

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Sustitución del método de evaluación de calidad del aceite de palma
para fritura de la producción de tres tipos de *snacks* comerciales

Trabajo de graduación presentado por David Andrés
Alvarado Rímola para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química Industrial

Guatemala,
2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería




Sustitución del método de evaluación de calidad del aceite de palma
para fritura de la producción de tres tipos de *snacks* comerciales

Trabajo de graduación presentado por David Andrés
Alvarado Rímola para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química Industrial


Guatemala,
2023

Vo. Bo.

(f) 

Msc. Ing. María José Ramos

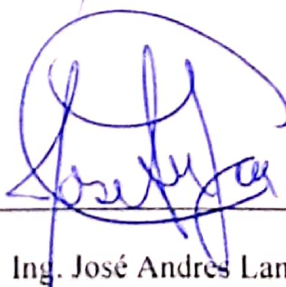
Terna examinadora

(f) 

MSc. Ing. María José Ramos

(f) 

Msc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f) 

Ing. José Andrés Lam

Fecha de aprobación: Guatemala, 9 de enero de 2023

Prefacio

El presente trabajo de graduación surge de la necesidad de resolver un problema en una empresa reconocida en Guatemala acerca de la forma que se estaba evaluando la calidad del aceite de fritura y las decisiones que se tomaban con respecto a los resultados de dicho método. Este trabajo me ayudó a comprender mejor la química de los aceites y las mil y una formas que se tienen para su operación. Así mismo, me ayudo a comprender la relación que existe entre el departamento de control de calidad y el departamento de producción y como el departamento de investigación y desarrollo toma un papel importante para mejorar las operaciones en una planta industrial. Al estar expuesto en un proyecto de tanta importancia en una planta industrial, logré obtener un mejor panorama de como un ingeniero químico se puede desempeñar de forma laboral, logré explotar mi ingenio e imaginación para resolver problemas. Los guías clave de este trabajo fueron la Ingeniera María José Ramos, quien estuvo conmigo durante toda la elaboración de este trabajo y a quien respeto y admiro mucho por su profesionalismo. A la Licenciada Indra Flores, la Ingeniera Mellany Argueta, la Licenciada Andrea Solares y el Ingeniero Arturo Velázquez, quienes compartieron su experiencia y conocimientos conmigo para terminar de armar los muchos rompecabezas existenciales de este proyecto. Así mismo, reconocer a todos los técnicos del laboratorio y operarios de planta de la empresa en donde se hizo este proyecto por su colaboración y apoyo durante la experimentación de este.

De igual forma, personas de mucha importancia para mí, participaron de forma indirecta para elaborar el presente trabajo de graduación a quienes debo agradecer por todo su apoyo. Agradezco al Ingeniero Gamaliel Zambrano por toda su dirección, consejería y formación durante estos seis años, ya que gracias él, adquirí muchas habilidades y aptitudes para mi formación como profesional. A todos los ingenieros y licenciados del Departamento de Ingeniería Química y de los otros departamentos por todos sus conocimientos impartidos durante todos estos años de aprendizaje ya que reconozco que, sin ellos no se hubiera alcanzado a llegar a elaborar este trabajo. Quiero agradecer especialmente a los Ingenieros Cristian Rossi y Carmen Ortiz quienes fueron de gran apoyo desde el inicio de mi carrera hasta el día de hoy.

Quiero agradecer a Dios porque reconozco que sin Él no estaría donde estoy ahora, pues Él fue quien abrió esta oportunidad y me permitió estudiar en la mejor universidad de Guatemala. A mis padres por todo su apoyo incondicional y sus enseñanzas que hacen de mí quien soy ahora. Al apoyo de mis hermanos y abuelos ya que siempre estuvieron ahí. Al resto de mi familia, en especial a mi tía la Dra. Dora Inés Mazariegos quien, desde muy pequeño, me apoyo con el estudio de la ciencia y

abrió sus puertas para empaparme de la química. Y, por último, a todos mis amigos, por estar ahí todo el tiempo y darme ánimos para concluir esta etapa en mi vida. Muchas gracias.

Contenido

Prefacio	i
Listado de cuadros	vi
Listado de figuras	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
1. Introducción	1
2. Problemática	2
3. Justificación	3
5. Marco teórico	5
5.1. Industria de <i>snacks</i>	5
5.1.1. Tipos de <i>snacks</i>	5
5.1.2. Proceso de fritura	6
5.1.2.2. Freidores.....	8
5.2. Aceites vegetales.....	12
5.2.1. Propiedades físicas del aceite	13
5.2.2. Propiedades químicas del aceite.....	14
5.2.3. Usos industriales del aceite	16
5.2.4. Aceites para freír	16
5.2.4.4.1. Medición de compuestos polares totales	25
5.3. Especificaciones de los productos.....	28
5.3.1. <i>Snacks</i> de piel de cerdo:	28
5.3.2. <i>Snacks</i> de tortilla de maíz.....	28
5.3.3. Nueces	29
5.4. Control de calidad de la producción de <i>snacks</i>	29
5.4.1. Control de calidad a materia prima y <i>snacks</i>	29
5.4.2. Control de calidad a aceites de fritura	33
6. Antecedentes	38
7. Objetivo general	41
7.1. Objetivos específicos	41

8. Metodología	42
8.1. Análisis de materia prima de fritura y aceite de palma nuevo	42
8.1.1. Humedad de materia prima para fritura	42
8.1.2. Índice de peróxidos:	42
8.1.3. Viscosidad de aceite de fritura:	44
8.1.4. Densidad de aceite de fritura:	45
8.1.6. Análisis de ácidos grasos libres:.....	46
8.2. Análisis de condiciones de operación y producto terminado durante la producción.	47
8.2.1. Evaluación de condiciones de operación para la producción de <i>snacks</i> :	47
8.2.2. Análisis de aceite para fritura en condiciones de operación.....	47
8.2.3. Análisis de producto frito como producto terminado.....	48
9. Resultados	50
9.1. Caracterización de materias primas de fritura y aceite de palma utilizando en producción. ..	50
9.1.1. Caracterización de pellet de piel de cerdo para producción de <i>snacks</i>	50
9.1.2. Caracterización de materia prima para la producción de <i>snacks</i> de fritura de maíz..	50
9.1.3. Caracterización de materia prima para la producción de <i>snacks</i> de tipo nueces	51
9.1.4. Caracterización de aceite de palma para fritura como materia prima.	51
9.2. Análisis técnico de equipos y condiciones de operación del proceso de fritura	52
9.2.1. Tasas de recambio de operación para la producción de <i>snacks</i> analizados	52
9.2.2. Comparación del método actual para la evaluación de la calidad de aceite de fritura y el método propuesto.	52
9.3. Propuesta de mejora para la producción de <i>snacks</i> basado en la tasa de recambio de aceite y de concentración de compuestos polares del 20% (v/v).....	53
9.3.1. Modificaciones en condiciones de operación para la producción de <i>snacks</i> analizados. ..	53
9.3.2. Tasas de recambio de operación para la producción de <i>snacks</i>	54
9.3.3. Comparación del método propuesto intentando alcanzar un 20% de concentración de compuestos polares con el método actual.	54
9.3.5. Aumento en la productividad para la producción de <i>snacks</i> analizados luego de realizar modificaciones	55
9.3.6. Caracterización de <i>snack</i> de piel de cerdo producido a concentración de 19% de compuestos polares en el aceite de fritura.....	55
9.3.7. Caracterización de <i>snack</i> de fritura de maíz producido a concentración de 15% de compuestos polares en el aceite de fritura.....	55
9.3.8. Caracterización de <i>snack</i> de tipo nueces producido a concentración de 16% de compuestos polares en aceites de fritura.....	56

9.3.9. Análisis sensorial para <i>snack</i> de piel de cerdo producido a concentración de 19% de compuestos polares en el aceite de fritura.....	56
9.3.10. Análisis sensorial para <i>snack</i> de fritura de maíz producido a concentración de 15% de compuestos polares en el aceite de fritura.....	57
9.3.11. Análisis sensorial para <i>snack</i> de tipo nueces producido a concentración de 16% de compuestos polares en aceites de fritura	57
9.4. Hoja electrónica para la predicción de tiempo restante de producción de tiempo de fritura. .	58
9.5. Análisis económico.....	59
9.5.1. Análisis de costo-beneficio de propuestas de mejora para mejorar la utilización del aceite de fritura.....	59
10. Discusión de resultados.....	60
11. Conclusiones	68
12. Recomendaciones	69
13. Referencias.....	70
14. Anexos	73
14.1. Datos de placa.....	73
14.2. Datos originales	74
14.3. Cálculos de muestra.....	99
14.4. Datos calculados	111
14.5. Análisis estadístico y análisis de error.....	139
14.5.1. Análisis estadístico	139
14.5.2. Análisis de error.....	139
14.6. Hoja de cálculo	140
14.7. Calibración de equipo TESTO 270.....	144
14.8. Preparación de soluciones.....	147
14.9. Imágenes	148
14.9.1. <i>Snacks</i> de piel de cerdo.....	148
14.9.2. <i>Snacks</i> de tipo nueces	148
14.9.3. <i>Snacks</i> de fritura de maíz.....	149
15. Glosario	150

Listado de cuadros

	Página
Tabla 1: Contenido de aceite, producción y área de producción de los aceites vegetales.....	13
Tabla 2: Composición de ácidos grasos en los aceites comunes para fritura	17
Tabla 3: Composición y propiedades físicas del aceite de palma	19
Tabla 4: Características del aceite de palma fresco.....	19
Tabla 5: Valor de peróxidos durante el calentamiento del aceite a varias temperaturas.....	22
Tabla 6: Clasificación de la calidad del aceite según el porcentaje de compuestos polares.	27
Tabla 7: Comparación del método actual con método propuesto para la evaluación de la calidad del aceite de fritura.....	36
Tabla 8: Materiales y equipo para la determinación de la humedad de la materia prima para fritura	42
Tabla 9: Materiales y equipo para la extracción de aceite contenido en muestras de materia prima del proceso de fritura.....	43
Tabla 10: Materiales y equipo para la determinación del índice de peróxidos para muestras de materia prima para el proceso de fritura.....	44
Tabla 11: Materiales y equipo para la medición de la viscosidad para aceite de fritura.	44
Tabla 12: Materiales y equipo para la medición de densidad de aceite de fritura.....	45
Tabla 13: Materiales y equipo para la medición de compuestos polares en aceite de fritura.	46
Tabla 14: Materiales y equipo para la determinación de ácidos grasos libres en muestras de aceite para fritura.....	46
Tabla 15: Materiales y equipo para la extracción de aceite adsorbido en muestra de producto frito.	47
Tabla 16: Materiales y equipo para la determinación de la densidad del producto frito.....	48
Tabla 17: Caracterización de pellet de piel de cerdo para producción de <i>snacks</i>	50
Tabla 18: Caracterización de materia prima para producción de <i>snacks</i> de fritura de maíz	50
Tabla 19: Caracterización de materia prima tipo nueces para la producción de <i>snacks</i>	51
Tabla 20: Caracterización de aceite de palma para fritura	51
Tabla 21: Tasas de recambio para la producción de <i>snacks</i> analizados	52
Tabla 22: Comparación de métodos para evaluación de calidad de aceite de fritura.....	52
Tabla 23: Modificaciones realizadas para la producción de <i>snacks</i> analizados	53
Tabla 24: Tasa de recambio de operación para la producción de <i>snacks</i> luego de modificaciones ..	54

Tabla 25: Comparación de método propuesto intentado alcanzar un 20% de concentración de compuestos polares y el método actual	54
Tabla 26: Caracterización de <i>snack</i> de piel de cerdo con modificaciones	55
Tabla 27: Caracterización de <i>snack</i> de fritura de maíz con modificaciones	55
Tabla 28: Caracterización de <i>snack</i> de tipo nueces con modificaciones.....	56
Tabla 29: Análisis costo- beneficio de propuestas de mejora	59
Tabla 30: Datos de placa de equipo para análisis de laboratorio	73
Tabla 31: Estandarización de solución de tiosulfato de sodio 0.1 M	74
Tabla 32: Estandarización de solución de Hidróxido de sodio 0.1 N	74
Tabla 33: Determinación de índice de peróxido para el pellet 1 para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo	75
Tabla 34: Determinación de índice de peróxidos para pellet 2 para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo.....	75
Tabla 35: Determinación de porcentaje de grasa para pellet 1 para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo.....	76
Tabla 36: Determinación de porcentaje de grasa para pellet 2 para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo.....	76
Tabla 37: Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo.....	77
Tabla 38: Determinación de porcentaje de humedad para pellet 2 para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo	77
Tabla 39: Determinación de índice de peróxidos para tipo de pellet 1 para la producción de <i>snacks</i> de tipo nueces.....	78
Tabla 40: Determinación de índice de peróxidos para tipo de pellet 2 para la producción de <i>snacks</i> de tipo nueces.....	78
Tabla 41: Determinación porcentaje de grasa para pellet 1 para la producción de <i>snacks</i> de tipo nueces	79
Tabla 42: Determinación de porcentaje de grasa para pellet 2 para la producción de tipo de nueces	79
Tabla 43: Determinación del porcentaje de humedad para pellet 1 para la producción <i>snacks</i> de tipo nueces.....	80
Tabla 44: Determinación del porcentaje de humedad para pellet 2 para la producción de <i>snack</i> tipo nueces.....	80

Tabla 45: Determinación de porcentaje de humedad para la masa de <i>snacks</i> de tipo de fritura de maíz	81
Tabla 46: Determinación de porcentaje de humedad para los pellets de <i>snack</i> de fritura de maíz para el proceso de horneado.....	81
Tabla 47: Determinación de porcentaje de humedad para los pellets de <i>snack</i> de fritura de maíz para el proceso de enfriamiento previo a fritura	82
Tabla 48: Determinación de concentración de compuestos polares para aceite nuevo de fritura	82
Tabla 49: Determinación de ácidos grasos libres para el aceite nuevo de fritura	83
Tabla 50: Determinación de índice de peróxidos para el aceite nuevo para fritura	83
Tabla 51: Determinación de densidad en aceite nuevo de fritura	84
Tabla 52: Determinación de viscosidad de aceite nuevo de fritura.....	84
Tabla 53: Determinación de índice de peróxidos para los <i>snacks</i> de piel de cerdo	89
Tabla 54: Determinación de porcentaje de grasa para los <i>snacks</i> de piel de cerdo.....	90
Tabla 55: Determinación de porcentaje de humedad para <i>snacks</i> de piel de cerdo	90
Tabla 56: Determinación de índice de peróxidos para los <i>snacks</i> tipo nueces.....	94
Tabla 57: Determinación de porcentaje de grasa para los <i>snacks</i> de tipo nueces	94
Tabla 58: Determinación de porcentaje de humedad para <i>snacks</i> de tipo nueces.....	95
Tabla 59: Determinación de índice de peróxidos para <i>snacks</i> de fritura de maíz	97
Tabla 60: Determinación de porcentaje de grasa para <i>snacks</i> de fritura de maíz.....	97
Tabla 61: Determinación de humedad para <i>snacks</i> de fritura de maíz.....	98
Tabla 62: Estandarización de tiosulfato de sodio 0.1 M	111
Tabla 63: Estandarización de solución de hidróxido de sodio 0.1 N	111
Tabla 64: Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 1 para <i>snack</i> de piel de cerdo	112
Tabla 65: Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 2 para <i>snack</i> de piel de cerdo	112
Tabla 66: Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 1 para <i>snack</i> de piel de cerdo	113
Tabla 67: Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 2 para <i>snack</i> de piel de cerdo	113
Tabla 68: Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo.....	114
Tabla 69: Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 2 para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo.....	114

Tabla 70: Determinación de índice de peróxido para tipo pellet 1 para producción de <i>snacks</i> tipo nueces.....	115
Tabla 71: Determinación de índice de peróxido para tipo de pellet 2 para producción de <i>snacks</i> de tipo nueces.....	115
Tabla 72: Determinación de porcentaje de grasa de tipo de pellet 1 para la producción de <i>snack</i> de tipo nueces.....	116
Tabla 73: Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 2 para la producción de <i>snacks</i> de tipo nueces.....	116
Tabla 74: Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de <i>snacks</i> de tipo nueces.....	117
Tabla 75: Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 2 para la producción de <i>snacks</i> de tipo nueces.....	117
Tabla 76: Determinación de porcentaje de humedad para la masa de maíz para la producción de <i>snacks</i> de fritura de maíz.....	118
Tabla 77: Determinación de porcentaje de humedad para el horneado de los <i>snacks</i> de tipo de fritura de maíz.....	118
Tabla 78: Determinación de porcentaje de humedad para el enfriamiento previo a fritura.....	119
Tabla 79: Determinación de concentración de compuestos polares totales del aceite nuevo de fritura.....	119
Tabla 80: Determinación de ácidos grasos libres en muestra de aceite nuevo de fritura.....	120
Tabla 81: Determinación de índice de peróxido del aceite nuevo de fritura.....	120
Tabla 82: Determinación de densidad de aceite nuevo de fritura.....	121
Tabla 83: Determinación de viscosidad de aceite nuevo de fritura.....	121
Tabla 84: Determinación de índice de peróxido para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo con los cambios propuestos.....	128
Tabla 85: Determinación de índice de peróxido para la producción de <i>snacks</i> de tipo nueces con los cambios propuestos.....	128
Tabla 86: Determinación de índice de peróxido para la producción de <i>snacks</i> de fritura de maíz con los cambios propuestos.....	129
Tabla 87: Determinación de porcentaje de grasa para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo con los cambios propuestos.....	129
Tabla 88: Determinación de porcentaje de grasa para la producción de <i>snacks</i> de tipo nueces con los cambios propuestos.....	130

Tabla 89: Determinación de porcentaje de grasa para la producción de <i>snacks</i> de fritura de maíz con los cambios propuestos	130
Tabla 90: Determinación de porcentaje de humedad para la producción de <i>snacks</i> de piel de cerdo con los cambios propuestos.....	131
Tabla 91: Determinación de porcentaje de humedad para la producción de <i>snacks</i> de tipo nueces con los cambios propuestos	131
Tabla 92: Determinación de porcentaje de humedad para la producción de <i>snacks</i> de fritura de maíz con los cambios propuestos.....	132

Listado de figuras

	Página
Ilustración 1: Fruto de la semilla de palma africana	18
Ilustración 2: Balanza de Humedad OHAUS	31
Ilustración 3: Equipo Soxhlet.....	32
Ilustración 4: Equipo TESTO 270 para aceites de fritura	35
Ilustración 5: Viscosímetro de Cannon- Fenske	37
Ilustración 6: Muestras analizadas de piel de cerdo.....	148
Ilustración 7: Muestras analizadas de <i>snacks</i> tipo nueces.....	148
Ilustración 8: Muestras analizadas de fritura de maíz.....	149

Resumen

Se llevó a cabo la sustitución de un método de evaluación de calidad de aceites para procesos de fritura para mejorar la eficiencia de producción de tres tipos de fritura en una empresa reconocida en Guatemala de *snacks*. Para ello se caracterizó la materia prima: Los pellets para fritura y el aceite de palma, dando como resultados agentes que afectan durante el proceso de fritura, como lo es la concentración de peróxidos de la muestra y la humedad. También se evaluaron de forma técnica las líneas de producción tomando en cuenta las condiciones de operación, esto para proponer cambios en la operación. De la evaluación se determinó que la tasa de recambio del aceite era muy alta, por lo que había que disminuir su valor y se determinó que el aceite de fritura aún era útil tomando en cuenta los valores obtenidos de la medición de los compuestos polares totales. Por lo tanto, se propuso aumentar el flujo másico de alimentación de la materia para fritura para los tres productos analizados y, se sustituyó el método actual, determinación de ácidos grasos libres, por el método de cuantificación de compuestos polares totales en el aceite de fritura también se intentó alcanzar una concentración de un parámetro establecido de 20% de compuestos polares en el aceite de fritura según la regulación RTCR 437:2009 y las recomendaciones de la marca del equipo de evaluación para este método. Tras la implementación de las propuestas, se mejoró la producción de los tres tipos de fritura y se disminuyó la tasa de recambio del aceite. Se realizó una hoja de cálculo para predecir el tiempo restante de operación según la concentración de compuestos polares para agilizar la evaluación del aceite de fritura para estos tres tipos de productos. Por último, se realizó un análisis económico de costo beneficio en donde se obtuvo que, al realizar los cambios propuestos se tendría un incremento en las utilidades del 122% comparando ambos. Por ende, las propuestas son factibles y se puede obtener grandes beneficios económicos de estas.

Abstract

The substitution of an oil quality evaluation method for frying processes was carried out to improve the production efficiency of three types of frying in a recognized snack company in Guatemala. For this, the raw material was characterized: The pellets for frying and palm oil, resulting in agents that affect the frying process, such as the concentration of peroxides in the sample and humidity. The production lines were also technically evaluated considering the operating conditions, this to propose changes in the operation. From the evaluation it was determined that the oil turnover rate was very high, so its value had to be reduced and it was determined that the frying oil was still useful considering the values obtained from the measurement of total polar compounds. Therefore, it was proposed to increase the feed mass flow of the frying material for the three products analyzed and the current method, determination of free fatty acids, was replaced by the method of quantification of total polar compounds in the frying oil. It was also attempted to reach a concentration of a set parameter of 20% polar compounds in the frying oil according to regulation RTCR 437:2009 and the evaluation team's brand recommendations for this method. After the implementation of the proposals, the production of the three types of frying was improved and the oil replacement rate was reduced. A spreadsheet was made to predict the remaining time of operation according to the concentration of polar compounds to speed up the evaluation of the frying oil for these three types of products. Finally, an economic cost-benefit analysis was carried out where it was obtained that, when making the proposed changes, there would be an increase in profits of 122% comparing both. Therefore, the proposals are feasible and great economic benefits can be obtained from them.

1. Introducción

La industria de los snacks fritos ha demostrado ser una industria popular actualmente y se ha visto un incremento en su demanda a medida que pasa el tiempo. Esta industria presenta procesos complejos, uno de estos procesos es la fritura de los *snacks* ya que durante el proceso de fritura ocurre una serie de reacciones complejas.

El aceite de fritura es el principal agente que participa en este proceso, al cual se le monitorea y evalúa su calidad, ya que de este depende la calidad del producto final. El deterioro acelerado de este provoca ineficiencias en el proceso y, por lo tanto, aumenta los costos de operación dado al tiempo que se necesita para cambiar el aceite.

Por esta razón, el objetivo principal de este trabajo es proponer un nuevo método de evaluación de la calidad del aceite en el proceso de fritura para mejorar su productividad y con ello reducir costos. Para lograr esto, se utilizó el parámetro de la Norma Española de Calidad de Aceites de fritura y Grasas calentadas que establece que el aceite debe tener un porcentaje menor al 25% de compuestos polares totales para su utilización (BOE, 1989).

Se realizó un análisis a las características de las materias primas del proceso y condiciones de operación con el fin de lograr el objetivo principal de este trabajo de graduación. Para lograrlo, se utilizó herramientas de Ingeniería Química y metodologías de análisis específicas para esta investigación.

Se llevó a cabo un análisis financiero para determinar y comparar la rentabilidad de las propuestas y los cambios a realizar para demostrar el impacto económico que se tendrían al implementar dichas propuestas.

2. Problemática

Los costos de producción de una empresa de *snacks* son altos e innecesarios dado a que el aceite de palma para fritura llega a degradarse de forma rápida, esto implica que el aceite se descarte y ocurran paros en la producción de aproximadamente cinco horas para renovar el aceite. De la misma forma, esto genera impactos ambientales como el consumo hídrico para la limpieza del freidor y el consumo energético, ambos, para la renovación del aceite.

La empresa de *snacks* en donde se realizó el presente trabajo de graduación, que por confidencialidad no se mencionará el nombre, cuenta con un método de análisis para evaluar la calidad del aceite el cual mide el nivel de acidez del aceite. Este método es la valoración de neutralización volumétrica para la determinación de ácidos grasos libres. El principal problema del método es que es subjetivo, ya que depende de la técnica de los analistas. Este puede realizarse de manera errónea provocando que se tomen malas decisiones con respecto al descarte del aceite de fritura. Además, el tiene una de larga duración e impide que los analistas realicen otras tareas.

La empresa productora de *snacks* quiere establecer la metodología de medición de compuestos polares para la evaluación del aceite de fritura ya que está demostrado que es un método eficiente, rápido y confiable para la evaluación de la calidad del aceite. Esta nueva metodología indica que a partir del 25% (v/v) de compuestos polares el aceite tiene que ser descartado. Esto se debe a que el aceite libera toxinas dañinas para su consumo y afectan negativamente el análisis organoléptico del producto final. (Boe,1989)

Esta empresa es de los líderes potenciales en la venta de *snacks* y es muy conocida a nivel nacional y cuenta con exportación a otros países. Por esta razón, se requiere que se mejore la producción de tres productos principales en los que se tiene un problema en cuanto al descarte del aceite. Para estos tres productos, se llega a un punto de descarte en un tiempo relativamente corto comparado con sus otras líneas de producción, provocando paros y poniendo en peligro las metas de planificación. Estos productos son *snacks* de piel de cerdo, nueces y *snacks* de tortilla de maíz.

3. Justificación

La química de los aceites es un área interesante y retadora, especialmente en la producción de *snacks* fritos. En el proceso de fritura pueden ocurrir una diversidad de reacciones químicas y cambios físicos que pueden ser controlados para producir los *snacks* con la apariencia y sabor que se desee. (E. Choe, 2007)

Debido a que el proceso de fritura es complejo, pueden generarse ineficiencias en la producción y esto provoca que se eleven los costos. Existen varios factores por los que el aceite de fritura puede tener un tiempo corto en su descarte, estos podrían ser por la temperatura de fritura, presencia de humedad, combustión de sólidos y finos remanentes en el proceso (O'Brien, 2004), entre muchos otros factores de los cuales es importante determinar aquellos que afectan en la producción de la empresa en la que se realizará este trabajo.

Según investigaciones realizadas, al mantener controlados estos factores, sí es posible mejorar la eficiencia de la producción ya que se puede aumentar la cantidad de producto terminado producido dado a que puede prolongarse el tiempo de vida útil al aceite de fritura. (Yezabel Rivera, 2014) Por lo tanto, este trabajo de graduación buscará determinar los principales factores que estén relacionados con la degradación del aceite para fritura y así mejorar la eficiencia de producción y reducir los costos de operación.

También es importante la medición de los compuestos polares totales para evaluar la calidad del aceite de fritura. Se ha demostrado que este análisis engloba los productos de las reacciones químicas involucradas en la fritura. Lo cual proporciona un indicador de la calidad del aceite en un punto determinado en el proceso de fritura. Este método es confiable, rápido y eficiente ya que existen equipos especializados como el Sensor TESTO 270 para realizar esta medición. Se tienen regulaciones y normas que establecen que el aceite debería utilizarse hasta un porcentaje de compuestos polares totales presentes de 25%. Esto se debe a la liberación de toxinas y otros productos de reacciones químicas perjudiciales a la salud, los cuales estarían presentes en el producto frito. Esta nueva metodología se implementará utilizando un sensor de conductividad para la medición de compuestos polares de la marca TESTO, que es una empresa líder en análisis de aceites y grasas comestibles.

En el gobierno de Costa Rica, se ha establecido el Reglamento sobre la calidad e inocuidad de las grasas y aceites utilizados durante la fritura de alimentos RTCR 437:2009 en donde

establece que el aceite debe contener un porcentaje menor del 25% de compuestos polares para su utilización, de lo contrario, este debería descartarse (Gobierno de Costa Rica, 2009). Así mismo, la Norma de Calidad para aceites y Grasas calentadas de España, establece en el artículo 6 características del aceite higiénico sanitarias.

- Estar exentos de sustancias ajenas a la fritura.
- Sus caracteres organolépticos serán tales que no afecten al alimento frito, olor o sabor impropio.
- El contenido en compuestos polares será inferior al 25 por 100, determinado de acuerdo con el método con referencia a BOE-A-1989-2268.

5. Marco teórico

5.1. Industria de *snacks*

Las industrias de los *snacks* empezaron a comercializarse a mediados del siglo pasado, por lo que, en su mayoría, se les ve como un tipo de producto nuevo. En esta industria, siempre se mantiene evolucionando con nuevos sabores y estilos. El sabor de este tipo de producto es considerado como un sabor “americano”, haciendo referencia a proveniente de Estados Unidos. Los *snacks*, son un producto con propósitos múltiples ya que pueden comerse en una merienda, o bien, ser el acompañamiento de un evento como picnics, reuniones familiares, eventos deportivos o cumpleaños (Lusas & Rooney, 2002).

No todos los *snacks* fueron inventados en Estados Unidos. Los “pretzels” tienen sus orígenes en el año 610 a.C. al sur de Francia, en donde los monjes daban este aperitivo a sus niños como premio. (Lusas & Rooney, 2002) Los *snacks* a base de maíz tienen su origen en Mesoamérica en donde se utilizaba masa para hacer pequeñas tortillas.

El éxito de los *snacks* alrededor del mundo se atribuye al procesamiento y la publicidad que se les da a estos productos. Este es un producto que genera aproximadamente \$30 billones anuales en ventas. (Lusas & Rooney, 2002)

5.1.1. Tipos de *snacks*

- *Snacks* expandidos: La materia prima de este tipo de *snacks*, son pellets a un tamaño específico, el cual se expande durante el proceso de fritura, aumentando su tamaño y su porosidad.
- *Snacks* extruidos: El proceso previo a la fritura para este tipo de *snacks*, se tiene una extrusora, la cual le brinda una forma predeterminada al producto que se va a freír. Durante el proceso de fritura, el producto aumenta su porosidad y disminuye su dureza (Lusas & Rooney, 2002).
- *Snacks* a base de animal: La materia prima, en su mayoría de veces es la piel del animal y su nombre comercial en Latinoamérica es “chicharrón”. El producto comúnmente puede ser de cerdo y pollo. El sabor de este producto varía según la crianza que se le dé al animal (Lusas & Rooney, 2002).
- *Snacks* de maíz: Se necesita una preparación previa para la fritura de este tipo de producto. Se prepara una masa, según la formulación de la empresa, también requiere un moldeado y corte

para después hornear para cocer el producto. Luego, se pasa al proceso de fritura para mejorar la consistencia del producto (Lusas & Rooney, 2002).

- Nueces: Para la preparación de este producto se tienen pellets de nueces, las cuales aún están crudas. Se procesan para obtener un producto frito. Durante el proceso de fritura, cambia la consistencia de la nuez y al mismo tiempo su apariencia física a un color dorado producido por la reacción de Maillard (Lusas & Rooney, 2002).

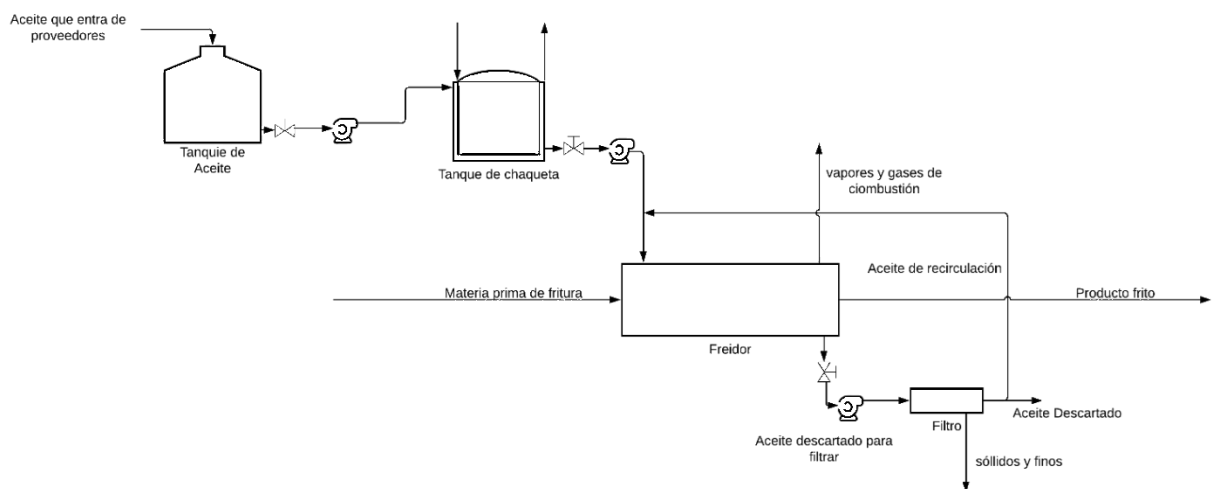
La reacción de Maillard consiste en el conjunto de reacciones químicas producidas entre las proteínas y los azúcares de los alimentos a altas temperaturas y que generan ese color, sabor y olor a tostado (E. Choe, 2007).

Es decir, es el complejo proceso por el que las proteínas y los azúcares de los alimentos interaccionan a consecuencia de las altas temperaturas produciendo compuestos que modifican las características de los alimentos. (E. Choe, 2007)

5.1.2. Proceso de fritura

La descripción del proceso de fritura se representa en el siguiente diagrama.

Diagrama 1: Diagrama de proceso de fritura



El proceso de fritura comienza agregando aceite al freidor de la línea de producción, en donde se tiene que calentar a la temperatura establecida, cuidando de no sobrepasar el punto de humo del aceite que se está utilizando. En el caso del aceite de palma, 180°C.

Cuando el aceite ya se encuentra a la temperatura adecuada, y además de todos los otros procesos que requiera el producto, ya se puede introducir la materia prima para la fritura. Generalmente, se regulan las velocidades de banda acorde con el tiempo necesario para la fritura adecuada del producto. Se cuida que no esté curdo o que no esté tostado, también puede variar esta velocidad de la apariencia física que se quiere en el producto.

Después del proceso de fritura, se continúa con los siguientes procesos como, la adición del sabor y el empaque del producto.

El aceite es absorbido por el producto en diferentes etapas del proceso y se genera una cobertura de aceite en la superficie de este. A pesar de que el aceite de la superficie se evapora con los gases que se liberan durante el proceso, lo cual depende de las propiedades del material con el que se trabaja. Este puede absorber aceite por capilaridad y aún puede absorber más aceite después de la remoción del vapor. En ocasiones, el aceite puede salir por arrastre con el producto.

La humedad residual en forma de vapor en el producto frito se condensa a medida que se enfría y crea un ligero vacío que, adhiere el aceite al mismo. Si se quiere resolver esto es controlando la temperatura del producto al salir del freidor utilizando flujos de gases inertes. No es recomendable utilizar aire ya que este oxida el producto.

5.1.2.1. Tasa de recambio del aceite

La fritura es un proceso por el cual los alimentos se cocinan y secan a través del contacto con el aceite caliente. Este no solo sirve como medio de transferencia de calor, sino que también es absorbido por los alimentos y contribuye al sabor y la textura del producto. La humedad en los alimentos se calienta por encima de su punto de ebullición y deja el producto como vapor durante la fritura.

El aceite puede ser absorbido por el producto en diferentes etapas de la fritura. La superficie del producto se cubre con aceite cuando ingresa a la freidora. Aunque parte del aceite de la superficie es barrido por el vapor liberado por el producto dependiendo de las características de la superficie del producto, parte del aceite puede ser absorbido por acción capilar. El producto puede absorber más aceite después de que disminuya la eliminación de la humedad. De este se puede sacar ciertas concentraciones de aceite de la freidora.

La tasa de recambio del aceite se define como el número de horas requeridas para la reposición del aceite que se agrega para mantener la cantidad de aceite en el freidor durante el proceso

de fritura dado a que se irá vaciando por la absorción del producto. Se puede calcular de la siguiente manera (Kerr, 2012).

Ecuación 1: Tasa de recambio

$$t_{to} = \frac{m_{oil}}{\dot{m}_{PT} * x_{oil}}$$

En donde:

- t_{to} : Tasa de recambio (h)
- m_{oil} : masa de aceite en freidor (kg)
- \dot{m}_{PT} : flujo másico de producto terminado (kg/h)
- x_{oil} : porcentaje de absorción de aceite en el producto terminado

Este cálculo se basa en una capacidad completa de operación del freidor. En la práctica, la capacidad se ve reducida a 80% a 90% dado el arranque del freidor, los cambios mecánicos que se realicen. Factores como el tipo de aceite, el sistema de calentamiento del freidor y durante la operación determina la tasa de recambio del aceite para el proceso de fritura. Para freidores industriales, la tasa de recambio varía en 5 a 10 horas. Se desea tener una menor tasa de recambio dado a que la degradación aumenta y se reduce la vida de anaquel con tasas de recambio altas (Kerr, 2012).

Según las especificaciones de la freidora, la mayoría de las freidoras por lotes tendrán tasas de rotación en el rango de 5 a 10 h durante la producción continua. Una rotación de 5 h es muy rápida y será suficiente para mantener una buena calidad del aceite en la mayoría de las condiciones de fritura. Extender la rotación a 10 h ejerce mucha más presión sobre el aceite, pero aún se puede mantener una buena calidad en muchas aplicaciones. Desafortunadamente, pocas freidoras por lotes funcionan de forma continua o incluso casi continua (O'Brien, Raw Materials, 2004).

5.1.2.2. Freidores

En la industria de la fritura, se utilizan freidores con capacidades de producción altas dado el consumo de este producto en el mercado. El freidor juega un papel importante en la fritura, ya que depende de su forma y funcionamiento para la producción. (Kerr, 2012)

Los freidores industriales son diseñados para procesos continuos o en *batch*. Los freidores del tipo *batch*, son mejor utilizados para operaciones pequeñas y son comúnmente utilizados para

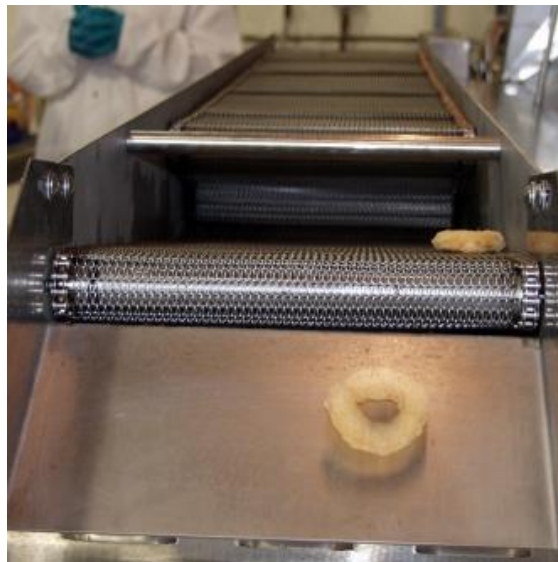
productos especiales (Kerr, 2012). El aceite en el freidor se calienta directa o indirectamente. En la forma de calentamiento directo, el aceite es calentado en el freidor utilizando un intercambiador de calor interno utilizando gas, tuberías de fluidos o de forma eléctrica. El aceite continuamente es retirado y recirculado indirectamente a los freidores luego de pasar por un filtro. (Kerr, 2012)

En los freidores *batch*, el aceite es calentado a la temperatura deseada y luego se agrega el lote del producto dentro del freidor. La temperatura del aceite decrece rápidamente conforme se adiciona el producto y aumenta conforme la temperatura del producto aumenta. (Kerr, 2012)

El producto en el freidor es movido de forma automática con paletas. El producto frito se extrae con bandas transportadoras. La temperatura y la cantidad de aceite en el freidor se mantienen a los niveles requeridos por controles automáticos. (Kerr, 2012)

En lugar de un freidor *batch*, grandes productores utilizan freidores continuos. A diferencia de los freidores *batch*, la alimentación de la materia prima es en un lado del freidor, y se extrae del otro lado del freidor de forma continua. De forma similar a los freidores *batch*, el aceite se calienta directa o indirectamente. (Kerr, 2012)

Ilustración 1: Freidor industrial continuo



(Kerr, 2012)

Los freidores industriales son equipados con paletas que ayudan a que el producto se procese de forma uniforme a lo largo del freidor, se regula el flujo y la sumersión del producto en el aceite caliente (Kerr, 2012). El nivel del aceite y la temperatura se mantienen de forma automática.

Para seleccionar un correcto freidor para el proceso depende de la calidad del producto final. El primer paso para escoger un correcto freidor es definir el producto que se quiere freír. Cada producto tiene sus propias características y necesita ser considerado.

Los alimentos fritos se pueden clasificar a grandes rasgos en dos grupos: los recubiertos (rebozados y empanizados) y sin recubrir (albóndigas, productos de masa). En el sistema de aplicación de recubrimiento tienen un efecto significativo en la selección de la freidora y en su mantenimiento (Kerr, 2012). La flotabilidad, color y textura también son atributos clave que afectan a la selección de la freidora.

Si el producto es flotante, se necesita un transportador dentro del freidor. Se requiere sujetar y sumergir el producto en el aceite. Los productos que se hunden en aceite requieren un transportador por la parte inferior del freidor para controlar el flujo de este. Las características de flotabilidad de algunos productos durante la fritura, por lo que estos tipos de productos pueden requerir transportadores de etapas múltiples (Kerr, 2012).

5.1.2.3. Materia prima en la industria

La materia prima de fritura depende del tipo de snack que se quiere preparar. Como se mencionó anteriormente en los tipos de fritura, la materia prima es variada. A continuación, se dará una descripción de cada una.

- Pellets: Su formulación varía según el producto, generalmente son de productos vegetales, o bien, de alguna formulación establecida por la empresa que lo va a producir. Un ejemplo son los pellets de papá. Su proceso, produce los snacks tipo expandidos.
- Extruidos: Estos son producidos en una etapa previa al proceso de fritura. Su formulación es establecida por la empresa según sea el producto. Previo a la fritura, este tipo materia prima, se encuentra cruda, por lo que se cose durante el proceso de fritura, dándole una consistencia crujiente y con sabor.

- Piel de animal: Esta materia prima, presenta varias condiciones que hacen complejo el proceso de fritura ya que entre sus propiedades contiene grasa animal, la cual, al momento de producirla se mezcla con el aceite de fritura. Esta materia prima, puede tener dos presentaciones. Pueden ser en forma de pellets o pedazos pequeños de piel. En ambas presentaciones, se encuentra deshidratada a cierta proporción de modo de afectar lo menor posible durante el proceso de fritura.
- Nueces: al igual que la piel de animal, entre las propiedades de las nueces contienen grasas vegetales que son diferentes al aceite del proceso de fritura, por lo que su proceso es complejo de igual forma. Las nueces se encuentran crudas y, por lo tanto, contienen porcentajes de humedad altos, los cuales también afectan durante el proceso de fritura.
- Producto en proceso a base de maíz: al igual que la materia prima extruida, este tipo de materia prima para el proceso de fritura es preparado en un proceso anterior como ya se ha descrito. Durante toda la preparación del proceso de fritura, sus propiedades van cambiando en cada etapa.

5.1.2.4. Condiciones del proceso para fritura

5.1.2.4.1. Temperatura

La temperatura de fritura tiene del aceite de fritura al momento de agregar el alimento debe estar comprendida entre 170° y 190° C según el tipo de aceite que se está utilizando de modo que se respete el punto de humo. (CONAL, 2020)

La cantidad de alimento agregado al aceite de fritura no debe producir un descenso mayor a 50°C en la temperatura de éste, en una relación recomendada de aceite y producto a freír es 6:.1 (CONAL, 2020)

Cuando no haya alimento en la freidora, mantener el equipo apagado o disminuir la temperatura del aceite a valores inferiores a 100° C. Al mantener el aceite caliente con ausencia de alimento acelera la degradación del aceite. (CONAL, 2020)

5.1.2.4.2. Velocidad de bandas del freidor

La velocidad de las bandas transportadoras del freidor varía según el tipo de producto y el tiempo que este tarda en cocinarse adecuadamente. Se regula las bandas para que el alimento esté sumergido en el aceite el tiempo necesario.

5.1.2.4.3. Flujo de alimentación de materia prima de fritura

El flujo de alimentación de materia prima de fritura se regula a cierta capacidad para no sobresaturar la línea de producción y evitar que el producto salga crudo por la capacidad que tiene el freidor.

5.2. Aceites vegetales

Los aceites vegetales pueden ser encontrados en semillas y frutos que son cultivados en grandes plantaciones a condiciones climáticas adecuadas. No solamente puede obtenerse aceite vegetal de estas semillas, sino también pueden utilizarse la biomasa obtenida como fuente de proteína ideal para alimentos (O'Brien, 2004). Todas las semillas y frutos contienen aceite, pero sólo los llamados oleaginosos sirven para la producción industrial de aceite.

Los aceites vegetales más comunes, los cuales se cultivan en árboles son el aceite de oliva, de coco y de palma, en donde se extraen de la pulpa de la fruta.

Depende mucho del tipo de fruto para extraer el aceite. Al igual que las condiciones del terreno de la plantación y las condiciones climáticas (O'Brien, 2004). Como se muestra en la Tabla 1, en donde se especifica el porcentaje de aceite contenido en el fruto, la producción del aceite y el lugar en donde se produce.

En la actualidad, el aceite más producido en Guatemala es el aceite de palma, el cual es utilizado para producir diversos productos, generalmente alimentos. Según estadísticas de GREPALMA en 2019, Guatemala es el sexto país productor de aceite de palma en el mundo y el tercer exportador con relación al volumen de exportaciones. (GREPALMA, 2019)

Tabla 1: Contenido de aceite, producción y área de producción de los aceites vegetales

Table 1.1 Vegetable Oils: Oil Content, Yield, and Producing Areas

Oil	Oil Content (%)	Oil Yield (Pounds/Acre)	Producing Areas
<i>Oilseeds:</i>			
Canola	40–45	525–590	Canada, China, India, France, Austria, United Kingdom, Germany, Poland, Denmark, Czechoslovakia, United States
Corn	3.1–5.7	215–390	United States, Mexico, Canada, Japan, China, Brazil, South Africa, Argentina, Russia, Commonwealth of Independent States (CIS), Belgium, France, Italy, Germany, Spain, United Kingdom
Cottonseed	18–20	185–210	China, Russia, United States, India, Pakistan, CIS, Brazil, Egypt, Turkey, Australia
Peanut	45–50	1120–1245	China, India, Nigeria, United States, Senegal, South Africa, Argentina
Safflower	30–35	545–635	China, United States, Spain, Portugal
Soybean	18–20	400–450	United States, Brazil, Argentina, China, India, Paraguay, Bolivia
Sunflower	35–45	460–590	Russia, Argentina, CIS, Austria, France, Italy, Germany, Spain, United States, United Kingdom
<i>Tree fruits and kernels:</i>			
Coconut	65–68	650–870	Philippines, Indonesia, India, Mexico, Sri Lanka, Thailand, Malaysia, Vietnam, Mozambique, New Guinea, Ivory Coast
Olive	15–35	90–260	Spain, Italy, Greece, Tunisia, Turkey, Morocco, Portugal, Syria, Algiers, Yugoslavia, Cyprus, Egypt, Israel, Libya, Jordan, Lebanon, Argentina, Chile, Mexico, Peru, United States, Australia
Palm	45–50	2670–4450	Malaysia, Indonesia, China, Philippines, Pakistan, Mexico, Bangladesh, Colombia, Ecuador, Nigeria, Ivory Coast
Palm kernel	44–53	267–445	Malaysia, Indonesia, China, Philippines, Pakistan, Mexico, Bangladesh, Colombia, Ecuador, Nigeria, Ivory Coast

(O'Brien, 2004)

5.2.1. Propiedades físicas del aceite

Las propiedades fisicoquímicas de los aceites vegetales dependen del fruto al que fueron extraídos. En cuanto a la densidad de los aceites vegetales, se encuentra dentro de un rango de 0.836 g/mL a 0.945 g/mL a 20°C. La viscosidad se encuentra entre los 6 cP a 85 cP a una temperatura de 20°C (Orellana, 2018).

Estas propiedades varían según la temperatura a la que se encuentre el aceite. El aceite vegetal es un fluido newtoniano, a lo que hace referencia que, si la temperatura aumenta, la viscosidad y la densidad del aceite disminuyen (Orellana, 2018).

La temperatura de fusión, de turbidez y de ignición varían según el tipo de aceite, dado a las propiedades químicas de cada uno. En cuanto al poder calorífico, se encuentra en un rango de 36 MJ/kg a 44 MJ/kg (Orellana, 2018).

En cuanto a las características organolépticas, también varía según el tipo de aceite. Generalmente, el color de los aceites va de amarillo oscuro hasta ser ligeramente incoloro. En cuanto al aroma depende del fruto del que fue extraído, puede ser muy fuerte o suave, como el caso del aceite de soya que tiene un aroma muy suave (Gourmet, 2017).

5.2.2. Propiedades químicas del aceite

Clasificación de los aceites vegetales:

Los aceites vegetales pueden clasificarse en cuatro grandes grupos dependiendo del índice de yodo.

- Los aceites saturados: índice de yodo de 5-50
 - Lóricos
 - Palmíticos
 - Esteáricos
- Los aceites monoinsaturados: índices de yodo de 50 - 100
 - Oleicos
- Los aceites biinsaturados: índice de yodo de 100 - 150
 - Linoleico
- Los aceites triinsaturados: índice de yodo > 150

Desde el punto de vista del carburante, mientras más saturado es el aceite, mejor es. Sin embargo, estos aceites saturados son sólidos a temperaturas elevadas. (O'Brien, 2004)

Los lípidos contribuyen a los sabores desagradables del aceite. La sensación del sabor está compuesta por sabor, olor y la sensación en la boca. Las grasas y los aceites son excelentes solventes por muchos de sus componentes de buen sabor en la comida y le da un mejor sabor al paladar. (O'Brien, 2004)

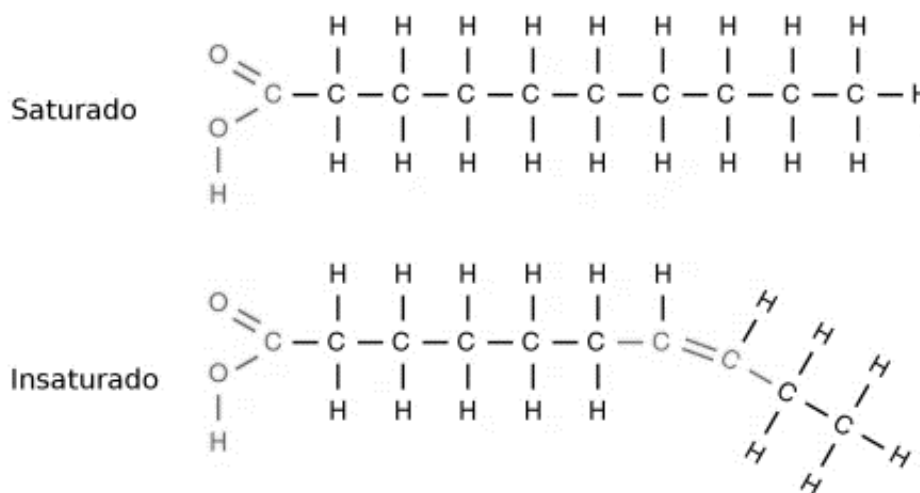
La mayor de las causas de los sabores en las grasas y aceites se deben a la oxidación e hidrólisis. La oxidación es el resultado de la combinación de oxígeno con los aceites, lo cual es causado por la presencia de aire (O'Brien, 2004). La hidrólisis por otro lado se da por la exposición de humedad en el aceite, lo que causa que haya una separación de glicerina y ácidos grasos libres en los triglicéridos. La liberación de los ácidos grasos provoca cambios en el sabor del aceite.

5.2.2.1. Estabilidad oxidativa

La importancia de la estabilidad oxidativa del aceite depende del uso al que se le vaya a dar. Depende mucho de la temperatura y el tiempo de vida en anaquel (O'Brien, 2004) Mientras mayor concentración de grasas saturadas y productos hidrogenados tenga, el sabor del aceite cambiará mucho antes en las etapas oxidativas.

La estabilidad oxidativa de los aceites es determinada por la distribución, geometría y número de dobles enlaces. La oxidación puede ocurrir solamente en los ácidos grasos de las moléculas del triglicérido dado a la presencia de los dobles enlaces. Está establecido que mientras mayores ácidos grasos insaturados, menor será la estabilidad oxidativa al momento de procesar el aceite (O'Brien, 2004).

Ilustración 2: Moléculas de ácidos grasos saturados e insaturados



(Orellana, 2018)

5.2.3. Usos industriales del aceite

Los aceites vegetales son utilizados como ingredientes o componentes en muchos productos manufacturados. Muchos de estos, son utilizados para hacer jabón, productos de la piel, velas, perfumes y otros productos de cuidado personal. Algunos aceites son utilizados como aceites de secado, y se utilizan para la producción de pintura y otros productos de tratamiento de madera (Bockish, 1998).

Se utilizan cada vez más en la industria eléctrica ya que son aislantes eléctricos y, por lo tanto, no son tóxicos para el medio ambiente. Otro uso industrial importante es que son utilizados para calentar y cocinar otros alimentos (Bockish, 1998). Estos aceites deben tener un punto de inflamación alto para evitar ocasionar un accidente.

5.2.4. Aceites para freír

La fritura es una de las preparaciones más populares y antiguas a lo largo de la historia. El comercio que utiliza es masivo. La comida frita tiene un muy buen sabor, color y una textura crujiente que provoca que los aceites para freír sean de un consumo popular. (E. Choe, 2007)

El proceso de fritura se da al momento de la inmersión de comida en aceite en un rango de temperatura entre 150 °C a 200 °C. La simultánea transferencia de calor y masas del aceite, comida y aire durante este proceso produce comida agradable y única. (E. Choe, 2007)

Factores como el tiempo de fritura, el área superficial de la comida, la humedad contenida en el alimento, tipos de empanizado y el aceite para freír, son de mucha influencia para que el alimento absorba el aceite.

El aceite de fritura puede producir un sabor agradable o desagradable, cambios en la estabilidad y la calidad del producto y el aceite, color y textura de los alimentos fritos.

5.2.4.1. Aceites utilizados para fritura

En el mercado existe una gran cantidad de aceites utilizados para la fritura de los alimentos, entre los más importantes están los aceites de palma, soya, canola, oliva, maíz y girasol (Suatema, 2009). En estado fresco cada aceite presenta una composición de ácidos grasos propia, como se muestra en la siguiente ilustración.

Tabla 2: Composición de ácidos grasos en los aceites comunes para fritura

Tipo de aceite	Ácidos grasos (g/100g aceite)			
	Saturados	Monoinsaturados	Poliinsaturados	Trans
Palma	49,300	37,000	9,300	SRD
Soya	15,650	22,783	57,740	0,533
Canola	7,365	63,276	28,142	0,395
Girasol	9,009	57,334	28,962	0,219
Oliva	13,808	72,962	10,523	SRD
Maíz	12,948	27,576	54,677	0,286

SRD: Sin reporte de dato

Fuente: USDA. National Nutrient Database for Standard Reference (7)

(Suatema, 2009)

Antes de elegir un aceite es importante no tomar en cuenta los ingredientes que se especifican en las etiquetas nutricionales. La composición puede variar según los componentes de la mezcla.

Para escoger un aceite para el proceso de fritura hay que tomar en cuenta ciertos factores importante. El punto de humo es uno de ellos, este es un parámetro fundamental al que se le toma muy poca importancia.

El punto de humo es la temperatura a la que comienza a evaporarse el aceite. Cuando se alcanza desde la superficie comienza a deshacerse del gas, una señal que el aceite se está comenzando a deteriorar rápidamente. La alta temperatura puede dañar las moléculas que forman el aceite, incluso puede producir sustancias dañinas para el cuerpo y también puede ser inflamable.

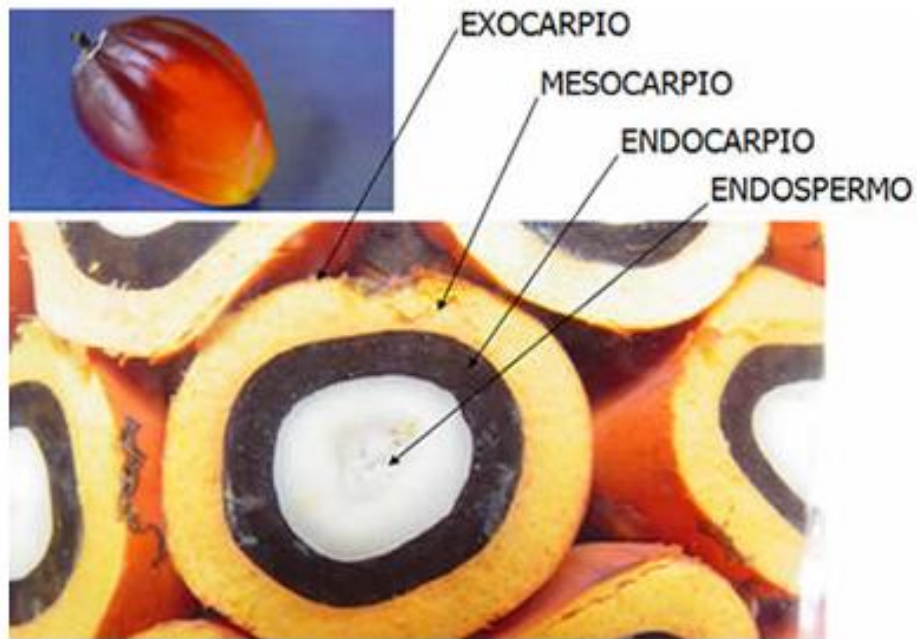
No todos los aceites para freír son iguales ya que tienen características diferentes y una composición química diferente. Durante el proceso de fritura se ejerce más presión sobre la estabilidad del aceite. Si se calienta a altas temperaturas, puede surgir una oxidación a partir de la cual se forman algunas sustancias nocivas. Por lo tanto, los aceites ricos en ácidos poliinsaturados no son muy resistentes a las temperaturas altas y esto provoca que se degraden rápidamente. Los mejores aceites para freír son aquellos que resisten la temperatura recomendada durante este tipo de cocción a 180°C.

5.2.4.2. Aceite de palma para fritura

El aceite de palma es extraído del mesocarpio del fruto de la semilla de la palma africana *Elaeis guineensis*, que generalmente contiene entre un 45-55% de aceite. Este aceite es el segundo

más utilizado en el mundo que muestra excelentes propiedades para la fritura, además que otorga a los alimentos un sabor agradable.

Ilustración 1: Fruto de la semilla de palma africana



(Borrero, 2003)

5.2.4.2.1. Propiedades del aceite de palma

El aceite de fritura comercial más popular es la oleína de palma con puntos de fusión más bajo (22.24 °C), lo que evita la sensación en la boca de cera o grasa en los productos fritos. Cabe recordar que el punto de fusión es la temperatura en la que un sólido, pasa a estado líquido. La principal razón de su uso en este proceso es su alta estabilidad oxidativa, en comparación de otros aceites altamente insaturados (Suatema, 2009). Las propiedades del aceite de palma para fritura son las que describe la siguiente tabla.

Tabla 3: Composición y Propiedades físicas del aceite de palma

Característica	Rango
Gravedad específica (a 50°C)	0.999-0.889
Índice de refracción (a 50°C)	1.455-1.456
Índice de yodo	46-56
OSI (Oxidative Stability Index), 110°C horas	16.6-19.0
Composición de ácidos grasos, %	
C-12:0 Láurico	0.1-1.0
C-14:0 Mirístico	0.9-1.5
C-16:0 Palmítico	41.8-46.8
C-16:1 Palmitoléico	0.1-0.3
C-18:0 Esteárico	4.5-5.1
C-18:1 Oléico	37.3-40.8
C-18:2 Linoléico	9.1-11.0
C-18:3 Linolénico	0.4-0.6
Composición de Triglicéridos, %	
Trisaturados	0.8-9.0
Disaturados	38.5-50.3
Monosaturados	31.8-44.4
Triinsaturados	4.8-9.8
Diglicéridos	3.0-7.6

(GREPALMA, 2019)

El deterioro del aceite de fritura es seguido por cambios en el contenido de ácidos grasos libres, compuestos polares, polímeros, entre otros. Las características del aceite y de la oleína de palma frescos, se presentan a continuación.

Tabla 4: Características del aceite de palma fresco

Parámetro	Aceite de palma	Oleína de palma
Ácidos grasos libres (% en peso)	0.06	0.04
Índice de peróxidos (meq/kg)	4.08	1.49
Índice de yodo	52.0	56.1
Polímeros (% en peso)	0.62	0.47
Compuestos polares (% en peso)	7.96	7.84
Constante dieléctrica	0	0
Punto de humeo	214	216

(GREPALMA, 2019)

5.2.4.3. Cambios físicos y químicos del aceite durante la fritura

Durante el proceso de fritura de los alimentos, el aceite se calienta a altas temperaturas y también interactuando con el ambiente, lo que lleva a la formación de número de compuestos los cuales son productos de reacciones térmicas, oxidativas e hidrolíticas.

Las reacciones químicas más comunes que ocurren en el aceite durante el proceso de fritura son las reacciones de hidrólisis, oxidación y polimerización, produciendo compuestos volátiles y no volátiles (E. Choe, 2007). La mayoría de los compuestos volátiles se evaporan en la atmósfera en forma de vapor y los compuestos volátiles restantes en el aceite se someten a más reacciones o son absorbidos por los alimentos que se están friendo.

Los compuestos no volátiles en el aceite cambian sus propiedades químicas y físicas del aceite y de los alimentos. Estos afectan en la estabilidad del sabor, calidad y la textura de los alimentos durante su almacenamiento (E. Choe, 2007). La fritura reduce la cantidad de ácidos grasos insaturados del aceite e incrementa el color, viscosidad, densidad, calor específico y compuestos poliméricos.

La temperatura y el tiempo de fritura, el tipo de aceite, antioxidantes y los tipos de freidor utilizados son factores que afectan para que se dé la hidrólisis, oxidación y polimerización del aceite durante la fritura (Suatema, 2009).

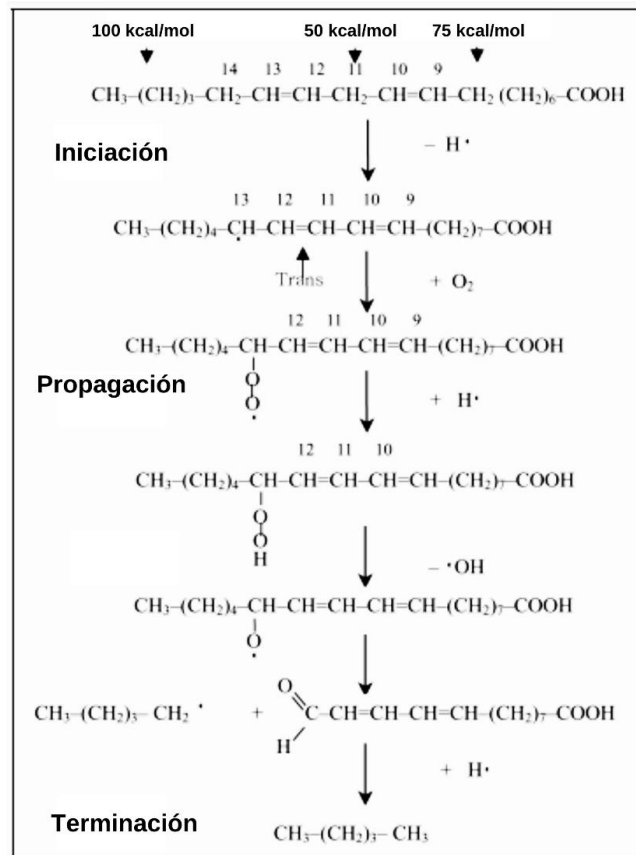
5.2.4.3.1. Reacción de oxidación

El oxígeno presente en los aceites de fritura reacciona con el aceite. El mecanismo de la oxidación térmica es principalmente la misma que el mecanismo de auto oxidación. La razón de oxidación térmica es más rápida que la auto oxidación (E. Choe, 2007). Este mecanismo toma en cuenta la iniciación, propagación y terminación como se muestra en la siguiente ilustración.

El enlace oxígeno-oxígeno del grupo R-O-OH es un enlace covalente débil que se le conoce como hidroperóxidos los cuales no son estables durante el proceso de fritura (E. Choe, 2007). Estos compuestos son descompuestos como radicales de alcóxidos y alcóxidos de hidroperóxidos por homólisis del enlace del peróxido.

Ilustración 3: Iniciación, propagación y terminación de la oxidación térmica.

Ejemplo de reacción de oxidación del linoleato de etilo



(E. Choe D. B., 2007)

Como se muestra en la Tabla 5, en donde se describe el comportamiento de la oxidación de los peróxidos al calentarse el aceite de fritura con respecto al tiempo que se mantiene durante esa temperatura.

Tabla 5: Valor de peróxidos durante el calentamiento del aceite a varias temperaturas.

70 °C		180 °C		250 °C	
Heating time (h)	POV	Heating time (h)	POV	Heating time (h)	POV
6	1777	5	237	3	44
24	1058	10	251	5	77
45	505	20	119	10	198
69	283	30	80	20	67
		60	44	30	0

(E. Choe, 2007)

5.2.4.3.2. Reacción de polimerización

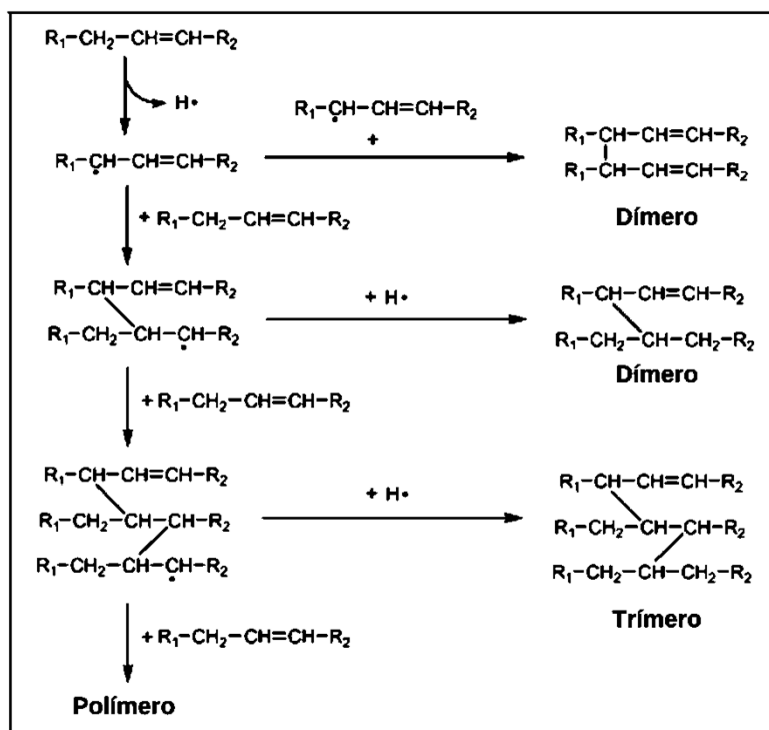
Los compuestos volátiles son extremadamente importantes para las cualidades gustativas del aceite para freír y los alimentos fritos, pero los componentes volátiles están presentes en la concentración de todos los productos de descomposición del aceite para freír a partir de niveles de partes por millón.

La mayor descomposición de los productos del aceite para freír son compuestos polares no volátiles y dímeros y polímeros de triacilglicerina (E. Choe, 2007). Las cantidades de compuestos cíclicos son relativamente pequeños en comparación con los compuestos polares no volátiles, dímeros y polímeros.

Los dímeros y polímeros son largas moléculas con un peso dentro de un rango de 692 a 1600 Dalton y están formadas por combinaciones de enlaces $-C-C-$, $-C-O-C-$ y $-C-O-O-C-$ (E. Choe, 2007).

Dímeros y polímeros son dependiente de la reacción del proceso y los tipos de los ácidos grasos consistentes en el aceite (E. Choe, 2007). La dimerización y la polimerización está dada por reacciones de radicales libres como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 4: Mecanismo de reacción de la polimerización durante el proceso de fritura.



(E. Choe, 2007)

5.2.4.3.3. Reacción de hidrólisis

Cuando la comida es frita en aceite caliente, la humedad produce vapor, el cual se evapora y gradualmente se transfiere al aceite que se está utilizando. Agua, vapor y oxígeno inicia reacciones químicas dentro de la comida y el aceite. (E. Choe, 2007)

El agua, siendo un nucleófilo débil, ataca a los ésteres que se encuentran en los triglicéridos y produce diglicéridos y monoglicéridos, glicerol y ácidos grasos libres. Los ácidos grasos libre que se encuentran dentro del aceite de fritura, incrementan con el uso que se le da al aceite (E. Choe, 2007). El valor de ácidos grasos libres se utiliza para controlar la calidad del aceite para freír. La hidrólisis térmica tiene lugar principalmente dentro de la fase oleosa en lugar de la interfaz agua-aceite. (Bockish, 1998)

La hidrólisis es preferible en aceite con pequeños e insaturados ácidos grasos que el aceite con ácidos grasos largos y saturados debido a que los ácidos grasos insaturados son más solubles en agua que los ácidos grasos saturados y largos. grasas y aceites para hidrólisis. (E. Choe, 2007)

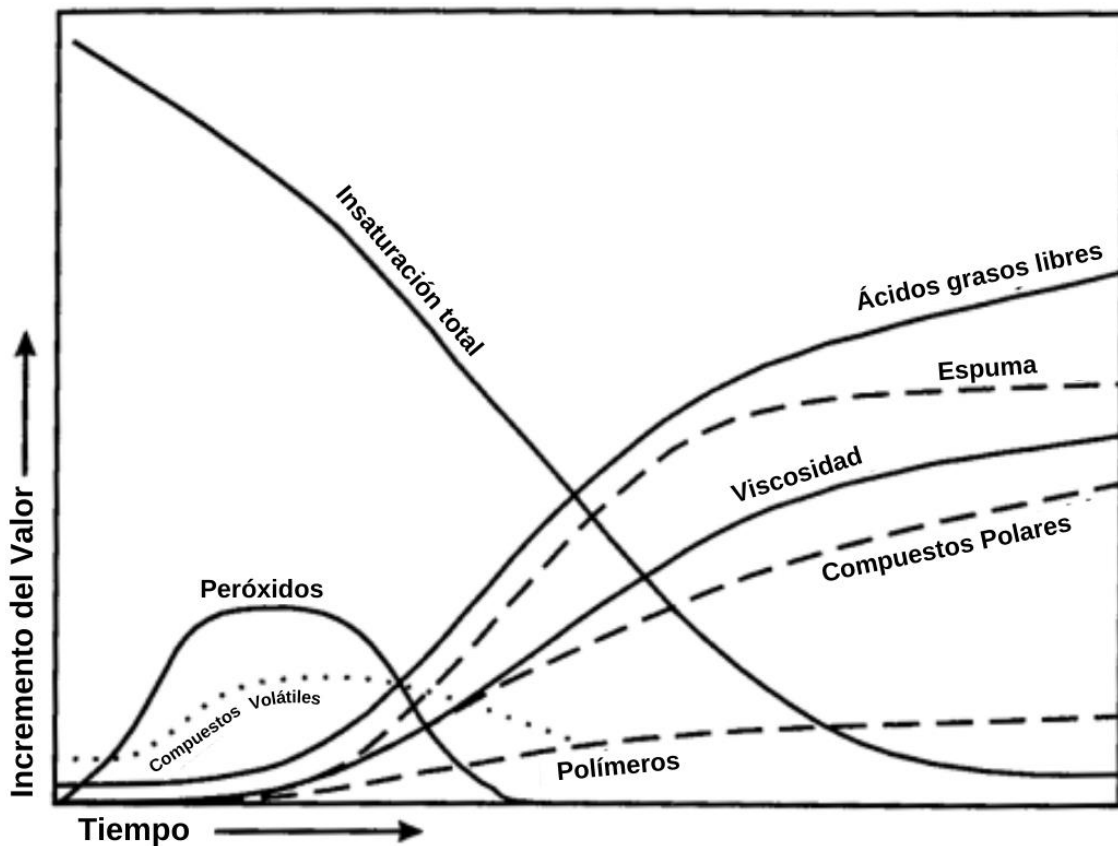
Grandes cantidades de agua hidrolizan el aceite rápidamente, incluso más rápido que el vapor (E. Choe, 2007). El gran contacto entre el aceite y la fase acuosa de los alimentos aumenta la hidrólisis del aceite.

5.2.4.4. Deterioro del aceite

Como se mencionó en los apartados anteriores, durante el proceso de fritura se producen reacciones químicas que alteran las propiedades del aceite tanto físicas como químicas (E. Choe, 2007). Como se muestra en la siguiente gráfica, se describe el comportamiento del aceite durante el proceso de fritura, en donde se observa también las reacciones químicas que se mencionaron anteriormente.

Al producirse la fritura, hay un aumento de la densidad y viscosidad del aceite. Así mismo, al terminar la etapa de propagación de la oxidación, se producen todas las reacciones químicas, cuyos productos son conocidos como compuestos polares.

Gráfica 1 Cambios físicos y químicos durante el proceso de fritura



(E. Choe, 2007)

5.2.4.4.1. Medición de compuestos polares totales

Los compuestos polares son sustancias resultantes del deterioro sufrido durante el calentamiento de los aceites, y su contenido (que deberá ser menor al 25%) se utiliza como indicador global del nivel de alteración, que se caracteriza por la modificación de los triglicéridos, principales componentes de la grasa. (E. Choe, 2007)

Los compuestos polares incluyen sustancias tales como monoglicéridos, diglicéridos, ácidos grasos libres presentes en las grasas antes de ser calentadas, así como productos transformados durante el calentamiento de la grasa. (E. Choe, 2007)

Según la Orden de 26 de enero de 1989 de la Norma de Calidad para Aceites y Grasas calentado con referencia BOE-A-1989-2268, establece que la calidad de los aceites de fritura es esencial para el consumo (BOE, 1989). La medición de los compuestos polares como control es uno de los análisis más importantes ya que con esta medición, se puede determinar la calidad para la utilización del aceite.

La determinación de los compuestos polares en aceites es un método bien aceptado por su precisión y reproducibilidad, una ventaja de medir los compuestos polares es que ofrece la posibilidad de monitorear la calidad del aceite durante el proceso de fritura (Testo SE &co, 2015).

En el gobierno de Costa Rica, se ha establecido el Reglamento sobre la calidad e inocuidad de las grasas y aceites utilizadas durante la fritura de alimentos RTCR 437:2009 en donde establece que el aceite debe contener un porcentaje menor del 25% de compuestos polares para su utilización, de lo contrario, este debería descartarse (Gobierno de Costa Rica, 2009). Así mismo la Norma de Calidad para aceites y Grasas calentado de España, establece en el artículo 6 características del aceite higiénico sanitaria.

- Estar exentos de sustancias ajenas a la fritura
- Sus caracteres organolépticos serán tales que no comuniquen al alimento frito, olor o sabor impropio
- El contenido en compuestos polares será inferior al 25 por 100, determinado de acuerdo con el método con referencia a BOE-A-1989-2268.

Según la Norma de Calidad para Aceites y Grasas, la medición de los compuestos polares puede realizarse utilizando cromatografía de columna. El método evalúa el grado de deterioro de grasas calentadas. Se realiza por elución de los no polares y se determina los polares por cálculo de

la diferencia entre el peso de la muestra añadida a la columna y la fracción no polar eluída (BOE, 1989).

El reglamento RTCR 437:2009. Reglamento sobre la calidad e inocuidad de las grasas y aceites utilizadas durante la fritura de alimentos, tiene como objeto establecer los parámetros de calidad e inocuidad que deben cumplir los aceites y grasas utilizados durante el proceso de fritura de alimentos en los servicios de alimentación al público, en la industria alimentaria, y similares (Gobierno de Costa Rica, 2009). Esta norma se basa en el Reglamento Técnico Centroamericano para Alimentos y bebidas (RTCA) específicamente en las especificaciones de las grasas y aceites de fritura (RTCA 67.04.40:07).

La norma establece que los aceites y grasas que se utilicen para la fritura de alimentos deben cumplir con la legislación específica vigente para los productos (Gobierno de Costa Rica, 2009).

- “Las grasas y aceites que estén siendo utilizadas durante el proceso de fritura de alimentos en los servicios de alimentación al público o en la industria alimentaria deben de tener un contenido menor o igual al 25.0% (E. Choe D. B., 2007)“Se permite reutilizar el aceite o grasa de fritura, siempre y cuando se filtre de conformidad con la Buenas Prácticas de Fritura y se le adicionen aceites o grasas frescas de manera que la mezcla resultante no supere los 25.0% de compuestos polares”.
- “Se prohíbe el uso de grasas y aceites que han sido descartados por otras industrias en la preparación de alimentos para consumo humano, que comprometan o pongan riesgo a la salud de las personas”.
- “El Manejo y disposición final de los residuos sólidos producto de la filtración, así como los aceites y grasas que no cumplan con el límite de compuestos polares establecidos, debe estar contemplado en el Plan de Manejo de Desechos estipulado en la regulación vigente de permisos sanitarios de funcionamiento.”

Existe otro método que sustituye al método analítico por cromatografía en columna. El otro método se realiza utilizando un sensor de conductividad para compuestos polares, el cual es un método más rápido y con una eficiencia similar al otro método (Testo SE &co, 2015). La empresa TESTO SE &Co, realizó estudios que demuestran la eficiencia de los sensores y demostró su practicidad a la hora de analizar el control de calidad de los aceites.

TESTO, recomienda rangos de medición de compuestos polares para sus sensores en donde clasifica el aceite según su estado y su concentración de compuestos polares (Testo SE &co, 2015). Al igual que las recomendaciones de organizaciones e instituciones europeas, el valor recomendable en los aceites de fritura tendría que ser menor al 20% TPM.

A continuación, se detalla los rangos de medición de compuestos polares recomendados por TESTO.

Tabla 6: Clasificación de la calidad del aceite según el porcentaje de compuestos polares.

Porcentaje de Compuestos Polares Totales	Clasificación del aceite
1% -12 %	Aceite Fresco
13% -16%	Ligeramente Usado
17% - 20%	Usado, pero aún aceptable
21% - 24%	Altamente usado, cambiar el aceite
>24%	No debe utilizarse

(Testo SE &co, 2015)

TESTO

TESTO es una empresa líder en instrumentación portátil para la medición de variables físicas y químicas por la precisión de sus equipos, la cual la ha hecho merecedora del privilegio de un buen sitio en el mercado. TESTO, S.A., desarrolla instrumentos de medición, sondas y accesorios prácticamente para cualquier sector: Aplicaciones de la industria cárnica, congelados, fruta, industria láctica, planificación y hostelería del sector alimentario, aplicaciones en calderas domésticas, radiadores, climatización, sistemas de refrigeración y bombas de calor, y muchos otros ejemplos más. TESTO desarrolla una variadísima gama de instrumentos para el análisis de las variables (Testo SE &co, 2015).

En la industria alimentaria, las empresas deben cuidar su cadena de producción y ser muy estrictos en sus controles para poner en el mercado productos de la máxima calidad. En el caso de los aceites de fritura, no conviene usarlo más allá de lo recomendable ni reemplazarlo prematuramente. Por lo tanto, es importante determinar el momento adecuado para cambiar el aceite de fritura con la ayuda de mediciones precisas y evitar cambios demasiados frecuentes (Testo SE &co, 2015).

5.3. Especificaciones de los productos

Las especificaciones de los productos con los que se estará trabajando son los siguientes.

5.3.1. *Snacks* de piel de cerdo:

Los ingredientes del producto contienen piel de cerdo, aceite de palma, saborizante según la presentación, TBHQ como antioxidante. Como información nutricional se cuenta que tiene los siguientes aspectos

Tamaño por porción (25g)	%DV
Porciones por paquete (6)	
• Energía: 600 kJ	
• Energía de grasa: 350 kJ	
• Grasa total: 10 g	(13%)
○ Grasa saturada 4 g	(20%)
○ Grasa trans-0 g	
• Colesterol 50 mg	(17%)
• Carbohidratos 1 g	(0%)
• Sodio 430 mg	(19%)
• Proteína total 12 g	(24%)

Porcentaje de valores están basados en una dieta de 2000 kcal por día. Sus valores diarios pueden ser mayores o menores dependiendo de sus necesidades calóricas.

5.3.2. *Snacks* de tortilla de maíz

Los ingredientes del producto contienen maíz blanco nixtamalizado, aceite de palma, condimentos según la presentación del producto, suero en polvo de leche, sal, glutamato, aceite de soya y saborizantes y colorantes según la presentación del producto. Como información nutricional se cuenta que tiene los siguientes aspectos

Tamaño por porción (30 g)	%DV
Porciones por empaque (4)	
• Energía: 600 kJ	
• Energía de grasa: 300 kJ	
• Grasa total: 9 g	(10%)
○ Grasa saturada 4 g	(18%)
○ Grasa trans-0 g	
• Colesterol 0 mg	(0%)
• Carbohidratos 18 g	(6%)
• Sodio 230 mg	(9%)
• Proteína total 2 g	(4%)

Porcentaje de valores están basados en una dieta de 2000 kcal por día. Sus valores diarios pueden ser mayores o menores dependiendo de sus necesidades calóricas.

5.3.3. Nueces

Los ingredientes del producto contienen nueces horneadas, aceite de palma TBHQ. Contiene gluten y sulfitos. Como información nutricional se cuenta que tiene los siguientes aspectos:

Tamaño por porción (30 g)	%DV
Porciones por empaque (2)	
• Energía total: 700 kJ	
• Energía de grasa: 300 kJ	
• Grasa total: 12 g	(15%)
○ Grasa saturada 3 g	(15%)
○ Grasa trans-0 g	
• Colesterol 0 mg	(0%)
• Carbohidratos totales 12 g	(4%)
• Sodio 10 mg	(0%)
• Proteína total 4 g	(10%)
• Fibra dietética 1 g	
• Azúcares 8 g	

Porcentaje de valores están basados en una dieta de 2000 kcal por día. Sus valores diarios pueden ser mayores o menores dependiendo de sus necesidades calóricas.

5.4. Control de calidad de la producción de *snacks*

El control de calidad de la producción de *snacks* se divide en dos partes. Se analizan las condiciones en las que se inicia el proceso con la materia prima y cómo se obtiene el producto terminado y también las condiciones en las que está operando el aceite para fritura.

Los parámetros de calidad para ambos análisis se basan en normas establecidas por varias organizaciones nacionales e internacionales y parámetros establecidos por las empresas que lo producen.

A continuación, se detalla las normas y parámetros establecidos para el control de calidad de los *snacks* que será de utilidad para este proyecto de investigación.

5.4.1. Control de calidad a materia prima y *snacks*.

Cuando se analiza el control de calidad de los *snacks*, se busca que el producto cumpla con los parámetros establecidos por las normas y la empresa. La calidad del producto se mide en varios puntos del proceso hasta llegar al empaque; sin embargo, para este estudio se observará solamente en las etapas pre y post fritura.

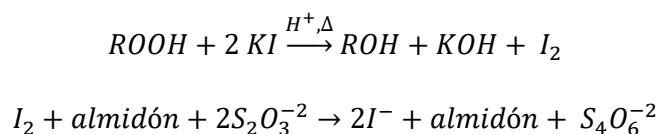
5.4.1.1. Análisis, parámetros y normas

5.4.1.1.1. Índice de peróxidos:

El índice de peróxido es un parámetro que se puede probar y que indica la calidad de los aceites comestibles. Esta prueba permite determinar el inicio de la oxidación en el aceite. Los ácidos grasos insaturados están presentes de forma natural en los aceites. Cuando reaccionan con el oxígeno, se crea peróxido, y entonces los aceites se oxidan. Los factores que contribuyen a este estado oxidativo son la exposición a la luz, metales, contacto con oxígeno y a temperaturas de almacenamiento inadecuadas (Norma Mexicana, 2010).

El método por utilizar para este análisis es el método AIAC 965.33 para aceite vegetal. Según este método, establece que las muestras de aceites vegetales y comestibles deben encontrarse en un parámetro entre 1 y 10 meq/kg (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019).

Para la determinación del índice de peróxido para los alimentos, es necesaria la extracción de aceite utilizando el equipo Soxhlet. Tanto como para el aceite de palma, como para el aceite extraído de alimento, es posible realizar la siguiente determinación. Las reacciones involucradas en este análisis son las siguientes.



Los cálculos se realizan con la siguiente ecuación, la cual ha sido simplificada luego de toda la estequiometría del análisis volumétrico REDOX.

Ecuación 2: Determinación de Índice de Peróxidos

$$IP = \frac{(V - V')N * 1000}{m}$$

En donde:

- V = volumen de disolución de tiosulfato de sodio, en mL, consumido en el ensayo de la muestra.
- V' = volumen de disolución de tiosulfato de sodio, en mL, consumido en el blanco.
- N = Normalidad de la disolución de tiosulfato de sodio.
- m = peso en gramos de la muestra.

5.4.1.1.2. Humedad

La determinación de humedad es un paso obligado en el análisis de alimentos. Es la base de referencia que permite comparar valores, convertir a valor de humedad, expresar en base seca y expresar en base tal como se recibió (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019).

Para el análisis de humedad, es posible utilizar un analizador de humedad. Este determina el contenido de humedad de una muestra con el método de pérdida por secado y consta de una unidad de pesaje una unidad de calentamiento con infrarrojos. A menudo, también recibe el nombre de balanza de humedad o medidor de humedad (METTLER TOLEDO, 2020).

El analizador de humedad funciona según el principio termo gravimétrico, también conocido como principio de pérdida por secado. El analizador consta de dos componentes: una unidad de balanza y una unidad de calentamiento. Para medir el contenido de humedad, primero se registra el peso inicial de la muestra; a continuación, una lámpara halógena o radiador de infrarrojos calienta y seca la muestra mientras la balanza integrada registra de forma continua el peso de la muestra. Cuando la muestra deja de perder peso, el instrumento se apaga y se calcula el contenido de humedad. La pérdida total de peso se usa para calcular el contenido de humedad (METTLER TOLEDO, 2020).

Ilustración 2: Balanza de Humedad OHAUS



(METTLER TOLEDO, 2020)

5.4.1.1.3. Densidad de bulo

La densidad de bulo se realiza midiendo el volumen ocupado de una cantidad de conocida de muestra en un recipiente de volumen conocido. El cálculo se realiza con la siguiente ecuación.

Ecuación 3: Determinación de densidad de bulto

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

Donde:

- ρ_b = densidad de bulto
- m = masa de la muestra
- V = volumen de recipiente

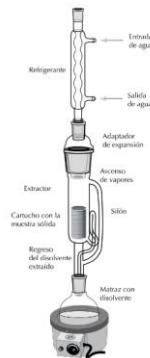
5.4.1.1.4. Extracción de aceites y grasas

Uno de los métodos para la extracción de aceites y grasas en alimentos es utilizando el método Soxhlet. En este método, el componente de interés son las grasas, y su solubilidad es la propiedad en la que se basa. Las grasas se disuelven en solventes no polares, como el cloroformo, hexano y bencina de petróleo. Cuando el 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 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019).

El equipo está integrado por:

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

Ilustración 3: Equipo Soxhlet



(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019)

El método se realiza en un equipo del mismo nombre para determinar la cantidad de grasa de los alimentos. 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 para la prueba dependiendo la cantidad de aceite o grasa que se quiera extraer, según el alimento que se esté trabajando (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019).

5.4.1.1.5. Análisis sensorial

El análisis sensorial es el examen de las propiedades organolépticas de un producto realizable con los sentidos humanos. Se evalúa la apariencia, olor, aroma, textura y sabor de un alimento o materia prima. Este tipo de análisis comprende un conjunto de técnicas para la medida precisa de las respuestas humanas a los alimentos y minimiza los potenciales efectos de desviación que la identidad de la marca y otras informaciones pueden ejercer sobre el juicio del consumidor. Se intenta aislar las propiedades sensoriales u organolépticas de los alimentos o productos en sí mismos y aporta información muy útil para el desarrollo o mejora (UNE, 1997).

5.4.2. Control de calidad a aceites de fritura

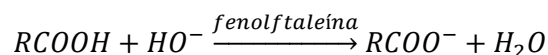
El control de calidad del aceite de fritura se realiza para controlar la oxidación del aceite conforme es utilizado para el proceso de fritura. Según los parámetros y normas de calidad para los aceites, a ciertos parámetros, el aceite tiene que ser descartado.

5.4.2.1. Análisis, parámetros y normas

Método actual para evaluación de calidad de aceites de fritura en empresa.

5.4.2.1.1. Porcentaje de ácidos grasos libres

El método para la determinación de ácidos grasos libre en aceite es la técnica volumétrica 940.28 de AOAC (1984). En esta determinación, se mide el grado de acidez contenido en una muestra de aceites o grasas, en un tanto por ciento, de ácidos grasos libres, y puede expresarse en varias formas. Cuando se refiere a porcentaje, la cifra de los ácidos grasos libre se expresa bajo el supuesto que el ácido libre es el ácido palmítico, para este trabajo de graduación (Rodríguez, Ruiz, Santoyo, & Velásquez., 2016). La reacción que participa en el análisis es la siguiente:



Los cálculos se realizan con la siguiente ecuación, la cual ha sido simplificada luego de toda la estequiometría del análisis volumétrico de neutralización (Rodríguez, Ruiz, Santoyo, & Velásquez., 2016).

Ecuación 4: Determinación de ácidos grasos libres

$$\%agl = \frac{(V - V')N * PM}{m} x 100$$

En donde:

- V = volumen de disolución de hidróxido de sodio, en mL, consumido en el ensayo de la muestra.
- V'=volumen de disolución de hidróxido de sodio, en mL, consumido en el blanco.
- N = Normalidad de la disolución de hidróxido de sodio
- PM = Masa molar de la muestra. Para el ácido palmítico es (256.4 g/mol).

Método propuesto para la evaluación de la calidad de aceites de fritura en empresa.

5.4.2.1.2. Porcentaje de compuestos polares

Para esta medición, se utilizará el Sensor TESTO 270 para compuestos polares, basándose en las recomendaciones dadas por TESTO para la evaluación de la calidad del aceite. Así mismo, haciendo referencia a la Norma de Calidad de Aceites y Grasas Calientes con referencia a BOE-A-1989-2268.

5.4.2.1.2.1. Uso de equipo

TPM= Total Polar Materials (Compuestos Polares Totales) □ posibilita una declaración sobre el envejecimiento de los aceites de fritura por exposición al calor. Puede indicarse:

- Temperatura del aceite de fritura
- Indicador para un ajuste correcto de la freidora, comprobación de los indicadores de temperatura integrados.
- Valor porcentual de TPM
- Indicador de envejecimiento del aceite de fritura.

El sensor funciona sobre una base capacitiva y determina como el valor de medición el contenido total de componentes polares en porcentaje. Los ácidos grasos libres que se evalúan para evaluar principalmente aceites no exigidos, a lo que es la rancidez. Los ácidos grasos libres NO pueden ser determinados con el equipo TESTO 270(Testo SE &con., 2015).

5.4.2.1.2.2. Utilización del producto:

Indicadores generales para la medición.

- Pueden efectuarse varias mediciones sucesivas y sin tiempos de espera.
- Pueden medirse todos los aceites y grasas previstos. En los aceites de frituras frescas, el valor porcentual de TPM puede variar en varios %TPM dependiendo el tipo de aceite.
- La vida útil máxima del aceite NO se puede derivar de ello.
- Si se utilizan aditivos, puede haber diferencias

5.4.2.1.2.3. Comparación de métodos de laboratorio/TESTO 270

- Aceite de fritura: Mezcla de sustancias de diferentes polaridades. Durante el envejecimiento, el porcentaje de componentes polares más fuertes aumenta.

Método de cromatografía de columna vs TESTO

- Método de cromatografía de columna: El TM puede variar ligeramente dependiendo del ajuste del límite de separación entre grupos polares y no polares. En función de los tipos de grasas, pueden producirse ligeras variaciones de polaridad en ambos grupos (Testo SE &co., 2015).
TESTO 270: Resigna la polaridad total del aceite incluyendo la polaridad efectiva en ambos grupos (Testo SE &co., 2015).

Ilustración 4: Equipo TESTO 270 para aceites de fritura



Testo SE &co. (2015)

Tabla 7: Comparación del método actual con método propuesto para la evaluación de la calidad del aceite de fritura

Método actual	Método propuesto
Análisis de ácidos grasos libres en aceite	Análisis de porcentaje de compuestos polares totales en aceite de fritura
<ul style="list-style-type: none"> - Uso de cristalería volumétrica para realizar análisis. - Análisis lento y con resultados dependientes de la técnica del analista. - Se decide descartar el aceite aun cuando este cumple con condiciones para operar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de equipos de instrumentación portátil para realizar análisis. - Análisis rápido, confiable y eficiente y no depende de la técnica del analista. - Cumple con normas establecidas por organizaciones reguladoras para la Calidad de Aceites.

Otros métodos de análisis a realizar para la caracterización del aceite de fritura.

5.4.2.1.3. Viscosidad

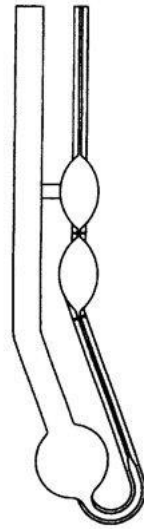
La viscosidad es la medida de la resistencia interna de un líquido a fluir, ésta es newtoniana cuando la Fuerza de cizalladura es proporcional al gradiente de velocidad entre dos planos (Rodas, 2001).

Esta es uno de los parámetros principales para caracterizar las propiedades de un fluido, ya sea líquido, semisólido o gaseoso, por lo cual es ampliamente utilizado en control de calidad de diversos productos (Rodas, 2001).

La viscosidad cinemática es medida por un sistema geométrico que utiliza la gravedad para obtener la lectura, las unidades de este tipo de viscosidad son centistokes que equivale a poise/densidad del fluido (García, 2008).

Para la medición de este tipo de viscosidad, se utiliza un viscosímetro capilar de vidrio para aceites. Este tipo de viscosímetro es muy utilizado para la medida de viscosidades de fluidos newtonianos. El diseño básico de este tipo de viscosímetros es el correspondiente al viscosímetro de Cannon-Fenske (García, 2008).

Ilustración 5: Viscosímetro de Cannon- Fenske



(García, 2008)

6. Antecedentes

El estudio del proceso de fritura ha dado lugar a varias investigaciones con el fin de mejorar la eficiencia de la producción y la calidad de las frituras. Se le ha dado varios enfoques, pues son procesos complejos en los que participan muchas variables. El enfoque que tendrá este trabajo de graduación será en la mejora de la utilización del aceite para mejorar la eficiencia de la producción de tres tipos de *snacks*.

Según una investigación realizada por la Facultad de Farmacia de la Universidad de Sevilla, se demostró que el aceite de fritura puede sufrir una autooxidación y fotooxidación al tener altas temperaturas, generalmente, superior a 180°C. En consecuencia, se producen reacciones de oxidación, polimerización e hidrólisis, las cuales derivan a la formación de compuestos no deseados, alterando las características organolépticas del aceite y su calidad. Estos compuestos no deseados, son también conocidos como compuestos polares (Vela, 2018).

Tomando esto en cuenta y las regulaciones y normas establecidas para el control de calidad para Aceites de frituras y grasas calentadas, la medición de los compuestos polares es esencial para evaluar la calidad del aceite en un proceso de fritura. A partir de la medición de estos compuestos, es posible tomar una decisión sobre el futuro del aceite, ya sea para un proceso continuo, proceso por lotes, o simplemente, en la utilización de una muestra de aceites. Esto, obedeciendo a las normas que establecen la utilización del aceite de fritura con un porcentaje de compuestos polares menor al 25% (BOE, 1989).

La norma de calidad para los aceites y grasas calentado incluyen la utilización y manipulación de aceites y grasas comestibles calentadas para elaborar productos alimenticios, incluidas las industrias dedicadas a la preparación de comidas para consumo en colectividades a bordo, freidurías y bares. Esta norma se basa en utilizar el aceite de forma saludable y que se trabaje de forma higiénica (BOE, 1989). Establece varios análisis, como la medición de los compuestos polares, para evaluar la calidad del aceite a utilizar. Este método ha demostrado tener excelentes resultados para dicha evaluación por lo que es confiable utilizarle (Yezabel Rivera, 2014).

En una empresa de Costa Rica productora de maní, obedece a la legislación RTCR 437:2009 en donde establece que el aceite debe contener un porcentaje menor del 25% de compuestos polares para su utilización. Esta empresa, utiliza el equipo TESTO 270 para la medición de los

compuestos polares para la evaluación de la calidad del aceite en el proceso. Esta empresa, utiliza como parámetro final el 20% de compuestos polares, ya que siguen las recomendaciones del equipo TESTO y así mismo, en los análisis organolépticos del producto, se ha percibido una diferencia a mayores porcentajes (Pro-*Snacks*, 2020).

De forma similar, en Guatemala, algunas empresas se basan en la Norma Española de Calidad de Aceites de fritura y Grasas calentadas. Sin embargo, en su mayoría, utilizan la metodología de la medición de ácidos grasos libres. En donde se ha demostrado que su medición, no es la mejor para evaluar la calidad del aceite dado a que no toma en cuenta variables en el aceite que influyen en el deterioro del aceite (Cabrera, 2016).

Se realizó una investigación para comparar los métodos de análisis para la calidad del aceite de fritura. Se comparó el método para la medición de compuestos polares totales (TPM) y la medición de los ácidos grasos libres utilizando la metodología de valoración volumétrica de AOAC 940.28 (1984). Se comprobó que, entre ambas mediciones, no existe ninguna relación ya que ambas miden características del aceite que dependen de factores independientes entre ellas (Cabrera, 2016). Y se comprobó también que la medición de compuestos polares totales es un método eficiente y confiable, dado a que es una prueba rápida y, comparado con el otro método, los resultados no dependen de la técnica del analista (Cabrera, 2016).

La medición de los compuestos polares ha demostrado ser un método efectivo para la evaluación de la calidad del aceite la cual es posible aplicarla a la medición de un proceso de fritura y es posible respetar las normativas que establecen como parámetro máximo 25% de compuestos polares, y para el proceso de fritura 20%, por lo que se aplicará en este trabajo de graduación como medición para evaluar el incremento de la vida útil del aceite.

La Universidad de Córdoba, llevó a cabo actividades de investigación, extensión formación con el fin de divulgar y conocer la relación entre los procesos de fritura y el deterioro de calidad nutricional y de inocuidad. Se indica en su investigación que, si es posible extender la vida útil del aceite de fritura tomando en cuenta características especiales que afecten al aceite y provoquen la producción de compuestos polares (Marchesino, López, Guerberoff, & Olmedo, 2020).

Así mismo, la investigación menciona que es importante considerar también puntos clave que no se consideran en el proceso, como tiempo de inactividad de los freidores, flujos de alimentación, cantidad de aceite necesaria para la cocción de los alimentos y características fisicoquímicas. También menciona sobre la importancia de la inocuidad de los alimentos ya que los aceites pueden tener toxinas que los afecten y sean dañinos para la salud (Marchesino, López, Guerberoff, & Olmedo, 2020).

7. Objetivo general

Sustituir el método de evaluación de calidad de aceite de fritura para la de producción de tres tipos de *snacks* para mejorar la eficiencia de producción realizando un análisis de todo el proceso.

7.1. Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima para fritura y el aceite de palma realizando análisis de peróxidos, compuestos polares totales, ácidos grasos libres, densidad, humedad y viscosidad para determinar condiciones iniciales de operación.
- Determinar la tasa de recambio del aceite de fritura para las líneas de producción analizadas realizando un análisis técnico del proceso para evaluar el rendimiento del uso del aceite de fritura.
- Hacer la propuesta de mejora en la producción de *snacks* fritos basado en la tasa de recambio de aceite y de concentración de compuestos polares del 20% (v/v) para aumentar la eficiencia del proceso.
- Desarrollar una hoja electrónica utilizando como variables las condiciones de operación para cada producto y concentración de compuestos polares para predecir el punto de descarte del aceite de fritura.
- Realizar un análisis económico utilizando un análisis costo - beneficio de las propuestas realizadas para determinar su rentabilidad y las mejoras en la productividad.

8. Metodología

8.1. Análisis de materia prima de fritura y aceite de palma nuevo

8.1.1. Humedad de materia prima para fritura

Trituración de Pellets: Verificar que el molino esté seco y limpio antes de triturar los pellets de fritura. Luego, introducir 0.5 kg de pellets al molino de discos pequeño para obtener partículas de menor tamaño. En el caso de los pellets de piel de cerdo, quedarán residuos de grasa por lo que es importante limpiar el molino luego de utilizarse. Introducir los pellets triturados en un recipiente para trasladarlo a la balanza de humedad.

Determinación de Humedad: En la balanza de humedad, utilizar el método propio de la empresa para la determinación de humedad en pellets para fritura. Este método establece pesar 0.500 g de muestra a 15 min de secado. Con la espátula analítica pesar 0.500 g de los pellets triturados. Definir y esperar un tiempo de 15 min para el secado y anotar el porcentaje IMC obtenido.

Tabla 8: Materiales y equipo para la determinación de la humedad de la materia prima para fritura

Equipo	Cantidad
Molino de discos pequeño *	1
Balanza de humedad *	1
Espátula analítica	1
Recipiente plástico con tapa	3

* Las especificaciones del equipo, se encuentran en Apéndice en el Tabla 30: Datos de placa de equipo para análisis de laboratorio

8.1.2. Índice de peróxidos:

Extracción de grasa animal y vegetal: El método a utilizar será la extracción sólido-líquido utilizando el equipo Soxhlet.

Armar sistema de extracción con el equipo Soxhlet, previamente esterilizado, conectándolo a través de mangueras al agua para hacer funcionar el sistema de enfriamiento. Pesar los matraces del equipo Soxhlet para obtener su tara y agregarle 250 mL de bencina de petróleo. Colocar el sistema en un baño térmico regulado a 80°C. En un pedazo de toalla de papel fino, pesar 5.000 g de cada muestra de pellet triturado del paso 1.1.1. Formar un pequeño empaque con el papel fino e introducirlo

en el dedal. Colocar cada dedal en el sifón del equipo de extracción y permitir la extracción por 4.5 h y luego interrumpir.

Extraer los matraces del equipo que contienen la grasa extraída y trasladarlo al horno caliente a 80 °C y dejarlo ahí por 30 min. Luego, trasladar los matraces a una desecadora para dejar que enfríen un poco los matraces para luego pesarlos. Pesar los matraces y anotar. Trasladar el material orgánico extraído a un recipiente para analizar el nivel de peróxidos de cada muestra.

Tabla 9: Materiales y equipo para la extracción de aceite contenido en muestras de materia prima del proceso de fritura.

Equipo, materiales y reactivos	Cantidad
Equipo Soxhlet **	1
Baño térmico *	1
Sistema de mangueras	1
Agua	n/a
Bencina de petróleo	250 mL
Dedales	2
Pedazo de toalla de papel fino	2
Horno *	1
Desecadora	1

* Las especificaciones del equipo se encuentran en apéndice en el apartado Tabla 30: Datos de placa de equipo para análisis de laboratorio.

Determinación de índice de peróxidos: Para la determinación se utilizará el método oficial de AOAC 965.33 para la valoración de peróxidos en aceites y grasas comestibles.

- Cantidades necesarias por muestra a determinar.

Medir 30 mL de disolvente (solución de ácido acético/cloroformo) y mezclarlo con 3 g de muestra en un matraz. Añadir 0.5 mL de yoduro de potasio saturado y mezclar por un minuto. Agregar una alícuota de 30 ml de agua desionizada a la mezcla y agregar 1 mL de indicador, la mezcla se pintará a un color oscuro. Trabajar en triplicado

En una bureta, agregar la solución de tiosulfato de sodio 0.1 N, previamente estandarizada con dicromato de potasio. Valorar la solución hasta observar un color pálido y anotar el volumen de valoración.

Realizar cálculos respectivos para determinar el índice de peróxidos para las muestras a analizar.

Tabla 10: Materiales y equipo para la determinación del índice de peróxidos para muestras de materia prima para el proceso de fritura.

Equipo, materiales y reactivos	Cantidad
Solución de Ácido acético/cloroformo (3:1)	30 mL
Solución saturada de Yoduro de potasio	0.5 mL
Agua desionizada	30 mL
Solución de Tiosulfato de sodio 0.1 N *	50 mL
Indicador de Almidón	1 mL
Bureta 50 mL	1
Matraz 250 mL	3

* La descripción para la calibración de soluciones titulantes, se encuentra en apéndice en el apartado Preparación de soluciones

8.1.3. Viscosidad de aceite de fritura:

8.1.3.1. Preparación de muestra: En un baño térmico a 40 °C, colocar a calentar una muestra de 200 mL aceite de palma nuevo en un beaker de 250 mL. Dejar calentar por 15 min luego de haber alcanzado la temperatura.

8.1.3.2. Medición de viscosidad: Trasvasar muestra al viscosímetro capilar hasta el nivel indicado en el bulbo grande y con el bulbo, succionar hasta el aforo del bulbo pequeño. Tomar el tiempo que tarda en vaciarse el bulbo pequeño hasta el nivel indicado y realizar cálculos correspondientes. Realizar este procedimiento en triplicado.

Tabla 11: Materiales y equipo para la medición de la viscosidad para aceite de fritura

Equipo, materiales y reactivos	Cantidad
Viscosímetro capilar	1
Beaker 250 mL	1
Bulbo para succión	1
Cronometro	1
Baño térmico *	1

* Especificaciones de equipo se encuentran en apéndice en Tabla 30: Datos de placa de equipo para análisis de laboratorio

8.1.4. Densidad de aceite de fritura:

Pesar el picnómetro (previamente calibrado) vacío en balanza analítica, el picnómetro tiene que estar limpio y seco. Al igual que para medir la viscosidad, se necesita que la muestra esté a una temperatura de 40 °C por lo que se tomará de la misma muestra calentada del inciso 1.3.1.

Con la ayuda de un beaker de 50 mL, llenar el picnómetro con la muestra y limpiar derrames que pueda haber con una toalla de papel. Pesar el picnómetro con muestra en la balanza analítica, anotar y realizar los cálculos correspondientes.

Tabla 12: Materiales y equipo para la medición de densidad de aceite de fritura.

Equipo, materiales y reactivos	cantidad
Picnómetro de 25 mL	1
Balanza analítica	1
Beaker de 50 mL	1
Baño térmico *	1

* Especificaciones de equipo se encuentran en apéndice en apartado Tabla 30: Datos de placa de equipo para análisis de laboratorio.

8.1.5. Análisis de compuestos polares:

Se utilizará el equipo TESTO 270, el cual es un sensor de conductividad para medir compuestos polares.

8.1.5.1. Preparación de muestra: el procedimiento se realiza como en el inciso 1.3.1 con la variación de que se tiene que llevar la muestra a 180 °C para poder comparar con futuras mediciones de aceite ya en proceso. Ya caliente, trasvasar al “sampler” metálico.

8.1.5.2. Medición de compuestos polares: Sumergir equipo TESTO 270 (previamente calibrado) al “sampler” hasta el nivel indicado y esperar lectura (aprox. 5 s) anotar lectura y medir en triplicado.

La calibración del sensor TESTO 270, se describe en el apéndice en el apartado 13.7.

Tabla 13: Materiales y equipo para la medición de compuestos polares en aceite de fritura.

Equipo, materiales y reactivos	Cantidad
Equipo TESTO 270 *	1
Sampler metálico	1

* Especificaciones del equipo se encuentran en apéndice en apartado Calibración de equipo TESTO 270.

8.1.6. Análisis de ácidos grasos libres:

Para la determinación se utilizará el método oficial de AOAC 940.28 para la valoración de ácidos grasos libres en aceites y grasas comestibles.

8.1.6.1. Preparación de muestra: En una balanza analítica, pesar 0.03 g de muestra de aceite de palma nuevo en un matraz de 250 mL. Agregar 50 mL de etanol y colocar en estufa con agitación por 5 min a 4 rpm y 60°C y agregar 3 gotas de indicador de fenolftaleína.

8.1.6.2. Medición de ácidos grasos libres: Agregar 50 mL de solución de hidróxido de sodio 0.1 N, estandarizada previamente con ftalato de sodio, a bureta de 50 mL y valorar muestra en matraz hasta observar un color rosado pálido. Anotar volumen de valoración y calcular porcentaje de ácidos grasos libres en muestra. Trabajar en triplicado.

Tabla 14: Materiales y equipo para la determinación de ácidos grasos libres en muestras de aceite para fritura.

Equipo, materiales y reactivos	Cantidad
Solución Hidróxido de sodio 0.1 N **	50 mL
Etanol al 99%	50 mL
Bureta de 50 mL	1
Matraz 250 mL	3
Gotero con fenolftaleína	1
Estufa con agitación *	1
Agitador magnético	1
Balanza analítica *	1

* Las especificaciones del equipo se encuentran en el apéndice en el apartado

** La descripción para la calibración de soluciones titulantes se encuentra en el apéndice en el Preparación de soluciones.

8.2. Análisis de condiciones de operación y producto terminado durante la producción.

8.2.1. Evaluación de condiciones de operación para la producción de snacks:

Realizar mediciones de temperatura de fritura, velocidad de bandas de freidor, flujo másico de alimentación de materia prima para fritura y capacidad volumétrica de aceite del freidor para cada línea de producción de los productos a evaluar.

8.2.1.1. Determinación de tasa de recambio del aceite de freidor:

Utilizando la capacidad volumétrica del freidor, flujo másico de alimentación de materia prima para fritura y porcentaje de adsorción de aceite del producto frito, calcular la tasa de recambio utilizando Ecuación 1: Tasa de recambio del marco teórico.

8.2.1.2. Determinación de porcentaje de adsorción de grasa en producto frito:

Para la determinación de la cantidad de aceite adsorbida en el producto frito, pesar en balanza analítica 3.000 g de producto frito y colocar en capsula metálica de una prensa hidráulica. Colocar la capsula en la prensa y aplicar presión a 8 ton de fuerza. Luego, extraer capsula, y cuidadosamente, extraer el material prensado y pesarlo. Realizar cálculos respectivos para la determinación del porcentaje de adsorción de grasa.

Tabla 15: Materiales y equipo para la extracción de aceite adsorbido en muestra de producto frito.

Materiales y equipo	Cantidad
Prensa hidráulica CARVER*	1
Balanza analítica*	1
Espátula analítica	1

* Las especificaciones del equipo utilizado se encuentra en el apartado Tabla 30: Datos de placa de equipo para análisis de laboratorio del apéndice.

8.2.2. Análisis de aceite para fritura en condiciones de operación.

8.2.2.1. Degradación de aceite:

Medir el proceso de degradación del aceite utilizando el procedimiento para la determinación de compuestos polares y ácidos grasos libres mencionado en el apartado 1.5 y 1.6. Realizar mediciones por cada 1 h de producción para cada producto.

Realizar este procedimiento por 3 veces para evaluar el comportamiento de degradación del aceite y sus variaciones para cada producto a analizar.

8.2.2.2. Medición de viscosidad de aceite para fritura:

Tomar muestra de aceite a cada 3 h para la medición de la viscosidad del aceite fritura. Se utilizará el procedimiento mencionado en el apartado 1.3.

8.2.2.3. Medición de densidad de aceite para fritura:

Utilizando la muestra de aceite que se tomó en el apartado anterior, medir la densidad del aceite de fritura. Se utilizará el procedimiento mencionado del apartado 1.4.

8.2.3. Análisis de producto frito como producto terminado

Se tomará muestras del producto terminado en distintas etapas del proceso de fritura para evaluar el cambio de este a medida que el aceite de fritura se degrada. Se realizarán las siguientes mediciones para los tres productos a analizar.

8.2.3.1. Densidad de producto frito: Tarar un beaker de 250 mL en una balanza analítica. Tomar muestra de producto frito, colocarlo en el beaker y pesarlo. Anotar el peso y calcular la densidad del producto terminado.

Tabla 16: Materiales y equipo para la determinación de la densidad del producto frito.

Materiales y equipo	Cantidad
Balanza analítica *	1
Beaker 250 mL	1

* Especificaciones de equipo se encuentran en apéndice en apartado Tabla 30: Datos de placa de equipo para análisis de laboratorio.

8.2.3.2. Determinación de peróxidos: Para la determinación de los peróxidos contenidos en el producto terminado, se utilizará el procedimiento detallado del apartado 1.2.

8.2.3.3. Análisis sensorial de producto frito: Apartar 12 muestras de producto terminado empacado y separarlo en dos grupos. 6 muestras irán a una cabina a temperatura ambiente y 6 muestras irán a una cabina a una temperatura de 40°C para acelerar el tiempo de descomposición del producto.

8.2.3.3.1. Realizar 2 mediciones para las 12 muestras, una medición de 3 muestras por cabina se realizará 2 meses después del almacenamiento y la otra medición se realizará 4 meses después de almacenamiento.

8.2.3.3.1.1. Para las mediciones sensoriales, tomar un grupo de personas y proporcionar una muestra del producto terminado empacado. Para esto, se medirá

- Sabor
- Apariencia
- Aroma

9. Resultados

9.1. Caracterización de materias primas de fritura y aceite de palma utilizando en producción.

9.1.1. Caracterización de pellet de piel de cerdo para producción de *snacks*

Tabla 17: Caracterización de pellet de piel de cerdo para producción de *snacks*

<i>Snack de piel de cerdo</i>		
Caracterización	Pellet 1	Pellet 2
índice de peróxidos (meq ⁺ O ₂ ⁻² /kg de muestra)	24.55 ±0.55	25.12 ±0.56
Porcentaje de grasa (kg grasa/ kg de muestra)	29.36% ±5.86x10 ⁻⁴ %	27.94% ±5.58x10 ⁻⁴ %
Porcentaje de humedad (kg de H ₂ O/kg de muestra)	13.71% ±0.01%	4.61% ±0.01%

9.1.2. Caracterización de materia prima para la producción de *snacks* de fritura de maíz

Tabla 18: Caracterización de materia prima para producción de *snacks* de fritura de maíz

<i>Snack de frituras de maíz</i>	
Caracterización	Muestra
Porcentaje de humedad de masa para fritura (kg de H ₂ O/kg de muestra)	8.76% ±0.01%
Porcentaje de grasa luego de horneado de fritura de maíz (kg grasa/ kg de muestra)	3.69% ±0.01%
Porcentaje de humedad de enfriamiento previo a fritura (kg de H ₂ O/kg de muestra)	38.98% ±0.01%

9.1.3. Caracterización de materia prima para la producción de *snacks* de tipo nueces

Tabla 19: Caracterización de materia prima tipo nueces para la producción de *snacks*

Snack de tipo nueces*		
Caracterización	Pellet 1	Pellet 2
índice de peróxidos (meq ⁺ O ₂ ⁻² /kg de muestra)	6.48 ±0.21	9.05 ±0.19
Porcentaje de grasa (kg grasa/ kg de muestra)	25.98% ±5.28x10 ⁻⁴ %	26.42% ±5.19x10 ⁻⁴ %
Porcentaje de humedad (kg de H ₂ O/kg de muestra)	13.77% ±0.01%	13.92% ±0.01%

9.1.4. Caracterización de aceite de palma para fritura como materia prima.

Tabla 20: Caracterización de aceite de palma para fritura

Aceite de palma para fritura*	
Caracterización	Muestra
índice de peróxidos (meq ⁺ O ₂ ⁻² /kg de muestra)	0.14 ±0.01
índice de acidez (kg grasos libres/ kg de muestra)	0.032 ±1.22x10 ⁻³
Porcentaje de compuestos polares totales (% TPM)	6.17 ±0.5%
Densidad (g/mL)	0.889 ±4.55x10 ⁻³
Viscosidad (cP)	51.05 ±1.67

9.2. Análisis técnico de equipos y condiciones de operación del proceso de fritura

9.2.1. Tasas de recambio de operación para la producción de *snacks* analizados

Tabla 21: Tasas de recambio para la producción de *snacks* analizados

<i>Snack</i>	Tasa de recambio (h)
Pellejo de cerdo	14.27
Frituras de maíz	8.86
Nueces	13.79

9.2.2. Comparación del método actual para la evaluación de la calidad de aceite de fritura y el método propuesto.

Tabla 22: Comparación de métodos para evaluación de calidad de aceite de fritura

<i>Snack</i>	(Método actual) * índice de acidez final (kg grasos libres/ kg de muestra)	(Método propuesto) Porcentaje de compuestos polares totales final (% TPM)
Piel de cerdo	0.61	14.00%
frituras de maíz	0.46	13.00%
Nueces	0.58	14.00%

*parámetros del método actual para descarte de aceite.

9.2.3. Descripción de producción de *snacks* analizados utilizando método actual

Condición de proceso	<i>Snacks</i> de piel de cerdo	<i>Snacks</i> de fritura de Maíz	<i>Snacks</i> nueces
Temperatura (°C)	185	185	185
Flujo másico de alimentación de materia prima (kg/h)	250	450	300
Cantidad producida (kg)	2012	14547.96	7840
Tiempo de producción efectivas (h)	8	32	26
Paros en producción (5 h aproximadamente)	3	5	4

9.3. Propuesta de mejora para la producción de *snacks* basado en la tasa de recambio de aceite y de concentración de compuestos polares del 20% (v/v).

9.3.1. Modificaciones en condiciones de operación para la producción de *snacks* analizados.

Tabla 23: Modificaciones realizadas para la producción de snacks analizados

Tipo de <i>snack</i>	Modificaciones
Piel de cerdo	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de a 275 kg/h de flujo de alimentación. • Cambio de método y parámetros de evaluación de calidad de aceite de fritura intentando llegar a la concentración de 20% de compuestos polares
Fritura de maíz	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento a 550 kg/h de flujo de alimentación. • Cambio de método y parámetros de evaluación de calidad de aceite de fritura intentando llegar a la concentración de 20% de compuestos polares
Nueces	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento a 350 kg/h de flujo de alimentación. • Cambio de método y parámetros de evaluación de calidad de aceite de fritura intentando llegar a la concentración de 20% de compuestos polares

9.3.2. Tasas de recambio de operación para la producción de *snacks*

Tabla 24: Tasa de recambio de operación para la producción de snacks luego de modificación de flujo másico

<i>Snack</i>	Tasa de recambio (h)
Pellejo de cerdo	12.98
Frituras de maíz	7.25
Nueces	11.82

9.3.3. Comparación del método propuesto intentando alcanzar un 20% de concentración de compuestos polares con el método actual.

Tabla 25: Comparación de método propuesto intentado

<i>Snack</i>	(Método actual) * índice de acidez final (kg grasos libres/ kg de muestra)	(Método propuesto) Porcentaje de compuestos polares totales final (% TPM)
Piel de cerdo	0.69	19%
Frituras de maíz	0.48	15%
Nueces	0.66	16%

9.3.4. Descripción de producción de snacks analizados utilizando modificaciones

Condición de proceso	<i>Snacks</i> de piel de Cerdo	<i>Snacks</i> de fritura de maíz	<i>Snacks</i> nueces
Temperatura (°C)	185	185	185
Flujo másico de alimentación de materia prima (kg/h)	275	550	350
Cantidad producida (kg)	3599	25606.8	15119
Tiempo de producción efectivas (h)	13	47	43
Paros en producción (5 h aproximadamente)	1	2	1

9.3.5. Aumento en la productividad para la producción de *snacks* analizados luego de realizar modificaciones

<i>Snacks</i>	Aumento de la productividad
<i>Snacks</i> de piel de cerdo	78%
<i>Snacks</i> de fritura de maíz	76%
<i>Snacks</i> nueces	92%

9.3.6. Caracterización de *snack* de piel de cerdo producido a concentración de 19% de compuestos polares en el aceite de fritura

Tabla 26: Caracterización de *snack* de piel de cerdo con modificaciones

<i>Snack</i> de piel de cerdo*	
Caracterización	Muestra
índice de peróxidos (meq ⁺ O ₂ ⁻² /kg de muestra)	1.62
Porcentaje de grasa (kg grasa/ kg de muestra)	31.66%
Porcentaje de humedad (kg de H ₂ O/kg de muestra)	0.57%

9.3.7. Caracterización de *snack* de fritura de maíz producido a concentración de 15% de compuestos polares en el aceite de fritura

Tabla 27: Caracterización de *snack* de fritura de maíz con modificaciones

<i>Snack</i> de fritura de maíz*	
Caracterización	Pellet 1
índice de peróxidos (meq ⁺ O ₂ ⁻² /kg de muestra)	1.36
Porcentaje de grasa (kg grasa/ kg de muestra)	25.85%
Porcentaje de humedad (kg de H ₂ O/kg de muestra)	0.77%

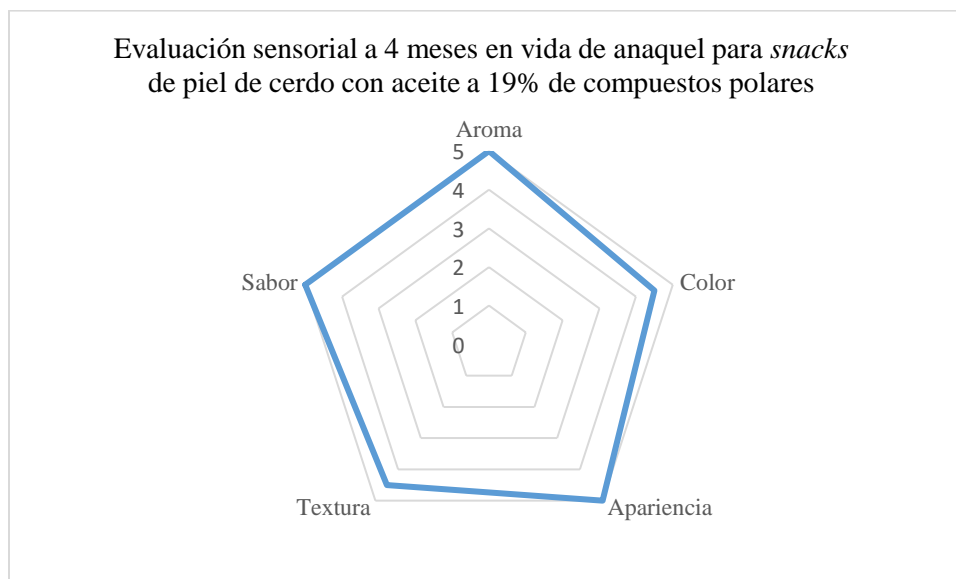
9.3.8. Caracterización de *snack* de tipo nueces producido a concentración de 16% de compuestos polares en aceites de fritura

Tabla 28: Caracterización de *snack* de tipo nueces con modificaciones

Snack de nueces*	
Caracterización	Muestra
Índice de peróxidos ($\text{meq}^+ \text{O}_2^{-2}/\text{kg}$ de muestra)	1.54
Porcentaje de grasa (kg grasa/ kg de muestra)	39.09%
Porcentaje de humedad (kg de $\text{H}_2\text{O}/\text{kg}$ de muestra)	1.92%

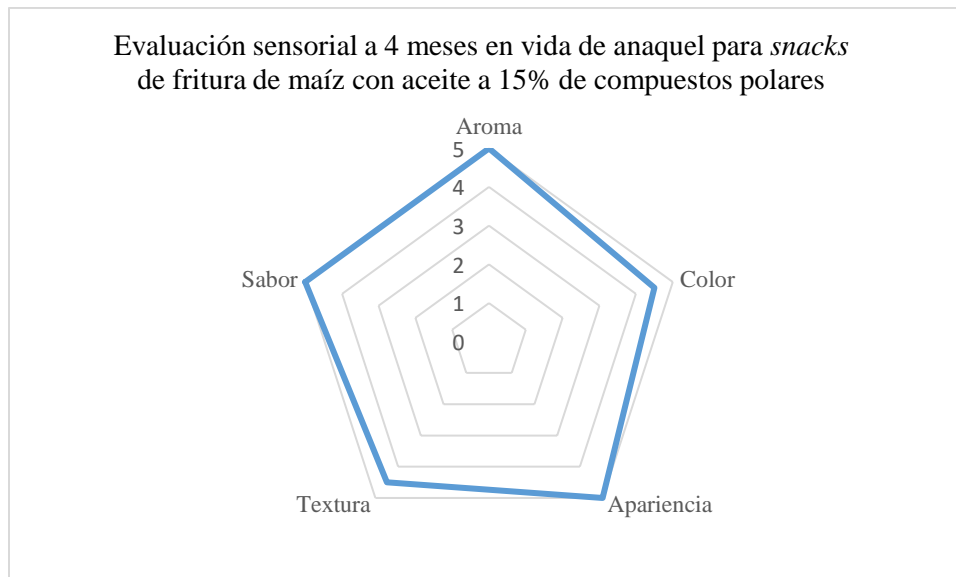
9.3.9. Análisis sensorial para *snack* de piel de cerdo producido a concentración de 19% de compuestos polares en el aceite de fritura

Gráfica 2: Análisis sensorial para *snack* de piel de cerdo con modificaciones



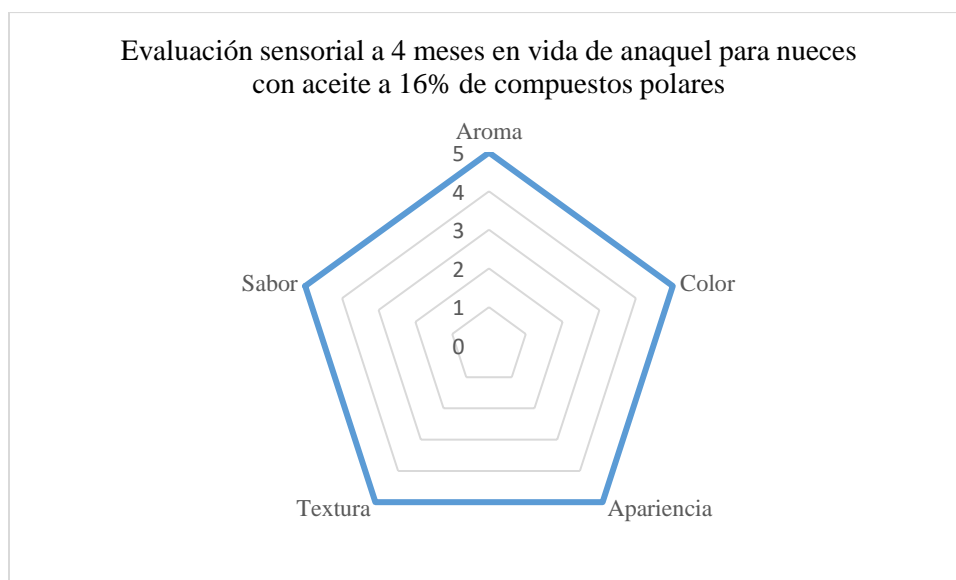
9.3.10. Análisis sensorial para *snack* de fritura de maíz producido a concentración de 15% de compuestos polares en el aceite de fritura

Gráfica 3: Análisis sensorial de *snack* de fritura de maíz con modificaciones



9.3.11. Análisis sensorial para *snack* de tipo nueces producido a concentración de 16% de compuestos polares en aceites de fritura

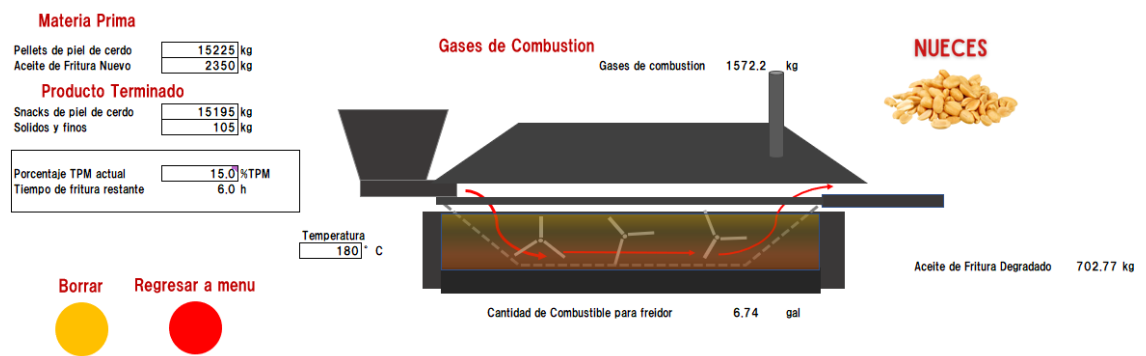
Gráfica 4: Análisis sensorial de *snack* de tipo nueces con modificaciones



9.4. Hoja electrónica para la predicción de tiempo restante de producción de tiempo de fritura.

Se realizó una ejemplificación para demostrar su funcionamiento tomando en cuenta una producción de nueces de 15,225 kg de materia prima y usando 2350 g de aceite de fritura nuevo y asumiendo que el aceite cuenta con una concentración de compuestos polares de 15% para calcular el tiempo restante de producción, la cantidad de aceite a descartar y cuanto combustible se necesitará.

9.4.1. Captura de pantalla de simulador ejemplificando la producción de nueces a una concentración de 15% de compuestos polares.



9.5. Análisis económico

9.5.1. Análisis de costo-beneficio de propuestas de mejora para mejorar la utilización del aceite de fritura

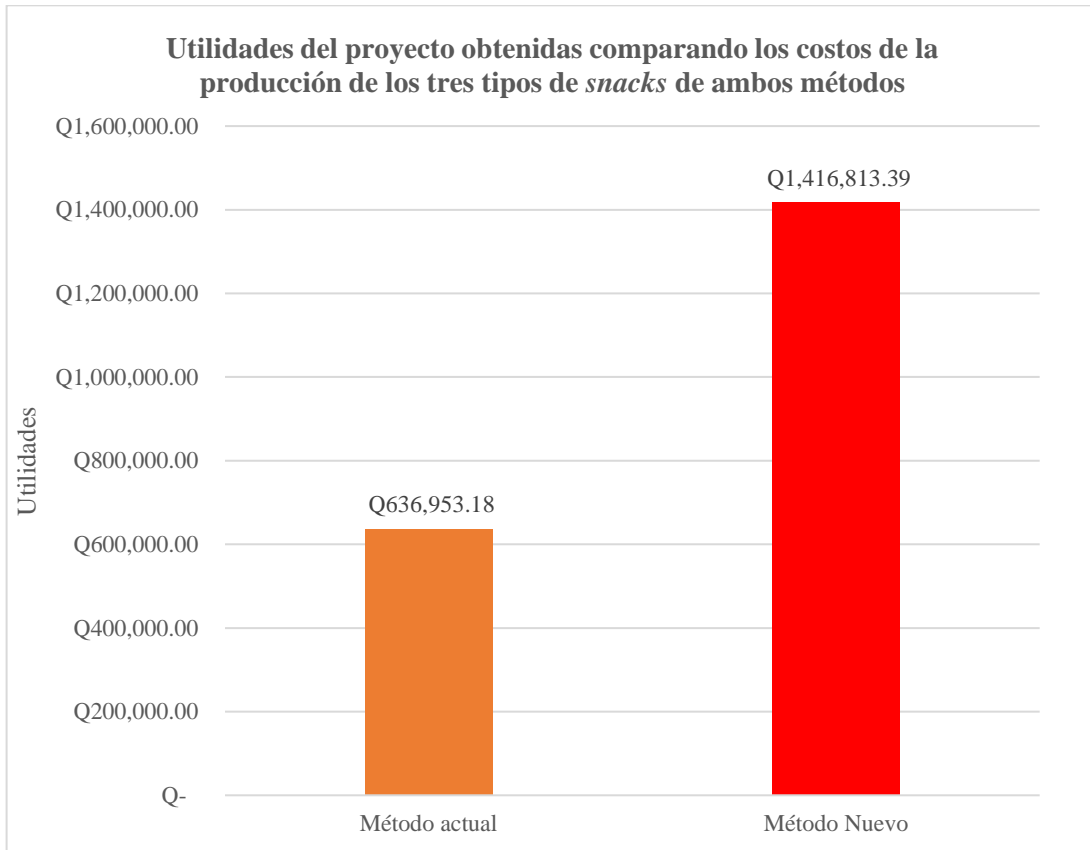


Tabla 29: Análisis costo- beneficio de propuestas de mejora

Ahorro por producción para los 3 tipos de <i>snacks</i>	122%
---	------

10. Discusión de resultados

El objetivo principal de este trabajo de graduación fue la implementación de un nuevo método de evaluación de la calidad de aceites de fritura para mejorar la productividad y así reducir costos. Para lograr esto, se realizaron mediciones para la caracterización de materias primas y un análisis técnico de condiciones actuales de producción de dichos *snacks*. A partir de los datos medidos, se propuso la implementación de un nuevo método para evaluar compuestos polares totales basándose en la legislación RTCR 437:2009 y utilizando las recomendaciones de TESTO que indican que el aceite de fritura no tiene que sobrepasar los 20% de compuestos polares totales (BOE, 1989). Así mismo, la reducción de las tasas de recambio de aceite de fritura para mejorar la eficiencia en los freidores.

10.1. Caracterización de materia prima para el proceso de fritura

Se caracterizó los pellets para los tres tipos de *snacks* y el aceite nuevo para fritura, para determinar las condiciones iniciales de operación. Los *snacks* que se analizaron fueron *snacks* de piel de cerdo, *snacks* de fritura de maíz, *snacks* de tipo nueces. Se realizaron las siguientes mediciones según las regulaciones de alimentos, la determinación de índice de peróxidos de los pellets de fritura y del aceite de palma; el porcentaje de grasa de los pellets de fritura, la humedad de los pellets de fritura y del aceite de palma, determinación de ácidos grasos libres y compuestos polares totales en aceite de palma, y la densidad y viscosidad de este. Se logró determinar que existen variables que afectan el proceso de fritura ya que sobrepasan parámetros establecidos o bien, no cumple con los requerimientos para la operación.

Como se muestra en la Tabla 17, se analizaron dos tipos de pellets ya que se tienen dos tipos de proveedores para la producción de este tipo de *snacks*, se puede observar que el índice de peróxidos para ambos pellets tiene valores de $24.55 \pm 0.55 \text{ meq}^+ \text{ O}_2^{-2}/\text{kg}$ de muestra y $25.12 \pm 0.56 \text{ meq}^+ \text{ O}_2^{-2}/\text{kg}$ de muestra respectivamente. Estos valores sobrepasan los parámetros regulados por la Organización de las naciones unidas para los alimentos para la alimentación y la agricultura, quienes indican que el valor máximo permitido que puede tener un alimento no debe sobre pasar los $10 \text{ meq}^+ \text{ O}_2^{-2}/\text{kg}$ de muestra (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019). El problema de tener un alto nivel de peróxidos en la materia prima es que, al momento de procesar los pellets, estos aumentarán el nivel de peróxidos y, por lo tanto, el aceite se degradará más rápido y disminuirá su tiempo de vida dado a la inestabilidad de los peróxidos (E. Choe D. B., 2007). Estos peróxidos son procedentes de la grasa animal que contiene el pellet de cerdo, lo cual se puede

observar en la misma tabla, ya que ambos pellets tienen un porcentaje de grasa de 29.36% y 27.94% respectivamente.

Se determinó que el contenido de humedad para ambos pellets fue de 13.71% y 4.61%, lo cual, se determinó que, para ambos pellets, en especial el pellet 1, afectan en el proceso ya que su contenido de humedad es elevado comparado con los estándares permitidos según el artículo 15.5 del Decreto Español para alimentos fritos, no debería tener una humedad mayor al 3.5% (BOE, 1989). Por lo tanto, al existir un alto contenido de humedad en los pellets, acelera la degradación del aceite ya que produce hidrólisis, y como producto se obtienen ácidos grasos libres quienes afectan a la calidad del aceite de fritura (E. Choe D. B., 2007).

Para la caracterización de la materia prima de los *snacks* de frituras de maíz, se realizó únicamente análisis de humedad ya que se solicitó que se cuidara la confidencialidad de la formulación para la producción de este producto. El análisis de índice de peróxidos y porcentaje de grasas no se realizó. Se puede observar en la Tabla 18 que el punto donde mayor humedad contiene la materia prima para fritura es en el enfriamiento previo al proceso de fritura. Este porcentaje es de $38.98 \pm 0.01\%$, lo cual afecta en el proceso ya que esta humedad degrada el aceite provocando hidrólisis (E. Choe D. B., 2007).

En cuanto a la materia prima de los *snacks* de tipo nueces, se puede observar en la Tabla 19, se determinó que el índice de peróxido de ambos pellets analizados no sobrepasa los límites permitidos regulados siendo estos $6.48 \text{ meq}^+ \text{ O}_2^{-2}/\text{kg}$ de muestra y $9.05 \text{ meq}^+ \text{ O}_2^{-2}/\text{kg}$ de muestra, y que su humedad es de 13.77% y 13.92% lo cual, según el parámetro del artículo 15.5. d del Decreto Español para Alimentos Fritos, se considera una humedad alta dado a que sobrepasa el límite permitido. (BOE, 1989), no afectará en el proceso de fritura. Por ende, se podría indicar que, para la producción de este tipo de *snack*, la materia prima no afecta la producción.

Así mismo, se caracterizó el aceite de palma utilizado en el proceso de fritura y se determinó sus condiciones iniciales. Como se muestra en la Tabla 20, se buscó principalmente medir los compuestos polares totales iniciales del aceite a utilizar para el proceso de fritura, se obtuvo que tiene 6.14 ± 0.5 % TPM. También se determinó el índice de acidez para realizar una comparación durante el proceso de fritura, este tuvo un valor de 0.032 kg de ácidos grasos libres por kg de muestra, el cual es común para un aceite de palma virgen (GREPALMA, 2019).

10.2. Análisis técnico del equipo y condiciones actuales de operación para la producción de tres tipos de *snacks*

Se evaluaron las condiciones actuales del proceso producción de los tres tipos de *snacks* para la determinación de las tasas de recambio previo a las modificaciones. Como se muestra en la Tabla 21, se determinó que para el *snack* de piel de cerdo es de 14.27 h, para el *snack* de fritura de maíz de 8.86 h y, por último, se determinó que para los *snacks* de tipo nueces es de 13.79 h. Según la especificación del freidor que se utilizó para la producción, la tasa ideal según la empresa debería ser menor a 7 h ya que para esta tasa el aceite recibe mayores impactos en la degradación por la capacidad que se tiene en el freidor (O'Brien, Raw Materials, 2004). Estas tasas de recambio se consideran altas a la tasa ideal ya que el aceite para fritura se ve expuesto a degradación por más tiempo y provoca que se descarte más aceite. Como ya se mencionó en el marco teórico, la tasa de recambio es el tiempo que se necesita para sustituir el aceite que es consumido por el producto terminado. Al ser distinto de la vida útil del aceite, el aceite que no se consume tiene mayor exposición a la degradación e indica que no se está utilizando el freidor de forma eficiente. Por esta razón, se buscará que al aceite que no es absorbido por el producto, se le pueda reducir la velocidad de degradación para darle un mejor provecho a este.

También se realizó la evaluación de calidad de aceites como se muestra en Tabla 22, se comparó el método actual para evaluar la calidad del aceite de fritura, el cual se basa en la determinación de los ácidos grasos libres con el método propuesto. Este es un método poco eficiente ya que depende de la técnica del analista, en donde se observó que no se realiza correctamente y toma mucho tiempo, mientras que, para el método propuesto, es un equipo de uso fácil, rápido con resultados eficientes y con poco margen de error (Testo SE &co, 2015).

Se puede observar que, para los parámetros establecidos por la empresa para cada uno de los productos según el método actual, el contenido de ácidos grasos es de 0.60 kg de ácidos grasos por kg de muestra para el *snack* de piel de cerdo; 0.45 para el *snack* de fritura de maíz y 0.60 para el *snack* de tipo nueces. Al medir el porcentaje de compuestos polares según las legislaciones del RTCR y las recomendaciones de TESTO según el límite permitido. Se obtuvo que para la línea de *snacks* de piel de cerdo fue de 14%, 13% para los *snacks* de fritura de maíz y 14% para los *snacks* de tipo nueces. Estos valores indican que se está descartando el aceite aun siendo útil lo que ocasiona que se utilizando aceite de más.

Una de las variables que afecta de forma negativa el proceso de fritura, especialmente para el freidor en donde se producen los *snacks* de piel de cerdo y de fritura de maíz, es la permanencia de

sólidos y finos remanentes en el aceite. Esto se debe a que este freidor no tiene un sistema de filtrado de sólidos y finos en la recirculación del aceite de fritura. Estos sólidos remanentes se oxidan y promueven la degradación del aceite de fritura.

Se puede observar en el apartado 8.2.3 en los resultados la descripción de producción de *snacks* analizados utilizando método actual, se puede observar que la cantidad producida para los tres productos a una temperatura de 180°C y según los flujos de alimentación establecidos por la planta de producción son de, 2012 kg para *snacks* de piel de cerdo producidas en un tiempo de 8 horas y paros 3 paros en la producción de 5 h por paro ; 14,547 kg *snacks* de fritura de maíz en 32 h y 5 paros en la producción; y 7840 kg *snacks* de piel de cerdo en 26 horas de producción y 4 paros en la producción.

10.3.Propuesta de mejora para la producción de *snacks* basado en la tasa de recambio de aceite y de concentración de compuestos polares del 20% (v/v).

Como se puede observar en la Tabla 23 se realizaron modificaciones en ciertas condiciones de operación para la producción de los tres tipos de *snacks*. La primera propuesta se enfoca en la reducción de la tasa de recambio. Esto se puede lograr modificando el flujo másico de alimentación, ya que la capacidad de freidor y la absorción de aceite del producto son variables dependientes de otros factores que no se pueden modificar, la absorción depende del producto, por lo tanto, no es posible hacer variaciones; la variación de la capacidad del freidor representaría inversiones extra que no conviene realizar. Se puede observar en la Tabla 23, que se logró reducir la tasa de recambio para los tres productos analizados tras haber realizado las modificaciones respectivas.

Para la segunda propuesta, se logró aumentar la utilización del aceite intentando llegar a una concentración de 20% de compuestos polares, realizando también una caracterización y análisis sensorial del producto terminado para evaluar sus condiciones y si fuese conveniente realizar dichas modificaciones. A continuación, se realizará el análisis de forma individual para cada producto ya que variaron los resultados dependiendo el producto analizado.

10.3.1. *Snack* de piel de cerdo

Para los *snacks* de piel de cerdo, se puede observar en la Tabla 24, que se logró disminuir la tasa de recambio de valor inicial a 12.98 h; sin embargo, esta sigue elevada. Se cambio de 250 kg/h a 275 kg/h a una velocidad de banda a 1,320 rpm. No se logró disminuir más ya que al aumentar el flujo de alimentación de la materia prima, se disminuye el tiempo de residencia del producto en el freidor y afecta en la cocción de este, es decir, el producto sale un poco crudo.

Se logró mejorar la utilización del aceite para este producto implementando la nueva metodología para evaluación de aceites de fritura ya que se logró llegar a una concentración de 19% de compuestos polares totales en el aceite, el cual aún cumple con la legislación de RTCR y las recomendaciones del equipo TESTO. Se puede observar en la Tabla 25, que se sobre pasó el límite de ácidos grasos libres por 15% de lo permitido. Con esta modificación, se logró aumentar el tiempo de producción de 8 a 13 horas, sin cambiar el aceite, aumentando un 78% la cantidad de producción de este producto ya que se redujo un 80% los paros por renovación de aceite . Como se muestra en la Tabla 26, el producto a estas condiciones de operación aún cumple con los estándares de calidad de la empresa. Cabe mencionar que el producto se vio afectado ligeramente de forma sensorial en su coloración por la reacción Maillard (E. Choe D. B., 2007) y en su textura ya que estaba ligeramente dura, sin embargo, esto no afecto ya que, a pesar de estas alteraciones, el producto obtuvo una calificación de 4.8 de 5, lo que se considera aceptable y que el producto cumplió eficientemente con las pruebas realizadas.

10.3.2. *Snacks* de fritura de maíz

Para este tipo de *snack*, se redujo la tasa de recambio de valor inicial a 7.25 h, tras haber aumentado de 450 kg/h a 550 kg/h el flujo másico de alimentación de la materia prima a una velocidad de banda de 2,820 rpm. La tasa obtenida se considera ideal, puesto a que el producto si cumplió con los estándares de calidad e indicó que se estaba obteniendo un mejor aprovechamiento del aceite para fritura a pesar del aumento del flujo másico, en donde se corría el riesgo de obtener el producto sin cocción completa.

También se logró implementar la nueva metodología de evaluación, tras llegar a una concentración de 15% de compuestos polares totales en el aceite de fritura durante el tiempo de producción. A esta concentración, se logró aumentar 6.67% la vida útil del aceite en comparación con el método actual. No se logró llegar a concentraciones más altas de compuestos polares dado a que el producto a mayores concentraciones, se percibía un ligero sabor amargo y el producto tenía apariencia más dorada de lo normal dado a la reacción de Maillard que sucedió en el aceite. También se consideró parar la producción a estas concentraciones en el aceite por precauciones de llegar al punto de humo y arruinar el lote que aún no se producía (E. Choe D. B., 2007).

Como se muestra en la Tabla 27, el producto cumplió con los estándares de calidad a pesar de haber sido cocinado en aceite que estaba ligeramente elevado según los parámetros de la empresa según el índice de acidez. Con estas modificaciones realizadas, se logró aumentar a 47 horas efectivas de producción, logrando aumentar 76% la producción.

10.3.3. *Snacks* de tipo nueces

Se logró disminuir la tasa de recambio del aceite de valor inicial a 11.82 h aumentando ligeramente el flujo másico de alimentación de 300 kg/h a 350 kg/h. No se logró disminuir más, ya que sucede el mismo caso que para el *snack* de piel de cerdo. Al aumentar la velocidad de alimentación del producto terminado, se reduce el tiempo de residencia del producto en el aceite de fritura y, por lo tanto, su cocción no es completa.

Para este tipo de *snack*, se puede observar en la Tabla 25: *Comparación de método propuesto intentado*, que se logró llegar a una concentración de 16% de compuestos polares totales en el aceite de fritura. No se logró llegar a mayores concentraciones de compuestos polares dado a que el producto a partir de 16% TPM, según el panel sensorial realizado, se percibía con un ligero sabor amargo y con un ligero aroma característico que podría afectar a largo plazo la conservación de producto en la vida de anaquel por lo que se decidió parar la producción. Con estas modificaciones, se logró aumentar a 43 h efectivas de producción, logrando aumentar en 92% la producción para este tipo de *snack*.

Como ya se demostró, el sensor TESTO 270 para la medición de compuestos polares totales es un equipo de mucha utilidad para la evaluación de la calidad del aceite de fritura ya que se tiene un mejor panorama de la degradación del aceite. El equipo demostró presentar resultados correctos, rápidos y confiables, dado a que facilita el análisis. En cuanto a la inversión del producto, este tiene un valor de \$400.00 y se tiene que comprar un aceite para calibrar a una cierta concentración de compuestos polares que tiene fecha de vencimiento de 3 años que cuesta \$20.00. La calibración se tiene que llevar a cabo, por lo menos una vez al mes para garantizar que las mediciones que se realizan están correctas, se recomienda que se realice al inicio de semana, que es el momento que se da el arranque de toda la producción. El método de calibración se encuentra descrito en anexos.

10.4. Hoja electrónica.

Se realizó una hoja electrónica para determinar el tiempo restante de fritura según la concentración de compuestos polares actuales del aceite de palma para fritura. La hoja electrónica toma en cuenta los análisis realizados del comportamiento de la degradación del aceite considerando los compuestos polares, los cuales se pueden observar en Anexos en los siguientes apartados;

Comportamiento de degradación de aceite contra tiempo de producción *de snacks* de piel de cerdo con los cambios propuestos; Comportamiento de degradación de aceite contra tiempo de producción *de snacks* de tipo nueces con los cambios propuestos;

Comportamiento de degradación de aceite contra tiempo de producción de *snacks* de piel de fritura de maíz con los cambios propuestos, en donde se obtuvo una regresión y se determinó un modelo para la predicción del tiempo restante para el proceso de fritura. Este modelo tiene como variable dependiente el tiempo según la concentración a la que se encuentre el aceite de fritura. En los apartados mencionados, se puede observar los modelos obtenidos y el comportamiento de cada proceso, según sea el tipo de *snack* que se está analizando.

Los resultados fueron calculados utilizando el balance de masa y energía del proceso de fritura para cada tipo de producto analizado. Las variables para considerar son la cantidad de materia prima, la cantidad de aceite ingresada al freidor, la cantidad de producto terminado y la cantidad de sólidos y finos obtenidos al final del proceso. Esto va a variar según el tipo de *snack*. La hoja electrónica funciona únicamente para el análisis usando aceite de palma y únicamente para los tres productos analizados ya que el comportamiento de fritura varía según el producto que se esté procesando.

Como se muestra en los resultados en el apartado Hoja electrónica para la predicción de tiempo restante de producción de tiempo de fritura., se puede observar que se hizo una ejemplificación del uso del simulador para la producción de *snacks* tipo nueces. Tomando en cuenta los valores que se muestran en la captura de pantalla de la hoja electrónica, se puede observar que, a esa producción, le faltan 36 min para llegar al parámetro final de concentración de compuestos polares para que cumpla con el control de calidad como ya se ha demostrado y se tendrá que descartar 702.77 kg de aceite. Esta hoja electrónica busca facilitar la evaluación y el control de la calidad del aceite tanto en la planta de producción y en el laboratorio de control de calidad, ya que se podrá predecir en qué momento el aceite se tendrá que descartar.

10.5. Análisis económico – Costo beneficio

Se realizó un análisis costo beneficio para el análisis económico de las propuestas realizadas para determinar su rentabilidad. Como se muestra Tabla 29, se obtuvo un ahorro del 123% para la producción de los tres *snacks* ya que se logró aumentar la productividad para las tres líneas de producción. Cabe mencionar que, al haber realizado las modificaciones del flujo másico de alimentación, hubo mayor utilización de materia prima, por lo que incrementaron los costos, pero en ese rubro, hubo una reducción de los costos de descarte de aceite ya que hubo una mejora de su utilización. Los productos analizados tienen demanda alta dado a sus características de sabor. Al haber incrementado la cantidad producida, se logró mejorar la capacidad productiva para satisfacer esta demanda, por lo que se espera que la cantidad producida se venda en su totalidad y así obtener el ahorro esperado.

Por lo tanto, según los análisis realizados y sus respectivos resultados, se puede concluir que se cumplió el objetivo principal ya que se logró mejorar la producción de los tres tipos de *snacks* analizados aplicando el método de evaluación de compuestos polares totales basándose en la legislación RTCR 437:2009 y utilizando las recomendaciones de TESTO que indican que el aceite de fritura no tiene que sobrepasar los 20% de compuestos polares totales y realizando modificaciones en los flujos de alimentación de materia prima para reducir la tasa de recambio y mejorar la utilización del aceite para fritura. Esto provocó que hubiera un aumento de los costos de producción, pero se obtuvo un mayor margen de utilidades que generó un 123% de ahorro con respecto a la forma de producción original.

11. Conclusiones

Se caracterizó la materia prima para tres tipos de *snacks* para determinar las condiciones iniciales de operación en donde se determinó que existen variables que afectan el proceso de fritura ya que sobrepasan parámetros establecidos o bien, no cumple con los requerimientos de operación. El pellet para los *snacks* de piel de cerdo, que contiene índices de peróxidos tiene valores de $24.55 \pm 0.55 \text{ meq}^+ \text{ O}_2\text{-}^2/\text{kg}$ de muestra y $25.12 \pm 0.56 \text{ meq}^+ \text{ O}_2\text{-}^2/\text{kg}$ los cuales son valores elevados al parámetro permitido según legislaciones. Así como también, la humedad de los pellets de fritura que sobrepasan los parámetros según lo establecido por el artículo 15 del Decreto Español de Alimentos Fritos, siendo la más alta la materia prima de fritura horneada para el proceso de *snacks* de fritura de maíz, cuenta con un porcentaje de humedad de 38.98% lo cual se podría considerar alta previo al proceso de fritura, lo que provoca mayor degradación del aceite en menor tiempo.

Se realizó el análisis técnico de operación para el proceso de fritura de los tres tipos de producto y se determinó que la tasa de recambio para el *snack* de piel de cerdo es de 14.27 h, la cual sobrepasa la tasa ideal por 103.9%. Para el *snack* de fritura de maíz se tiene una tasa de recambio de 8.86 h, la cual sobre pasa la tasa ideal por un 26.6%. Por último, se determinó que la tasa de recambio para los *snacks* de tipo nueces es de 13.79 h, lo cual sobre pasa la tasa ideal por 97.0%. Lo cual indica que el aceite de fritura presenta una exposición a la degradación mayor por lo que se puede mejorar su uso.

Sustituyendo el método de evaluación de calidad de aceites por ácidos grasos libres a la evaluación de compuestos polares totales, se logró aumentar la productividad de los *snacks* de piel de cerdo 78%, 76% la producción de *snacks* fritos de maíz y 92% la producción de *snacks* tipo nueces. Esto indica que la implementación del método para la evaluación de compuestos totales polares es eficiente y se puede implementar para mejorar la productividad en la producción de los tres tipos de *snacks*.

Se realizó una hoja electrónica que tiene la capacidad de predecir el tiempo restante de operación según el porcentaje de compuestos polares totales que se mida en el aceite utilizando los gráficos de comportamiento de degradación de aceite en el proceso. Así mismo, se logró determinar el aceite a descartar y la cantidad de combustible a utilizar utilizando balances de masa y energía.

Tras haber realizado los cambios, se logró un ahorro del 122% en la producción de los tres tipos de *snacks* analizados y esto confirma que son cambios rentables y de beneficio para la empresa.

12. Recomendaciones

Se recomienda, solicitar a los proveedores de los pellets de piel de cerdo que realicen análisis de índice de peróxidos previo a proveer a la empresa ya que se están entregando con parámetros altos que afectan negativamente a la producción de este tipo de *snack*. Esto asegura que se tendrá un producto de mejor calidad y utilización del aceite ya que no se degradará tan rápido.

Se recomienda la utilización de un filtro para el aceite que se recircula en la línea de producción de los *snacks* de piel de cerdo y las frituras de maíz dado a que los sólidos y finos remanentes en el freidor provocan oxidación, lo cual degrada el aceite de forma inmediata.

Para el descarte de aceite de fritura, es posible utilizarse para la producción de biodiésel, el cual puede utilizarse como combustible para las calderas de la empresa, o bien, puede venderse para la producción de biodiésel a la Universidad del Valle de Guatemala, quienes lo producen. Se reducirían los costos de tratamiento de aceite y se estaría teniendo un ingreso extra por economía circular.

Aplicar el método de compuestos polares totales para la evaluación de la calidad de aceites a las demás líneas de producción de los diferentes tipos de *snacks* que se tienen en la empresa ya que se ha demostrado que se pueden tener muy buenos resultados, a pesar de que no se tengan problemas con dichas líneas de producción.

13. Referencias

- Bockish, M. (1998). *Fats and Oils Handbook*. (E. Perkins, Ed.) Hamburg, Germany: AOCS press. Recuperado el 24 de agosto de 2021
- BOE. (1989). *Orden de 26 de enero de 1989 por la que se aprueba la Norma de Calidad para los Aceites y Grasas Calentados*. Madrid, España: BOE.
- Borrero, C. A. (2003). *Cultivo de Palma de Aceite*. Departamento de Agronomía. Medellín, Colombia: InfoAgro. Obtenido de Infoagro. .
- Cabrera, A. (2016). *Comparación de métodos de análisis para aceite de un proceso de fritura para determinar su eficiencia*. . Ciudad de Guatemala.
- Casallas, I. D. (2017). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA PARA LA*. Universidad Santo Tomás de Aquino, Facultad de Ingeniería Mecánica. Bogotá D. C.: Universidad de Santo Tomás de Aquino.
- CONAL. (2020). *Guía de buenas prácticas para la fritura de alimentos*. Comisión nacional de alimentos, Ministerio de Salud de Argentina. Argentina: anmat.
- E. Choe, D. B. (2007). *Chemistry of Deep-Fat Frying Oils*. Concise Reviews in Food Science.
- E. Choe, D. B. (2007). *Chemistry of Deep-Fat Frying Oils*. Instituto of Food Technologists, Food Science Department. Journal of Food Science. doi:10.1111/j. 1750-3841.2007.00352.x
- García, J. C. (2008). *Técnicas reométricas*. España: Universidad de Alicante.
- Gobierno de Costa Rica. (2009). *Decreto Ejecutivo. El Presidente de la República y la ministra de salud*. San José: Ministerio de Salud.
- Gourmet. (15 de abril de 2017). *Gourmet*. Obtenido de Propiedades Organolépticas de los aceites: <https://www.gourmet.com.co/soy-gourmet/propiedades-organolepticas-de-los-aceites/>
- GREPALMA. (15 de diciembre de 2019). *GRemial de Palmicultores de Guatemala*. (GREPALMA) Obtenido de Desarrollo del aceite de palma: <https://www.grepalma.org/en/development-for-guatemala/>

- Kerr, R. M. (2012). Industrial Deep Fat Frying. *Food & Agricultural Products Center*, FAPC-176.
- Lusas, E. W., & Rooney, L. W. (2002). The Snack Industry: History, Domestic and Global Industry. En E. W. Lusas, & L. W. Rooney, *Snack Foods Processing*. Boca Ratón, Florida, United States: CRC Press LLC. doi:1-56676-932-9
- Marchesino, M. A., López, P., Guerberoff, F. K., & Olmedo, R. H. (2020). *Los procesos de fritura y su relación con los valores nutricionales y la inocuidad: una visión integral desde la seguridad alimentaria*. Córdoba, Argentina: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos Córdoba (ICYTAC).
- METTLER TOLEDO. (15 de julio de 2020). *METTLER TOLEDO*. Obtenido de Analizadores de humedad: https://www.mt.com/mx/es/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/moisture-analyzer.html
- Norma Mexica. (2010). *Alimentos - Aceites y grasas vegetales o animales*. Ciudad de México: Norma mexicana.
- O'Brien, R. D. (2004). *Fats and Oils: Formulating and processing for applications* (Segunda ed.). Boca Ratón, Florida, Estados Unidos: CRC Press LLC. doi:ISBN 0-8493-1599-9
- O'Brien, R. D. (2004). Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications. En *Raw Materials* (2nd Edition ed., págs. 17-27). Boca Ratón, Florida, United States: CRC PRESS LLC. Recuperado el 08 de agosto de 2021
- Orellana, G. L. (2018). *Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible*. TEC, Departamento de Ingeniería Ambiental. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Norma para Aceites VEgetales Especificados*. OCDEX ALIMENTARIUS.
- Pro Snacks. (2020). *Evaluación de la calidad del aceite*. Obtenido de Pro Snacks: <https://prosnacks.com/>
- Rodas, E. (2001). *Relación entre la pureza y la energía de viscosidad de aceites comestibles comerciales*. Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Rodríguez, J. A., Ruiz, L., Santoyo, M. A., & Velásquez., M. (2016). *Determinación de índice de acidez y acidez total de cinco muestras*. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León. .
- Skoog, D. (2015). *Fundamentos de Química Analítica*. México DF: Cengage Learning.
- Suatema, A. (2009). *La fritura de los alimentos: el aceite de fritura*. Universidad de Antioquía, Nutrición Humana. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquía. Recuperado el 24 de agosto de 2021
- Testo SE &co. (2015). *Cartilla práctica Medición del aceite de friutra* . Testo SE & Co. KGaA.
- UNE. (1997). *Análisis Sensorial. Tomo I. Alimentación. REcopilación de Normas*. España: Agencia Española de Normalización (AENOR).
- Vela, M. L. (2018). *Alteraciones de los aceites vegetales durante la fritura*. Universidad de Sevilla, Departamento de Química Analítica. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Yezabel Rivera, C. G. (2014). *Cuantificación del deterioro de aceites vegetales usados en proceso de frituras en establecimientos ubicados en el Municipio Libertador del Estado de Mérida*. Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Química. Mérida, Venezuela: Revista Ciencia e Ingeniería Vool .35. doi:1316-7081

14. Anexos

14.1. Datos de placa

Estos equipos se utilizaron para realizar los análisis de laboratorio correspondientes para la caracterización de la materia prima y la evaluación de los resultados.

Tabla 30: Datos de placa de equipo para análisis de laboratorio

Equipo	Descripción
Molino de discos pequeño	Capacidad de producción de 30 -500 kg/ h. Consumo energético de 3 kW y voltaje de 220v. Con certificaciones ISO
Balanza de humedad	OHAUS MB90 con rango de calentamiento de (40 - 200) °C. Capacidad máxima de 90 g y contenido de lectura 1 mg/ 0.01 %
Horno de calor	HERAtherm Thermo Scientific. Intervalo de temperaturas (0- 330) ° C y Capacidad de 168 L
Baño térmico multipuesto	WEB-4, 3 plazas, rango de Temperatura (5-100) °C, uniformidad de temperatura +/- 1 °C.
Sensor de compuestos polares	TESTO 270. Rango de (0.5 - 40) %TPM, resolución de 0.5 % TPM. Rango de temperatura de (40- 200) °C
Estufa con agitador magnético	Thermo Scientific S88854100, velocidad 50 -150 rpm, 100-120 V.

14.2. Datos originales

14.2.1. Estandarización de soluciones

Estandarización de solución de Tiosulfato de Sodio 0.1 M

Tabla 31: Estandarización de solución de tiosulfato de sodio 0.1 M

	Masa $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL
Blanco		0.3
Analito 1	0.0632	12.60
Analito 2	0.0626	12.70
Analito 3	0.0625	13.10
Analito 4	0.0625	12.70

Se utilizó Dicromato de potasio como patrón primario para la estandarización de la solución de Tiosulfato de sodio 0.1 M. En la tabla se muestra el volumen utilizado de la solución titulante para valorar la masa del patrón primario.

Estandarización de solución de Hidróxido de Sodio 0.1 N

Tabla 32: Estandarización de solución de Hidróxido de sodio 0.1 N

	Masa Ftalato Potasio (± 0.0001) g	Volumen de NaOH (± 0.05) mL
Blanco		0.1
Analito 1	0.0501	11.00
Analito 2	0.0510	10.50
Analito 3	0.0499	10.90
Analito 4	0.0503	10.60

Se utilizó Ftalato de potasio como patrón primario para la estandarización de la solución de Hidróxido de sodio 0.1 N. En la tabla se muestra el volumen utilizado de la solución titulante para valorar la masa del patrón primario.

14.2.1. Caracterización de materia prima para fritura

14.2.1.1. *Snacks* de piel de cerdo

Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

Tabla 33: Determinación de índice de peróxido para el pellet 1 para la producción de snacks de piel de cerdo

Pellet 1	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL
Muestra 1	3.0195	8
Muestra 2	2.9859	8.5
Muestra 3	3.0088	7
Muestra 4	3.0175	6.5

Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 2 para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

Tabla 34: Determinación de índice de peróxidos para pellet 2 para la producción de snacks de piel de cerdo

Pellet 2	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL
Muestra 1	3.0012	7.00
Muestra 2	2.9953	8.00
Muestra 3	2.9878	7.00
Muestra 4	3.1562	9.00

Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de piel de cerdo

Tabla 35: Determinación de porcentaje de grasa para pellet 1 para la producción de snacks de piel de cerdo

Pellet 1	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g
Muestra 1	5.0016	1.4719
Muestra 2	5.0125	1.4116
Muestra 3	5.0136	1.5188
Muestra 4	5.0045	1.4793

Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 2 para la producción de snacks de piel de cerdo.

Tabla 36: Determinación de porcentaje de grasa para pellet 2 para la producción de snacks de piel de cerdo

Pellet 2	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g
Muestra 1	5.0086	1.3853
Muestra 2	4.9989	1.3654
Muestra 3	4.9876	1.3875
Muestra 4	5.0136	1.4522

Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de snacks de piel de cerdo.

Tabla 37: Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de snacks de piel de cerdo

Pellet 1	Porcentaje de Humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	13.46%
Muestra 2	13.94%
Muestra 3	13.56%
Muestra 4	13.86%

Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 2 para la producción de snacks de piel de cerdo.

Tabla 38: Determinación de porcentaje de humedad para pellet 2 para la producción de snacks de piel de cerdo

Pellet 2	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	5.68%
Muestra 2	3.98%
Muestra 3	4.56%
Muestra 4	4.23%

14.2.1.2. *Snacks* de tipo nueces

Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 39: Determinación de índice de peróxidos para tipo de pellet 1 para la producción de snacks de tipo nueces.

Pellet 1	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL
Muestra 1	3.0026	2.00
Muestra 2	3.0102	2.50
Muestra 3	2.9986	2.00
Muestra 4	3.0176	1.50

Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 2 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 40: Determinación de índice de peróxidos para tipo de pellet 2 para la producción de snacks de tipo nueces

Pellet 2	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL
Muestra 1	2.9899	3.0
Muestra 2	3.0001	2.0
Muestra 3	3.0023	3.0
Muestra 4	3.0086	3.0

Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 41: Determinación porcentaje de grasa para pellet 1 para la producción de snacks de tipo nueces

Pellet 1	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g
Muestra 1	5.0013	1.3589
Muestra 2	5.0008	1.3261
Muestra 3	5.0003	1.2645
Muestra 4	5.0012	1.2483

Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 2 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 42: Determinación de porcentaje de grasa para pellet 2 para la producción de tipo de nueces

Pellet 2	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g
Muestra 1	5.0002	1.2596
Muestra 2	5.0015	1.4612
Muestra 3	5.0008	1.3205
Muestra 4	5.0016	1.2445

Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 43: Determinación del porcentaje de humedad para pellet 1 para la producción de tipo nueces

Pellet 1	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	13.79%
Muestra 2	13.86%
Muestra 3	13.72%
Muestra 4	13.70%

Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 44: Determinación del porcentaje de humedad para pellet 2 para la producción de snack tipo nueces

Pellet 2	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	14.12%
Muestra 2	13.77%
Muestra 3	14.03%
Muestra 4	13.75%

14.2.1.3. *Snacks* de fritura de maíz

Determinación de porcentaje de humedad para la masa de los *snacks* de tipo de fritura de maíz.

Tabla 45: Determinación de porcentaje de humedad para la masa de snacks de tipo de fritura de maíz

Masa de maíz	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	8.86%
Muestra 2	8.89%
Muestra 3	8.75%
Muestra 4	8.73%
Muestra 5	8.97%
Muestra 6	8.23%
Muestra 7	8.86%

Determinación de porcentaje de humedad para el horneado de los *snacks* de tipo de fritura de maíz.

Tabla 46: Determinación de porcentaje de humedad para los pellets de snack de fritura de maíz para el proceso de horneado

Horneado	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	3.59%
Muestra 2	3.49%
Muestra 3	3.95%
Muestra 4	3.73%
Muestra 5	3.75%
Muestra 6	3.68%
Muestra 7	3.67%

Determinación de porcentaje de humedad para el enfriamiento de los *snacks* de tipo de fritura de maíz previo a proceso de fritura.

Tabla 47: Determinación de porcentaje de humedad para los pellets de snack de fritura de maíz para el proceso de enfriamiento previo a fritura

Enfriamiento previo a fritura	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	39.01%
Muestra 2	39.03%
Muestra 3	38.75%
Muestra 4	38.65%
Muestra 5	38.99%
Muestra 6	39.15%
Muestra 7	39.26%

14.2.1.4. Aceite nuevo de frituras

Determinación de concentración de compuestos polares totales del aceite nuevo de fritura.

Tabla 48: Determinación de concentración de compuestos polares para aceite nuevo de fritura

Aceite	Porcentaje TPM (± 0.5)
Muestra 1	6.5
Muestra 2	6.0
Muestra 3	6.5
Muestra 4	6.0
Muestra 5	6.0
Muestra 6	6.0

Determinación de ácidos grasos libres en muestra de aceite nuevo de fritura.

Tabla 49: Determinación de ácidos grasos libres para el aceite nuevo de fritura

Aceite	Volumen de muestra (± 0.5) mL	Volumen de NaOH (± 0.05) mL
Muestra 1	3	3.3
Muestra 2	3	3.2
Muestra 3	3	3.4
Muestra 4	3	3.5

Determinación de índice de peróxido del aceite nuevo de fritura.

Tabla 50: Determinación de índice de peróxidos para el aceite nuevo para fritura

Aceite	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL
Muestra 1	10.0126	2.00
Muestra 2	10.0264	1.00
Muestra 3	9.9873	1.50
Muestra 4	10.1263	1.00

Determinación de densidad de aceite nuevo de fritura.

Tabla 51: Determinación de densidad en aceite nuevo de fritura

Aceite 40°C	Peso muestra + picnómetro (±0.0001) g	Peso muestra (±0.0001) g	Volumen de muestra (±0.01) mL
Muestra 1	36.8514	22.3250	25
Muestra 2	36.8738	22.1256	25
Muestra 3	36.8492	22.1255	25
Muestra 4	36.8962	22.3750	25
Muestra 5	36.9519	22.2255	25

Determinación de viscosidad de aceite nuevo de fritura.

Tabla 52: Determinación de viscosidad de aceite nuevo de fritura

Aceite 40°C	Factor viscosímetro (mm ² /s ²)	Tiempo de análisis (±0.05) s
Muestra 1	0.25	224.3
Muestra 2	0.25	236.12
Muestra 3	0.25	222.64
Muestra 4	0.25	225.63
Muestra 5	0.25	239.15

14.2.2. Análisis técnico de equipos y proceso de producción de *snacks*

Se realizó un análisis técnico en donde se determinaron los factores importantes para cada línea de producción de los productos a analizar. Se midió también la concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres en el aceite de fritura utilizado para dichas líneas de producción.

Descripción y condiciones del proceso para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

Factores	Valor	Observaciones
Tiempo de producción (h)	12.0	Se tuvo un paro por cambio de aceite 3.5 h
Temperatura de fritura (°C)	185.0	Temperatura constante en todo el proceso
Velocidad de banda inicial (Hz)	8.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda final (Hz)	25.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda de alimentación (Hz)	22.0	Velocidad constante en todo el proceso
Flujo másico de alimentación (kg/h)	250.0	
Aceite de fritura utilizado (kg)	2164.0	6% TPM inicial, 0.03 acidez
Materia prima utilizada (kg)	2125.0	Producto terminado
Sólidos y finos (kg)	113.0	Sólidos y finos recolectados en freidor
Producto frito producido (kg)	2012.0	

Medición de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres en el aceite de fritura para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

t	TPM 1	Acidez 1	TPM 2	Acidez 2	TPM 3	Acidez 3
0	6	0.035	6.5	0.033	6	0.03
3	6.5	0.095	7.5	0.098	7.5	0.097
5	7.5	0.153	8	0.147	8	0.194
7.5	8.5	0.213	9.5	0.243	9.5	0.226
8	9	0.364	9.5	0.329	9	0.343
9	9.5	0.452	10	0.436	10	0.428
10	10	0.476	11	0.462	11	0.481
11	13	0.542	13.5	0.536	13	0.524
11.67	14	0.615	14	0.605	14	0.61

Descripción y condiciones del proceso para la producción de *snacks* tipo nueces.

Factores	Valor	Observaciones
Tiempo de producción (h)	29.0	Se tuvo paros por aceite que llegó a su vida útil permitida
Temperatura de fritura (°C)	185.0	Temperatura constante en todo el proceso
Velocidad de banda inicial (Hz)	11.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda final (Hz)	31.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda de alimentación (Hz)	15.0	Velocidad constante en todo el proceso
Flujo másico de alimentación (kg/h)	300.0	
Aceite de fritura utilizado (kg)	2116.5	6% TPM inicial, 0.03 acidez
Materia prima utilizada (kg)	7950.0	Producto terminado
Sólidos y finos (kg)	110.0	Sólidos y finos recolectados en freidor
Producto frito producido (kg)	7840.0	

Medición de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres en el aceite de fritura para la producción de *snacks* tipo nueces.

t	TPM 1	Acidez 1	TPM 2	Acidez 2	TPM 3	Acidez 3
0	5.5	0.05	5.5	0.05	5.5	0.05
8	8	0.21	8.5	0.2	8	0.21
11	10.5	0.3	10.5	0.31	11	0.32
12	11.5	0.33	12	0.35	11.5	0.36
13	12	0.37	12.5	0.35	12	0.37
14	12.5	0.43	12.5	0.4	12.5	0.42
20.5	13	0.49	13	0.47	13	0.48
22.5	13	0.5	13	0.49	13.5	0.5
23.5	13.5	0.51	13	0.53	13	0.52
24.5	14	0.52	14	0.55	14	0.53
26.5	14	0.54	14	0.54	14	0.54
27.5	14	0.58	14	0.56	13.5	0.57
28.5	13	0.56	14	0.58	13.5	0.57
29	14	0.58	14	0.58	14	0.58

Descripción y condiciones del proceso para la producción de *snacks* de fritura de maíz.

Factores	Valor	Observaciones
Tiempo de producción (h)	24.0	Se tuvo paros por aceite que llegó a su vida útil permitida
Temperatura de fritura (°C)	185.0	Temperatura constante en todo el proceso
Velocidad de banda inicial (Hz)	17.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda final (Hz)	38.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda de alimentación (Hz)	47.0	Velocidad constante en todo el proceso
Flujo másico de alimentación (kg/h)	450.0	
Aceite de fritura utilizado (kg)	2264.0	6% TPM inicial, 0.03 acidez
Materia prima utilizada (kg)	15018.8	Producto terminado
Sólidos y finos (kg)	470.8	Sólidos y finos recolectados en freidor
Producto frito producido (kg)	14548.0	

Medición de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres en el aceite de fritura para la producción de *snacks* de fritura de maíz.

t	TPM 1	Acidez 1	TPM 2	Acidez 2	TPM 3	Acidez 3
0	5.5	0.05	5.5	0.05	5.5	0.05
8	7	0.125	7.5	0.127	7.5	0.116
11	8.5	0.175	8	0.186	8	0.182
14	9	0.213	9.5	0.35	9.5	0.36
15	10	0.26	10.5	0.28	10	0.25
16	10	0.28	10.5	0.25	10	0.27
17	10.5	0.31	11	0.26	11	0.27
18	11	0.28	11	0.31	10.5	0.25
19	10.5	0.29	11	0.25	10.5	0.28
20	10.5	0.3	10.5	0.26	11	0.28
21	11	0.28	11.5	0.32	11	0.3
22	12.5	0.39	12.5	0.35	13	0.37
23	12	0.42	12.5	0.41	13	0.41
24	12.5	0.43	13	0.45	13	0.49

14.2.3. Propuestas realizadas

Se realizaron cambios en el flujo volumétrico de alimentación para aumentar la tasa de recambio de modo de mejorar la productividad de la producción del producto que se está analizando y también se realizó una caracterización de dicho producto para evaluar si aún se cumplía con los estándares permitidos por la empresa.

14.2.3.1. *Snacks* de piel de cerdo

Descripción y condiciones del proceso para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

Factores	Valor	Observaciones
Tiempo de producción (h)	13.5	Se tuvo un paro por cambio de turno de 0.83 h
Temperatura de fritura (°C)	185.0	Temperatura constante en todo el proceso
Velocidad de banda inicial (Hz)	8.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda final (Hz)	25.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda de alimentación (Hz)	22.0	Velocidad constante en todo el proceso
Flujo másico de alimentación (kg/h)	275.0	
Aceite de fritura utilizado (kg)	1854.0	6% TPM inicial, 0.03 acidez
Materia prima utilizada (kg)	3712.5	Producto terminado
Sólidos y finos (kg)	113.5	Sólidos y finos recolectados en freidor
Producto frito producido (kg)	3599.0	

Medición de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres en el aceite de fritura para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

t	TPM 1	Acidez 1	TPM 2	Acidez 2	TPM 3	Acidez 3
0	6	0.035	6.5	0.033	6	0.03
7.5	8	0.27	8.5	0.256	8.5	0.234
8.5	9	0.45	9.5	0.462	9	0.443
11	13	0.54	13.5	0.537	13	0.554
11.5	14	0.612	14	0.605	14.5	0.617
12.5	15.5	0.648	15.5	0.632	16	0.649
12.75	16	0.672	16.5	0.661	16.5	0.678
13.33	18	0.675	17.5	0.681	18	0.672
13.5	19	0.684	19	0.686	18.5	0.692

Determinación de índice de peróxidos para los *snacks* de piel de cerdo producidos.

Tabla 53: Determinación de índice de peróxidos para los snacks de piel de cerdo

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL
Muestra 1	3.0015	0.7
Muestra 2	3.0012	0.7
Muestra 3	3.0005	0.8
Muestra 4	2.9998	0.9

Determinación de porcentaje de grasa para los *snacks* de piel de cerdo producidos.

Tabla 54: Determinación de porcentaje de grasa para los snacks de piel de cerdo

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g
Muestra 1	5.0005	1.5213
Muestra 2	5.0012	1.6423
Muestra 3	5.0016	1.5188
Muestra 4	5.0001	1.6513

Determinación porcentaje de humedad para los *snacks* de piel de cerdo producidos.

Tabla 55: Determinación de porcentaje de humedad para snacks de piel de cerdo

Pellet 1	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	0.52%
Muestra 2	0.57%
Muestra 3	0.66%
Muestra 4	0.52%

Análisis sensorial de producto terminado en cabina a temperatura de 24°C.

Cabina 1 (24°C)					
Días en vida de anaquel	Aroma	Color	Apariencia	Textura	Sabor
60	5	4	5	4	5
127	5	4.5	5	4.5	5

Análisis sensorial de producto terminado en cabina a temperatura de 38°C.

Cabina 2 (38°C)					
Días en vida de anaquel	Aroma	Color	Apariencia	Textura	Sabor
60	5	4	5	4	5
127	5	4.5	5	4.5	5

14.2.3.2. *Snacks* de tipo nueces

Descripción y condiciones del proceso para la producción de *snacks* de tipo nueces

Factores	Valor	Observaciones
Tiempo de producción (h)	43.5	Se tuvo paros por aceite que llegó a su vida útil permitida
Temperatura de fritura (°C)	185.0	Temperatura constante en todo el proceso
Velocidad de banda inicial (Hz)	11.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda final (Hz)	31.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda de alimentación (Hz)	15.0	Velocidad constante en todo el proceso
Flujo másico de alimentación (kg/h)	350.0	
Aceite de fritura utilizado (kg)	2350.0	6% TPM inicial, 0.03 acidez
Materia prima utilizada (kg)	15225.0	Producto terminado
Sólidos y finos (kg)	105.7	Sólidos y finos recolectados en freidor
Producto frito producido (kg)	15119.3	

Medición de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres en el aceite de fritura para la producción de *snacks* de tipo nueces.

t	TPM 1	Acidez 1	TPM 2	Acidez 2	TPM 3	Acidez 3
0	6.5	0.036	6.5	0.038	6	0.05
5	7	0.21	7	0.22	7.5	0.21
9.5	7.5	0.27	7.5	0.245	8	0.283
10.5	8.5	0.32	8.5	0.302	9	0.315
12.5	9.5	0.39	9	0.35	9.5	0.37
14	10	0.42	9.5	0.4	10	0.439
24.75	14	0.64	14.5	0.683	14	0.643
27.33	10	0.46	10	0.49	10	0.5
28.67	10	0.52	10	0.53	10	0.52
30.25	11	0.56	11	0.55	11	0.53
31.5	12	0.66	12.5	0.675	13	0.651
33	13	0.43	13	0.428	13.5	0.434
40	14.5	0.49	14	0.512	14.5	0.503
43.33	15	0.56	14.5	0.58	15	0.57
44.5	15.5	0.61	15	0.624	15.5	0.625
45.5	16	0.63	16	0.624	15.5	0.643

Determinación de índice de peróxidos para los *snacks* de tipo nueces producidos.

Tabla 56: Determinación de índice de peróxidos para los snacks tipo nueces

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL
Muestra 1	3.0011	0.50
Muestra 2	3.0013	0.60
Muestra 3	3.0001	0.50
Muestra 4	3.0005	0.60

Determinación de porcentaje de grasa para los *snacks* de tipo nueces producidos.

Tabla 57: Determinación de porcentaje de grasa para los snacks de tipo nueces

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g
Muestra 1	5.0016	1.9562
Muestra 2	5.0001	1.9435
Muestra 3	5.0008	1.9645
Muestra 4	5.0005	1.9546

Determinación porcentaje de humedad para los *snacks* de tipo nueces producidos.

Tabla 58: Determinación de porcentaje de humedad para *snacks* de tipo nueces

	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	1.89%
Muestra 2	1.95%
Muestra 3	1.93%
Muestra 4	1.91%

Análisis sensorial de producto terminado en cabina a temperatura de 24°C.

Cabina 1 (24°C)					
Días en vida de anaquel	Aroma	Color	Apariencia	Textura	Sabor
60	4	4	5	5	3
127	5	5	5	5	5

Análisis sensorial de producto terminado en cabina a temperatura de 38°C.

Cabina 2 (38°C)					
Días en vida de anaquel	Aroma	Color	Apariencia	Textura	Sabor
60	4	4	5	5	3
127	5	5	5	5	5

14.2.3.3. Snacks de fritura de maíz

Descripción y condiciones del proceso para la producción de *snacks* de fritura de maíz

Factores	Valor	Observaciones
Tiempo de producción (h)	46.8	Se tuvo paros por aceite que llegó a su vida útil permitida
Temperatura de fritura (°C)	185.0	Temperatura constante en todo el proceso
Velocidad de banda inicial (Hz)	17.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda final (Hz)	38.0	Velocidad constante en todo el proceso
Velocidad de banda de alimentación (Hz)	47.0	Velocidad constante en todo el proceso
Flujo másico de alimentación (kg/h)	550.0	
Aceite de fritura utilizado (kg)	6750.0	6% TPM inicial, 0.03 acidez
Materia prima utilizada (kg)	25712.5	Producto terminado
Sólidos y finos (kg)	105.7	Sólidos y finos recolectados en freidor
Producto frito producido (kg)	25606.8	

Medición de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres en el aceite de fritura para la producción de *snacks* de fritura de maíz.

t	TPM 1	Acidez 1	TPM 2	Acidez 2	TPM 3	Acidez 3
0	6	0.03	6	0.031	6	0.003
1	6	0.135	6.5	0.127	6	0.132
4.12	8	0.145	8	0.138	8	0.142
11.92	8.5	0.225	8.5	0.235	8.5	0.243
16.25	8.5	0.27	8.5	0.267	8.5	0.273
16.75	7.5	0.297	8	0.305	8	0.297
19.75	8	0.315	8.5	0.324	8.5	0.312
20.25	9	0.369	9	0.365	9	0.363
25.75	10	0.36	10	0.372	10	0.375
28.75	11.5	0.37	11.5	0.375	11.5	0.378
42.25	12	0.378	12.5	0.382	12	0.382
45.25	13	0.39	13.5	0.392	13.5	0.39
46.75	14.5	0.446	15	0.457	15	0.467

Determinación de índice de peróxidos para los *snacks* de fritura de maíz producidos.

Tabla 59: Determinación de índice de peróxidos para snacks de fritura de maíz

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL
Muestra 1	3.0046	0.50
Muestra 2	3.0012	0.50
Muestra 3	2.9989	0.40
Muestra 4	3.0145	0.60

Determinación de porcentaje de grasa para los *snacks* de fritura de maíz producidos.

Tabla 60: Determinación de porcentaje de grasa para snacks de fritura de maíz.

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g
Muestra 1	5.0035	1.3254
Muestra 2	5.0045	1.2956
Muestra 3	5.0012	1.2716
Muestra 4	5.0016	1.2803

Determinación porcentaje de humedad para los *snacks* de fritura de maíz producidos.

Tabla 61: Determinación de humedad para snacks de fritura de maíz

Pellet 1	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	0.76%
Muestra 2	0.79%
Muestra 3	0.72%
Muestra 4	0.81%

Análisis sensorial de producto terminado en cabina a temperatura de 24°C.

Cabina 1 (24°C)					
Días en vida de anaquel	Aroma	Color	Apariencia	Textura	Sabor
60	4	5	5	5	4
127	5	5	5	4	5

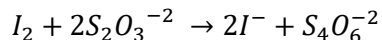
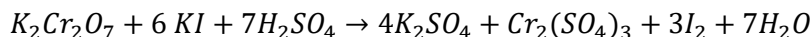
Análisis sensorial de producto terminado en cabina a temperatura de 38°C.

Cabina 2 (38°C)					
Días en vida de anaquel	Aroma	Color	Apariencia	Textura	Sabor
60	5	5	5	5	5
127	5	5	5	5	5

14.3. Cálculos de muestra

14.3.1. Estandarización de solución de tiosulfato de sodio 0.1 M

Se estandarizó una solución de tiosulfato 0.1 M utilizando yodometría por lo que la estandarización se compone de las siguientes reacciones



Por lo tanto, se logró calcular la concentración de la solución realizando la estequiometría correspondiente.

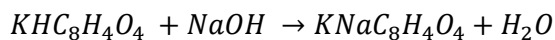
$$0.0632 \text{ g } K_2Cr_2O_7 \left(\frac{1 \text{ mol } K_2Cr_2O_7}{294.185 \text{ g } K_2Cr_2O_7} \right) \left(\frac{(3 \text{ mol } I_2)}{1 \text{ mol } K_2Cr_2O_7} \right) \left(\frac{2 \text{ mol } S_2O_3^{-2}}{1 \text{ mol } I_2} \right) = 0.00129 \text{ mol } S_2O_3^{-2}$$

$$\frac{(0.00129 \text{ mol } S_2O_3^{-2})}{12.60 \text{ mL } S_2O_3^{-2}} \left(\frac{1000 \text{ mL } S_2O_3^{-2}}{1 \text{ L } S_2O_3^{-2}} \right) = 0.105 \text{ M } S_2O_3^{-2}$$

De esta manera se realizaron los cálculos para las cuatro mediciones realizadas para calcular la concentración de la solución de tiosulfato.

14.3.2. Estandarización de solución de hidróxido de sodio 0.1 N

Se estandarizó una solución de hidróxido de sodio 0.1 N utilizando volumetría de neutralización que se compone de la siguiente reacción.



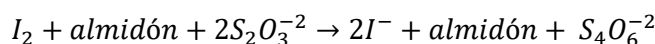
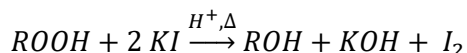
$$0.501 \text{ g } KHC_8H_4O_4 \left(\frac{1 \text{ mol } KHC_8H_4O_4}{204.22 \text{ g } KHC_8H_4O_4} \right) \left(\frac{1 \text{ mol } NaOH}{1 \text{ mol } KHC_8H_4O_4} \right) \left(\frac{1 \text{ eq}^+ NaOH}{1 \text{ mol } NaOH} \right) = 0.00245 \text{ eq}^+ NaOH$$

$$\frac{0.00245 \text{ eq}^+ NaOH}{11 \text{ mL } NaOH} \left(\frac{1000 \text{ mL } NaOH}{1 \text{ L } NaOH} \right) = 0.095 \text{ N } NaOH$$

De esta manera se realizaron los cálculos para las cuatro mediciones realizadas para calcular la concentración de la solución de hidróxido de sodio.

14.3.3. Determinación de índice de peróxidos en materia prima y producto terminado analizado.

Se determinó el índice de peróxidos en la materia prima para el proceso de fritura y para el producto terminado luego de hacer los cambios propuestos. Este cálculo se realizó utilizando yodometría, el cual se comporta con las siguientes reacciones.



Por lo tanto, al realizar la estequiometría correspondiente para la determinación de la cantidad de peróxidos correspondientes, es posible obtener esta ecuación.

$$IP = \frac{(V - V')N * 1000}{m}$$

$$IP = \frac{(2 \text{ mL } S_2O_3^{2-})(0.1 \text{ M } S_2O_3^{2-}) * 1000}{(10.0126 \text{ g muestra})} \left(\frac{1000 \text{ g muestra}}{1 \text{ kg muestra}} \right) = 0.20 \frac{\text{meq}^+ O_2^{-2}}{\text{kg muestra}}$$

De esta manera se realizaron los cálculos para las cuatro mediciones realizadas para calcular el índice de peróxido para la materia prima de fritura, el aceite nuevo de fritura y el producto terminado luego de realizar los cambios.

14.3.4. Determinación de porcentaje de grasa en materia prima y producto terminado analizado.

Se determinó el porcentaje de grasa en los pellets como materia prima de fritura y en el producto terminado de la siguiente manera.

$$\frac{\text{Peso de aceite extraído}}{\text{peso de muestra}} * 100 = \text{Porcentaje de grasa}$$

$$\frac{1.3853 \text{ g de aceite en muestra}}{5.0086 \text{ g de muestra}} * 100 = 27.66\% \text{ de grasa en muestra}$$

De esta manera se realizaron los cálculos para las cuatro mediciones realizadas para calcular el porcentaje de grasa para los pellets como materia prima y producto terminado.

14.3.5. Determinación de densidad de aceite de palma para fritura

Se determinó la densidad del aceite de palma para fritura a una temperatura de 40° utilizando un picnómetro de 25 mL, por lo tanto, se realizó el cálculo de la siguiente manera

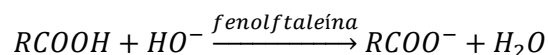
$$\rho = \frac{\text{peso de muestra}}{\text{volumen de muestra}}$$

$$\rho = \frac{22.3250 \text{ g muestra}}{25 \text{ mL muestra}} = 0.893 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

De esta manera se realizaron los cálculos para las cuatro mediciones realizadas para calcular la densidad del aceite de fritura a 40°. El promedio de dichas mediciones fue de 0.889 g/mL

14.3.6. Determinación de ácidos grasos libres en aceite de palma para fritura.

Se determinó los ácidos grasos libres en el aceite de fritura utilizando volumetría de neutralización, en donde la reacción que describe el método es la siguiente



Con la estequiometría correspondiente de forma simplificada, se logra obtener la siguiente ecuación para la determinación de los ácidos grasos libres en la muestra. Tomando en cuenta el peso molecular del aceite de palma promedio de 256.4 g/mol y la densidad del aceite de palma calculada del inciso anterior de 0.889 g/mL.

$$\%agl = \frac{(V - V')N * PM}{m} x 100$$

$$\%agl = \frac{(3.3 \text{ mL NaOH})(0.1 \text{ N NaOH}) * \left(256.4 \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}{\left(0.889 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 3 \text{ mL de muestra de aceite}\right)} x \frac{1 \text{ L NaOH}}{1000 \text{ mL NaOH}} x 100 = 0.031 \% agl$$

De esta manera se realizaron los cálculos para las cuatro mediciones realizadas para calcular la concentración de ácidos grasos libres en las muestras.

14.3.7. Determinación de viscosidad de aceite de palma para fritura

Se determinó la viscosidad utilizando un viscosímetro capilar del aceite de palma para fritura utilizando la siguiente ecuación. Tomando en cuenta que el factor del viscosímetro capilar es de $0.25 \text{ mm}^2/\text{s}^2$.

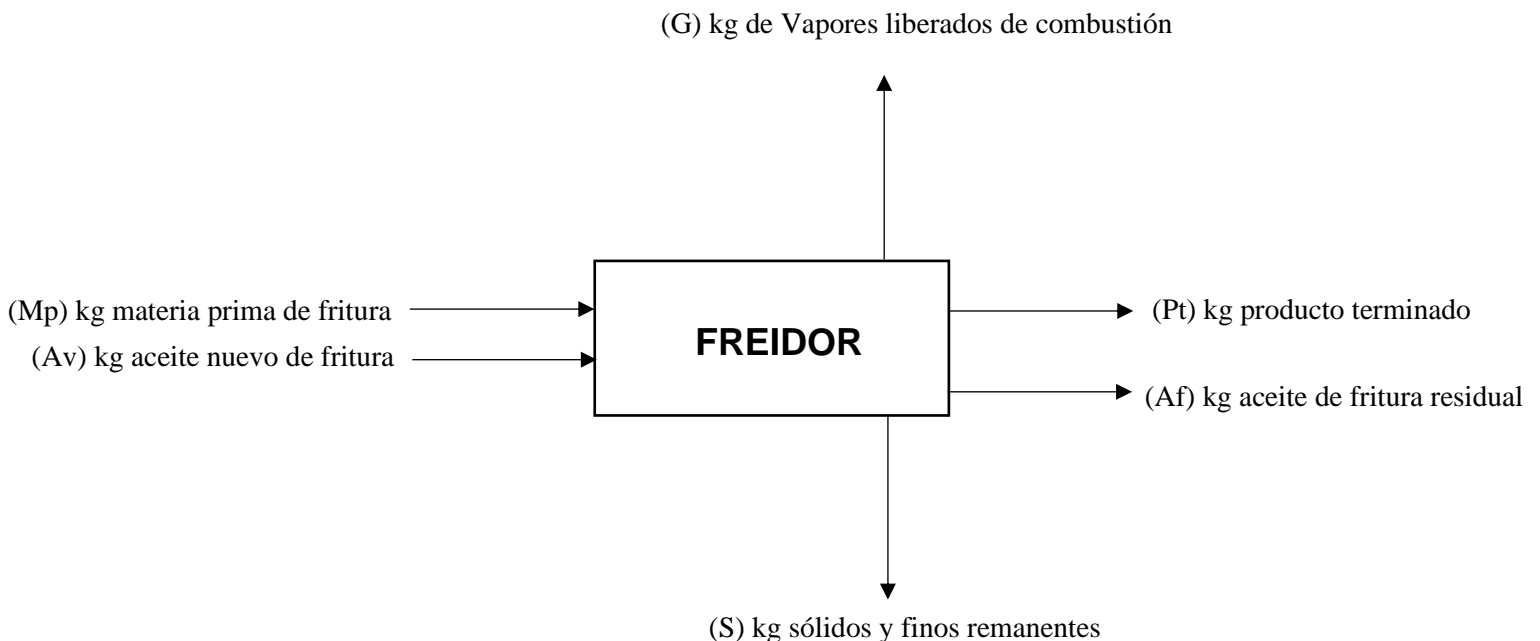
$$\mu = f * \text{tiempo para vaciar el capilar} * \rho \text{ del aceite}$$

$$\mu = \left(0.25 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}^2}\right) \left(\frac{1 \text{ m}^2}{1000 \text{ mm}^2}\right) (224.3 \text{ s}) \left(889 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(\frac{(1 \text{ cP})}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m s}}}\right) = 49.87 \text{ cP}$$

De esta manera se realizaron los cálculos para las cuatro mediciones realizadas para calcular la viscosidad del aceite de palma para fritura.

14.3.8. Balances de masa y energía

A continuación, se describe un diagrama de flujo del freidor al que se le hizo un balance de masa y energía para determinar la tasa de recambio del aceite de fritura, el consumo de combustible para calentar el aceite y realizar un análisis costo beneficio. El balance de masa y energía realizado describe de forma general el proceso de fritura para los tres productos analizados, ya que la diferencia para la producción de estos son las condiciones de operación.



Balance de masa general:

$$Mp + Av = G + Pt + Af + S$$

Los siguientes cálculos se realizaron para la producción de *snacks* de tipo nueces; sin embargo, se realizaron de la misma manera para los *snacks* de fritura de maíz y *snacks* piel de cerdo, realizando cambios en los valores de las variables dependiendo las condiciones para la producción de cada producto.

14.3.8.1. Determinación de proporción de materia prima seca

Tomando en cuenta una humedad de la materia prima del pellet de nueces de 13.77%.

$$\% \text{ materia prima seca} = (1 - \% \text{ humedad en mp})$$

$$\% \text{ materia prima seca} = (1 - 0.1377) = 86.23\%$$

14.3.8.2. Determinación de materia prima necesaria seca

Tomando en cuenta la cantidad de alimentación de los pellets para el *snack* de tipo maní de 15225 kg.

$$Mp \text{ seca} = Mp (\% \text{ materia prima seca})$$

$$Mp \text{ seca} = 15225 \text{ kg} (0.8623) = 13128.52 \text{ kg materia prima seca}$$

14.3.8.3. Determinación de producto terminado seco

Tomando en cuenta la cantidad de aceite contenida en el producto terminado que fue del 38% y una salida de 15193 kg de producto terminado.

$$Pt \text{ seco} = Pt (1 - \% \text{ grasa en producto terminado})$$

$$Pt \text{ seco} = (15193 \text{ kg})(1 - 0.38) = 9419.66 \text{ kg}$$

14.3.8.4. Determinación de aceite en sólidos y finos remanentes

Tomando en cuenta un porcentaje de aceite en sólidos y finos remanentes del 98% y una cantidad de sólidos y finos de 105.7 kg.

$$\text{Aceite en } S = 105.7 \text{ kg} (0.98\%) = 103.58 \text{ kg aceite}$$

14.3.8.5. Determinación de aceite en producto terminado

Tomando en cuenta un porcentaje de grasa en producto terminado del 38% por el porcentaje de grasa inicial que este tenía de este producto que es de 26%, se estimó un porcentaje de grasa para el producto terminado de 9.88% de absorción de aceite.

$$\text{Aceite en } Pt = (15193 \text{ kg}) (0.0988) = 1501.07 \text{ kg aceite en } Pt$$

14.3.8.6. Determinación de aceite residual

$$Af = Av - \text{Aceite en producto} - \text{Aceite en } S$$

$$Af = 2350 \text{ kg} - 1501.07 \text{ kg} - 103.58 \text{ kg} = 745.34 \text{ kg aceite residual}$$

14.3.8.7. Determinación de vapores liberados del proceso

Tomando en cuenta los flujos principales, se calculó los vapores liberados del proceso, que en su mayoría son gases de combustión por la oxidación del material orgánico del proceso y vapores de agua.

$$G = Mp + Av - Af - Pt - S$$

$$G = 15225 \text{ kg} + 2350 \text{ kg} - 745.34 \text{ kg} - 15193 \text{ kg} - 105.7 \text{ kg} = 1530.95 \text{ kg}$$

Balance de energía

14.3.8.8. Determinación de combustible necesario para el proceso de una corrida.

Masa de aceite por calentar: 2350 kg

Calor específico del aceite a 180°C: 2.6792 kJ/kg °C

Temperatura inicial: 25°C

Temperatura final: 180°C

Poder calorífico de combustible (Diésel): 4.50x10⁴ kJ/kg

$$Q = m_{aceite} C_{p\ aceite} (T_f - T_i)$$

$$Q = m_{combustible} PCC_{diésel}$$

$$m_{aceite} C_{p\ aceite} (T_f - T_i) = m_{combustible} PCC_{diésel}$$

$$m_{combustible} = \frac{m_{aceite} C_{p\ aceite} (T_f - T_i)}{PCC_{diésel}}$$

$$m_{combustible} = \frac{(2350\text{ kg}) \left(2.6792 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) (180^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})}{\left(4.50 \times 10^4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)} = 21.69\text{ kg por lote de producción}$$

14.3.9. Tasa de recambio

Se determinó la tasa de recambio para cada tipo de producto analizado antes y después de hacer los cambios propuestos con el fin de evaluar la utilización del aceite. Se utilizó el flujo másico de alimentación, la capacidad volumétrica de aceite del freidor, y la adsorción de aceite de cada producto.

$$t_{to} = \frac{m_{aceite}}{\dot{m}_{PT} * x_{aceite}}$$

$$t_{to} = \frac{(997\text{ kg aceite en freidor})}{\left(275 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) * (0.28)} = 12.98\text{ h para recambio de aceite}$$

De esta manera se realizaron los cálculos para las cuatro mediciones realizadas para calcular la tasa de recambio para cada producto analizado antes y después de realizar los cambios propuestos.

14.3.10. Análisis costo - beneficio

El análisis de costo - beneficio se realizó comparando la producción de los tres tipos de *snacks* analizados antes y después de realizar los cambios propuestos para evaluar los cambios realizados.

Costos de materia prima

- Precio de pellets de piel de cerdo: Q 148.83/kg
- Precio de pellets de nueces para fritura: Q77.30/kg
- Precio de harina de maíz para *snacks* de fritura de maíz: Q33.07/kg
- Aceite de palma para fritura Q98.88/kg

Costos de materia prima con método actual

- Cantidad utilizada de pellets de piel de cerdo: 2125 kg
- Cantidad utilizado de pellets de nueces para fritura: 7950 kg
- Cantidad de harina de maíz para *snacks* de fritura de maíz: 15018.8 kg
- Cantidad de aceite de palma para fritura: 6544.5 kg

Totales de costo de materia prima con método actual:

Costos de materia prima	Precio	Cantidad utilizada (kg)	Costo de MP
Pellets de piel de cerdo	Q148.83 por kg	2125	Q 316,263.75
Pellets de <i>snacks</i> tipo nueces	Q77.30 por kg	7950	Q 614,535.00
Harina de maíz para <i>snacks</i> de fritura de maíz	Q33.07 por kg	15018.8	Q 496,671.72
Aceite de palma para fritura	Q98.88 por kg	6544.5	Q 647,120.16
Total			Q 2,074,590.63

Costos de materia prima con método nuevo

- Cantidad utilizada de pellets de piel de cerdo: 3712.5 kg
- Cantidad utilizado de pellets de nueces para fritura: 15225 kg
- Cantidad de harina de maíz para *snacks* de fritura de maíz: 25712.5 kg
- Cantidad de aceite de palma para fritura: 10954.0 kg

Total de costos de materia prima con método nuevo:

Costos de materia prima	Precio		Cantidad utilizada (kg)	Costo de MP
Precio de pellets de piel de cerdo	Q148.83	por kg	3712.5	Q 552,531.38
Precio de pellets de nueces para fritura	Q77.30	por kg	15225	Q 1,176,892.50
Precio de maíz para <i>snacks</i> de fritura de maíz	Q33.07	por kg	25712.5	Q 850,312.38
Aceite de palma para fritura	Q98.88	por kg	10954	Q 1,083,131.52
Total				Q 3,662,867.77

Costos de mano de obra

Se tomó el salario mínimo según el sector industrial y las distintas prestaciones y bonificación otorgadas para el trabajador según el tiempo trabajado. De igual forma, solo se consideró el tiempo en el que se trabajó mientras se realizaba la producción de los tres productos analizados.

- Salario mínimo según el sector industrial: Q10.61/h

Método actual

Producto	Producción de <i>snacks</i> fritos de maíz		Producción de piel de cerdo		Producción de nueces	
Cantidad de operadores		10		7		3
Tiempo de operación (h)		12		24		29
Total	Q	1,273.20	Q	1,782.48	Q	923.07
aguinaldo (8.33%)	Q	106.06	Q	148.48	Q	76.89
Bono 14 (8.33%)	Q	106.06	Q	148.48	Q	76.89
Vacaciones (4.17%)	Q	53.09	Q	74.33	Q	38.49
IGGS (10.67%)	Q	135.85	Q	190.19	Q	98.49
IRTRA (1%)	Q	12.73	Q	17.82	Q	9.23
Indemnización (8.33%)	Q	106.06	Q	148.48	Q	76.89
Total	Q	1,793.05	Q	2,510.27	Q	1,299.96
Total de mano de obra					Q	5,603.27

Método nuevo

Producto	Producción de <i>snacks</i> fritos de maíz		Producción de piel de cerdo		Producción de nueces
Cantidad de operadores		10		7	3
Tiempo de operación (h)		46.75		13.5	43.5
Total	Q	4,960.18	Q	1,002.65	Q 1,384.61
aguinaldo (8.33%)	Q	413.18	Q	83.52	Q 115.34
Bono 14 (8.33%)	Q	413.18	Q	83.52	Q 115.34
Vacaciones (4.17%)	Q	206.84	Q	41.81	Q 57.74
IGGS (10.67%)	Q	529.25	Q	106.98	Q 147.74
IRTRA (1%)	Q	49.60	Q	10.03	Q 13.85
Indemnización (8.33%)	Q	413.18	Q	83.52	Q 115.34
Total	Q	6,985.41	Q	1,412.02	Q 1,949.94
Total de mano de obra					Q 10,347.38

Costos indirectos de operación

En los costos indirectos de operación se tomó en cuenta el combustible necesario para operar los freidores y el gasto por limpieza de estos. Se tienen establecidos en la empresa un costo aproximado de Q2500 en total cuando se hace el lavado de los freidores.

- Precio de Diésel para fechas de análisis Q32.00 por galón.
- Precio fijo de gasto por limpieza de freidores Q2500.00

Método actual

- Cantidad de combustible utilizado en *snacks* de piel de cerdo: 6.21 gal
- Cantidad de combustible utilizado en *snacks* de fritura de maíz: 64.73 gal
- Cantidad de combustible utilizado en *snacks* de tipo nueces: 6.07 gal

Precio de combustible	Q	32.00
Cantidad por utilizar (gal)		77.01
Costos de combustible	Q	2,464.21
Precio agua y jabón	Q	2,500.00
Precio método control calidad	Q	3500.00
<hr/>		
Total	Q	8,464.21

Método nuevo

- Cantidad de combustible utilizado en *snacks* de piel de cerdo: 5.14 gal
- Cantidad de combustible utilizado en *snacks* de fritura de maíz: 19.3 gal
- Cantidad de combustible utilizado en *snacks* de tipo nueces: 6.74 gal

Precio de combustible	Q	32.00
Cantidad por utilizar (gal)		31.18
Costos de combustible	Q	997.66
Precio agua y jabón	Q	2,500.00
Precio método control calidad	Q	5,000.00
<hr/>		
Total	Q	8,997.66

Producción y posibilidad de ventas

- Precio de venta unitario en presentaciones de 150 g
 - *Snacks* de piel de cerdo: Q25.15
 - *Snacks* de frituras de maíz: Q6.67
 - *Snacks* de tipo nueces: Q33.25

Método actual

Producto	Cantidad producida (kg)	Posibilidad de ventas	
<i>Snacks</i> de piel de cerdo	2012	Q	337,345.33
<i>Snacks</i> de frituras de maíz	14547.96	Q	646,899.29
<i>Snacks</i> de nueces	7840	Q	1,737,866.67
<hr/>			
Total		Q	2,722,111.29

Método nuevo

Producto	Cantidad producida (kg)	Posibilidad de ventas	
<i>Snacks</i> de piel de cerdo	3599	Q	603,432.33
<i>Snacks</i> de frituras de maíz	25606.8	Q	1,138,649.04
<i>Snacks</i> de nueces	15119.3	Q	3,351,444.83
Total		Q	5,093,526.21

Análisis de costo – beneficio comparando ambos métodos

Costos directos	Método actual		Método nuevo	
Costos de materia prima	Q	2,074,590.63	Q	3,662,867.77
Costos de mano de obra	Q	5,603.27	Q	10,347.38
Costos indirectos de operación	Q	8,464.21	Q	8,997.66
Oportunidad de ventas	Q	2,722,111.29	Q	5,093,526.21
Utilidad esperada	Q	633,453.18	Q	1,411,313.39

Determinación de ahorro utilizando el nuevo método

$$\% \text{ ahorro} = \left(\frac{\text{Método Nuevo}}{\text{Método Actual}} - 1 \right) * 100$$

$$\% \text{ ahorro} = \left(\frac{1411313.39}{633453.18} - 1 \right) * 100 = 123\%$$

Se puede demostrar que se obtuvo un beneficio de 123% con respecto el método anterior, ya que se aumentó la productividad, y a pesar de que se aumentaron los costos, no se vio afectado el ahorro.

14.4. Datos calculados

14.4.1. Caracterización de materia prima para fritura

Estandarización de solución de tiosulfato de sodio 0.1 M

Tabla 62: Estandarización de tiosulfato de sodio 0.1 M

	Masa K ₂ Cr ₂ O ₇ (± 0.0001) g	Volumen de Na ₂ S ₂ O ₃ (±0.05) mL	Normalidad de Na ₂ S ₂ O ₃	Δδ
Blanco		0.3		
Analito 1	0.0632	12.60	0.105	0.0004
Analito 2	0.0626	12.70	0.103	0.0004
Analito 3	0.0625	13.10	0.100	0.0004
Analito 4	0.0625	12.70	0.103	0.0004
Total			0.103	0.0022

Estandarización de solución de hidróxido de sodio 0.1 N

Tabla 63: Estandarización de solución de hidróxido de sodio 0.1 N

	Masa ftalato Potasio (± 0.0001) g	Volumen de NaOH (±0.05) mL	Normalidad de NaOH	Δδ
Blanco		0.1		
Analito 1	0.0501	11.00	0.095	0.0005
Analito 2	0.0510	10.50	0.102	0.0005
Analito 3	0.0499	10.90	0.096	0.0005
Analito 4	0.0503	10.60	0.100	0.0005
Total			0.098	0.0031

14.4.1.1. *Snacks* de piel de cerdo

Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

Tabla 64: Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 1 para snack de piel de cerdo

Pellet 1	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL	meq ⁺ O ₂ ²⁻ / kg muestra	$\Delta\delta$
Muestra 1	3.0195	8	26.14	0.58
Muestra 2	2.9859	8.5	28.15	0.62
Muestra 3	3.0088	7	22.83	0.51
Muestra 4	3.0175	6.5	21.06	0.48
Promedio			24.55	0.55

Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 2 para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

Tabla 65: Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 2 para snack de piel de cerdo

Pellet 2	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL	meq ⁺ O ₂ ²⁻ / kg muestra	$\Delta\delta$
Muestra 1	3.0012	7.00	22.89	0.51
Muestra 2	2.9953	8.00	26.35	0.58
Muestra 3	2.9878	7.00	22.99	0.51
Muestra 4	3.1562	9.00	28.26	0.62
Promedio			25.12	0.56

Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

Tabla 66: Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 1 para snack de piel de cerdo

Pellet 1	masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g	Porcentaje de Grasa	$\Delta\delta$
Muestra 1	5.0016	1.4719	29.43%	5.884E-06
Muestra 2	5.0125	1.4116	28.16%	5.618E-06
Muestra 3	5.0136	1.5188	30.29%	6.042E-06
Muestra 4	5.0045	1.4793	29.56%	5.907E-06
Promedio			29.36%	5.8627E-06

Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 2 para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

Tabla 67: Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 2 para snack de piel de cerdo

Pellet 2	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g	Porcentaje de grasa	$\Delta\delta$
Muestra 1	5.0086	1.3853	27.66%	5.522E-06
Muestra 2	4.9989	1.3654	27.31%	5.464E-06
Muestra 3	4.9876	1.3875	27.82%	5.578E-06
Muestra 4	5.0136	1.4522	28.97%	5.778E-06
Promedio			27.94%	5.5853E-06

Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

Tabla 68: Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de snacks de piel de cerdo

Pellet 1	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	13.46%
Muestra 2	13.94%
Muestra 3	13.56%
Muestra 4	13.86%
Promedio	13.71%

Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 2 para la producción de *snacks* de piel de cerdo.

Tabla 69: Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 2 para la producción de snacks de piel de cerdo

Pellet 2	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	5.68%
Muestra 2	3.98%
Muestra 3	4.56%
Muestra 4	4.23%
Promedio	4.61%

14.4.1.2. *Snacks* de tipo nueces

Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 70: Determinación de índice de peróxido para tipo pellet 1 para producción de snacks tipo nueces

Pellet 1	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL	meq ⁺ O ₂ ²⁻ / kg muestra	$\Delta\delta$
Muestra 1	3.0026	2.00	6.49	0.21
Muestra 2	3.0102	2.50	8.17	0.24
Muestra 3	2.9986	2.00	6.50	0.21
Muestra 4	3.0176	1.50	4.76	0.19
Promedio			6.48	0.21

Determinación de índice de peróxido para el tipo de pellet 2 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 71: Determinación de índice de peróxido para tipo de pellet 2 para producción de snacks de tipo nueces

Pellet 2	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL	meq ⁺ O ₂ ²⁻ / kg muestra	$\Delta\delta$
Muestra 1	2.9899	3.0	9.94	0.27
Muestra 2	3.0001	2.0	6.49	0.21
Muestra 3	3.0023	3.0	9.90	0.27
Muestra 4	3.0086	3.0	9.88	0.27
Promedio			9.05	0.25

Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 72: Determinación de porcentaje de grasa de tipo de pellet 1 para la producción de snack de tipo nueces

Pellet 1	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g	Porcentaje de grasa	$\Delta\delta$
Muestra 1	5.0013	1.3589	27.17%	5.433E-06
Muestra 2	5.0008	1.3261	26.52%	5.303E-06
Muestra 3	5.0003	1.2645	25.29%	5.057E-06
Muestra 4	5.0012	1.2483	24.96%	4.991E-06
Promedio			25.98%	5.196E-06

Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 2 para la producción de *snacks* de tipo nueces

Tabla 73: Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 2 para la producción de snacks de tipo nueces.

Pellet 2	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g	Porcentaje de grasa	$\Delta\delta$
Muestra 1	5.0002	1.2596	25.19%	5.038E-06
Muestra 2	5.0015	1.4612	29.22%	5.841E-06
Muestra 3	5.0008	1.3205	26.41%	5.280E-06
Muestra 4	5.0016	1.2445	24.88%	4.975E-06
Promedio			26.42%	5.284E-06

Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 74: Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 1 para la producción de snacks de tipo nueces.

Pellet 1	Porcentaje de Humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	13.79%
Muestra 2	13.86%
Muestra 3	13.72%
Muestra 4	13.70%
Promedio	13.77%

Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 2 para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 75: Determinación de porcentaje de humedad para el tipo de pellet 2 para la producción de snacks de tipo nueces

Pellet 2	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	14.12%
Muestra 2	13.77%
Muestra 3	14.03%
Muestra 4	13.75%
Promedio	13.92%

14.4.1.3. Snacks de fritura de maíz

Determinación de porcentaje de humedad para la masa de los *snacks* de tipo de fritura de maíz.

Tabla 76: Determinación de porcentaje de humedad para la masa de maíz para la producción de snacks de fritura de maíz

Masa de maíz	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	8.86%
Muestra 2	8.89%
Muestra 3	8.75%
Muestra 4	8.73%
Muestra 5	8.97%
Muestra 6	8.23%
Muestra 7	8.86%
Promedio	8.76%

Determinación de porcentaje de humedad para el horneado de los *snacks* de tipo de fritura de maíz.

Tabla 77: Determinación de porcentaje de humedad para el horneado de los snacks de tipo de fritura de maíz

Horneado	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	3.59%
Muestra 2	3.49%
Muestra 3	3.95%
Muestra 4	3.73%
Muestra 5	3.75%
Muestra 6	3.68%
Muestra 7	3.67%
Promedio	3.69%

Determinación de porcentaje de humedad para el enfriamiento de los *snacks* de tipo de fritura de maíz.

Tabla 78: Determinación de porcentaje de humedad para el enfriamiento previo a fritura.

Enfriamiento previo a fritura	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	39.01%
Muestra 2	39.03%
Muestra 3	38.75%
Muestra 4	38.65%
Muestra 5	38.99%
Muestra 6	39.15%
Muestra 7	39.26%
Promedio	38.98%

14.4.1.4. Aceite nuevo de frituras

Determinación de concentración de compuestos polares totales del aceite nuevo de fritura

Tabla 79: Determinación de concentración de compuestos polares totales del aceite nuevo de fritura

Aceite	Porcentaje TPM (± 0.5)
Muestra 1	6.5
Muestra 2	6.0
Muestra 3	6.5
Muestra 4	6.0
Muestra 5	6.0
Muestra 6	6.0
Promedio	6.2

Determinación de ácidos grasos libres en muestra de aceite nuevo de fritura

Tabla 80: Determinación de ácidos grasos libres en muestra de aceite nuevo de fritura

Aceite	Volumen de muestra (± 0.5) mL	Volumen de NaOH (± 0.05) mL	Índice de acidez	$\Delta\delta$
Muestra 1	3	3.3	0.031	8.12E-04
Muestra 2	3	3.2	0.030	7.96E-04
Muestra 3	3	3.4	0.032	8.29E-04
Muestra 4	3	3.5	0.033	8.45E-04
Promedio			0.032	1.22E-03

Determinación de índice de peróxido del aceite nuevo de fritura

Tabla 81: Determinación de índice de peróxido del aceite nuevo de fritura

Aceite	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL	$\text{meq}^+\text{O}_2^{2-}/\text{kg}$ muestra	$\Delta\delta$
Muestra 1	10.0126	2.00	0.20	0.01
Muestra 2	10.0264	1.00	0.10	0.01
Muestra 3	9.9873	1.50	0.15	0.01
Muestra 4	10.1263	1.00	0.10	0.01
Promedio			0.14	0.01

Determinación de densidad de aceite nuevo de fritura

Tabla 82: Determinación de densidad de aceite nuevo de fritura

Aceite 40°C	Peso muestra + picnómetro (±0.0001) g	Peso muestra (±0.0001) g	Volumen de muestra (±0.01) mL	Densidad (g/mL)	$\Delta\delta$
Muestra 1	36.8514	22.3250	25	0.893	3.57E-04
Muestra 2	36.8738	22.1256	25	0.885	3.54E-04
Muestra 3	36.8492	22.1255	25	0.885	3.54E-04
Muestra 4	36.8962	22.3750	25	0.895	3.58E-04
Muestra 5	36.9519	22.2255	25	0.889	3.56E-04
Promedio				0.889	4.55E-03

Determinación de viscosidad de aceite nuevo de fritura

Tabla 83: Determinación de viscosidad de aceite nuevo de fritura

Aceite 40°C	Factor viscosímetro (mm ² /s ²)	Tiempo de análisis (±0.05) s	Viscosidad (kg/ms)	Viscosidad (cP)	$\Delta\delta$
Muestra 1	0.25	224.3	0.04987382	49.87	0.26
Muestra 2	0.25	236.12	0.05250204	52.50	0.27
Muestra 3	0.25	222.64	0.04950472	49.50	0.25
Muestra 4	0.25	225.63	0.05016955	50.17	0.26
Muestra 5	0.25	239.15	0.05317577	53.18	0.27
Promedio				51.05	1.67

14.4.2. Análisis técnico del proceso y equipos para producción

Determinación de tasa de recambio para la producción de *snacks* de piel de cerdo para el método actual.

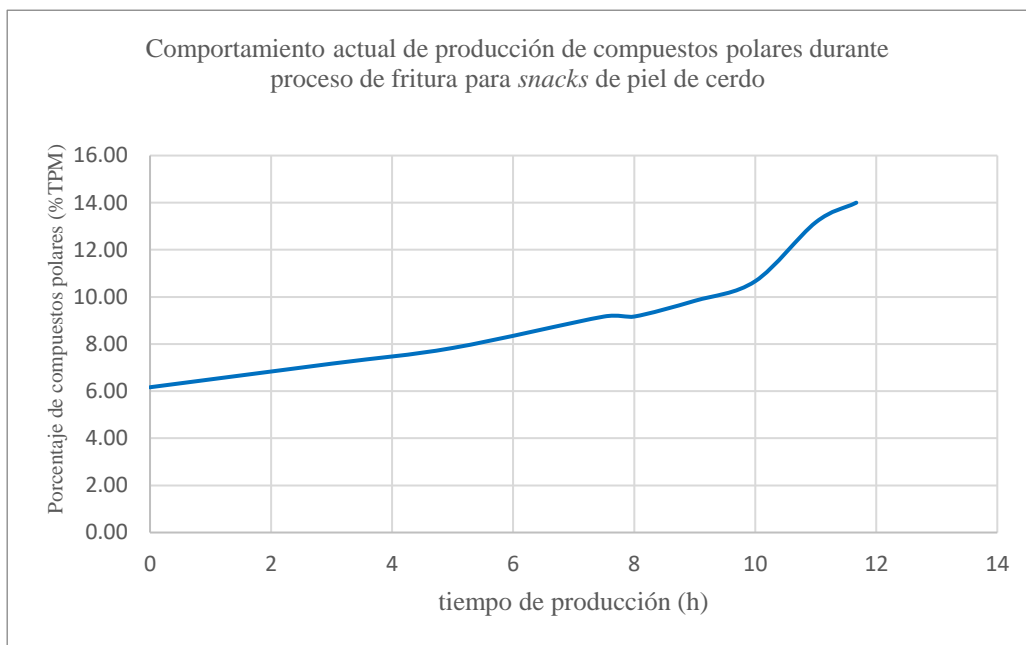
Capacidad alimentación (kg /h)	250.00
Capacidad freidor (kg aceite)	997.00
Absorción de grasa (kg aceite/kg materia)	0.28
Tasa de recambio (h)	14.27

Determinación de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres para la producción de *snacks* de piel de cerdo para el método actual.

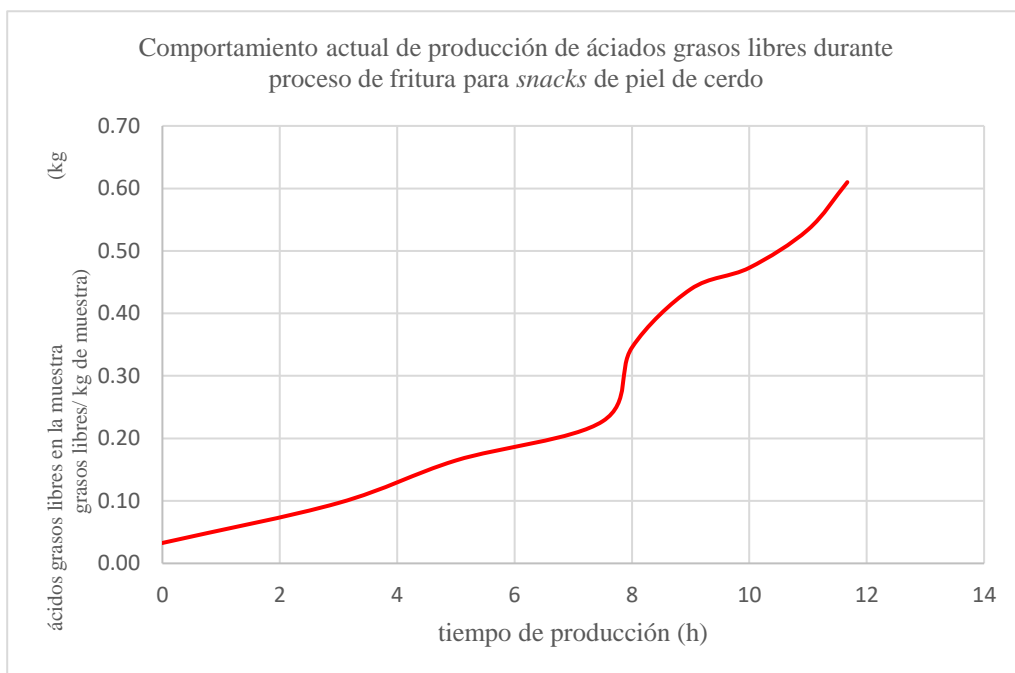
t	TPM	AGL
0	6.17	0.03
3	7.17	0.10
5	7.83	0.16
7.5	9.17	0.23
8	9.17	0.35
9	9.83	0.44
10	10.67	0.47
11	13.17	0.53
11.67	14.00	0.61

Comportamiento de degradación de aceite contra tiempo de producción de *snacks* de piel de cerdo para el método actual

Gráfica 5: Comportamiento de degradación de aceite como compuestos polares totales contra el tiempo de producción



Gráfica 6: Comportamiento de degradación de aceite como ácidos grasos libres contra el tiempo.



Determinación de tasa de recambio para la producción de *snacks* de tipo nueces el método actual.

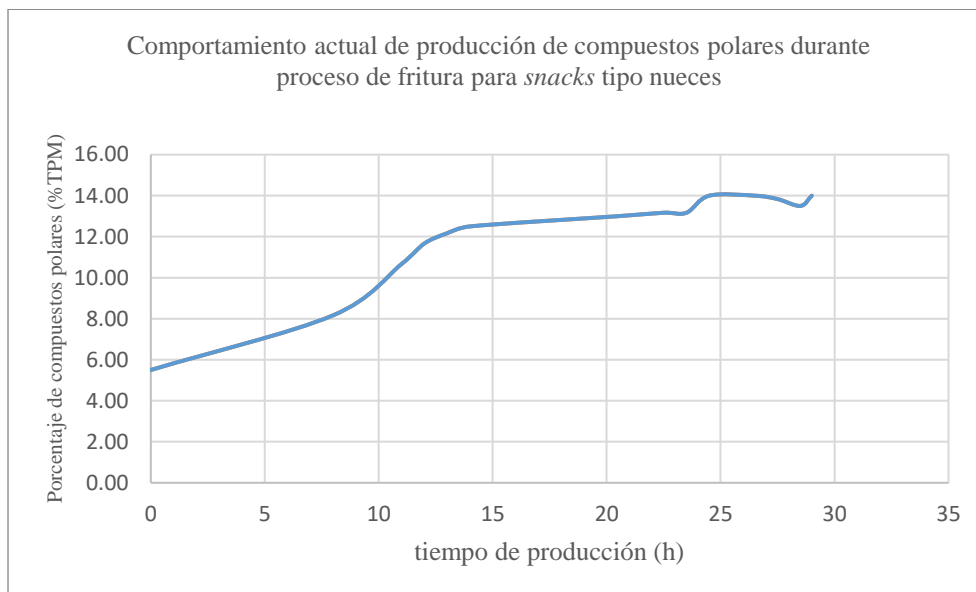
Capacidad alimentación (kg /h)	300.00
Capacidad freidor (kg aceite)	1090.00
Absorción de grasa (kg aceite/kg materia)	0.26
Tasa de recambio (h)	13.79

Determinación de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres para la producción de *snacks* de tipo de nueces para el método actual.

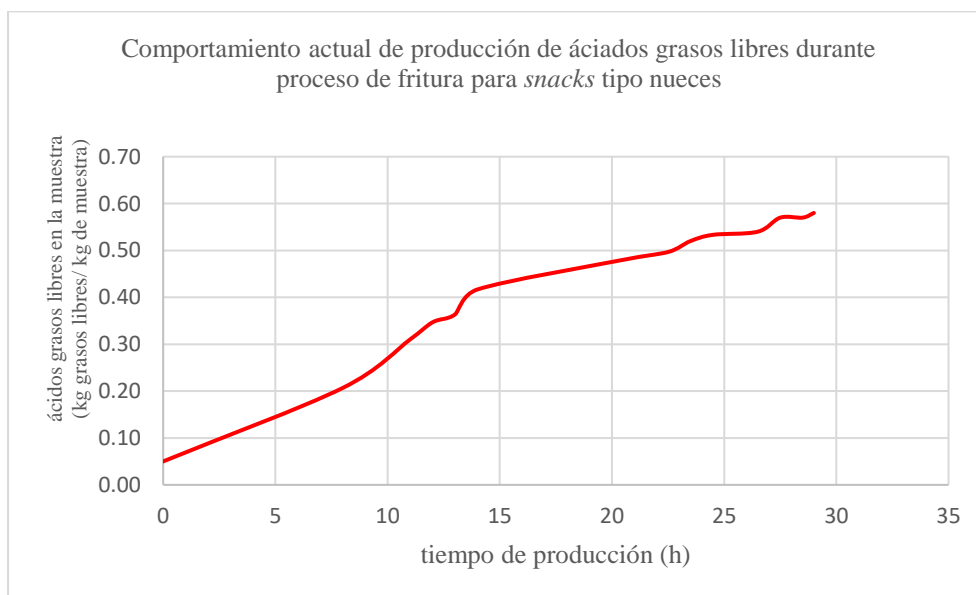
t	TPM	AGL
0	5.50	0.05
8	8.17	0.21
11	10.67	0.31
12	11.67	0.35
13	12.17	0.36
14	12.50	0.42
20.5	13.00	0.48
22.5	13.17	0.50
23.5	13.17	0.52
24.5	14.00	0.53
26.5	14.00	0.54
27.5	13.83	0.57
28.5	13.50	0.57
29	14.00	0.58

Comportamiento de degradación de aceite contra tiempo de producción de *snacks* de piel de cerdo para el método actual

Gráfica 7: Comportamiento de degradación de aceite como compuestos polares totales contra el tiempo de producción para *snacks* de tipo nueces



Gráfica 8: Comportamiento de degradación de aceite como ácidos grasos libres contra el tiempo de producción para *snacks* de tipo nueces



Determinación de tasa de recambio para la producción de *snacks* de fritura de maíz para el método actual.

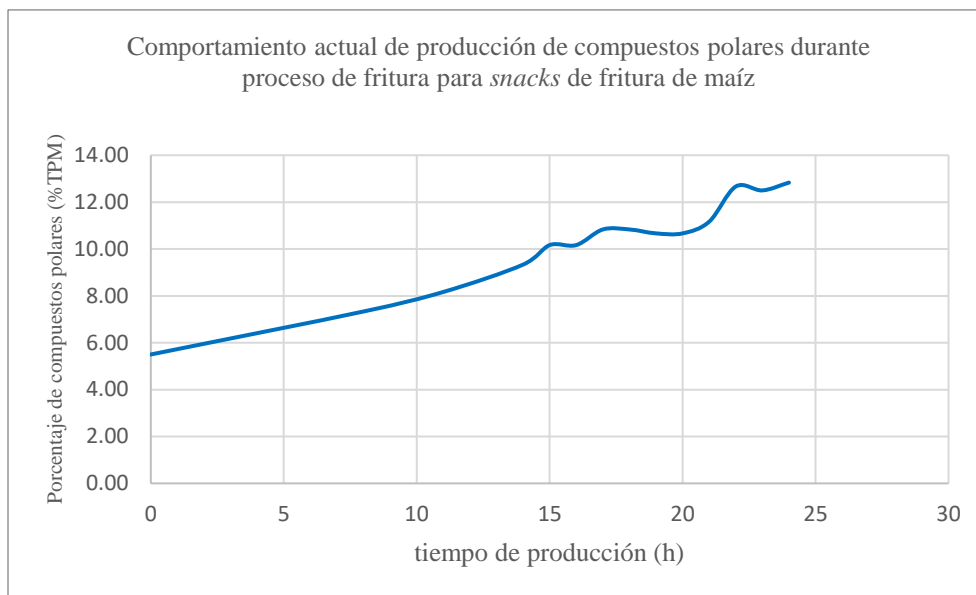
Capacidad alimentación (kg /h)	450.00
Capacidad freidor (kg aceite)	997.00
Absorción de grasa (kg aceite/kg materia)	0.25
Tasa de recambio (h)	8.86

Determinación de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres para la producción de *snacks* de fritura de maíz para el método actual.

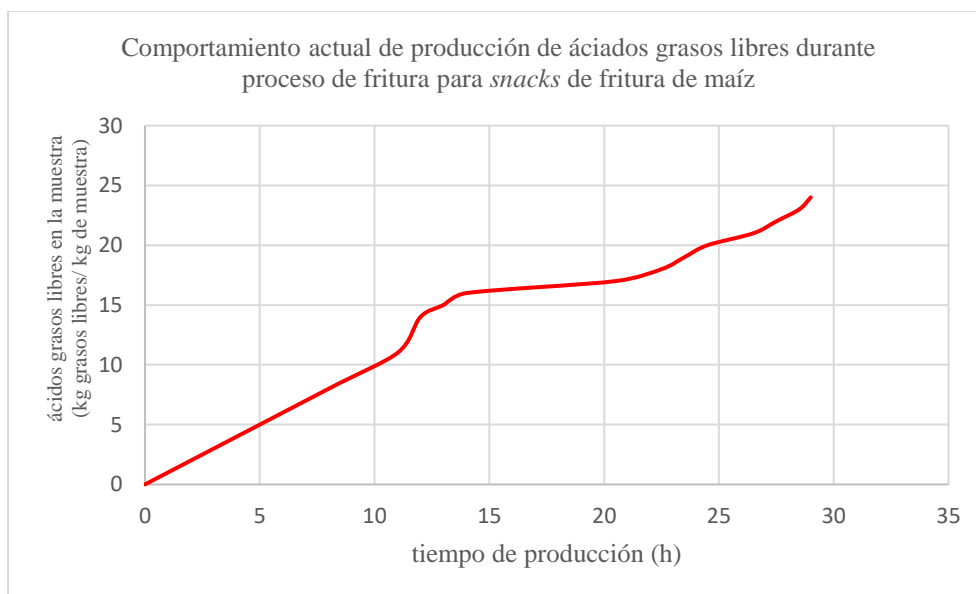
t	TPM	AGL
0	5.50	0.05
8	7.33	0.12
11	8.17	0.18
14	9.33	0.31
15	10.17	0.26
16	10.17	0.27
17	10.83	0.28
18	10.83	0.28
19	10.67	0.27
20	10.67	0.28
21	11.17	0.30
22	12.67	0.37
23	12.50	0.41
24	12.83	0.46

Comportamiento de degradación de aceite contra tiempo de producción de *snacks* de fritura de maíz para el método actual

Gráfica 9: Comportamiento de degradación de aceite como Compuestos Polares totales contra el tiempo de producción para *snacks* de fritura de maíz



Gráfica 10: Comportamiento de degradación de aceite como ácidos grasos libres contra el tiempo de producción para *snacks* de fritura de maíz



14.4.3. Análisis de los cambios propuestos

Determinación de índice de peróxido para la producción de *snacks* de piel de cerdo

Tabla 84: Determinación de índice de peróxido para la producción de snacks de piel de cerdo con los cambios propuestos

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL	meq ⁺ O ₂ ²⁻ / kg muestra	$\Delta\delta$
Muestra 1	3.0015	0.7	1.37	0.10
Muestra 2	3.0012	0.7	1.37	0.10
Muestra 3	3.0005	0.8	1.71	0.11
Muestra 4	2.9998	0.9	2.05	0.12
Promedio			1.62	0.11

Determinación de índice de peróxido para la producción de *snacks* de tipo nueces.

Tabla 85: Determinación de índice de peróxido para la producción de snacks de tipo nueces con los cambios propuestos

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL	meq ⁺ O ₂ ²⁻ / kg muestra	$\Delta\delta$
Muestra 1	3.0011	0.50	1.37	0.14
Muestra 2	3.0013	0.60	1.71	0.15
Muestra 3	3.0001	0.50	1.37	0.14
Muestra 4	3.0005	0.60	1.71	0.15
Promedio			1.54	0.14

Determinación de porcentaje de grasa para el tipo de pellet 1 para la producción de *snacks* de fritura de maíz

Tabla 86: Determinación de índice de peróxido para la producción de snacks de fritura de maíz con los cambios propuestos

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (± 0.05) mL	meq ⁺ O ₂ ²⁻ / kg muestra	$\Delta\delta$
Muestra 1	3.0046	0.50	1.36	0.14
Muestra 2	3.0012	0.50	1.37	0.14
Muestra 3	2.9989	0.40	1.03	0.13
Muestra 4	3.0145	0.60	1.70	0.15
Promedio			1.36	0.14

Determinación de porcentaje de grasa para la producción de *snacks* de piel de cerdo

Tabla 87: Determinación de porcentaje de grasa para la producción de snacks de piel de cerdo con los cambios propuestos

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g	Porcentaje de grasa	$\Delta\delta$
Muestra 1	5.0005	1.5213	30.42%	6.084E-06
Muestra 2	5.0012	1.6423	32.84%	6.566E-06
Muestra 3	5.0016	1.5188	30.37%	6.071E-06
Muestra 4	5.0001	1.6513	33.03%	6.605E-06
Promedio			31.66%	6.3315E-06

Determinación de porcentaje de grasa para la producción de *snacks* de tipo nueces

Tabla 88: Determinación de porcentaje de grasa para la producción de snacks de tipo nueces con los cambios propuestos

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g	Porcentaje de grasa	$\Delta\delta$
Muestra 1	5.0035	1.3254	26.49%	5.294E-06
Muestra 2	5.0045	1.2956	25.89%	5.173E-06
Muestra 3	5.0012	1.2716	25.43%	5.084E-06
Muestra 4	5.0016	1.2803	25.60%	5.118E-06
Promedio			25.85%	5.167E-06

Determinación de porcentaje de grasa para la producción de *snacks* de fritura de maíz

Tabla 89: Determinación de porcentaje de grasa para la producción de snacks de fritura de maíz con los cambios propuestos

	Masa de muestra (± 0.0001) g	Peso de aceite extraído (± 0.0001) g	Porcentaje de grasa	$\Delta\delta$
Muestra 1	5.0016	1.9562	39.11%	7.820E-06
Muestra 2	5.0001	1.9435	38.87%	7.774E-06
Muestra 3	5.0008	1.9645	39.28%	7.855E-06
Muestra 4	5.0005	1.9546	39.09%	7.817E-06
Promedio			39.09%	7.816E-06

Determinación de porcentaje de humedad para la producción de *snacks* de piel de cerdo

Tabla 90: Determinación de porcentaje de humedad para la producción de snacks de piel de cerdo con los cambios propuestos

	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	0.52%
Muestra 2	0.57%
Muestra 3	0.66%
Muestra 4	0.52%
Promedio	0.57%

Determinación de porcentaje de humedad para la producción de *snacks* de tipo nueces

Tabla 91: Determinación de porcentaje de humedad para la producción de snacks de tipo nueces con los cambios propuestos

	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	1.89%
Muestra 2	1.95%
Muestra 3	1.93%
Muestra 4	1.91%
Promedio	1.92%

Determinación de porcentaje de humedad para la producción de *snacks* de fritura de maíz.

Tabla 92: Determinación de porcentaje de humedad para la producción de snacks de fritura de maíz con los cambios propuestos

	Porcentaje de humedad (± 0.001) %M
Muestra 1	0.76%
Muestra 2	0.79%
Muestra 3	0.72%
Muestra 4	0.81%
Promedio	0.77%

Determinación de tasa de recambio para la producción de *snacks* de piel de cerdo con los cambios propuestos

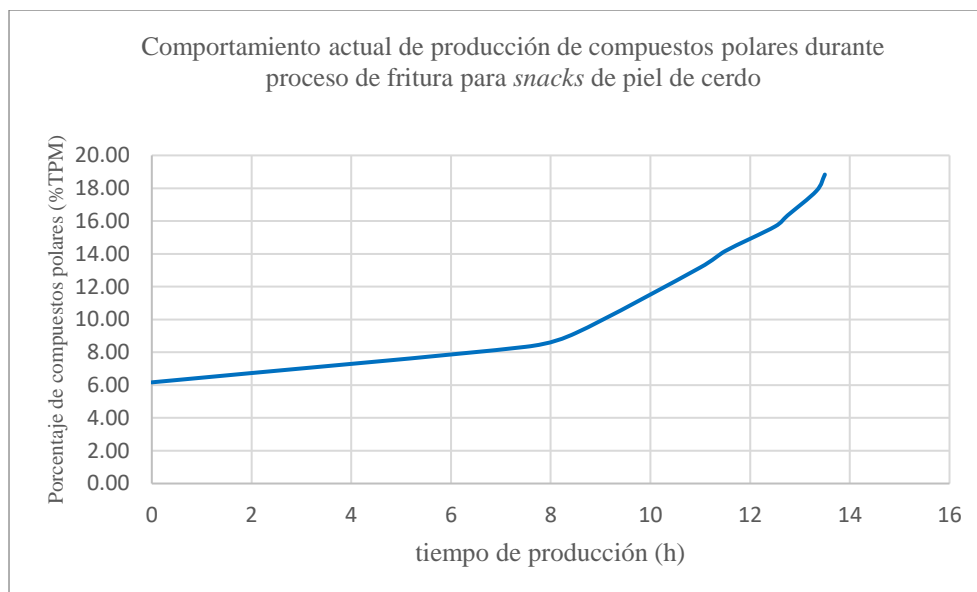
Capacidad alimentación (kg /h)	275.00
Capacidad freidor (kg aceite)	997.00
Absorción de grasa (kg aceite/kg materia)	0.28
Tasa de recambio (h)	12.98

Determinación de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres para la producción de *snacks* de piel de cerdo con los cambios propuestos

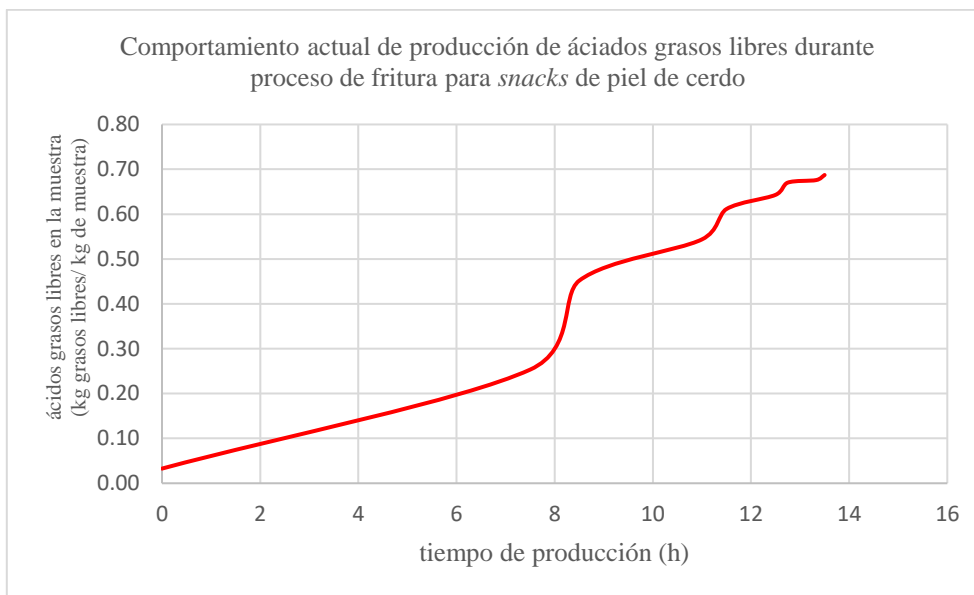
t	TPM	AGL
0	6.17	0.03
7.5	8.33	0.25
8.5	9.17	0.45
11	13.17	0.54
11.5	14.17	0.61
12.5	15.67	0.64
12.75	16.33	0.67
13.33	17.83	0.68
13.5	18.83	0.69

Comportamiento de degradación de aceite contra tiempo de producción de *snacks* de piel de cerdo con los cambios propuestos

Gráfica 11: Comportamiento de degradación de aceite como compuestos polares totales contra el tiempo de producción para snacks de piel de cerdo con los cambios propuestos



Gráfica 12: Comportamiento de degradación de aceite como ácidos grasos libres contra el tiempo de producción para snacks de piel de cerdo con los cambios propuestos



Determinación de tasa de recambio para la producción de *snacks* de tipo nueces el método actual.

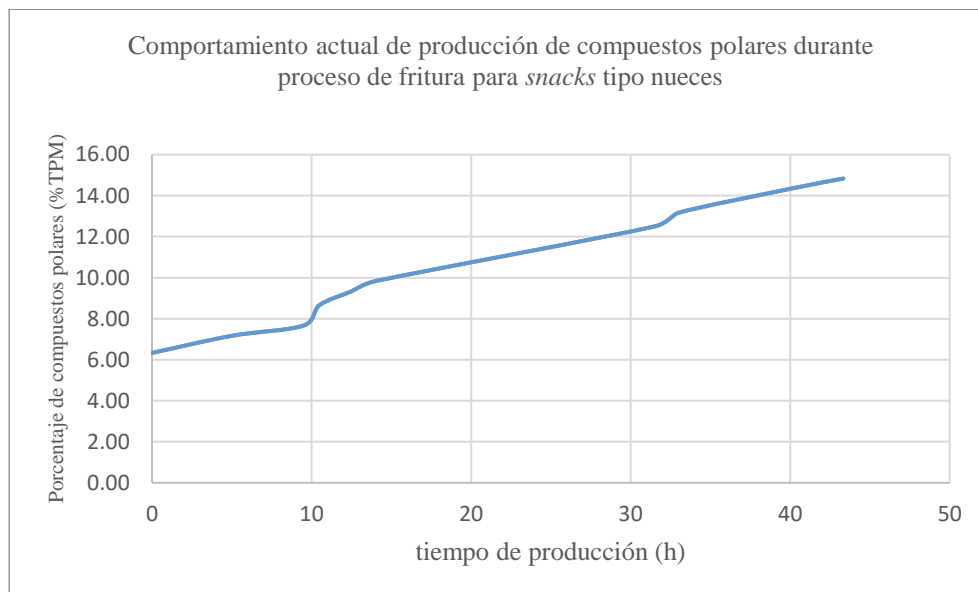
Capacidad alimentación (kg /h)	350.00
Capacidad freidor (kg aceite)	1090.00
Absorción de grasa (kg aceite/kg materia)	0.26
Tasa de recambio (h)	11.82

Determinación de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres para la producción de *snacks* de tipo nueces con los cambios propuestos

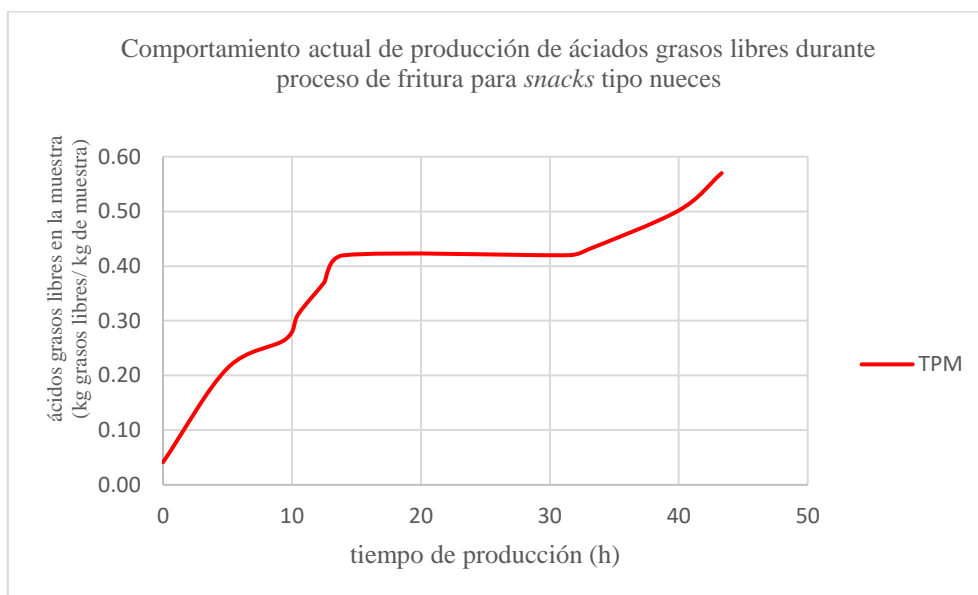
t	TPM	AGL
0	6.33	0.04
5	7.17	0.21
9.5	7.67	0.27
10.5	8.67	0.31
12.5	9.33	0.37
14	9.83	0.42
31.5	12.50	0.42
33	13.17	0.43
40	14.33	0.50
43.33	14.83	0.57
44.5	15.33	0.62
45.5	15.83	0.63

Comportamiento de degradación de aceite contra tiempo de producción de *snacks* de tipo nueces con los cambios propuestos

Gráfica 13: Comportamiento de degradación de aceite como compuestos polares totales contra el tiempo de producción para *snacks* de tipo nueces con los cambios propuestos



Gráfica 14: Comportamiento de degradación de aceite como ácidos grasos libres contra el tiempo de producción para *snacks* de tipo nueces con los cambios propuestos



Determinación de tasa de recambio para la producción de *snacks* de fritura de maíz con los cambios propuestos.

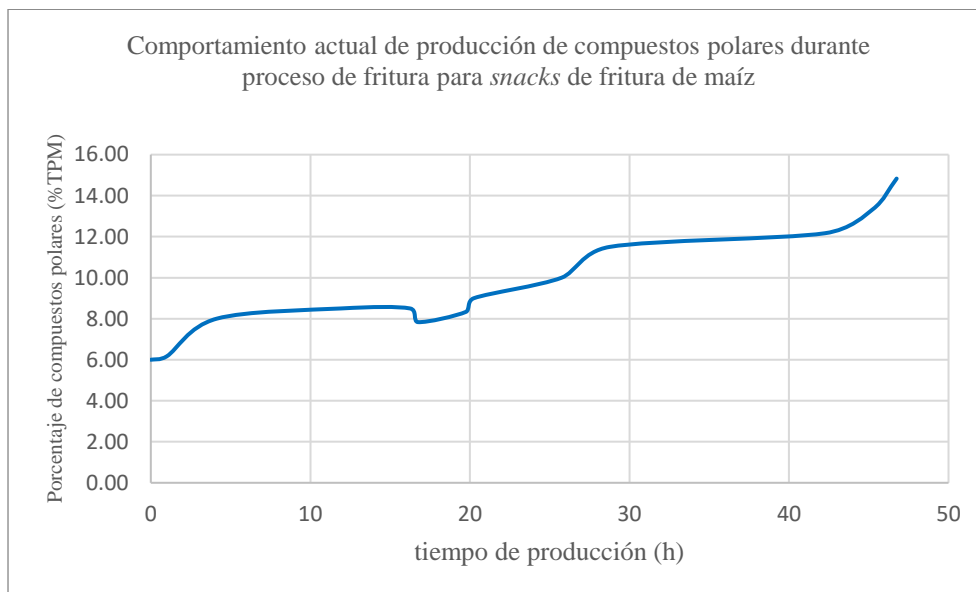
Capacidad alimentación (kg /h)	550.00
Capacidad freidor (kg aceite)	997.00
Absorción de grasa (kg aceite/kg materia)	0.25
Tasa de recambio (h)	7.25

Determinación de concentración de compuestos polares totales y ácidos grasos libres para la producción de *snacks* de fritura de maíz con los cambios propuestos.

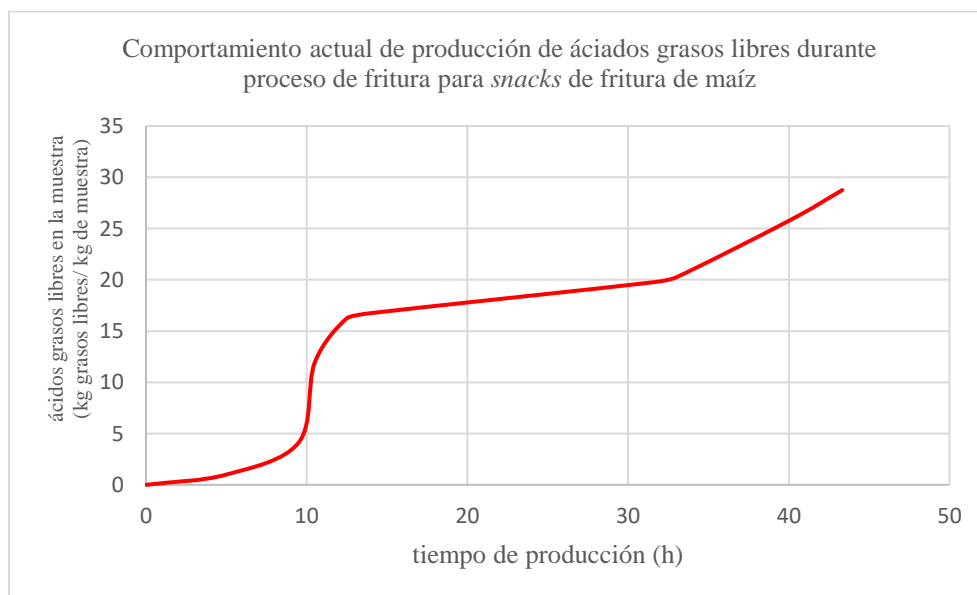
t	TPM	AGL
0	6.00	0.02
1	6.17	0.13
4.12	8.00	0.14
11.92	8.50	0.23
16.25	8.50	0.27
16.75	7.83	0.30
19.75	8.33	0.32
20.25	9.00	0.37
25.75	10.00	0.37
28.75	11.50	0.37
42.25	12.17	0.38
45.25	13.33	0.39
46.75	14.83	0.46

Comportamiento de degradación de aceite contra tiempo de producción de *snacks* de piel de fritura de maíz con los cambios propuestos

Gráfica 15: Comportamiento de degradación de aceite como compuestos polares totales contra el tiempo de producción para *snacks* de fritura de maíz con los cambios propuestos



Gráfica 16: Comportamiento de degradación de aceite como ácidos grasos libres contra el tiempo de producción para *snacks* de fritura de maíz con los cambios propuestos



14.5. Análisis estadístico y análisis de error

14.5.1. Análisis estadístico

14.5.1.1. Análisis del promedio de las mediciones realizadas

Se determinó el promedio para los análisis realizados utilizando la ecuación de la media aritmética que se muestra a continuación.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{(17.65\% + 18.18\% + 13.16\%)}{3}$$

$$\bar{x} = 16.33\%$$

De esta manera se calculó el promedio de todos los cálculos realizados para todos los análisis realizados.

14.5.1.2. Análisis de la desviación estándar de las mediciones realizadas

Se determinó la desviación estándar de los análisis y cálculos realizados con la siguiente ecuación.

$$\sigma = \sqrt{\sum_i^N \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$$\sigma = 2.76 \%$$

14.5.2. Análisis de error

14.5.2.1. Propagación de error en sumas y restas

$$\Delta\delta = \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 \dots}$$

$$\Delta\delta = \sqrt{\left(\frac{0.05}{22.65}\right)^2 + \left(\frac{0.05}{20.05}\right)^2} = \pm 0.0033$$

De esta manera se calculó la incertidumbre para todas las operaciones en donde se vio involucrada una suma o resta.

14.5.2.2. Propagación de error en multiplicación y división

$$\frac{\Delta\delta}{\delta} = \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2} \dots$$
$$\Delta\delta = 0.400 \sqrt{\left(\frac{0.1}{40}\right)^2 + \left(\frac{0.05}{100}\right)^2} = \pm 1.019 \times 10^{-3}$$

De esta manera se calculó la incertidumbre para todas las operaciones en donde se vio involucrada una división o multiplicación

14.6. Hoja de cálculo

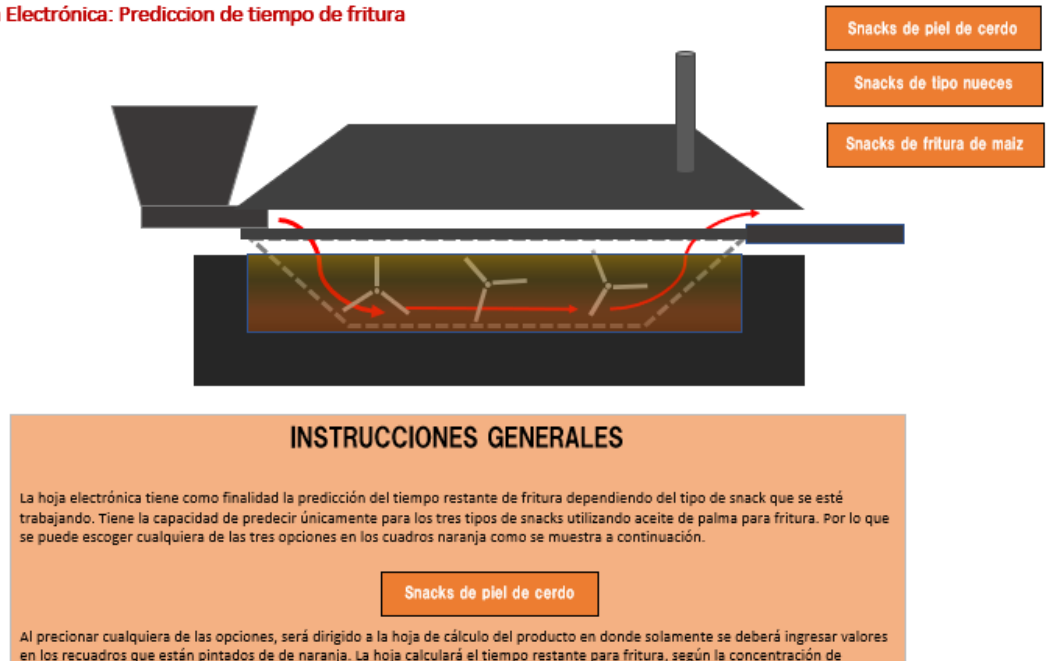
14.6.1. Descripción de hoja electrónica

La hoja electrónica tiene como finalidad la predicción del tiempo restante de fritura dependiendo del tipo de *snack* que se esté trabajando. Tiene la capacidad de predecir únicamente para los tres tipos de *snacks* con los que se hizo este trabajo de graduación y utilizando aceite de palma para fritura únicamente.

14.6.2. Página de inicio

La página de inicio cuenta con un menú y una serie de indicaciones para el uso de la hoja electrónica. Este menú despliega los tres tipos de predicciones que se pueden realizar. Estas son el cálculo para la producción de snacks de piel de cerdo, snacks de fritura de maíz y *snacks* de tipo nueces. Las indicaciones que muestra la hoja electrónica son indicaciones que son de utilidad para el funcionamiento óptimo de la misma.

Hoja Electrónica: Predicción de tiempo de fritura



INSTRUCCIONES GENERALES

La hoja electrónica tiene como finalidad la predicción del tiempo restante de fritura dependiendo del tipo de snack que se esté trabajando. Tiene la capacidad de predecir únicamente para los tres tipos de snacks utilizando aceite de palma para fritura. Por lo que se puede escoger cualquiera de las tres opciones en los cuadros naranja como se muestra a continuación.

Snacks de piel de cerdo

Al precionar cualquiera de las opciones, será dirigido a la hoja de cálculo del producto en donde solamente se deberá ingresar valores en los recuadros que están pintados de naranja. La hoja calculará el tiempo restante para fritura, según la concentración de

14.6.3. Ingreso de datos

Al seleccionar una de las opciones, será dirigido a la hoja de cálculo del producto escogido. En estas hojas, se encontrarán 6 espacios en donde se deberán colocar los flujos para poder realizar el cálculo. Estos serán:

- Cantidad de pellets de piel de cerdo (en kg)
- Cantidad de aceite de palma para fritura (en kg)
- Cantidad de producto terminado obtenido (en kg)
- Cantidad de sólidos y finos obtenido (en kg)
- Porcentaje de compuestos polares totales
- Temperatura de fritura (°C)

Materia Prima

Pellets de piel de cerdo	2000 kg
Aceite de Fritura Nuevo	1500 kg

Producto Terminado

Snacks de piel de cerdo	1950 kg
Solidos y finos	50 kg

Porcentaje TPM actual	15.0 %TPM
Tiempo de fritura restante	3.8 h



Temperatura
180 ° C

Con estos datos ingresados, se calculará el tiempo restante para la fritura, tomando en cuenta el comportamiento analizado y dependiendo el tipo de producto. Los flujos de gases de combustión y del aceite residual en freidor luego de la operación y la cantidad de combustible a utilizar para el proceso.

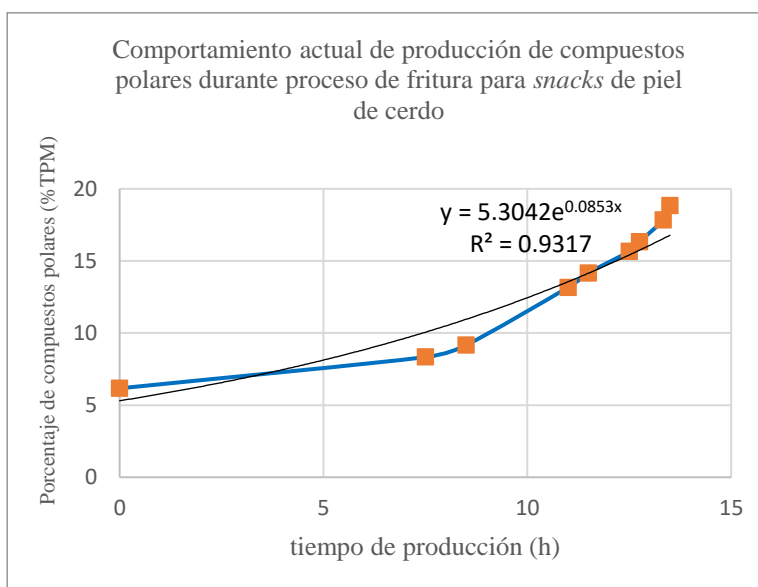
Estos cálculos fueron realizados por un balance de masas y energía para el freidor en cada proceso.

14.6.4. Cálculos realizados

Se mostrará una imagen en donde se muestran los cálculos realizados para esta hoja electrónica.

Producto					
Producto Terminado seco	1332.63 kg	MP	2000 kg		
Aceite y agua en producto terminado	171.2412 kg	PT	1950 kg		
Solidos y finos secos	391.97 kg	Av	1500 kg		
Materia prima necesaria seca	1724.6 kg	S	50 kg		
Proporción de materia prima seca	0.8623				
Aceite en solidos	49 kg	AF	1290.4838 kg		
		G	209.5162 kg		
Aceite					
Aceite entrada	1500	Balance de Energía			
Aceite residual	1290.4838	m aceite	1500 kg		
Aceite en producto	160.5162	CP aceite	2.6792 kJ/kg		
Porcentaje de absorción de aceite en produ	0.3166	Tinicial	25 °C		
Aceite en Solidos y finos	49	Tfinal	180 °C		
	440.97	PCC diesel	4.50E+04 kJ/kg		
		m comb	13.84 kg		
H2O					
Porcentaje de Humedad de Materia prima	0.1377	V	0.0162853 m3		
Porcentaje de Humedad de Producto termin	0.0055	V	4.3021291 gal diesel		
Vapores liberados del proceso	264.675 kg	Tasa de PT/Av	1.3 kg producto terminado/kg de aceite utilizado		

Para hacer el balance de masas y energía, se puede observar en el apartado de cálculos de muestra cómo se realizó dicho análisis. Y para el análisis del tiempo restante de fritura, se utilizó un análisis de regresión lineal como predicción según las mediciones realizadas utilizando esta nueva metodología para la evaluación de aceites. A continuación, se mostrará un ejemplo de la regresión de una de las líneas de producción analizadas.



Se utilizó una ecuación exponencial para la predicción de la degradación del aceite de fritura de palma para cada línea de producción ya que fue el modelo de mejor ajuste.

14.6.5. Parámetros de hoja electrónica

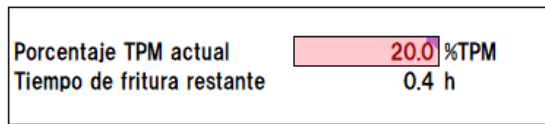
- Cada tipo de producto tiene un parámetro máximo de concentración de compuestos polares totales al que puede ser ingresado. Los parámetros máximos son los siguientes:

- *Snacks* de piel de cerdo (6% a 19%)
- *Snacks* de tipo nueces (6% a 16.8%)
- *Snacks* de fritura de maíz (6% a 16%)

- Considerando el tipo de proceso, la temperatura máxima en la que puede trabajar el freidor es de 180°C para evitar llegar al punto de humo. Por lo que el parámetro máximo de ingreso de temperatura para los tres tipos de producto será 180°C.

- La cantidad de los flujos que se puede ingresar deberán ser coherentes, por lo que será importante tomar en cuenta la realización de mediciones experimentales adecuadas.

Nota: Para los primeros dos parámetros a considerar, al ingresar un valor por arriba del parámetro será coloreado de rojo como se muestra a continuación.



14.7. Calibración de equipo TESTO 270

Equipo TESTO 270

1. Calibración de fábrica conforme a ISO (+/- 2% TPM)

1. Código 0520028 □ Calibración en dos puntos (3% aprox. a 24%) TPM

2. Calibración con el aceite de referencia TESTO (+/- 2.5% TPM)

Con el aceite de referencia TESTO (05542650) se puede comprobar el medidor exactamente y reajustado en caso necesario.

3. Sencilla prueba de funcionamiento en el aceite de fritura (Exactitud +/-3% de TPM)

Para prueba sencilla: Medir el aceite de fritura virgen a un rango de temperatura de 150 a 180 °C y realizar varias veces para su medición.

4. Seguridad y eliminación equipo TESTO

Indicaciones de advertencia

ADVERTENCIA: Referencia a posibles lesiones graves

AVISO: referencia a situaciones que pueden causar daños en el producto.

5. Garantía de seguridad

- Utilizar el producto solamente de manera adecuada, según la finalidad de uso. **NO FORZAR AL INSTRUMENTO.**
- Si hay daños en carcasa, no utilizarla
- Tener precauciones al realizar mediciones con las instalaciones.
- La temperatura marcada son las zonas y se refieren solamente al rango de medición de los sensores. No exponer los empañadores y cables de alimentación a $T > 70^{\circ}\text{C}$ (158°F) si no han sido expresamente autorizados para uso de temperaturas elevadas.
- No realizar mediciones por contacto con piezas no aisladas y con carga eléctrica.
- No Almacenar el producto junto con disolventes. No usar desecantes.

6. Uso de equipo

TPM= Total Polar Materials (Compuestos Polares Totales) □ posibilita una declaración sobre el envejecimiento de los aceites de fritura por exposición al calor.

Puede indicarse:

- Temperatura del aceite de fritura
- Indicador para un ajuste correcto de la freidora, comprobación de los indicadores de temperatura integrados.
- Valor porcentual de TPM
- Indicador de envejecimiento del aceite de fritura.
- El sensor funciona sobre una base capacitiva y determina como el valor de medición el contenido total de componentes polares en porcentaje. Los ácidos grasos libres que se evalúan para evaluar principalmente aceites no exigidos, a lo que es la rancidez. Los ácidos grasos libres NO pueden ser determinados con el equipo TESTO 270.

7. Utilización del producto:

Indicadores generales para la medición.

- Pueden efectuarse varias mediciones sucesivas y sin tiempos de espera.
- Pueden medirse todos los aceites y grasas previstos. En los aceites de frituras frescas, el valor porcentual de TPM puede variar en varios %TPM dependiendo el tipo de aceite.
- La vida útil máxima del aceite NO se puede derivar de ello.
- Si se utilizan aditivos, puede haber diferencias

8. Comparación de métodos de laboratorio/TESTO 270

Aceite de fritura: Mezcla de sustancias de diferentes polaridades. Durante el envejecimiento, el porcentaje de componentes polares más fuertes aumenta.

- Método de cromatografía de columna vs Testo
 - Método de cromatografía de columna: El TM puede variar ligeramente dependiendo del ajuste del límite de separación entre grupos polares y no polares. En función de los tipos de grasas, pueden producirse ligeras variaciones de polaridad en ambos grupos.
 - TESTO 270: Resigna la polaridad total del aceite incluyendo la polaridad efectiva en ambos grupos.

- Ácidos grasos libres:

Para la evaluación de la edad de la grasa durante el almacenamiento se utilizan en cambio los ácidos grasos libres. Estos no son adecuados para detectar cargas térmicas del aceite.

- Triglicéridos polimerizados (PTG)

PTG= =0.5* TPM

9. Calibración de equipo TESTO 270

Para realizar la calibración del equipo tenso 270, es importante tener los siguientes materiales:

- Equipo tenso 270
- Estándar de aceite 05542650 (2.5% TPM)
- Termómetro
- Beaker 600 mL o tasa grande
- Estufa

Colocar en una estufa, el beaker con 600 mL con agua corriente y colocar dentro el bote que contiene el estándar del aceite. Llevar el agua del beaker a una temperatura de 60°C.

Ya teniendo el aceite a la temperatura requerida, sacarlo del beaker y encender el equipo. Mientras este inicia, presionar las teclas [Hold] y [▲] por tres segundos para ingresar al menú. Para ver las opciones dentro del menú, utilizar las teclas [▲] y [▼]. Para confirmar, presionar [Hold].

- Aparecerá en la pantalla el símbolo “°C/°F” esto permitirá mostrará el tipo de unidad de temperatura a la que se quiere realizar la medición.
- Luego de confirmar la unidad de medición, aparecerá en la pantalla “Alarm on”, se recomienda confirmar este ya que es de mucha utilidad al momento de la medición.
- Así mismo, para la siguiente configuración del menú. Aparecerá en la pantalla “Auto Hold”, el cual es útil al momento de la medición ya que sostiene el valor obtenido el tiempo que uno desee.
- Luego de confirmar, aparecerá en la pantalla “Auto off”, esto es útil para el ahorro de batería, queda a discreción del analista si lo activa o desactiva.
- Aparecerá en la pantalla “CAL” y por default “OFF”, por lo que, si se quiere realizar la calibración, colocar “On” y proseguiremos en el punto 1.1.5.
- Si se confirma “Off” para la calibración, aparecerá en la pantalla “rSt” el cual indica si se quiere reiniciar el equipo a modo de fábrica. Se recomienda no hacerlo si ya se realizó una configuración del equipo la cual es útil para los análisis requeridos.

Si se confirmó “On”, aparecerá un mensaje en la pantalla que dice “OIL CAL”, el cual hace referencia al Estándar del aceite (05542650). Al aparecer este mensaje, sumergir el equipo en el aceite de referencia. Para iniciar la calibración de ajuste, presionar [Hold] y las luces se iluminarán de color rojo y marcará el %TPM y T.

Ahora bien, es importante este paso ya que hay que comparar el %TPM obtenido con el que indica la portada del botecito que contiene al estándar (2.3% TPM). Si la diferencia entre el %TPM obtenido y la del estándar es mayor a 1, con las flechas ajustar de modo que se coloque el %TPM a lo que indica el estándar. Si la diferencia es igual o menor a 1, el equipo está listo para usarse. Limpiar con papel toalla el exceso de aceite que hay en el sensor y la sonda y con un Kimwipe limpiar el sensor.

14.8. Preparación de soluciones

Para la calibración de cualquier solución que se utilizará volumétrica, se necesita un patrón primario y depende del tipo de solución para realizar este paso importante. Con la calibración de las soluciones, se conocerá la concentración real de la solución.

Se trabajará con dos tipos de soluciones, hidróxido de sodio 0.1 N y tiosulfato de sodio 0.1 M.

En primer lugar, se tiene que preparar la solución utilizando estequiometría partiendo de la preparación de 1 L que se utilizará para la experimentación. Es importante tomar en cuenta la pureza para preparar la solución de manera correcta.

Ya preparada la solución, pesar 0.05 g de patrón primario en un matraz de 125 mL y disolverlo en 50 mL de agua destilada. Agregar 3 gotas de indicador y realizar una valoración en reversa de la solución utilizando una bureta y medir el volumen utilizado al virar la solución.

Para la determinación de la concentración de la solución, se necesita la reacción balanceada de la valoración y por medio de estequiometría, determinar la concentración. Se parte de la masa de patrón primario utilizado para convertirlo a moles de solución titulante y se divide dentro del volumen utilizado para la valoración.

Para las soluciones a trabajar, el patrón primario será el siguiente:

- Solución de hidróxido de sodio 0.1 N a Ftalato ácido de potasio y fenolftaleína como indicador
- Solución de tiosulfato de sodio 0.1 M a Dicromato de sodio y almidón como indicador.
-

14.9. Imágenes

14.9.1. Snacks de piel de cerdo

Ilustración 6: Muestras analizadas de piel de cerdo



14.9.2. Snacks de tipo nueces

Ilustración 7: Muestras analizadas de tipo nueces



14.9.3. Snacks de fritura de maíz

Ilustración 8: Muestras analizadas de fritura de maíz.



15. Glosario

- **Compuestos polares:** Son sustancias resultantes del deterioro sufrido durante el calentamiento de los aceites, y su contenido (que deberá ser menor al 25%) se utiliza como indicador global del nivel de alteración, que se caracteriza por la modificación de los triglicéridos, principales componentes de la grasa.
- **Fluido Newtoniano:** Es un tipo de fluido que tiene una viscosidad constante. Es decir, que a medida que a medida que se ejerce un esfuerzo cortante al líquido, la velocidad del fluido incrementará directamente proporcional. Este tipo de fluidos son los más fáciles para describir. Algunos ejemplos son el agua, el aceite, la gasolina y el alcohol.
- **Frituras:** Es un tipo de cocción seca, en la cual el alimento se somete a una inmersión rápida en un baño de grasa o aceite a temperaturas altas.
- **Hidrólisis:** Es una reacción química entre una molécula de agua y otra macromolécula en donde la molécula de agua se divide y rompe uno o más enlaces químicos de otra especie para formar una unión formar otra especie química.
- **Humedad:** Todos los alimentos contienen cierto grado de humedad, que puede variar entre 60% y 95%. Como tal, la humedad es un parámetro fundamental a la hora de considerar la calidad de los alimentos, así como sus cualidades organolépticas y nutricionales.
- **Ignición:** Es la acción de desencadenar la combustión de un cuerpo. Es un proceso químico que puede desatarse cuando una sustancia combustible entra en contacto con una fuente de energía. Esta propiedad se utiliza en diversos mecanismos para activar su funcionamiento para proporcionar energía calórica a los procesos.
- **Índice de Peróxidos:** Es la cantidad (expresada en miliequivalentes de oxígeno activo por kg de grasa) de peróxidos en la muestra que ocasionan la oxidación del yoduro potásico en las condiciones de trabajo descritas.
- **Oxidación:** Es un fenómeno en el cual un elemento o compuesto se une con el oxígeno, de modo que se da una reacción química en donde se da una ganancia de electrones por parte de una molécula, átomo o ion. Existen dos tipos de oxidación. La lenta, en donde se puede dar ejemplos como la corrosión de metales, respiración, fotosíntesis de las plantas, oxidación de los ácidos grasos y entre otros. Y está la oxidación rápida en donde son procesos más evidentes impresionantes, como la combustión de hidrocarburos.
- **Pellet:** Es una denominación genérica utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido de diferentes materiales.

- Propiedad organoléptica: Son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según puede ser percibidos por el sabor, textura, olor, color y tacto. Su estudio es importante en las ramas de la ciencia en donde no se ven involucrados instrumentos de medición. Generalmente, es utilizado en los alimentos.
- *Snack*: Son un tipo de alimento que generalmente se utilizan para satisfacer temporalmente el hambre, proporcionar una mínima cantidad de energía para el cuerpo o simplemente por placer. Comúnmente se sirven en un reuniones o eventos.
- Soxhlet: Es un tipo de material de vidrio utilizado para la extracción de compuestos, generalmente de naturaleza lipídica, contenidos en un sólido a través de un disolvente afín.
- Taza de recambio de aceite: La tasa de recambio del aceite se define como el número de horas requeridas para la reposición del aceite que se agrega para mantener la cantidad de aceite en el freidor durante el proceso de fritura dado a que se irá vaciando por la absorción del producto.
- Triglicéridos: Son una sustancia que son englobados dentro de las grasas. Químicamente, son moléculas de glicerol a la que tiene unido 3 moléculas de ácidos grasos. De igual forma, los diglicéridos y los monoglicéridos tienen unidos a la molécula de glicerol, dos y una molécula de ácidos grasos respectivamente. Estos representan la mayor parte de la grasa presente en los alimentos.
- Vida útil de los alimentos: es el período de tiempo que se mantiene en unas buenas condiciones desde que se elabora hasta que empieza a deteriorarse, siempre que se mantengan las condiciones de conservación de la etiqueta. La vida útil dependerá no solo del tipo de alimento sino también de las técnicas de conservación.
- Viscosidad: Es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción en fluido.