*Perfil de absorción de grasa para el método de convección de aire forzado y caliente*

Masa de la muestra en g	2.043
Grasa obtenida en g	0.148
% de aceite absorbido	0.072

**Figura 17**

*Perfil de absorción de grasa para el método de convección de aire forzado y caliente*



Mediante una serie de pruebas de laboratorio se recopilieron diferentes valores de la cantidad de aceite absorbido por los tostones durante el proceso de fritura, estableciéndose una correlación de datos para cada método los cuales fueron tabulados y sirven de base para el modelo de regresión lineal múltiple. Los resultados comparativos para ambos métodos de fritura se observan en la Tabla 15 y la Figura 18.

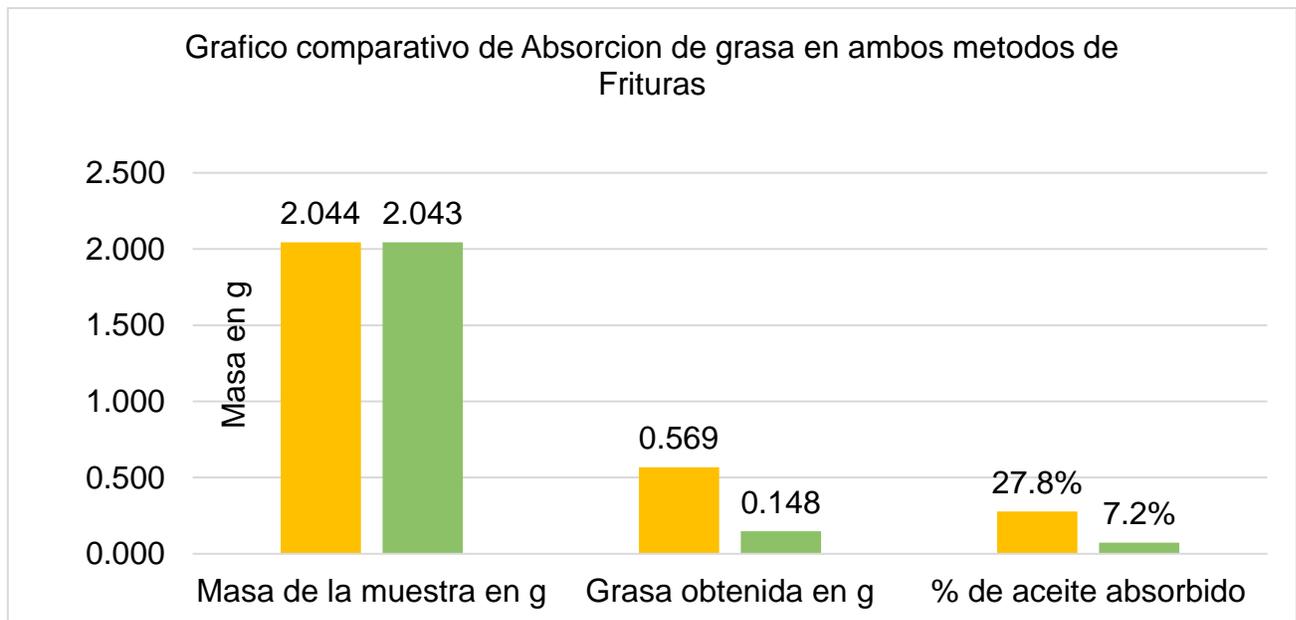
**Tabla 15**

*Resultados comparativo de absorcion de grasa en ambos metodos de Frituras*

	Método de Inmersión en Aceite Caliente	Método de Convección de Aire Forzado y Caliente
Masa de la muestra en g	2.044	2.043
Grasa obtenida en g	0.569	0.148
% de aceite absorbido	27.8%	7.2%

**Figura 18**

*Gráfico comparativo del consumo de aceite en ambos métodos*



Tal y como se observa en la Figura 18 el metodo en el cual el producto toston absorbió la mayor cantidad de grasa es la inmersion de aceite caliente, con un valor del 27.8 %.

### 5.5.1 Comprobacion de Hipotesis

Mediante correlacion de datos para ambos metodos de fritura (Inmersion en Aceite Caliente vs Conveccion de Aire Forzado y Caliente) se realizará la comprobación de hipotesis.

Primer Planteamiento

Hipótesis Nula: El tiempo de operación para ambos métodos de fritura no influye en la temperatura de Conformado.

Hipótesis Alternativa: El tiempo de operación para ambos métodos de fritura si influye en la temperatura de Conformado.

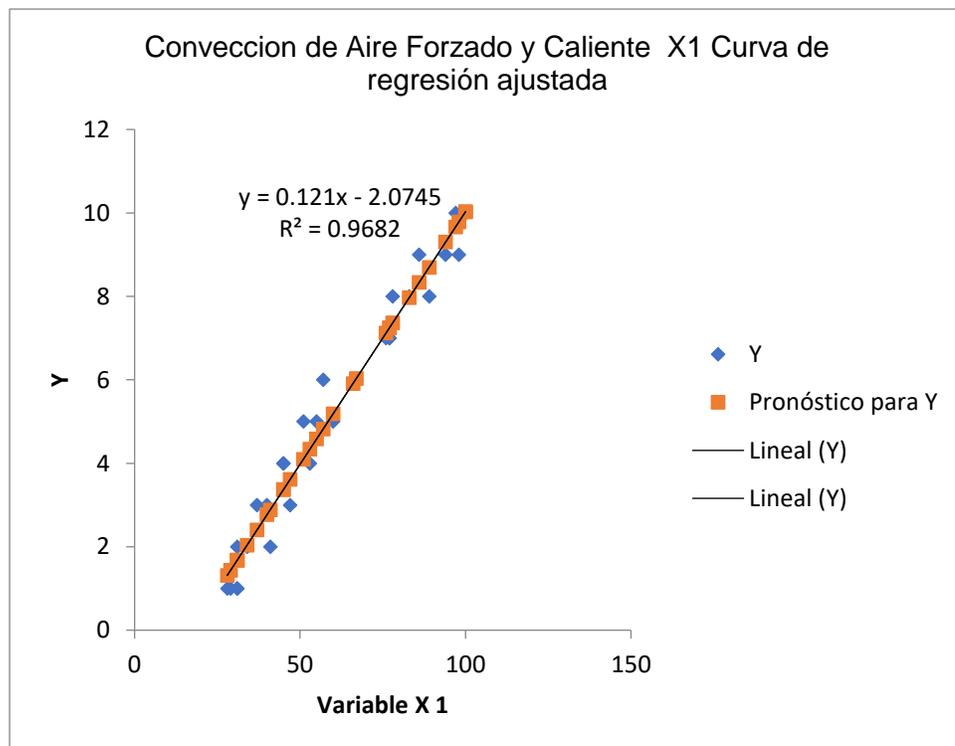
$H_0 = H_1$

$H_0 \neq H_2$

Ver tablas de Anexo 8

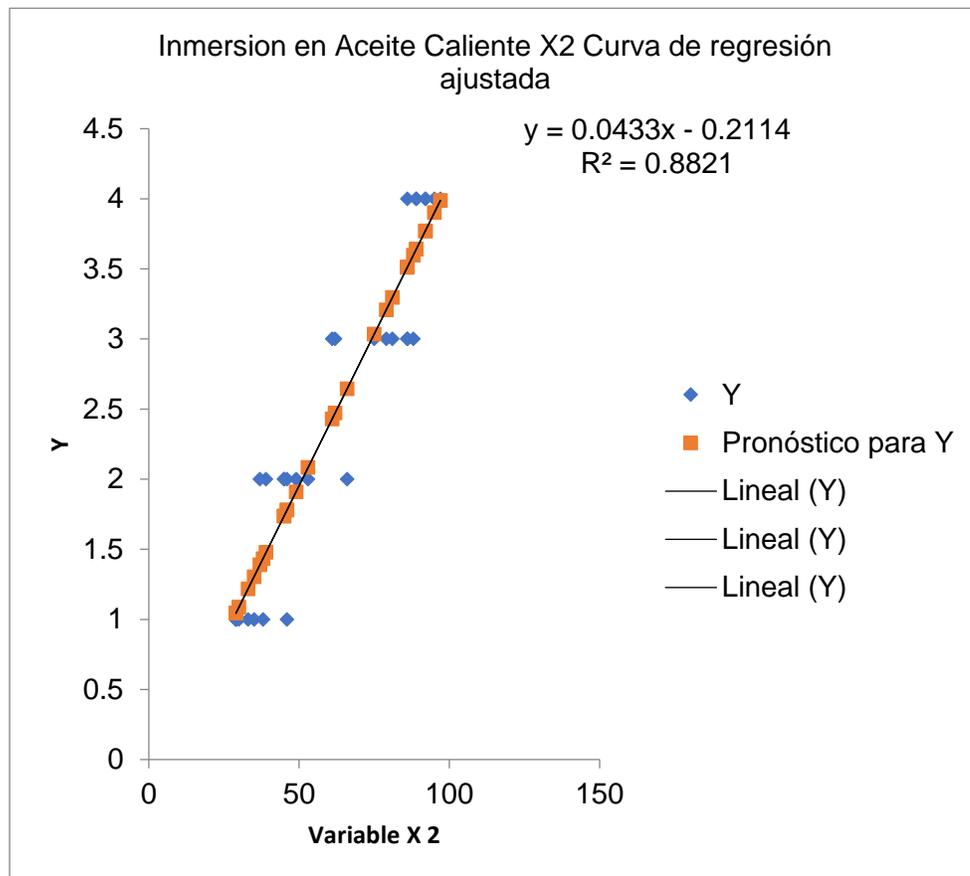
#### Figura 19

*Comportamiento estadístico de los datos*



**Figura 20**

*Comportamiento estadístico de los datos*



**Tabla 16**

*Datos de los intercepto de regresión lineal*

	Coeficientes
Intercepción	-1.86311
<b>X1</b>	0.121
<b>X2</b>	-0.04328

De los resultados obtenidos, podemos inferir que se cumplen las condiciones para aceptar la hipótesis alterna.

Segundo Planteamiento ver tabla Anexo 9

Hipótesis Nula: El medio de inmersión para ambos métodos de fritura no influye en la absorción de grasa.

Hipótesis Alternativa: El medio de inmersión para ambos métodos de fritura si influye en la absorción de grasa.

$$H_0 = H_1 = X_1 = X_2$$

$$H_0 \neq H_2 = X_1 \neq X_2$$

### Tabla 17

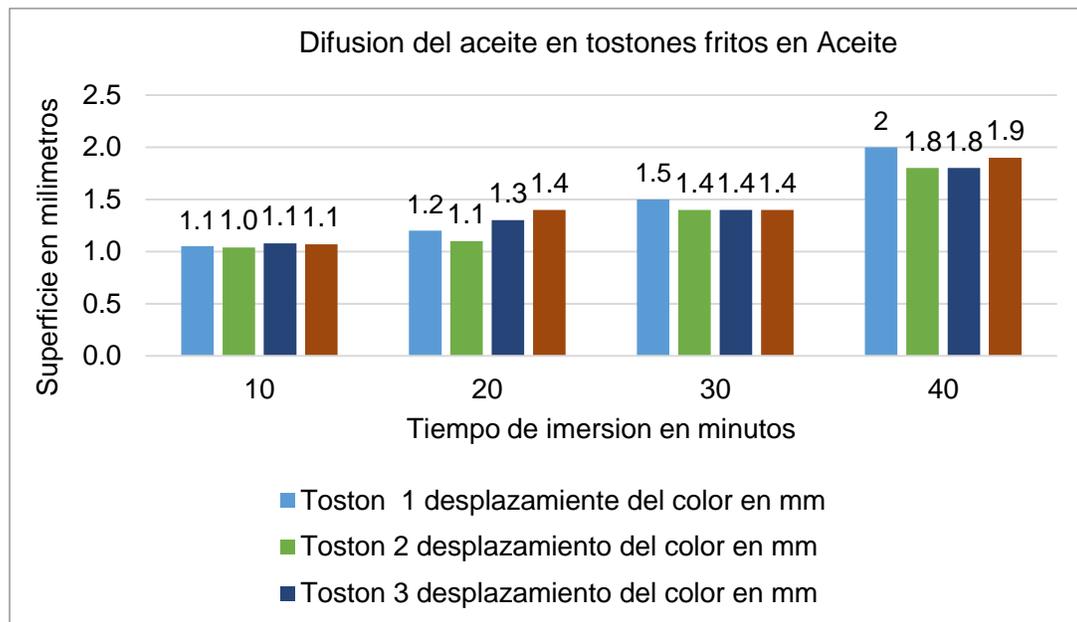
*Datos de los intercepto de regresión lineal*

	Coefficientes
Intercepción	2.019600245
<b>X1</b>	0.08303786
<b>X2</b>	-0.09746944

De los resultados obtenidos, podemos inferir que se cumplen las condiciones para aceptar la hipótesis alternativa.

**Tabla 18***Difusión del aceite coloreado en tostones fritos en inmersión de aceite*

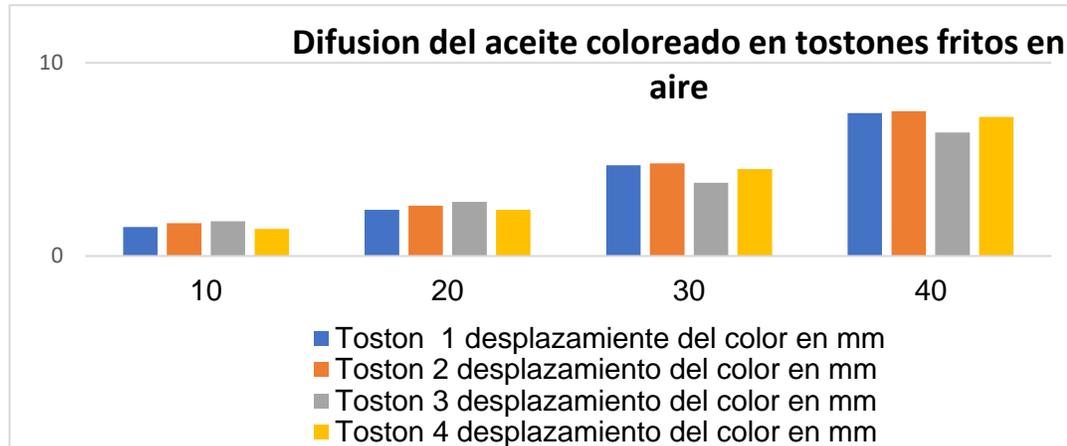
Tiempo en minutos	10	20	30	40
Tostón 1 desplazamiento del color en mm	1.1	1.2	1.5	2
Tostón 2 desplazamiento del color en mm	1.0	1.1	1.4	1.8
Tostón 3 desplazamiento del color en mm	1.1	1.3	1.4	1.8
Tostón 4 desplazamiento del color en mm	1.1	1.4	1.4	1.9

**Figura 21***Representación gráfica de la difusión de aceite en tostones fritos por inmersión de aceite***Tabla 19***Difusión del colorante en tostones en fritos por aire convectivo forzado y caliente*

Tiempo en minutos		10	20	30	40
Tostón 1 desplazamiento del color en mm		1.5	2.4	4.7	7.4
Tostón 2 desplazamiento del color en mm		1.7	2.6	4.8	7.5
Tostón 3 desplazamiento del color en mm		1.8	2.8	3.8	6.4
Tostón 4 desplazamiento del color en mm		1.4	2.4	4.5	7.2

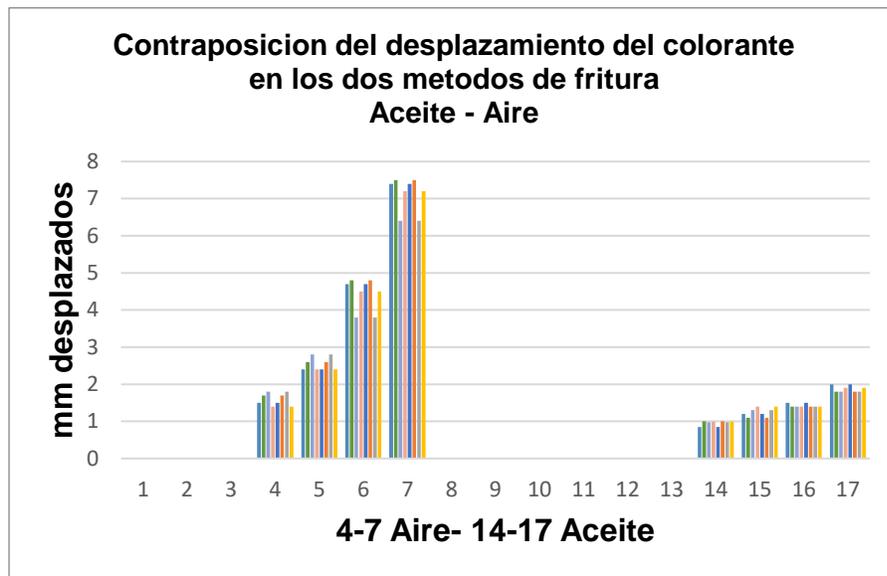
**Figura 22**

*Representación gráfica de la difusión de aceite en tostones fritos por convección en aire forzado y caliente.*



**Figura 23**

*Contraposición de ambas difusiones Aceite – Aire*



Del análisis colorimétrico y los registros de velocidad de desplazamiento del medio colorante a través del tostón puede observarse, que el movimiento difusivo en la muestra para las pruebas de fritura por Convección de Aire Forzado y Caliente se realiza a una velocidad mayor desde la periferia hacia el centro del producto, que las mismas pruebas realizadas con tostones fritos con el método de Inmersión en Aceite Caliente.

## VI. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos y analizados en el presente estudio investigativo se concluye lo siguiente:

- Consignando los datos registrados en la Tabla 6 se encontró que los plátanos seleccionados cumplían con todos los parámetros de madurez necesarios y suficientes (Grados Brix: 4.5, pH: 6.7, humedad: 66%) para llevar a efecto los ensayos posteriores de temperatura de conformado y absorción de aceite.
- A partir de los resultados de los ensayos obtenidos en la relación temperatura de conformado y tiempo del mismo de las preformas de plátanos tostones, se deduce que ambos métodos cumplen con la temperatura meta (gelatinización de los almidones en el centro térmico) no obstante en los tiempos requeridos para alcanzarlos son diferentes (Aceite caliente 4 minutos y aire caliente 10 minutos). Así mismo mediante un balance másico aplicado a ambos métodos de fritura se logró establecer el marcado consumo del método de inmersión en aceite caliente 23.3 % vs 7.5 % en convección de Aire Forzado Caliente.

Mediante los resultados analíticos, colorimetría y comprobación estadística de los datos resultantes, se puede concluir finalmente que el medio de inmersión (aceite caliente, convección de aire caliente), es determinante en el porcentaje de grasa final en los tostones.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Empresa Chistin Chistin desarrolle un estudio de análisis hedónico del tostón resultante, para obtener mayores elementos de toma de decisión, en futuras inversiones.
- Mediante la ejecución de este trabajo monográfico, se generó un nuevo producto de fritura por aire caliente. Un tostón bajo en grasa, especial para personas que buscan alimentos sanos por lo que se propone sondear un mercado preferencial para el mismo.
- Se recomienda un estudio de prefactibilidad económica para determinar el método de fritura que menos costos implica el tamaño de la inversión y el retorno del capital.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arafat, S. A. (2014). Air frying a new technique for produce of healthy fried. *journals of food and nutrition sciences*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/270707063\\_Air\\_Frying\\_a\\_New\\_Technique\\_for\\_Produce\\_of\\_Healthy\\_Fried\\_Potato\\_Strips](https://www.researchgate.net/publication/270707063_Air_Frying_a_New_Technique_for_Produce_of_Healthy_Fried_Potato_Strips)
- Avera blog. (s.f.). Obtenido de <https://avera.mx/blogs/blog-avera/como-funciona-una-freidora-de-aire>
- Bravo, J. (08 de 07 de 2008). *Universidad tecnologica nacional*. Obtenido de Facultad regional Rosario: [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5\\_anio/alimentos/ckfinder/files/Alimentos%20Fritos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/alimentos/ckfinder/files/Alimentos%20Fritos.pdf)
- Chistin, chistin. (s.f.).
- Coello, R. (2009). Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4844>
- DIAGNHOS . (s.f.). *DIAGNHOS TEcnologia de punta*. Obtenido de <https://diagnhos.com/p/coccion/freidoras/freidora-a-gas-modelo-lg300-marca-vulcan-linea-restaurantera-con-capacidad-de-15-87-a-18-14-kg/>
- Elaboracion propia. (2024).
- Engineering Toolbox. (2003). *Transferencia de Calor Convectiva*. Obtenido de [https://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d\\_430.html](https://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d_430.html).
- FAO. (2004). *FAO org*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/y5102s/y5102s03.htm>
- Fuente: Mayra Alejandra Gualtero Aragón. (2011). "INCIDENCIA EN LA CANTIDAD DE GRASA ABSORBIDA EN PLÁTANO HARTÓN. Bogota.
- G\*Power 3.1.9.7. (s.f.).
- Karen Castellón, B. P. (2015). MONÓGRAFIA. Puerto cabeza, Bilwi, Región Autonoma Costa caribe, Nicaragua.
- MAG. (2023). *Ministerio agropecuario*. Obtenido de <https://www.mag.gob.ni/index.php/noticias?view=article&id=59:produccion-platano-aporta&catid=11>
- Marchesino, M., P.L, L., Guerberoff, G., & Olmedo, R. (2020). LOS PROCESOS DE FRITURA Y SU RELACIÓN CON LOS VALORES NUTRICIONALES. En *Nexo Agropecuario, Volumen 8, Número 1. 2020* (Vol. 8). Cordoba, Argentina.
- Montoya, J., Quintero, V. D., & Lucas, J. C. (2017). Evaluacion Fisicotermica y Reologica de Harina y Almidón de Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca ABB). *TEMAS AGRARIOS, 19:(2)*, 214-233. Obtenido de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/cb9a7f2c-dd77-4859-a95d-c2aba64962d3>
- Nicholas M. Holden, M. L. (s.f.). Introducción a la Ingeniería de Biosystems (Holden et al.). En M. L. Nicholas M. Holden. Dublin, Irlanda. Obtenido de [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa\\_Biol%C3%B3gica/Introducci%C3%B3n\\_a\\_la\\_Ingenier%C3%ADa\\_de\\_Biosystems\\_\(Holden\\_et\\_al.\)/06%3A\\_Sistemas\\_de\\_procesamiento/6.03%3A\\_Fre%C3%ADr\\_los\\_alimentos\\_con\\_grasa\\_profunda](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Biol%C3%B3gica/Introducci%C3%B3n_a_la_Ingenier%C3%ADa_de_Biosystems_(Holden_et_al.)/06%3A_Sistemas_de_procesamiento/6.03%3A_Fre%C3%ADr_los_alimentos_con_grasa_profunda)

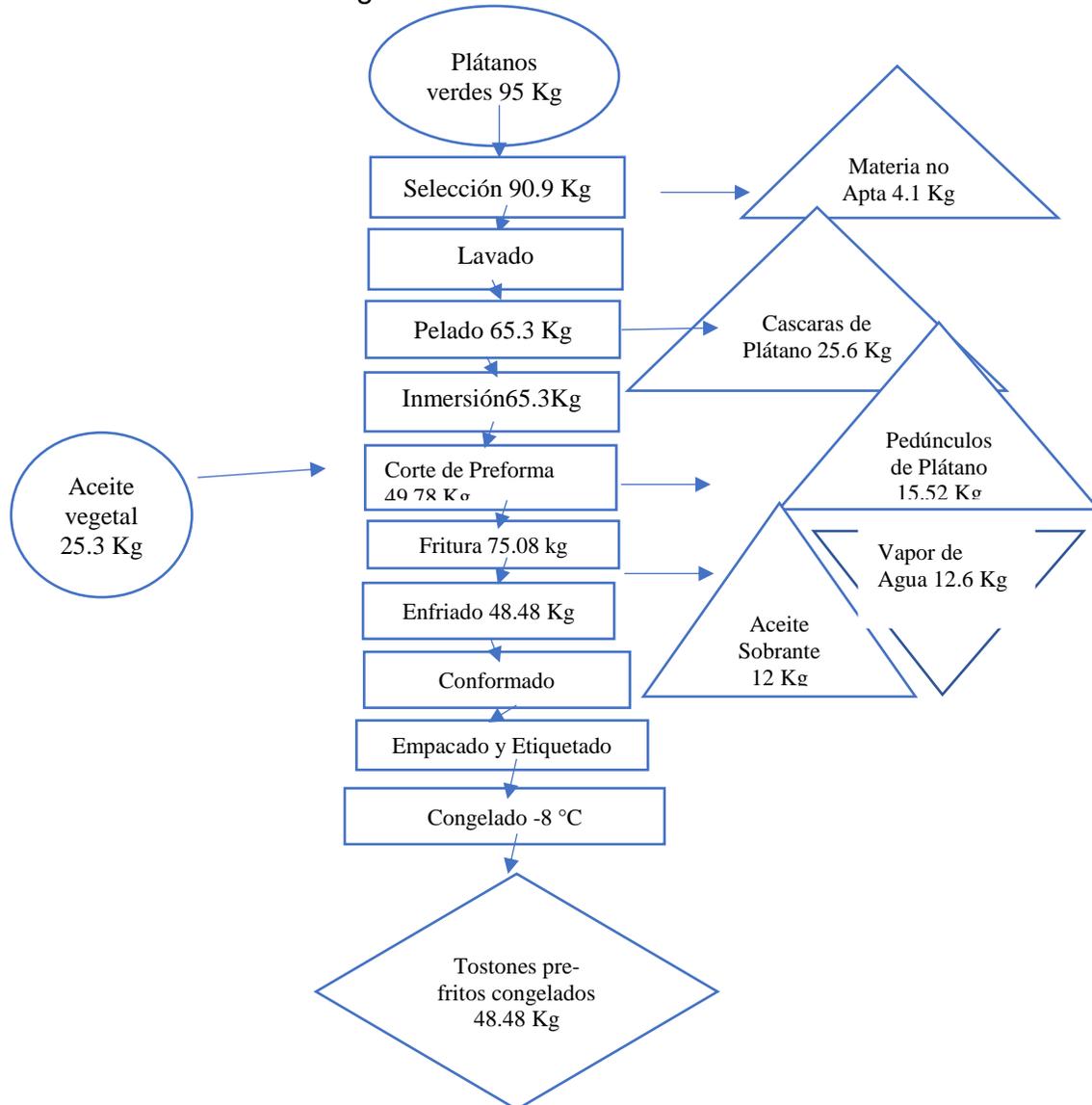
- Quinceno, G. (2014). Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* para la industrialización). *UGC Ciencia* 20, 48-54.
- Sabermas. (2014). *Revista de divulgación*. Obtenido de <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/244-numero-29/450-soxhlet-del-inventor-al-metodo.html>
- UNET. (2011). *Fenomenos de transporte*. Obtenido de [http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-165.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm)
- UNET. (2011). *Fenomenos de transporte*. Obtenido de [http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-165.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm)
- Yamsaengsung, R. (2014). *Libretext*. Obtenido de [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa\\_Biol%C3%B3gica/Introducci%C3%B3n\\_a\\_la\\_Ingenier%C3%ADa\\_de\\_Biosystems\\_\(Holden\\_et\\_al.\)/06%3A\\_Sistemas\\_de\\_procesamiento/6.03%3A\\_Fre%C3%ADr\\_los\\_alimentos\\_con\\_grasa\\_profunda](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Biol%C3%B3gica/Introducci%C3%B3n_a_la_Ingenier%C3%ADa_de_Biosystems_(Holden_et_al.)/06%3A_Sistemas_de_procesamiento/6.03%3A_Fre%C3%ADr_los_alimentos_con_grasa_profunda)

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1

#### Flujograma

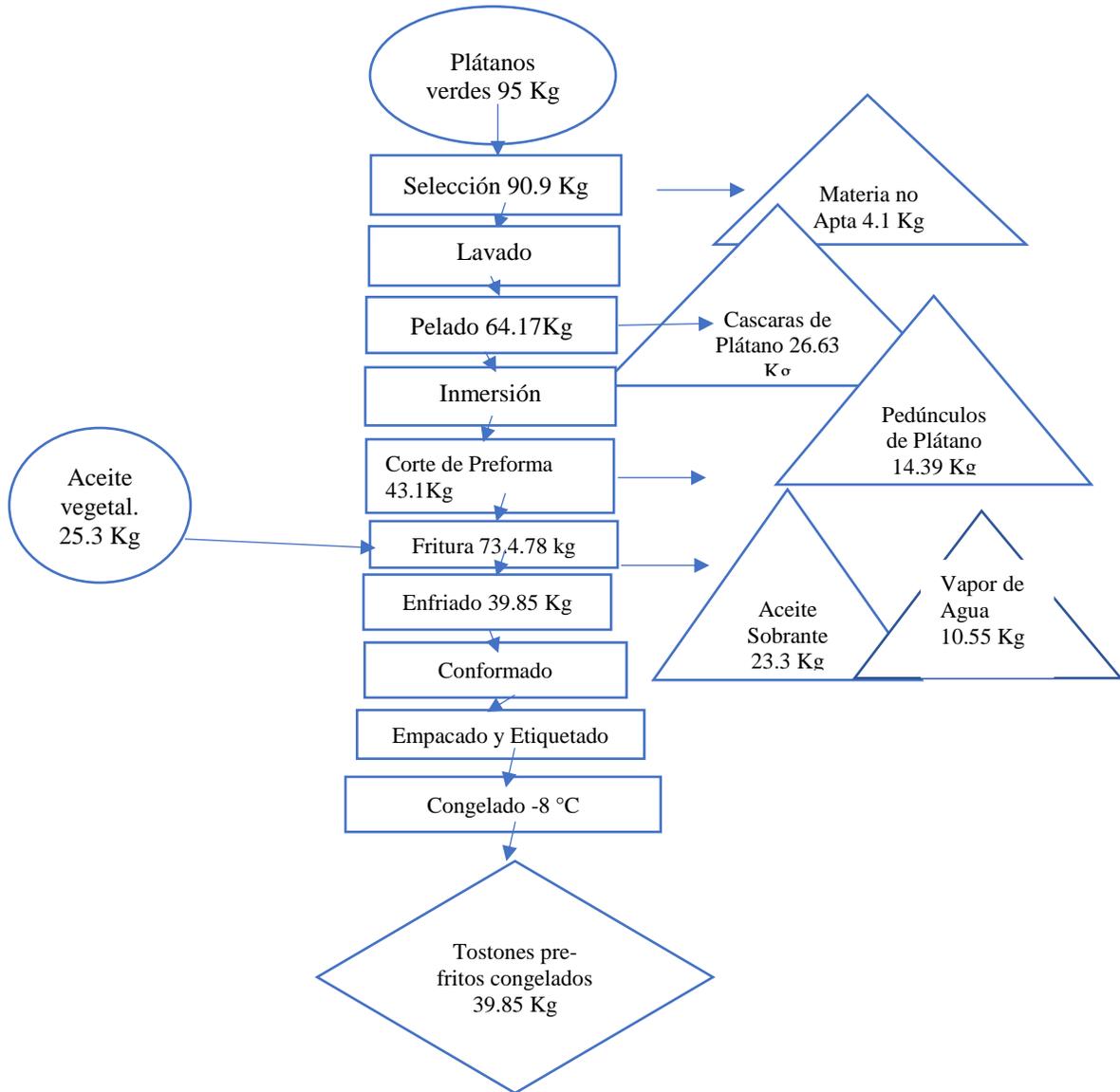
Balance de masas expresado en flujograma de proceso para la obtención de Tostones Pre fritos Congelados mediante el método de fritura con aceite.



## Anexo 2

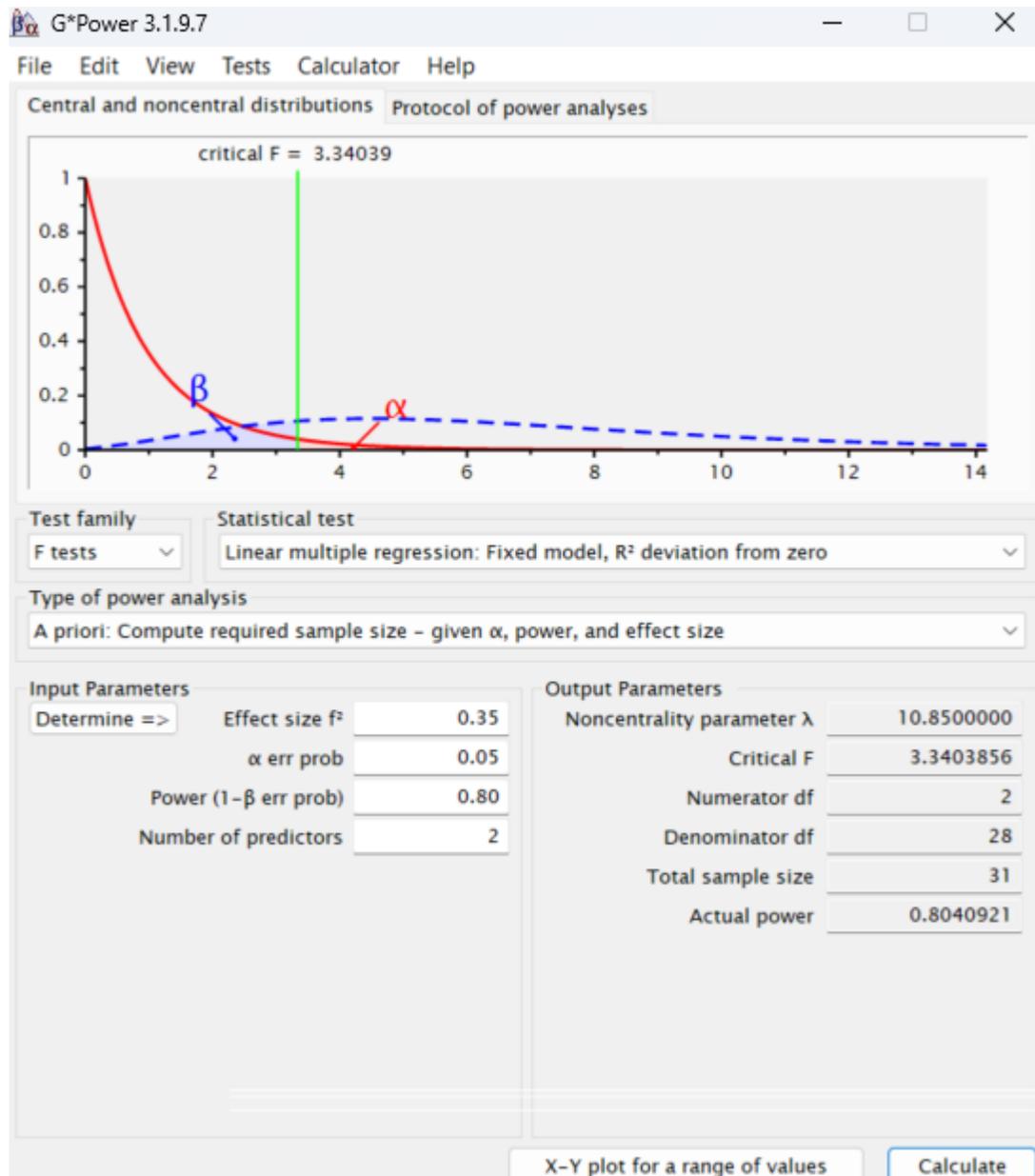
### Flujograma

Balance de masas expresado en flujograma de proceso para la obtención de Tostones Pre fritos Congelados mediante el método de fritura con Aire.



### Anexo 3

Software utilizado para el análisis de datos



#### Anexo 4

##### *Temperatura de Conformado para método de Inmersión en Aceite Caliente*

No. De Corridas	Temperatura °C /tiempo 1 min	Temperatura °C /tiempo 2 min	Temperatura °C /tiempo 3 min	Temperatura °C / 4 min
1	56	64	74	82
2	65	72	83	91
3	58	66	80	89
4	57	62	71	76
5	28	40	56	75
6	30	38	52	70
7	63	80	60	73
8	43	60	94	101
9	38	53	82	93
10	38	53	75	86
11	29	40	61	88
12	29	38	61	80
13	29	46	61	89
14	28	37	58	86
15	28	38	59	79
16	29	39	86	95
17	46	67	68	97
18	30	45	81	82
19	29	45	81	102
20	44	52	62	93
21	29	40	50	72
22	29	37	62	89
23	29	42	53	74
24	29	39	61	78
25	33	45	88	97
26	51	72	72	86
27	36	52	71	88
28	35	49	79	84
29	50	71	76	86
30	46	66	86	92
31	53	76	73	85
<b>Valor de temperatura media</b>	<b>39.3</b>	<b>52.4</b>	<b>70.2</b>	<b>85.7</b>

## Anexo 5

Temperatura de Conformado para método de Convección de Aire Forzado y Caliente, temperatura de Operación del medio 205°C (Tabla 2)

No. de Corridas	Tiempo en minuto/ Temperatura °C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	29	41	47	53	60	67	76	78	86	97
2	30	37	43	48	55	62	62	74	82	96
3	31	34	40	45	51	57	77	70	77	98
4	30	41	41	55	64	73	87	93	100	100
5	28	31	35	42	47	53	60	66	72	80
6	30	32	35	41	47	53	61	69	77	85
7	28	31	34	41	46	52	60	67	73	80
8	30	32	37	44	51	52	67	77	89	98
9	31	33	40	48	59	60	89	92	99	100
10	28	30	34	42	48	57	66	75	79	85
11	29	30	36	43	51	60	68	71	79	86
12	31	31	40	48	58	68	73	83	94	100
13	28	30	34	41	49	57	65	77	86	97
14	29	31	36	44	53	62	70	80	90	98
15	28	31	36	43	52	61	68	79	79	98
16	28	31	37	45	55	66	77	89	98	100
17	28	32	38	43	50	55	68	67	82	91
18	28	40	43	50	53	58	71	77	83	87
19	29	41	45	53	54	59	70	81	89	95
20	28	38	41	47	51	61	59	57	78	89
21	31	39	33	39	52	58	62	71	89	92
22	33	41	33	39	48	57	72	88	92	97
23	30	40	33	40	52	59	66	77	79	88
24	30	38	35	41	53	58	65	79	79	91
25	30	35	38	43	47	52	67	77	89	95
26	31	37	43	41	46	50	60	72	86	92
27	30	38	45	48	50	53	61	70	79	89
28	31	37	41	47	50	53	60	71	83	89
29	28	30	33	39	41	50	62	70	78	88
30	28	30	33	39	42	49	59	68	76	87
31	29	30	33	43	45	49	58	69	78	89
<b>Valor de Temp Media</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>38</b>	<b>45</b>	<b>52</b>	<b>57</b>	<b>67</b>	<b>76</b>	<b>84</b>	<b>92</b>

## Anexo 6

*Variación de Absorción de Aceite para el Método de Inmersión en Aceite Caliente.*

No. de Muestra	Peso de Muestra	Grasa obtenida	% de grasa absorbida
1	2.01	0.623	31.0
2	2.001	0.671	33.5
3	2.002	0.566	28.3
4	2.017	0.665	33.0
5	2.015	0.495	24.6
6	2.029	0.599	29.5
7	2.06	0.591	28.7
8	2.088	0.454	21.7
9	2.073	0.96	46.3
10	2.026	0.492	24.3
11	2.047	0.547	26.7
12	2.076	0.441	21.2
13	2.07	0.583	28.2
14	2.016	0.466	23.1
15	2.021	0.647	32.0
16	2.071	0.527	25.4
17	2.082	0.525	25.2
18	2.031	0.528	26.0
19	2.073	0.544	26.2
20	2.071	0.439	21.2
21	2.04	0.548	26.9
22	2.04	0.663	32.5
23	2.028	0.456	22.5
24	2.031	0.556	27.4
25	2.076	0.561	27.0
26	2.028	0.578	28.5
27	2.019	0.453	22.4
28	2.04	0.686	33.6
29	2.085	0.595	28.5
30	2.034	0.581	28.6
31	2.078	0.584	28.1
<b>Valor medio</b>	<b>2.044</b>	<b>0.568516129</b>	<b>27.8</b>

## Anexo 7

*Variación de Absorción de Aceite para el Método de Convección de Aire Forzado y Caliente.*

<b>No. de Muestras</b>	<b>Peso de muestra</b>	<b>Grasa obtenida</b>	<b>% de grasa absorbida</b>
1	2.01	0.123	6.1
2	2.001	0.171	8.5
3	2.002	0.116	5.8
4	2.017	0.124	6.1
5	2.015	0.131	6.5
6	2.029	0.18	8.9
7	2.06	0.152	7.4
8	2.088	0.172	8.2
9	2.073	0.132	6.4
10	2.026	0.145	7.2
11	2.047	0.128	6.3
12	2.066	0.189	9.1
13	2.07	0.124	6.0
14	2.016	0.183	9.1
15	2.021	0.217	10.7
16	2.071	0.126	6.1
17	2.082	0.143	6.9
18	2.031	0.125	6.2
19	2.063	0.1812	8.8
20	2.071	0.1492	7.2
21	2.04	0.1472	7.2
22	2.04	0.137	6.7
23	2.028	0.189	9.3
24	2.031	0.1423	7.0
25	2.076	0.1232	5.9
26	2.028	0.1243	6.1
27	2.019	0.126	6.2
28	2.04	0.125	6.1
29	2.085	0.164	7.9
30	2.034	0.1654	8.1
31	2.068	0.128	6.2
<b>Valor medio</b>	2.043	0.148	7.24

**Anexo 8**

	<b>Convección de Aire Forzado y Caliente a 205°C</b>	<b>Tiempo en minutos</b>	<b>Inmersión de Aceite Caliente a 180°C</b>	<b>Tiempo en minutos</b>
<b>No Corridas</b>	<b>X1</b>	<b>Y</b>	<b>X2</b>	<b>Y</b>
1	29	1	29	1
2	41	2	39	2
3	47	3	86	3
4	53	4	95	4
5	60	5	38	1
6	67	6	53	2
7	76	7	75	3
8	78	8	86	4
9	86	9	29	1
10	97	10	46	2
11	28	1	61	3
12	31	2	89	4
13	37	3	29	1
14	45	4	37	2
15	55	5	62	3
16	66	6	89	4
17	77	7	30	1
18	89	8	45	2
19	98	9	81	3
20	100	10	92	4
21	31	1	33	1
22	34	2	45	2
23	40	3	88	3
24	45	4	97	4
25	51	5	46	1
26	57	6	66	2
27	77	7	86	3
28	83	8	92	4
29	94	9	35	1
30	100	10	49	2
31	31	1	79	3

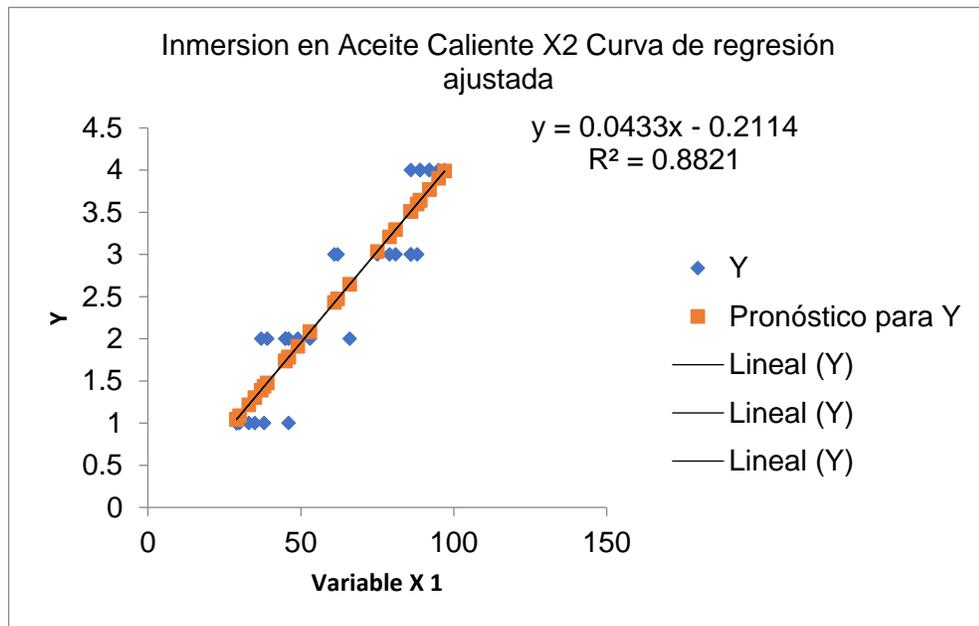
## Anexo 7

*Datos Estadísticos de Regresión Lineal múltiple para Convección de Aire Forzado y Caliente*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.939221997
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.88213796
R <sup>2</sup> ajustado	0.878073752
Error típico	0.391316853
Observaciones	31

### Análisis de Varianza

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	33.2366819	33.23668186	217.05038	5.34E-15
Residuos	29	4.44073749	0.153128879		
Total	30	37.6774194			



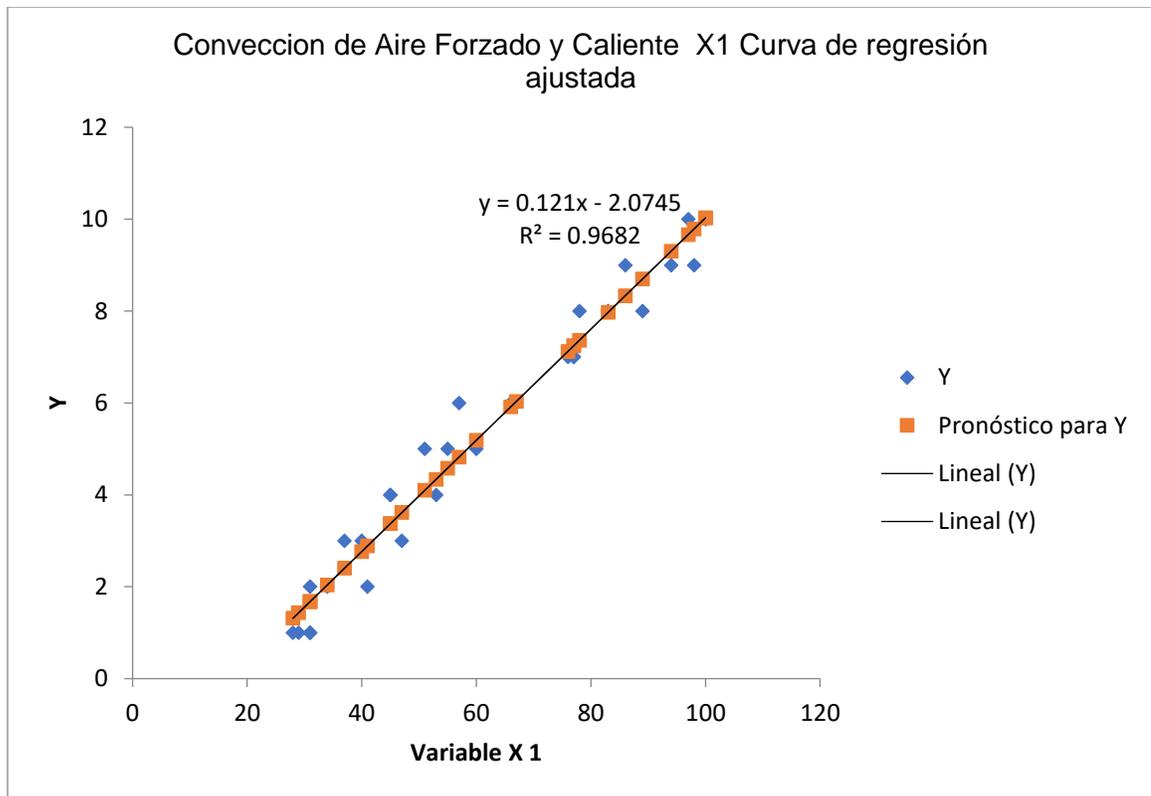
	<i>Coefficientes</i>
Intercepción	-0.211399252
Variable X2	0.043289657

Datos Estadísticos de Regresión Lineal múltiple para Inmersión en Aceite Caliente.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.98396472
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.96818657
R <sup>2</sup> ajustado	0.96708955
Error típico	0.54130318
Observaciones	31

Análisis de Varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	258.5995094	258.5995094	882.56	2.89342E-23
Residuos	29	8.497264834	0.293009132		
Total	30	267.0967742			



	Coeficientes
Intercepción	-2.07454377
Variable X1	0.12102515

**Anexo 8***Correlación de Datos de Absorción de grasa para ambos medios de Inmersión*

	<b>Aceite Absorbido en g (Inmersión en Aceite Caliente)</b>	<b>Aceite Absorbido en g (Convección de Aire Forzado)</b>	<b>Muestra de tostón en g</b>
<b>No Corridas</b>	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>Y</b>
1	0.3230	0.1334	2.010
2	0.3709	0.131	2.001
3	0.3660	0.1303	2.002
4	0.3760	0.1306	2.017
5	0.3950	0.1325	2.015
6	0.3900	0.1317	2.029
7	0.3910	0.1325	2.060
8	0.3539	0.1333	2.088
9	0.3960	0.1317	2.073
10	0.3200	0.12912	2.026
11	0.4470	0.1417	2.047
12	0.4409	0.1426	2.066
13	0.2830	0.1227	2.070
14	0.2660	0.1405	2.016
15	0.2470	0.1407	2.021
16	0.5270	0.1397	2.071
17	0.5250	0.1419	2.082
18	0.5279	0.1450	2.031
19	0.4440	0.1320	2.063
20	0.4390	0.1313	2.071
21	0.4579	0.1316	2.040
22	0.4630	0.1317	2.040
23	0.4560	0.1400	2.028
24	0.4560	0.1312	2.031
25	0.5610	0.1337	2.076
26	0.5779	0.1314	2.028
27	0.5530	0.1308	2.019
28	0.5859	0.1318	2.040
29	0.5949	0.1297	2.085
30	0.5809	0.138	2.034
31	0.6840	0.1357	2.068

<b>Resumen</b>	
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.337842403
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.114137489
R <sup>2</sup> ajustado	0.050861596
Error típico	0.025505515
Observaciones	31

### Análisis de Varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	0.002346866	0.001173433	1.80380683	0.183285674
Residuos	28	0.018214876	0.000650531		
Total	30	0.020561742			

	Coefficientes
Intercepción	2.019600245
<b>X1</b>	0.08303786
<b>X2</b>	-0.09746944

## Anexo 9

### *Características de calidad del Aceite para los ensayos*

- 1) Punto de humo,
  - 2) Índice de peróxidos
  - 3) Porcentaje de Humedad
- Aceite a granel

Se utilizaron 3 bidones de aceite de 19 litros cada uno, marca Doral con las siguientes características (Datos declarados por fabricante).

#### a) Características fisicoquímicas de aceite Doral

<b>N°</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
2	Punto de Humo	200°C	Análisis de Humo
3	Índice de Peróxidos	1.5 meqO <sub>2</sub> /kg grasa	Titulación
4	Humedad	0.007 %	Desecación

- Aceite en Spray

Se utilizó 13 unidades de Spray de Aceite Great Value de Canola 227 gramos cada uno. En la siguiente tabla se detallan sus características

#### b) Características fisicoquímicas de aceite en spray

<b>N°</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
2	Punto de Humo	204°C	Análisis de Humo
3	Índice de Peróxidos	1.9 meqO <sub>2</sub> /kg Grasa	Titulación
4	Humedad	0.005 %	Desecación

## Anexo 10

### *Descripción de Tecnologías en relación a sus potencialidades*

Capacidades	Inmersión en Aceite Caliente	Convención de Aire Forzado y Caliente
Capacidad el Equipo	150 kg en 8 h de operación	250 kg en 8 horas de operación
Tipo de Fritura	Fritura por inmersión en aceite caliente	Fritura en aire forzado caliente
Temperatura de Operación	180°C	205°C
Tiempo de gelatinización de almidones	4 minutos	10 minutos
Gasto de Aceite	30 g x cada kilogramo de masa	3 g por cada kg de masa de platano
Modelo	Vulcano USA	Kichen Aid, Rational bei Gruinn DG
Fuente de Calor	LPG (gas licuado de petróleo)	Energía eléctrica, gas licuado de petróleo
Capacidad de operación por lote	250 kg	500kg
Equivalencia del Equipo	VULCANO GEMELA	RATIONAL DE GRUIN

## Anexo 11

### Apéndice de imágenes de ensayos en planta Chistin Chistin y laboratorios FATRA

<i>Imagen 1 Pesaje de materia prima</i>	58
<i>Imagen 2 Balanza analítica</i>	58
<i>Imagen 3 Materia prima</i>	58
<i>Imagen 4 Fritura por inmersión de aceite caliente en Chistin Chistin</i>	58
<i>Imagen 5 Escurrido de preformas freidora vulcano</i>	59
<i>Imagen 6 Tostoneo</i>	59
<i>Imagen 7 Freidora Vulcano gemela</i>	59
<i>Imagen 8 Freidora de convección por aire caliente Kitchen Aid</i>	59
<i>Imagen 9 Termometro digital de cuatro sondas</i>	59
<i>Imagen 10 Variación de la temperatura con respecto al tiempo</i>	59
<i>Imagen 11 Determinación de gelatinización de almidón de plátano en fritura de convección de aire forzado y caliente</i>	60
<i>Imagen 12 Determinación de gelatinización de almidón de plátano en fritura de inmersión de aceite caliente</i>	60
<i>Imagen 13 Prueba de colorimetría en fritura por inmersión en aceite caliente a diferentes tiempos</i>	61
<i>Imagen 14 Prueba de colorimetría en fritura por inmersión en aceite caliente a diferentes tiempos</i>	61
<i>Imagen 15 Prueba de colorimetría en fritura por convección de aire caliente a diferentes tiempos</i>	61

## Anexo 12

### Evidencias de la fase experimental

(a) Pesaje de materia prima



(b) Balanza analítica



(c) Materia prima



(d) Fritura por inmersión de aceite caliente en Chistin Chistin



(e) Ecurrido de preformas freidora vulcana



(f) Tostoneo



(g) Freidora Vulcano gemela



(h) Freidora de convección por aire caliente Kitchen Aid



(i) Termometro digital de cuatro sondas



(j) Variación de la temperatura con respecto al tiempo



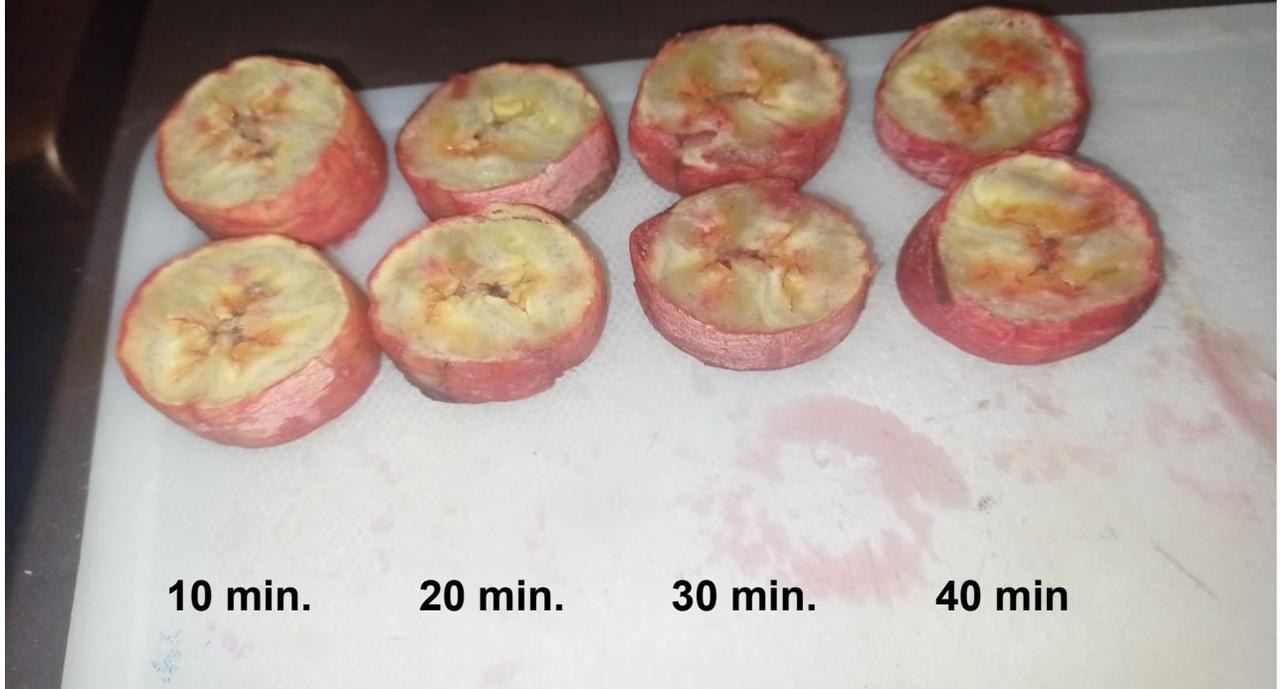
(k) Determinación de gelatinización de almidón de plátano en fritura de convección de aire forzado y caliente



(m) Determinación de gelatinización de almidón de plátano en fritura de inmersión de aceite caliente



## Tostones Fritos en baño de aceite caliente



## Tostones fritos en aire convectivo forzado

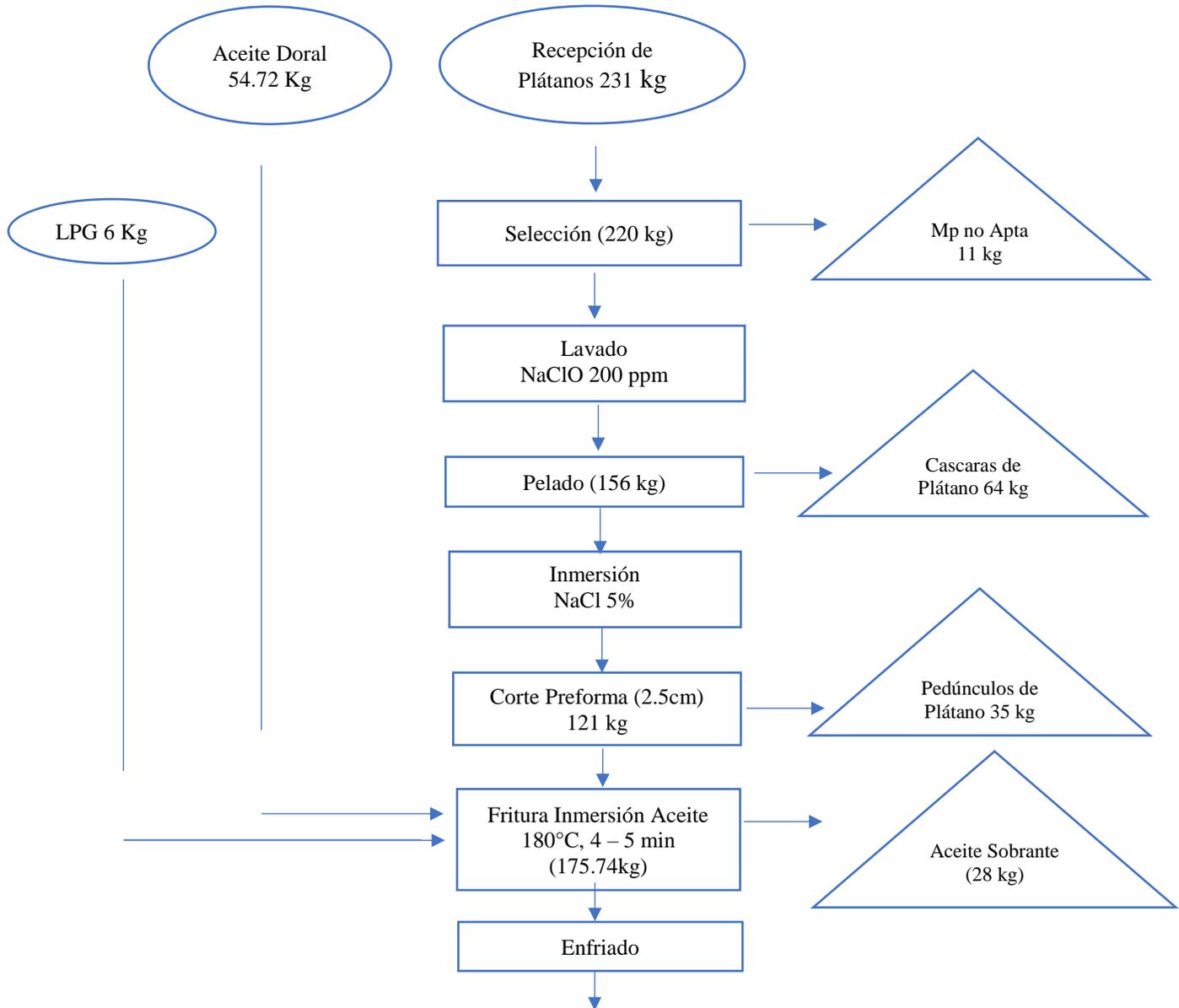


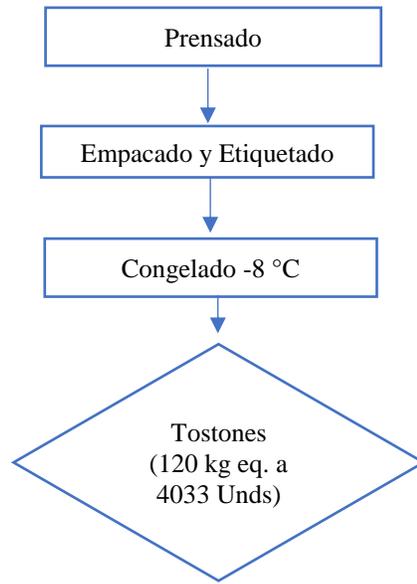
La foto nos permite apreciar el desplazamiento del colorante desde el minuto 10 al minuto 40 de izquierda a derecha y de la periferia al centro del pre forma.

### Anexo 13

#### Flujograma de proceso en empresa Chistin Chistin

- Proceso para la obtención de tostones pre fritos congelados mediante inmersión de aceite caliente en Planta Chistin Chistin con freidora Vulcano gemela de 30 kg.





## Anexo 14

*Propuesta de proceso para empresa Chistin Chistin mediante convección de aire forzado y caliente.*

- Propuesta de proceso para la Obtención de Tostones Prefritos Congelados Mediante Convección de Aire Forzado y Caliente en Equipo Kitchen Aid 0.021 m<sup>3</sup>

