

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación comparativa de filtros para la industria de fritura de  
pollo

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por  
Mynor Fernando García Avila  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala  
2017



# Evaluación comparativa de filtros para la industria de fritura de pollo

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería




Evaluación comparativa de filtros para la industria de fritura de  
pollo

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por  
Mynor Fernando García Avila  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala  
2017

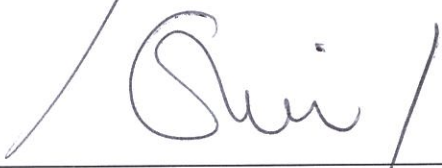
Vo. Bo.:

(f)   
MSc. Ing. Dina Andrea Cambronero Chinchilla  
Asesora  
Colegiado No. 1762

Tribunal Examinador:

(f)   
MSc. Ing. Dina Andrea Cambronero Chinchilla  
Colegiado No. 1762

(f)   
MSc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano  
Colegiado No. 686

(f)   
Ing. Cristián Rossi Sosa  
Colegiado No. 471

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de diciembre de 2017

## PREFACIO

“No great wisdom can be reached without sacrifice” C.S. Lewis

El presente trabajo de graduación se lo dedico a Dios, por ser siempre fiel a sus promesas y ser la razón principal de todo mi éxito personal y profesional al darme la sabiduría y entendimiento necesarios durante todo este camino.

A toda mi familia especialmente a mi tío Ing. Luis Manuel Ávila, y a mi abuelo Víctor Manuel Avila, quienes siempre cultivaron ese amor por la ciencia que me llevó a estudiar esta apasionante carrera.

A la Fundación Juan Bautista Gutiérrez, especialmente a doña Isabelita Gutiérrez de Bosch, por confiar en mí desde el principio y apoyarme en alcanzar este mérito. Siendo un segundo hogar lleno de personas que más que nuestros encargados se convirtieron en parte de nuestra familia.

A mi asesora, Ing. Dina Cambroner, por toda su ayuda, tiempo y consejos sin los cuales este trabajo no hubiese sido posible.

Así como a cada una de las personas que formaron parte de estos cinco años de desarrollo personal, catedráticos, amigos, y todos aquellos que llevo como un grato recuerdo de esta increíble experiencia.

# ÍNDICE

LISTA DE CUADROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS.....	2
A. General .....	2
B. Específicos .....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	3
IV. MARCO TEÓRICO .....	4
A. Lípidos .....	4
1. Clasificación .....	4
a. Lípidos simples.....	4
b. Lípidos compuestos .....	4
c. Lípidos asociados.....	4
2. Grasas y aceites.....	5
B. Fritura.....	5
1. Características del aceite de fritura .....	6
a. Tipos de aceites de fritura .....	6
b. Deterioro de aceites. ....	6
c. Teoría del surfactante en el freído. ....	7
d. Cómo prevenir la degradación del aceite.....	8
C. Filtros para industria de fritura.....	8
1. Tipos de sistemas de filtrado.....	8
a. Sistema pasivo. ....	8
b. Sistema activo.....	8
2. Filtro de silicato de magnesio. ....	9
3. Filtro de carbón activado .....	9
D. Análisis físicos y químicos.....	10
1. Calidad en productos de fritura.....	10
2. Análisis disponibles para productos fritos .....	11
a. Compuestos Polares Totales (TPC) .....	11

b.	Ácidos Grasos Libres (FFA).....	11
c.	Índice de peróxidos.....	11
d.	Índice de saponificación. ....	11
e.	Colorimetría.....	12
E.	Regulaciones y normativas.....	12
1.	RTCA.....	12
2.	CODEX ALIMENTARIUS.....	12
F.	Análisis sensorial.....	13
1.	Función del análisis sensorial. ....	13
2.	Aspectos sensoriales para evaluación. ....	13
a.	Textura visual. ....	13
b.	Color.....	13
c.	Sabor.....	13
G.	Equipos de fritura.....	13
1.	Equipos tipo batch.....	14
2.	Equipos continuos.....	14
3.	Henny Penny PFE 500.....	14
H.	Mercado de aceite.....	15
1.	Aceite de Palma Africana.....	15
2.	Precios del aceite de palma a nivel mundial. ....	16
V.	ANTECEDENTES.....	18
VI.	METODOLOGÍA.....	20
A.	Primera fase.....	20
B.	Segunda fase.....	21
C.	Muestreo y determinación de propiedades fisicoquímicas.....	21
D.	Colorimetría.....	22
E.	Panel sensorial.....	22
F.	Cálculos.....	22
VII.	RESULTADOS.....	23
VIII.	DISCUSIÓN.....	33
IX.	CONCLUSIONES.....	38
X.	RECOMENDACIONES.....	39
XI.	BIBLIOGRAFÍA.....	40

XII. ANEXOS .....	42
A. DATOS ORIGINALES.....	42
B. CÁLCULOS.....	47
C. DATOS CALCULADOS.....	52
D. FICHAS TÉCNICAS .....	55
E. METODOLOGÍAS .....	57
XIII. GLOSARIO .....	62

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades físicas del filtro de silicato de magnesio.....	9
Cuadro 2. Características físicas del filtro de carbón activado.....	9
Cuadro 3. Especificaciones para aceites y grasas.....	12
Cuadro 4. Precio mensual del aceite de palma, expresados en Dólares norteamericanos por tonelada métrica de aceite.....	16
Cuadro 5. Resultados de análisis colorimétrico de muestras de aceite, para un ciclo utilizando filtro de silicato de magnesio (Filtro A).....	32
Cuadro 6. Resultados de análisis colorimétrico de muestras de aceite, para un ciclo utilizando filtro de carbón activado (Filtro B).....	32
Cuadro 7. Volumen de nivelación de aceite para los tres equipos durante los días de pruebas.....	32
Cuadro 8. Análisis de costo y beneficio anualizado para los filtros analizados, tomando en cuenta la operación de tres freidoras HP 500.....	32
Cuadro 9. Medición de compuestos polares torales (TPC) y ácidos grasos libres (FFA) <i>in situ</i> con filtro A.....	42
Cuadro 10. Medición de compuestos polares torales (TPC) y ácidos grasos libres (FFA) <i>in situ</i> con filtro B.....	42
Cuadro 11. Resultados de análisis de laboratorio efectuados en muestras de aceite con filtro A.....	42
Cuadro 12. Resultados de análisis de laboratorio efectuados en muestras de aceite con filtro B.....	43
Cuadro 13. Precios de compra de los filtros analizados.....	43
Cuadro 14. Evaluación sensorial del empanizado del producto 1 a 198 frituras con filtro A.....	43
Cuadro 15. Evaluación sensorial de la carne del producto 1 a 198 frituras con filtro A.....	43
Cuadro 16. Evaluación sensorial del empanizado de producto 1 a 133 frituras con filtro B.....	44
Cuadro 17. Evaluación sensorial de la carne del producto 1 a 133 frituras con filtro B.....	44
Cuadro 18. Evaluación sensorial del empanizado producto 2 a 198 frituras con filtro A.....	44
Cuadro 19. Evaluación sensorial de la carne del producto 2 a 198 frituras con filtro A.....	45
Cuadro 20. Evaluación sensorial del empanizado del producto 2 a 133 frituras con filtro B.....	45
Cuadro 21. Evaluación sensorial de la carne del producto 2 a 133 frituras con filtro B.....	45
Cuadro 22. Costos de operación por un ciclo de uso de cada filtro.....	46
Cuadro 23. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial del empanizado del producto 1 a 198 frituras con filtro A.....	52
Cuadro 24. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial de la carne del producto 1 a 198 frituras con filtro A.....	52

Cuadro 25. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial del empanizado del producto 1 a 133 frituras con filtro B. ....	52
Cuadro 26. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial de la carne del producto 1 a 133 frituras con filtro B. ....	52
Cuadro 27. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial del empanizado del producto 2 a 198 frituras con filtro A. ....	53
Cuadro 28. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial de la carne del producto 2 a 198 frituras con filtro A. ....	53
Cuadro 29. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial del empanizado del producto 2 a 133 frituras con filtro B. ....	53
Cuadro 30. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial de la carne del producto 2 a 133 frituras con filtro B. ....	53
Cuadro 31. Análisis ANOVA para la comparación de medias de la evaluación del producto 1 a 198 frituras con filtro A y a 133 frituras con filtro B. ....	54
Cuadro 32. Análisis ANOVA para la comparación de medias de la evaluación del producto 2 a 198 frituras con filtro A y a 133 frituras con filtro B. ....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reacciones fisicoquímicas durante el proceso de freído.....	5
Figura 2. Curva de calidad del aceite de fritura.....	10
Figura 3. Freidora Henny Penny 500. ....	15
Figura 4. Precios del aceite de palma a nivel mundial. ....	17
Figura 5. Medición de compuestos polares totales (%TPC) para un ciclo de aceite, con tres equipos en producción continua, utilizando filtro de silicato de magnesio (Filtro A). ....	23
Figura 6. Medición de compuestos polares totales (%TPC) para un ciclo de aceite, con tres equipos en producción continua, utilizando filtro de carbón activado (Filtro B). ....	24
Figura 7. Porcentajes de ácidos grasos libres presentes en el aceite de fritura con cada filtro utilizado.....	25
Figura 8. Índice de saponificación de aceite de fritura con cada filtro utilizado. ....	26
Figura 9. Índice de peróxidos medido en el aceite de fritura con cada filtro utilizado .....	27
Figura 10. Medición <i>in situ</i> del porcentaje de ácidos grasos libres para un ciclo de aceite, con tres equipos en producción continua, utilizando filtro de silicato de magnesio (Filtro A), con cintas 3M™ Low Range Shortening Monitor.....	28
Figura 11. Medición <i>in situ</i> del porcentaje de ácidos grasos libres para un ciclo de aceite, con tres equipos en producción continua, utilizando filtro de carbón activado (Filtro B), con cintas 3M™ Low Range Shortening Monitor.....	29
Figura 12. Evaluación sensorial del producto 1, de acuerdo con los resultados obtenidos los cuadros 22 a 25. ....	30
Figura 13. Evaluación sensorial del producto 2, de acuerdo con los resultados obtenidos en cuadro 26 a 29. ....	31

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo comparar dos tecnologías de filtros para la industria de pollo frito, un filtro de silicato de magnesio (filtro A) contra uno de carbón activado (filtro B), teniendo como alcance un establecimiento con tres freidoras eléctricas Henny Penny 500 de 28.39 L (7.5 galones) de aceite en producción programada. Esto para determinar técnica y económicamente el filtro más adecuado para su implementación en la operación con los parámetros descritos. Se utilizó como referencia la *Norma de Calidad para los Aceites y Grasas Calentados* del código alimentario español, debido a que no se cuenta con una legislación nacional o regional para la utilización de aceites. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos del aceite de fritura durante su uso, atributos organolépticos de dos productos comerciales y los costos anualizados por el uso de las dos tecnologías. Considerando los parámetros fisicoquímicos del aceite en uso, siendo el más crítico los compuestos polares totales de acuerdo a la norma previamente indicada (25% máximo), el filtro A logró que el aceite llegara a más frituras (198) que el filtro B (133). Comparativamente, los resultados de los análisis organolépticos fueron similares. Se realizó un análisis de costo de operación con cada filtro y se determinó un menor gasto con el uso del filtro A. Se concluyó que en conjunto se obtuvo mejores resultados del filtro A por sobre el B, por lo que se recomienda continuar con su utilización la industria analizada.

# I. INTRODUCCIÓN

La industria de fritura de pollo es una de las de las más grandes a nivel mundial y de las de mayor crecimiento en los últimos años. El filtrado de aceite es una práctica regular para las operaciones de restaurantes, ya que con esto se logra prolongar la vida útil de este insumo, el cual representa un rubro significativo en los costos directos de operación. Como objetivo principal se planteó comparar dos tecnologías de filtros para aceite en una industria de fritura de pollo, uno a base de silicato de magnesio y otro de carbón activado, para establecer la tecnología que técnica y económicamente es más adecuada para su implementación a través de un análisis de propiedades fisicoquímicas del aceite, calidad del producto de fritura y un análisis.

Al considerar los parámetros fisicoquímicos del aceite en uso, siendo el más crítico los compuestos polares totales de acuerdo a la *Norma de Calidad para los Aceites y Grasas Calentados* del código alimentario español, referencia utilizada debido a que no se cuenta con una legislación nacional o regional para la utilización de aceites, ácidos grasos libres, índice de saponificación, índice de peróxidos y color, entre otros, se analizó la forma de degradación del aceite de acuerdo a su uso constante, lo cual se relaciona con la calidad de los productos ofrecidos a los consumidores.

En operación y condiciones reales de producción, el filtro A logró que el aceite llegara a un mayor número de frituras (198) que el filtro B (133). Comparativamente, los resultados de los análisis organolépticos fueron mejores en el caso del filtro A para la mayoría de los atributos, aún a una mayor cantidad de frituras. Se realizó un análisis de costo de operación con cada filtro y se determinó un menor gasto con el uso del filtro A. Se concluyó que en conjunto se obtuvo mejores resultados del filtro A por sobre el B, por lo que se recomienda continuar con su utilización la industria analizada.

En el trabajo se cuenta con un marco teórico que respalda la investigación, los resultados y recomendaciones. Antecedentes de estudios realizados por otros investigadores relacionados a la utilización de filtros en operaciones de fritura. La metodología empleada en las dos fases de investigación. Los resultados obtenidos, los cuales se interpretan en la discusión, y con los cuales se plantearon las conclusiones y recomendaciones para continuar con el desarrollo del tema.

## II. OBJETIVOS

### A. General

Comparar dos tipos de filtros para aceite, en una industria de fritura de pollo, uno usando silicato de magnesio y el otro, carbón activado, determinando técnica y económicamente el más adecuado para su implementación.

### B. Específicos

1. Comparar propiedades fisicoquímicas del aceite tratado por un filtro de silicato de magnesio contra las del aceite tratado por un filtro de carbón activado durante su tiempo de uso, usando un análisis de compuestos polares totales, ácidos grasos libres, índice de saponificación, índice de peróxidos y color con equipo HunterLab *in situ* y en laboratorios externos certificados.

2. Evaluar propiedades sensoriales de los productos de fritura con el aceite tratado con cada filtro durante su tiempo de uso, con el análisis de un panel sensorial entrenado, para comparar la calidad de los productos obtenidos.

3. Evaluar el uso de ambos filtros de acuerdo con su costo y beneficio, con una proyección anualizada de costos, para establecer el impacto económico en la producción.

### III. JUSTIFICACIÓN

La industria de fritura de pollo es una de las de las más grandes a nivel mundial y de las de mayor crecimiento en los últimos años. Según Taylor (2017) en el artículo “Olvidese de las hamburguesas y papas fritas – el pollo frito está tomando el liderazgo en la industria comida rápida” (Forget burgers and fries – fried chicken is taking over the fast-food industry) publicado por Bussines Insider, para enero de 2017, de las 100 cadenas de restaurantes más grandes en los Estados Unidos, tres de los cinco con mayor crecimiento son conceptos de pollo. El sector del pollo ha sido la principal categoría en los negocios de comida rápida desde abril de 2016.

El filtrado de aceite es una práctica común para las operaciones de restaurantes, ya que con esto se logra prolongar la vida útil de este insumo, el cual representa un rubro significativo en los costos directos de operación. El uso de medios adecuados de filtrado puede impactar significativamente en los rubros de gastos de la industria de fritura.

A partir de los análisis fisicoquímicos de: compuestos polares totales, ácidos grasos libres, índice de saponificación, índice de peróxidos y color, entre otros, se analiza la forma de degradación del aceite de acuerdo a su uso constante, lo cual se relaciona con la calidad de los productos ofrecidos a los consumidores. Además, al realizar los análisis de propiedades organolépticas de un producto, se puede observar el comportamiento del consumidor a un producto cuya variable es el momento de fritura con cada filtro a comparar.

Debido a que se realizó el estudio durante la producción habitual de la industria de interés, los resultados presentan un mejor panorama de la degradación del aceite y cómo influye el uso de un filtro activo para aumentar el tiempo de uso, en contraste a las pruebas de filtrado realizadas a nivel laboratorio las cuales pueden no ser representativas de la operación de una industrial en condiciones normales de trabajo.

Los costos actuales del aceite de palma, que se utiliza para este proceso, se han reportado por IndexMundi entre los US\$ 621.00 y US\$ 726.00 por tonelada métrica, desde agosto del 2016 hasta junio del 2017. Estos precios repercuten a nivel nacional en Guatemala al ser un país productor de dicho aceite, y por consiguiente afecta los precios de los productos relacionados o que lo utilizan como materia prima en otros procesos, entre estos la fritura de pollo.

Finalmente, al realizar un análisis de costo y el beneficio en el uso de cada filtro, se puede recomendar la tecnología más adecuada para la producción actual, entre las comparadas, llevando a una reducción de costos por el uso de aceite de fritura al utilizar un filtro que prolongue su uso sin poner en riesgo la salud de los consumidores ni la calidad de los productos.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. Lípidos

La palabra lípido tiene su origen en el griego *lipos*, que significa grasa; originalmente se definían como “una sustancia insoluble en agua, pero soluble en disolventes orgánicos”; sin embargo, con esta consideración por solubilidad otros compuestos como vitaminas, carotenoides, entre otros, también se encuentran incluidos en dicha clasificación. Para algunos autores los lípidos son los derivados de ácidos grasos y sustancias relacionadas, por lo cual los aceites y las grasas se consideran lípidos (Badui, 2006).

Los lípidos son grupos de compuestos constituidos por carbono, hidrógeno y oxígenos. Desempeñan varias funciones en los tejidos, además de ser la fuente de energía más importante al contener más átomos de carbono que las proteínas y carbohidratos. Entre sus funciones se encuentran las de ser parte estructural de las membranas celulares, de los sistemas de transporte de diversos nutrientes, otros son ácidos grasos indispensables para el organismo, vitaminas, hormonas, pigmentos, entre otros. Además, cumplen una función como aislantes naturales al ser malos conductores de calor, por lo que el tejido adiposo mantiene estable la temperatura del organismo (Badui, 2006).

Las grasas y aceites son los principales lípidos en los alimentos, los cuales contribuyen a la textura, y en general a las propiedades sensoriales y de nutrición (Badui, 2006).

1. **Clasificación.** El número de sustancias consideradas como lípidos es muy extensa, por lo que la forma de clasificarlas es compleja. Una forma de clasificarlos es según estructura química en tres grandes grupos: lípidos simples, lípidos compuestos y lípidos asociados (Badui, 2006).

a. **Lípidos simples.** Los lípidos simples abarcan las grasas y los aceites, por lo que son los más abundantes e importantes para el área de tecnología de alimentos. Son ésteres de ácidos grasos y alcoholes. Las grasas y aceites son ésteres de glicerol con ácidos monocarboxílicos (Badui, 2006).

b. **Lípidos compuestos.** Estos se encuentran formados por una parte lipídica y otra que no lo es, unidas por enlaces covalentes, como los fosfoglicéridos, los cuales son ésteres que contienen ácido fosfórico en lugar de un ácido graso, combinado con una base nitrogenada. (Badui, 2006)

c. **Lípidos asociados.** También llamados lípidos derivados son todos los que no se encuentran entre las dos clasificaciones anteriores; en estas se encuentran los ácidos grasos libres, pigmentos, vitaminas liposolubles, esteroides, colesterol, entre otros. (Badui, 2006)

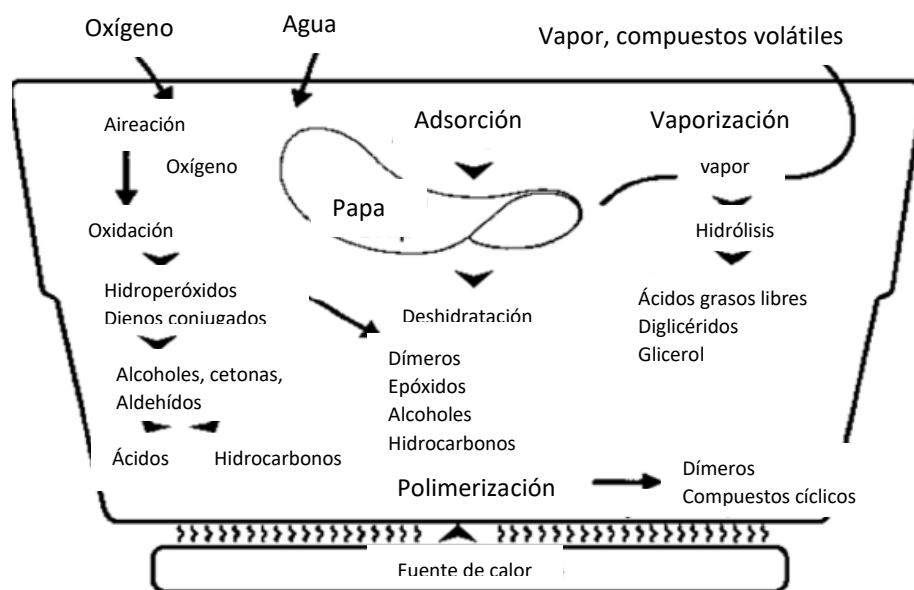
2. Grasas y aceites. El término *grasa* es usado para referirse origen animal, y *aceite* a los de origen vegetal (Moreira *et al.*, 1999). Sus principales fuentes son las semillas oleaginosas y los tejidos animales, ya que las frutas y las hortalizas presentan una baja concentración, con excepciones como el aguacate y las aceitunas y algunos tipos de nueces. (Badui, 2006)

## B. Fritura

El aceite se ha utilizado como medio de calentamiento desde hace muchos siglos, sin embargo, los complejos cambios físicos y químicos que ocurren durante este proceso no fueron descritos hasta hace algunas décadas. Son muchas las variables que influyen en el proceso, sin embargo, todas se incluyen en alguna de las distintas interacciones que se presentan entre los tres componentes básicos del freído: aceite-alimento-freidor. (Badui, 2006)

En el freído ocurren muchas transformaciones fisicoquímicas, las cuales pueden esquematizarse de la siguiente forma:

Figura 1. Reacciones fisicoquímicas durante el proceso de freído.



Fuente: Mariod, Abdalbasit; Ali, N (2014)

Las altas temperaturas provocan deshidratación parcial en las carnes y casi total en botanas, por lo que el espacio que deja el agua es reemplazado por aceite. Debido al vapor generado se favorece la hidrólisis de triglicéridos, así como la liberación de ácidos grasos, mono y diglicéridos y glicerina. Con la inclusión del oxígeno por aireación, se forman hidroperóxidos reactivos que provocan la síntesis de aldehídos, cetonas, ácidos, entre otros, los cuales provocan los colores y olores característicos de la rancidez. Ya que el aceite es un solvente apolar, puede extraer los pigmentos y vitaminas liposolubles, y los vuelve más sensibles al calor

y al oxígeno. Todos los cambios se reflejan en un incremento de viscosidad y ácidos grasos libres, generación de colores oscuros y espuma, entre otros. (Badui, 2006)

Debido a la composición de los alimentos se pueden dar diversos cambios en el aceite de fritura. El exceso de agua deber evitarse lo más posible; los alimentos con alto contenido de carbohidratos también favorecen la degradación del aceite, y además, algunos de estos productos contienen bicarbonatos de sodio y potasio que provocan la hidrólisis de triglicéridos y formación de jabones. (Badui, 2006)

El freidor debe ser de preferencia de acero inoxidable, lo más hermético posible para evitar entradas de luz y oxígeno, además, las bombas de recirculación de aceite no deben provocar turbulencia o entrada de oxígeno. Se recomienda un programa permanente de limpieza para evitar acumulación de polímeros que provoquen oxidación en el aceite. (Badui, 2006)

## 1. Características del aceite de fritura

a. Tipos de aceites de fritura. Existe una gran variedad de aceites de fritura disponibles en el mercado, entre estos (Moreira *et al.*, 1999):

- *Aceites refinados, bleached, deodorizados* funcionan satisfactoriamente si el volumen de alimentos para fritura es extremadamente alto y la apariencia del producto la deseada.
- *Mantecas líquidas de freído* producen una mayor estabilidad de fritura. Los productos tienen una apariencia semiaceitosa pero presentan relativamente altas concentraciones de poli insaturados, lo cual puede ser importante por consideraciones nutricionales.
- *Mantecas para todo propósito*, fueron los primeros productos plásticos vegetales utilizados para fritura. Son utilizados para la producción de donas y otros productos especiales con una alta absorción de grasas y que requieren una apariencia a fritura seca.
- *Aceites de origen vegetal*, están entre las primeras mantecas especialmente formuladas para una función definida. Estas fueron desarrolladas para una máxima estabilidad de fritura debido a la reducción de poli insaturados vía hidrogenación. Sin embargo, también presentan el inconveniente de consistencia sólida.

b. Deterioro de aceites. Durante el freído los aceites son utilizados continua y repetidamente a elevadas temperaturas (160-180 °C) en presencia de aire y humedad, lo que causa una descomposición térmica y oxidativa del aceite. (Badui, 2006).

En fritura, los alimentos son sumergidos en el aceite caliente en presencia de aire. El aceite se expone a la acción de cuatro agentes que causan cambios drásticos en sus estructuras (Moreira *et al.*, 1999):

- La humedad en los alimentos, lo cual produce alteraciones por oxidación.
- Entrada de oxígeno atmosférico al aceite desde la superficie del contenedor, provocando alteraciones por oxidaciones.
- Las altas temperaturas a las que se lleva a cabo la operación, lo cual resulta en alteraciones térmicas.
- Contaminación debida a los ingredientes de los alimentos.

Los aceites de fritura se encuentran sujetos a tres diferentes tipos de condiciones ambientales, y cada ambiente tiene un efecto en el aceite (Badui, 2006):

- *Periodo de almacenamiento*, el cual comienza desde el momento en el que el aceite es producido y termina cuando es colocado en la freidora. Durante este tiempo el aceite está expuesto al aire a la temperatura ambiente.
- *El periodo de espera* que ocurre cuando el aceite es calentado en la freidora. Esto incluye el tiempo necesario para llevar el aceite a la temperatura de operación, y el tiempo para enfriarlo al finalizar. Durante este periodo de tiempo el aceite está expuesto al aire a altas temperaturas.
- *El tiempo de fritura*, en el cual el aceite es realmente utilizado para el freído. El aceite se encuentra expuesto a aire, vapor, calor, y los alimentos para freír.

c. Teoría del surfactante en el freído. Esta teoría fue desarrollada a finales de los años 1980 por el Dr. Michael Blumenthal. En ésta teoría se relaciona el efecto del cambio del aceite con la calidad de los alimentos. Una de sus primeras observaciones es que el freído es un proceso de deshidratación de los alimentos. Para esto se tomó un enfoque ingenieril. Él creía que los cambios en la química del aceite afectan cómo el calor se transfiere del aceite a los alimentos. Según esta teoría, la razón de los cambios en la transferencia de calor era la formación de agentes surfactantes (Stier, 2007).

A medida que el aceite es utilizado y es degradado se da la formación de los agentes surfactantes, por lo que el contacto entre los alimentos y el aceite se incrementa, lo que produce un secado excesivo y un oscurecimiento de la comida. El Dr. Blumenthal no fue el primero en observar que los compuestos surfactantes tenían un rol en el freído, pero fue el primero en determinar su rol tan crucial para el proceso (Stier, 2007).

d. Cómo prevenir la degradación del aceite. Las siguientes recomendaciones son dadas para prevenir la degradación del aceite durante la fritura (Moreira *et al.*, 1999):

- El aceite no debe ser sobrecalentado por sobre los 191°C (en ningún caso se debe calentar por sobre los 204°C). Lo alto de la temperatura se relaciona con la rapidez de las reacciones de descomposición, en particular con la oxidación y la hidrólisis.
- Los alimentos para fritura deben ser secados apropiadamente antes de la fritura.
- El aceite y equipo de fritura deben ser limpiados apropiadamente con regularidad.
- Los alimentos deben ser freídos con la cantidad correcta de aceite. Como regla general se toma el freír una parte de alimento en seis partes de aceite.

En 1967, Robertson propuso los siguientes principios para mantener la calidad del aceite de fritura:

- Diseño apropiado, construcción y mantenimiento del equipo para freír.
- Limpieza apropiada del equipo.
- Minimizar la exposición del aceite a la luz UV.
- Mantener la sal y otras fuentes de metales alejados del aceite.
- Filtrar con regularidad.

## C. Filtros para industria de fritura

El uso de un sistema de filtración es considerado un paso esencial para mantener la calidad del aceite utilizado. El aceite deber ser filtrado desde el inicio para remover los componentes del aceite que actúan como catalizadores para la degradación del mismo (Stier, 2007).

### 1. Tipos de sistemas de filtrado

a. Sistema pasivo. Los sistemas pasivos simplemente remueven partículas del aceite actuando como barreras físicas. Entre estos sistemas se encuentran: pantallas de metal, filtros de papel, mantas, sistemas de tierras de diatomeas, entre otros (Stier, 2007).

b. Sistema activo. Los sistemas activos remueven compuestos químicos solubles específicos del aceite. Estos sistemas además de remover partículas tienen la capacidad para reducir la cantidad de compuestos químicos degradables no filtrables (Stier, 2007).

2. **Filtro de silicato de magnesio.** Es un compuesto sólido de origen mineral, el cual es certificado y controlado tecnológicamente para su uso en la industria alimenticia. Se tienen un polvo de silicato de magnesio con propiedades de filtración ultra fina regeneración que puede ser usado en aceites y grasas. De acuerdo con el proveedor se pueden retener partículas menores a 1  $\mu\text{m}$ , absorber decoloraciones indeseadas, olores y sabores en el aceite. Además, en cada uso del filtro se reduce la concentración de compuestos polares presentes, así como de otras sustancias que dañan el aceite (Referencia Anexo 1).

De acuerdo con el Anexo 2, el polvo del filtro se encuentra conformado por silicato de magnesio (50.86%), celulosa (41.40%) y un aditivo aprobado por la FDA (7.74%).

Cuadro 1. Propiedades físicas del filtro de silicato de magnesio.

Características	Especificación
Apariencia	Polvo sólido en forma de plancha.
Solubilidad en agua	127 – 168 mg/L
pH	7.0 – 10.8
Punto de fusión	1910 °C

Fuente: Anexo 3

3. **Filtro de carbón activado.** Diseñado para realizar una filtración profunda, en forma de planchas, remueve las partículas de hasta 0.5 micrómetros, así como para realizar un proceso de limpieza y tratamiento del aceite. Se atrapan las partículas que contaminan el aceite, aumentando la vida útil del aceite (Referencia Anexo 4).

El filtro es una placa de carbón activado junto con otros ingredientes, la cual es fabricada con un lado rugoso para incrementar la superficie de contacto, con esto se logra la reducción de la concentración compuestos polares presentes en el aceite, metales pesados y polímeros (Referencia Anexo 4).

Los ingredientes declarados por el fabricante son: Fibra de celulosa, carbón activado, resina de alta temperatura, aditivo para mejorar porosidad, agente blanqueador (silicato amorfo), y espesante (Referencia Anexo 4).

Cuadro 2. Características físicas del filtro de carbón activado.

Características	Especificación
Masa por área	680-860 $\text{g}/\text{m}^2$
Espesor	4.4 mm
Color	Negro
Estabilidad	No se presentan residuos de resina u otros componentes al exponerse a aceite a 200 °C
Tamaño de poro nominal	10.13-14.9 $\mu\text{m}$
Capacidad de remoción	0.5 $\mu\text{m}$

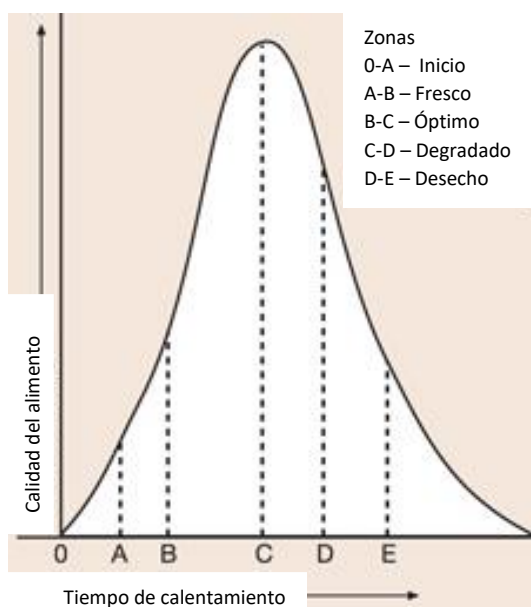
Fuente: Anexo 4

## D. Análisis físicos y químicos

1. Calidad en productos de fritura. Un aceite de fritura deseable debe ser bajo en ácidos grasos libres y compuestos polares, así como tener una alta resistencia al deterioro durante el uso continuo. Por lo tanto, es importante tener un entendimiento profundo de la degradación del aceite y los efectos del aceite degradado en la calidad del producto final (Moreira *et al.*, 1999).

Una herramienta que puede ser utilizada para un mejor entendimiento del freído es la Curva de Calidad del Aceite de Fritura. Esta curva fue desarrollada por el Dr. Blumenthal y describe las cinco etapas de la degradación del aceite: inicio (break-in), fresco (fresh), óptimo (optimum), degradado (degrading), de desecho (runaway) (Stier, 2007).

Figura 2. Curva de calidad del aceite de fritura.



Fuente: Stier (2007)

Es posible, al analizar un alimento los cambios a través de la vida del aceite. Cuando el freído es iniciado con en una freidora limpia y aceite fresco, los colores de los alimentos son tenues y no tienen un olor como el esperado en el producto. Este aceite nuevo tiene pocos surfactantes, por lo que el aceite y el alimento no permanecen en contacto el suficiente tiempo para la cocción apropiada de la comida. El agua que escapa del alimento empuja el aceite alejándolo de la superficie del alimento, por lo que la superficie no alcanza el color café esperado y el interior no es cocinado apropiadamente (Stier, 2007).

A medida que los surfactantes se generan en el aceite aumenta la calidad de los alimentos hasta alcanzar el punto óptimo del producto. El mayor objetivo de la industria de fritura es mantener el aceite en esta condición el mayor tiempo posible. A nivel industrial es más fácil llegar al punto óptimo debido a la gran

cantidad de comida procesada. Además, con un buen mantenimiento por los usuarios se puede alargar la calidad del aceite antes de ser considerado degradado. A medida que avanza el uso del aceite, los productos se vuelven más oscuros, las superficies se endurecen y el sabor se pierde (Stier, 2007).

## 2. Análisis disponibles para productos fritos

a. **Compuestos Polares Totales (TPC).** Los compuestos producidos debido a los cambios durante el calentamiento o fritura de los alimentos son conocidos como compuestos polares, materiales polares, entre otros. Estos compuestos de alteración muestran una mayor polaridad que los triglicéridos originales, por lo que pueden ser medidos por técnicas basados en la discriminación de la polaridad (Chow, 2008).

La determinación de compuestos polares totales constituye la base principal de las regulaciones de aceites de fritura. El debate en el proceso de fritura por inmersión se encuentra en el punto en el que cualquier aceite de fritura debe ser descartado. Muchos países europeos han establecido una legislación en la que se obliga a descartar el aceite cuando los compuestos polares sobrepasan el 25% de la masa total (Chow, 2008).

b. **Ácidos Grasos Libres (FFA).** Los ácidos grasos libres (FFA, por sus siglas en inglés) son el porcentaje de ácidos presentes en las grasas, el cual se expresa como miligramos de hidróxido de potasio requeridos para neutralizar 1 g de grasa (Gunstone, 1994).

Se forman de cadenas de carbón con un grupo carboxílico al final de la molécula; algunos de ellos son ácidos grasos insaturados con dobles enlaces presentes. Son ácidos grasos no esterificados, es decir que no se encuentran combinados con un alcohol para formar un éster (Watson, 2016).

c. **Índice de peróxidos.** El índice de peróxidos de una grasa es una medida de su contenido de oxígeno activo, expresado en términos de milimoles de peróxido o miliequivalentes de oxígeno, por 100 gramos de grasa. Según las teorías actuales, el oxígeno ataca la grasa en, relativamente, pocos puntos, y después de esto la reacción continua como una reacción en cadena por radicales libres (Bailey, 1984).

d. **Índice de saponificación.** Es una medida del porcentaje de grasa capaz de ser transformado en jabón mediante una reacción de saponificación con hidróxido de potasio. Es una medida aproximada del peso molecular promedio de los ácidos grasos. No es exacto para apreciar dicho peso, ya que cuantifica ácidos grasos libres junto con los triglicéridos. A menor cantidad de ácidos grasos de cadena corta aumenta el índice de saponificación, esto es muy usado para comprobar la pureza de las grasas (Ortuño, 2006).

e. **Colorimetría.** La apariencia de un alimento es el resultado de una compleja interacción de la luz incidente en el objeto, las características ópticas del objeto y la percepción humana. La apariencia comúnmente determina la aceptabilidad de un producto para el consumidor. Para la industria alimenticia, HunterLab presenta una gran variedad de escalas para medición como por ejemplo: L, a, b, APHA color, escala de color de Gardner, el índice de amarillo ASTM E313, y la escala de color CIE lab de L\*, a\*, b\*. Donde L\* indica la luminosidad (0-100%), a\* con valores negativos indica verdes y positivos rojos., b\* con valores negativos indica colores azules y positivos valores amarillos (Nielsen, 2017).

## E. Regulaciones y normativas

1. **RTCA.** De acuerdo con el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) 67.01.40:07 *Alimentos y Bebidas Procesados. Grasas y Aceites. Especificaciones*. Las características fisicoquímicas de los aceites, mantecas o grasas comestibles, de origen vegetal, animal o marino, deberán corresponder a las indicadas en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Especificaciones para aceites y grasas.

Parámetro	Límites Máximos Permitidos
Color	Característico del producto designado.
Olor y sabor	Característico del producto designado. Exento de olores y sabores extraños y rancios.
Ácidos grasos libres	0.10% máximo No aplica a grasas con emulsificantes.
Índice de peróxidos	5 meq peróxido / Kg máximo
Humedad y materia volátil	0.10% máximo

Fuente: RTCA 67.01.40:07

2. **CODEX ALIMENTARIUS.** De acuerdo con la norma CODEX STAN 2010-1999, Norma *para aceites vegetales especificados*, se presentan las características fisicoquímicas para un aceite de consumo humano de una lista especificada, la cual se amplía con la norma CODEX STAN 19-1981, *Norma para grasas y aceites comestibles no regulados*, no presenta indicaciones para el descarte por el uso de aceites de fritura de acuerdo con los parámetros de calidad especificados.

3. **CODIGO ALIMENTARIO ESPAÑOL.** El 26 de enero de 1989 se aprobó la *Norma de Calidad para los Aceites y Grasas Calentados*, con objeto definir, lo que se entiende por aceites y grasas calentados y fijar, con carácter obligatorio, el código de prácticas higiénicas de utilización y, en general, la ordenación técnico-sanitaria de tales productos. El artículo 6 de dicha normativa presenta las siguientes características higiénico-sanitarias:

- 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 componentes polares será inferior al 25 por 100, determinado de acuerdo con el método analítico que figura como anexo 1 de esta Norma.

## F. Análisis sensorial

1. **Función del análisis sensorial.** En este análisis, el consumidor evalúa la calidad de los aceites y alimentos mediante los sentidos de gusto y olfato, y con base en estos los acepta o rechaza. A nivel industrial se realiza este tipo de análisis con un panel entrenado capaz de detectar pequeñas concentraciones de los compuestos generados durante el proceso de degradación del aceite de fritura (Badui, 2006). Los métodos empleados para monitorear la calidad del producto en cuanto a aspecto se realizan con gráficas de color, mientras que el sabor y olor con paneles entrenados (Moreira *et al.*, 1999).

### 2. Aspectos sensoriales para evaluación.

a. **Textura visual.** La textura se refiere a la descripción de la constitución, estructura, o sustancia de cualquier cosa con relación a sus constituyentes o elementos formativos. En alimentos, la textura se utiliza para describir atributos de calidad en los productos, relacionados con respuestas sensitivas, en este caso específico forma visual como dureza, brillantes, “crispy”, entre otros (Figura, Teixeira, 2007).

b. **Color.** El color de los alimentos es uno de los atributos de mayor importancia para determinar su aceptabilidad, así como una muy importante especificación en muchos productos alimenticios. Se pueden obtener medidas específicas con la aplicación de colorímetros y espectrofotómetros, sin embargo, en el análisis sensorial se obtienen evaluaciones cualitativas con respecto a este atributo (Nielsen, 2017).

c. **Sabor.** Se percibe esencialmente por medio del sentido del gusto, la lengua y cavidad bucal como mayores receptores. Los receptores de sabor poseen terminaciones nerviosas específicas y múltiples que reciben la información, la analizan, y la transmiten. Henning identificó cuatro como los sabores básicos o primarios: dulce, salado, amargo y agrio (Nielsen, 2017).

## G. Equipos de fritura

Los equipos de fritura pueden ser divididos en dos grandes categorías: (a) equipos tipo batch, el cual es usado en plantas pequeñas y restaurantes y (b) equipo de fritura continuo, el cual es usado a escala industrial y facilita procesar grandes cantidades de producto. Normalmente, la fritura por inmersión se realiza a condiciones atmosféricas, sin embargo, nuevos diseños se han considerado a presiones menores y mayores (Brennan y Grandison, 2005).

1. **Equipos tipo batch.** Una freidora tipo batch consiste en una o más cámaras con una capacidad de aceite de entre 5 a 25 L. El aceite puede ser calentado directamente por resistencias eléctricas instaladas unos centímetros arriba de la base de la freidora. Esto permite el arreglo de una zona fría en el fondo del recipiente donde pueden caer los excesos, permaneciendo allí minimizando el daño al aceite. La freidora además puede ser calentada directamente con llamas de gas bajo el fondo del recipiente. Las freidoras modernas están construidas con acero inoxidable de alto grado (Brennan y Grandison, 2005).

Usualmente, los operadores tienen que remover los recipientes manualmente del fondo de la olla, y equipos nuevos pueden incluir un sistema automático que levante el recipiente automáticamente cuando el freído es terminado. Equipos nuevos pueden además tener una bomba de filtrado para remover sedimentos (Brennan y Grandison, 2005).

2. **Equipos continuos.** Las plantas con procesos a gran escala utilizan freidoras continuas. Estos son equipos automatizados que consisten en ollas de fritura donde el aceite se mantiene a la temperatura deseada, una banda transportadora que mueve el producto a lo largo de la unidad y un sistema de extracción que elimina los vapores, compuestos primariamente de vapor de agua y una pequeña cantidad de ácidos grasos (Brennan, Grandison, 2005).

El aceite puede ser calentado ya sea directamente con un calentador eléctrico o con mecheros de gas, o indirectamente con un fluido de calentamiento dentro de intercambiadores de calor en el equipo. Algunas freidoras se encuentran equipadas con intercambiadores de calor externos. En estos sistemas, el aceite es removido continuamente en la descarga del tanque, bombeado a través del filtro y después por un intercambiador de calor. Algunas freidoras continuas son diseñadas con zonas múltiples de intercambio de calor a lo largo de la freidora que pueden ser ajustados por separado, proporcionando un control de la temperatura óptimo para mejorar la calidad del producto (Brennan, Grandison, 2005).

3. **Henny Penny PFE 500.** Las freidoras Henny Penny PFE 500 son un modelo reconocido por cocinar más rápido a temperaturas menores y producir alimentos más sanos, de mejor sabor, reduciendo el consumo de aceite, costos de operación y preocupaciones de seguridad. Esta es la última generación de freidoras a presión PFE 500 de Henny Penny (la compañía que introdujo la primera freidora de presión del mundo hace 50 años) (Henny Penny, 2017).

Este modelo cuenta con una perilla con codificación de color patentada y cerradura hacen más fácil crear el sello de presión perfecto en cada ocasión. Los controles de manejo, la olla de freír rectangular con una eficiente transferencia de calor genera las temperaturas de escape más bajas de la industria (Henny Penny, 2017).

Figura 3. Freidora Henny Penny 500.



Fuente: Henny Penny (2017)

Entre las características del modelo PFE 500 se pueden mencionar (Henny Penny, 2017):

- Sistema de cierre de tapa patentado que la mantiene sellada hasta una presión de 1 psi.
- El sistema de filtración incorporado reduce el tiempo de inactividad y aumenta la productividad de los empleados.
  - Se dispone de 10 ciclos de cocción programables, compensación de carga, modos de reposo/fusión/limpieza, control proporcional, alerta de detección de agua, un indicador de filtro opcional y una pantalla digital de 16 caracteres con configuración de idiomas.
  - Los modelos eléctricos cuentan con elementos de calefacción de alta eficiencia que ahorran energía y generan una rápida recuperación de la temperatura.
    - El diseño rectangular de la olla de fritura promueve la turbulencia para la cocción.
    - La zona fría por debajo de los elementos calefactores ayuda a prolongar la vida del aceite.
    - Protección de por temperatura alta límite.
    - La tapa de aleación de aluminio es fuerte pero ligera para una mejor manipulación.
    - El borde elevado en la cubierta reduce los derrames.
    - Construcción de acero inoxidable para una mayor durabilidad y vida útil prolongada.
    - Las PFE 500 cocinan hasta 6.4 Kg (14 lb) de alimento por carga.

## H. Mercado de aceite

1. Aceite de Palma Africana. El aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*) ha sido utilizado por la humanidad como fuente de aceite y otros productos por miles de años. En los últimos 50 años se ha dado un fenómeno de expansión en su cultivo debido a que dicho aceite es considerado actualmente uno de los

mayores *commodities* a nivel mundial. Su preferencia por sobre otras fuentes de aceite vegetal se encuentra en su rendimiento de producción de aceite por hectárea cultivada, la cual es superior al comparar con otros cultivos como el algodón, oliva, entre otros (Lai, Oi-Ming, *et al.* 2012).

El aceite de palma tiene varios usos, y estos continúan en crecimiento con los desarrollos tecnológicos. En África, los productos del aceite de palma servían inicialmente para cubrir las necesidades locales para cocinar. Debido a la alta concentración de ácidos grasos libres (%FFA), el aceite se utilizaba para la elaboración de jabones, velas, entre otros. En Europa se utilizó para la fabricación de margarina a finales del siglo XIX, lo cual inició una serie de mejoras en la calidad del aceite para el consumo humano. Mientras el uso del aceite de palma se ha ampliado a nivel mundial en años recientes, el 77% de este se destina para consumo humano (Lai, Oi-Ming, *et al.* 2012).

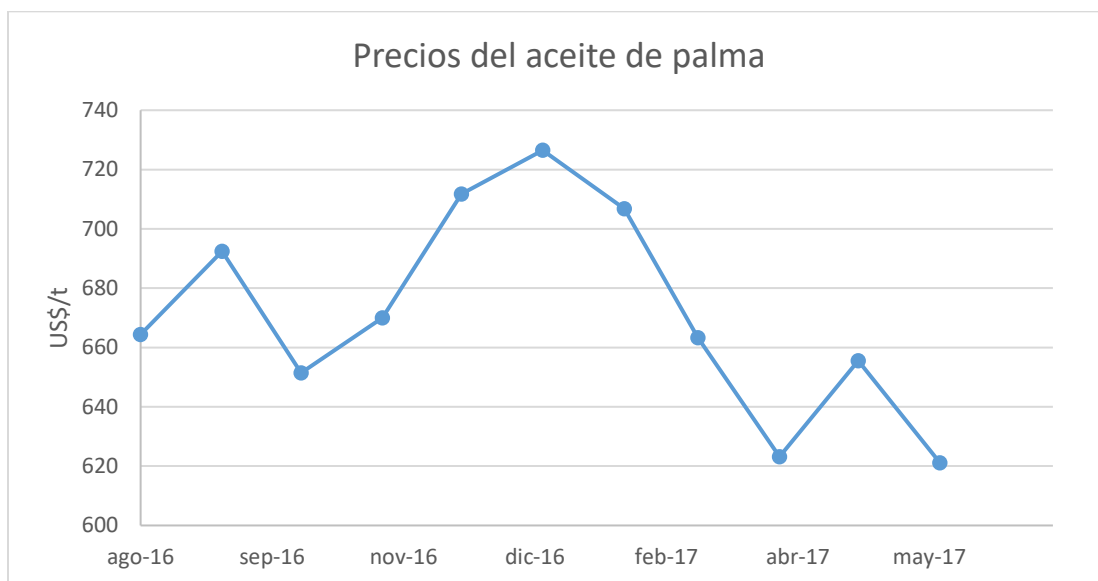
2. Precios del aceite de palma a nivel mundial. De acuerdo con los datos obtenidos de Index Mundi (2017), los precios del aceite de palma han presentado grandes variaciones durante entre los meses de agosto 2016 a junio 2017, con un alza del precio en enero y su precio más bajo en el último mes reportado.

Cuadro 4. Precio mensual del aceite de palma, expresados en Dólares norteamericanos por tonelada métrica de aceite.

Mes / año	Precio (US\$/t de aceite)	Tasa de cambio
ago. 2016	664.38	-
sep. 2016	692.41	4.22 %
oct. 2016	651.45	-5.92 %
nov. 2016	670.00	2.85 %
dic. 2016	711.76	6.23 %
ene. 2017	726.49	2.07 %
feb. 2017	706.79	-2.71 %
mar. 2017	663.30	-6.15 %
abr. 2017	623.21	-6.04 %
may. 2017	655.51	5.18 %
jun. 2017	621.18	-5.24 %

Fuente: Index Mundi (2017)

Figura 4. Precios del aceite de palma a nivel mundial.



Fuente: Index Mundi (2017)

## V. ANTECEDENTES

Los alimentos fritos han sido degustados desde hace cientos de años, y debido a diversos factores como sus características sensoriales son opciones de alimentos preferidos por miles de consumidores. Uno de los métodos más utilizados para obtener frituras es el sumergir los alimentos en aceite hasta alcanzar las características deseadas en la comida. Existen diversos estudios relacionados con todos los componentes del freído: el equipo, el aceite y el alimento.

Entre las agencias reguladoras de calidad en productos alimenticios, la *Food and Drug Administration* (FDA) en los Estados Unidos ha proporcionado una serie de recomendaciones para los consumidores de productos fritos, entre estas las regulaciones de los contenidos de grasas trans en los alimentos. Estas regulaciones se han creado para prevenir problemas en la salud de los consumidores frecuentes, entre estos problemas, la obesidad e hipertensión. Es por esto que, desde hace más de diez años, diversas empresas se han dedicado a reformular sus recetas para hacer de sus productos más saludables y no afectar la salud de sus consumidores (Stier, 2007).

El proceso de fritura es uno de los más utilizados a nivel industrial debido a su eficiencia para transferir calor y cocinar los alimentos, eficiencia que a nivel industrial es traducida en utilidades para las empresas productoras. Sin embargo, al buscar dichas utilidades no se puede descuidar la calidad de los productos, y en el caso de los productos fritos, su calidad es función de la calidad del aceite para freír utilizado. Si el aceite utilizado se encuentra fuera de los parámetros de calidad aceptados se afecta la textura, el sabor percibido en general de los alimentos (Stier, 2007).

Zhang y Addis (1992), evaluaron tres sistemas de filtración de aceite de fritura: (1) papel filtro; (2) papel filtro con tierras de diatomea; y (3) filtración activa con un filtro bajo presión positiva. En los análisis realizados se observó que los niveles de ácidos grasos libres no presentan una diferencia significativa entre los medios activos utilizados y los tradicionales. Sin embargo, al analizar los minerales de los dos aceites de fritura y el residuo formado de los filtros de aceite revelaron que la filtración activa fue más efectiva para remover metales de transición que favorecen la oxidación.

Farag y El-Anany (2006) realizaron el estudio para mejorar la calidad de aceites de fritura (soya, palma y algodón), con el uso de dos filtros, uno sintético (silicato de magnesio) y uno natural (tierra de diatomeas y caolín) los cuales fueron utilizados a diferentes niveles (1, 2 y 4%) para adsorber los productos de oxidación secundaria del aceite. Se determinaron las propiedades fisicoquímicas de interés para los aceites ya mencionados frescos y los ya utilizados. Se determinó que el tratamiento de los aceites con los filtros utilizados mejoró la calidad de los mismos, por lo que concluyeron en la alta eficiencia de los filtros usados en dicho estudio para absorber los productos de la degradación del aceite.

Entre otro tipo de estudios, Farg y Basuny (2009), analizaron mejorar la calidad del aceite de girasol usado con la aplicación de adsorbentes orgánicos (polvo de celulosa normal y modificado) e inorgánicos (sílica gel normal y modificada). Al realizar los análisis fisicoquímicos seleccionados se determinó que todos los adsorbentes fueron efectivos para incrementar la calidad del aceite de girasol analizado. La sílica gel normal permitió una capacidad alta de adsorción, la polaridad de la sustancia adsorbente presentó un efecto positivo al remover los productos secundarios de la oxidación del aceite de girasol usado.

## VI. METODOLOGÍA

Llevar a cabo estudios a nivel laboratorio no brindan resultados realistas del análisis costo-beneficio de la implementación de cada tecnología de filtrado, debido a que no se puede tener la misma representatividad del número de frituras que se alcanza en condiciones normales, razón por la cual se realizó en operación real y no a nivel laboratorio por solicitud de la empresa. Este estudio se realizó en un restaurante de venta promedio a condiciones reales de operación, con el equipo para la demanda existente en la mayoría de establecimientos de la cadena. Debido a la producción programada, las pruebas se ejecutaron en dos fases (una por cada filtro analizado) y no en simultáneo. Realizar el estudio en el mismo punto de venta permite la comparación de las condiciones de trabajo en cuanto a producción debido a picos de demanda y manejo por parte de los operarios, lo cual no es una variable controlable en operación real.

### A. Primera fase

1. Se utilizó una freidora HP 500 para el desarrollo del trabajo experimental y toma de muestras para laboratorio, y las mediciones *in situ* se tomaron en cada equipo disponible en el restaurante.
2. Se llenaron los equipos con 28.39 L (7.5 galones) de aceite nuevo y se tomó una sola muestra inicial de 150 mL de mismo, en triplicado.
3. Se realizaron las operaciones de fritura regulares de los productos.
4. Para la colocación del filtro de silicato de magnesio:
  - a. Se apagó freidora.
  - b. Se ensambló la sección de filtro de la freidora HP 500 a utilizar.
  - c. Se introdujo en esta sección el filtro y se colocó la bandeja exterior.
  - d. Se enroscó la tubería de unión del filtro a la salida de aceite de la freidora.
  - e. Se tomó 181.44 g del polvo del medio filtrante de silicato de magnesio (equivalentes a 16 oz fluidas, medida utilizada en volumen para facilidad de los operarios).
  - f. Se colocó rejilla, colador y tapadera.
5. Filtrado
  - a. Se introdujo depósito con filtro y conectó la tubería.
  - b. Se rasparon los residuos de la orilla del aceite.
  - c. Se realizó el filtrado dos veces al día, después de dos usos diarios se desechó el filtro.
6. Después de realizado el filtrado:
  - a. Se encendió la freidora y se retiró la canasta.
  - b. Se subió el aceite de nuevo a la freidora.
  - c. Se instaló el depósito sin filtro
7. Se tomó una muestra de 150 mL de aceite en triplicado de cada equipo (dos para laboratorio, una para análisis de colorímetro), cada 50 frituras.
8. Se midió el volumen de nivelación de aceite en el equipo a diario, llevando el control en una bitácora.

9. Se descartó el aceite de forma adecuada de acuerdo con los parámetros de calidad ya establecidos (25% de compuestos polares totales máximo).

## B. Segunda fase

1. Se repitió los pasos 1 a 3 de la primera fase.
2. Preparación para colocar filtro de carbón activado:
  - a. Se apagó la freidora.
  - b. Se ensambló la sección de filtro de la freidora HP 500 a utilizar.
  - c. Se introdujo en dicha sección el filtro de carbón activado y se colocó la bandeja exterior.
  - d. Se colocó la rejilla, colador y tapadera.
  - e.
  - f. Se realizó el filtrado y después de dos usos diarios desechar.
3. Se repitió los pasos 6 a 9 de la primera fase.

## C. Muestreo y determinación de propiedades fisicoquímicas

1. Se tomó 150 mL de muestra de aceite cada 50 frituras de pollo en triplicado. Se rotularon las muestras con: Tipo de filtro utilizado en la freidora, número de muestra, fecha y hora del muestreo.
2. Se midió la acidez (%FFA) aproximada con cintas 3M™ Low Range Shortening Monitor cada 50 frituras *in situ*.
  - a. Se introdujo una cinta dentro del aceite caliente durante dos segundos aproximadamente
  - b. Se esperaron 30 segundos para que la cinta seque.
  - c. Se contaron el número de bandas que cambian de azul a amarillo.
  - d. Se descartaron en un contenedor apropiado.
3. Se midieron los compuestos polares totales (%TPC) *in situ* con equipo de medición marca Vito® cada 50 frituras.
  - a. Se encendió el equipo.
  - b. Se introdujo el equipo en cada una de las freidoras utilizadas, limpiándolo con agua y jabón neutro entre cada medición.
    - a. Se esperó a que el equipo se estabilice en un valor.
    - b. Se apagó el equipo.
4. Se determinaron los ácidos grasos libres de acuerdo a la metodología AOAC 940.28.
5. Se determinó el índice de saponificación de acuerdo a la metodología AOCS Cd 3-25.
6. Se determinó el índice de peróxidos de acuerdo a la metodología AOCS Cd 8-53.

## D. Colorimetría

1. Se tomó muestra de 150 mL de aceite cada 50 frituras en cada ciclo de uso de un filtro.
2. Se midió con el colorímetro HunterLab de acuerdo a la metodología de uso del equipo.
  - a. Se calibró el equipo con los colores de referencia proporcionados por el proveedor del equipo.
  - b. Se colocó la muestra patrón en celda de medición limpia, el aceite inicial de cada fase.
  - c. Se leyó patrón en el equipo.
  - d. Se colocó muestras de cada 50 frituras en celda limpia.
  - e. Se realizó la lectura de cada una de las muestras en el equipo.

## E. Panel sensorial

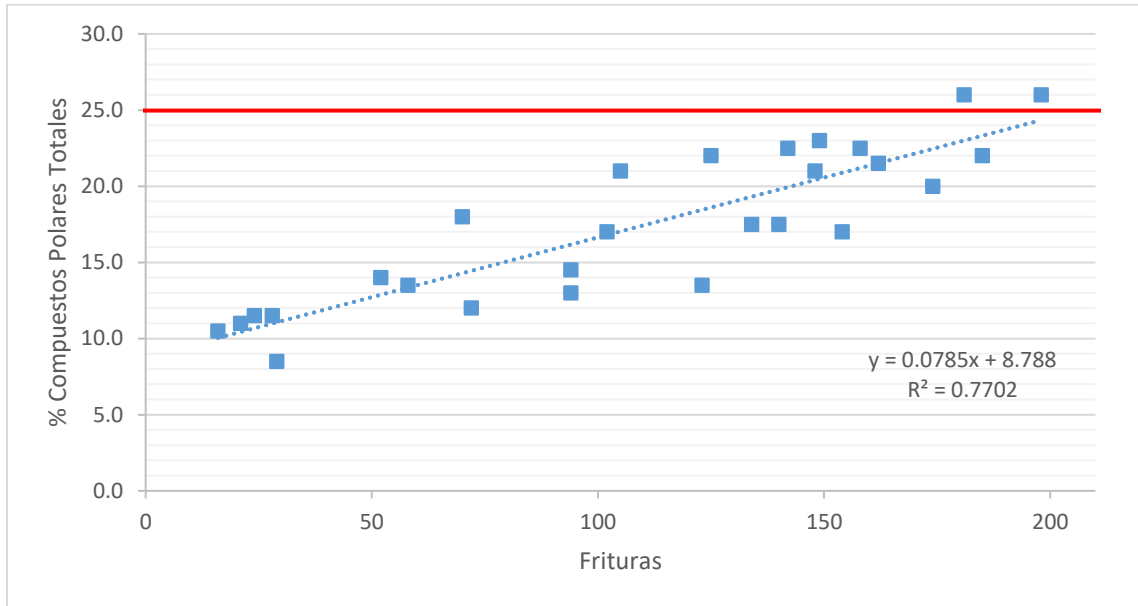
1. Se empleó panel sensorial entrenado de la Empresa conformado por 5 o 6 personas dependiendo de la disponibilidad de los panelistas.
2. Se tomó una muestra de pollo frito cercana a la última fritura del ciclo en la calidad aceptada del aceite con cada filtro utilizado, de silicato de magnesio y carbón activado.
3. Se realizó un análisis sensorial de aceptación, considerando los siguientes parámetros: textura visual, color, sabor, pungencia, sal, jugosidad, entre otros. De acuerdo con las escalas presentadas en los anexos 8 y 9, dependiendo del tipo de producto analizado.

## F. Cálculos

1. El detalle de cálculos se encuentra en la sección de anexos de cálculos.
2. Para la determinación del valor P y alfa para el análisis ANOVA, se utilizaron las funciones estadísticas de Microsoft Excel 2016.

## VII. RESULTADOS

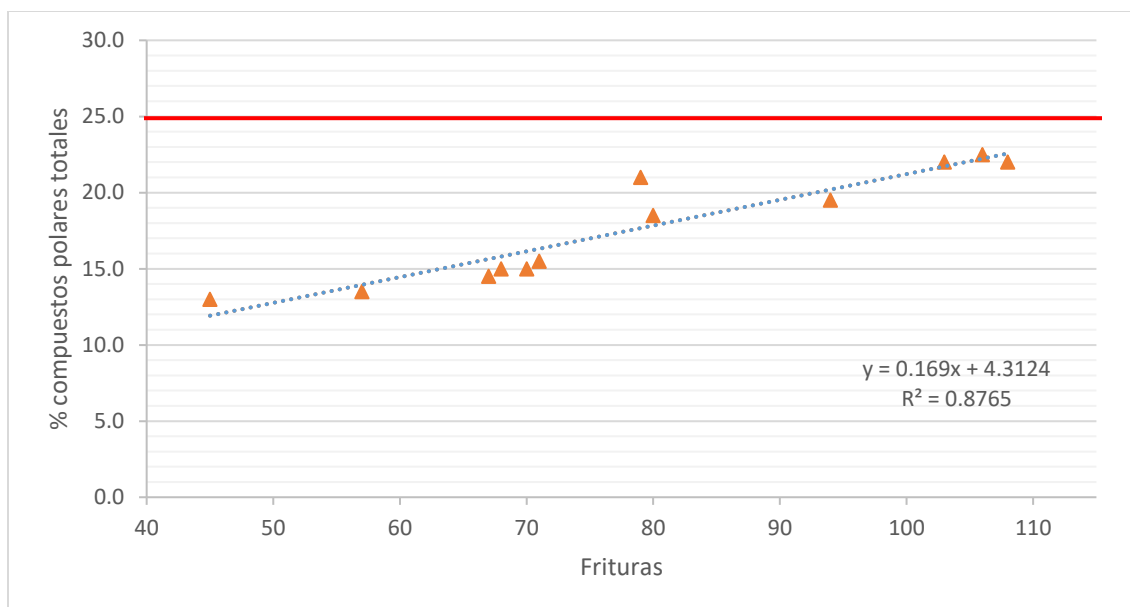
Figura 5. Medición de compuestos polares totales (%TPC) para un ciclo de aceite, con tres equipos en producción continua, utilizando filtro de silicato de magnesio (Filtro A).



Fuente: Propia

Notas: La gráfica muestra un aumento en la concentración de compuestos polares en función de la cantidad de frituras efectuadas. Se alcanza el 25% de TPC permitidos cercano a las 193 frituras.

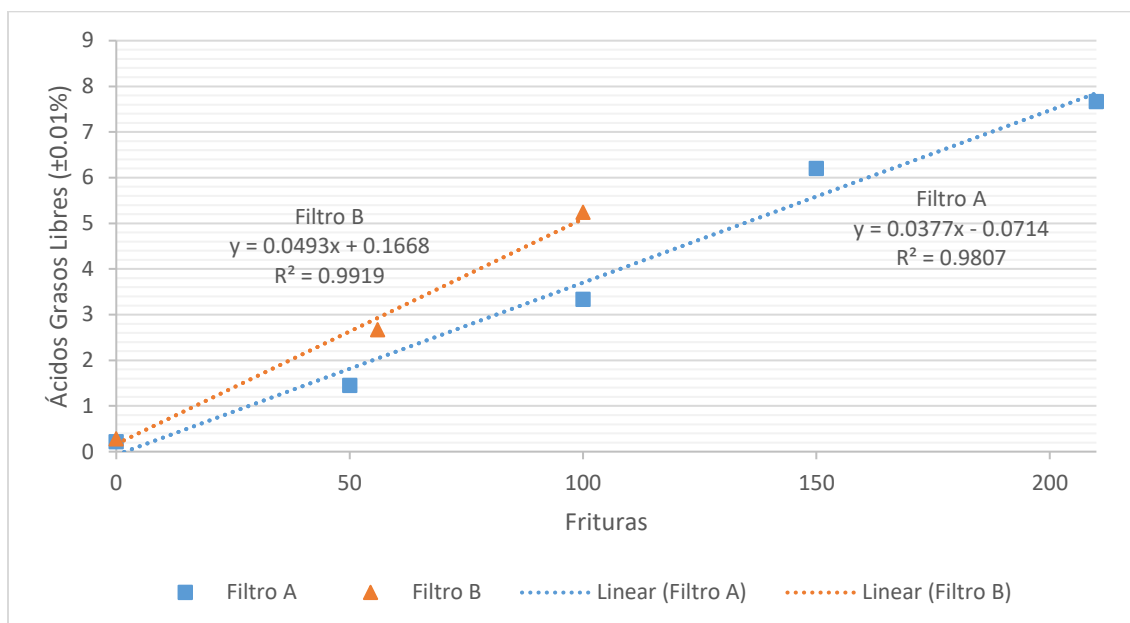
Figura 6. Medición de compuestos polares totales (%TPC) para un ciclo de aceite, con tres equipos en producción continua, utilizando filtro de carbón activado (Filtro B).



Fuente: Propia

Notas: La gráfica muestra un aumento en la concentración de compuestos polares en función de la cantidad de frituras efectuadas. Se alcanza el 25% de TPC permitidos cercano a las 133 frituras.

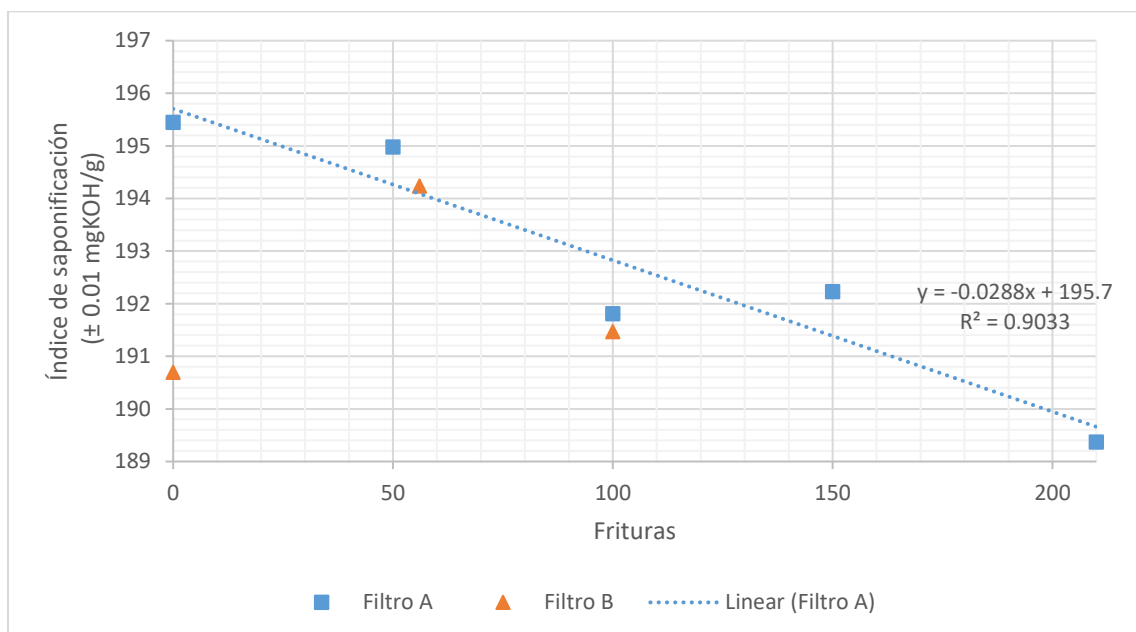
Figura 7. Porcentajes de ácidos grasos libres presentes en el aceite de fritura con cada filtro utilizado.



Fuente: Propia

Notas: La gráfica muestra un aumento en los porcentajes de ácidos grasos libres en función del número de frituras. Se observa una pendiente mayor en las mediciones del filtro B.

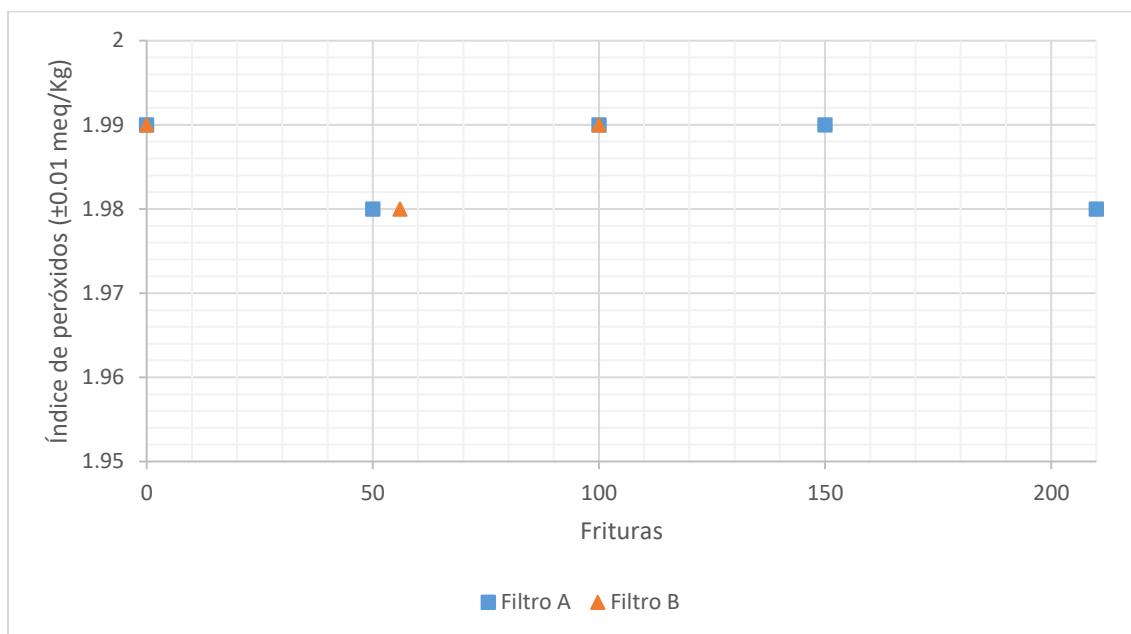
Figura 8. Índice de saponificación de aceite de fritura con cada filtro utilizado.



Fuente: Propia

Notas: La gráfica muestra una variación o en el índice de saponificación, el cual en el filtro A se observa un descenso en función del número de frituras, mientras que en el filtro B, no se presenta un comportamiento definido con la cantidad de puntos muestreados, y por la presencia de un dato atípico en la medición del aceite sin uso.

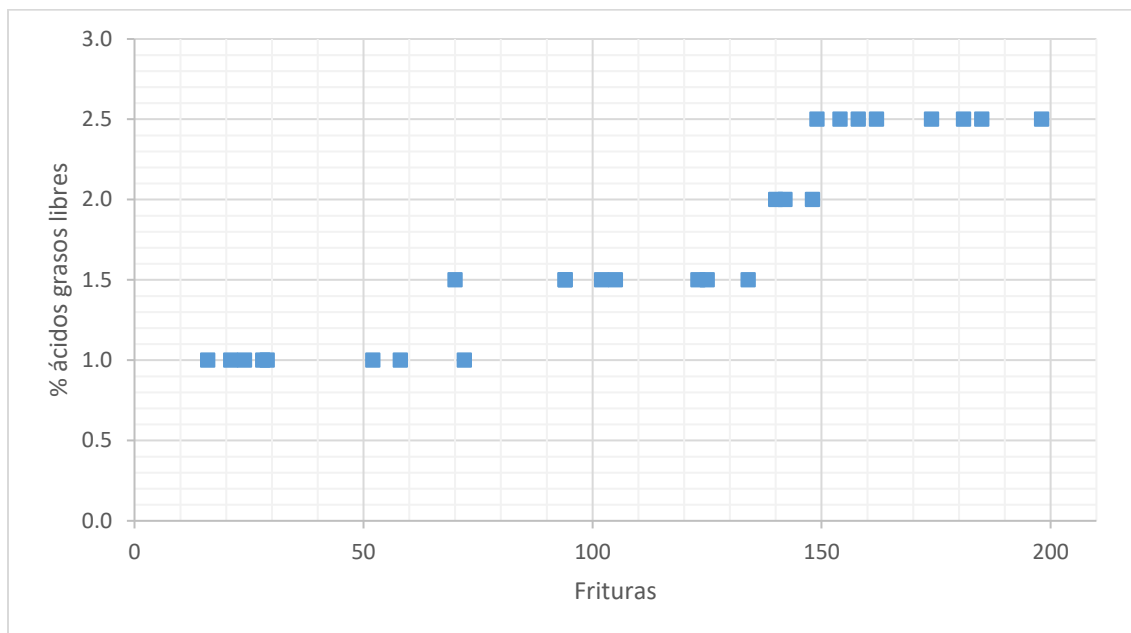
Figura 9. Índice de peróxidos medido en el aceite de fritura con cada filtro utilizado



Fuente: Propia

Notas: La gráfica muestra un comportamiento aproximadamente constante para dicho parámetro en ambas pruebas.

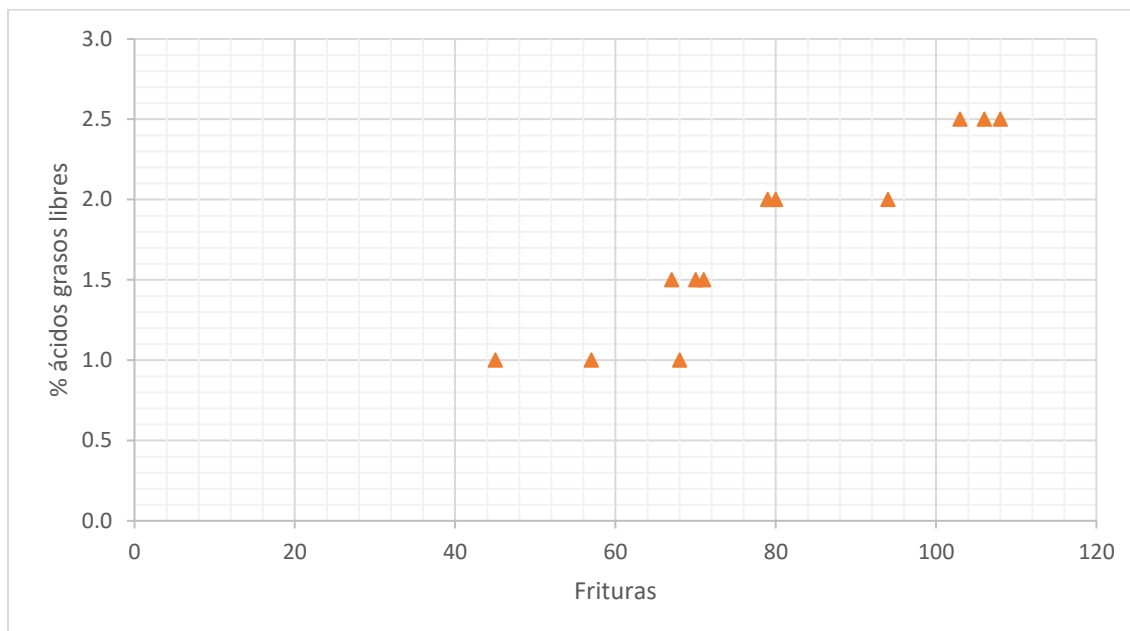
Figura 10. Medición *in situ* del porcentaje de ácidos grasos libres para un ciclo de aceite, con tres equipos en producción continua, utilizando filtro de silicato de magnesio (Filtro A), con cintas 3M™ Low Range Shortening Monitor.



Fuente: Propia

Notas: La gráfica muestra un aumento en la concentración del porcentaje de ácidos grasos libres presentes en función de la cantidad de frituras efectuadas.

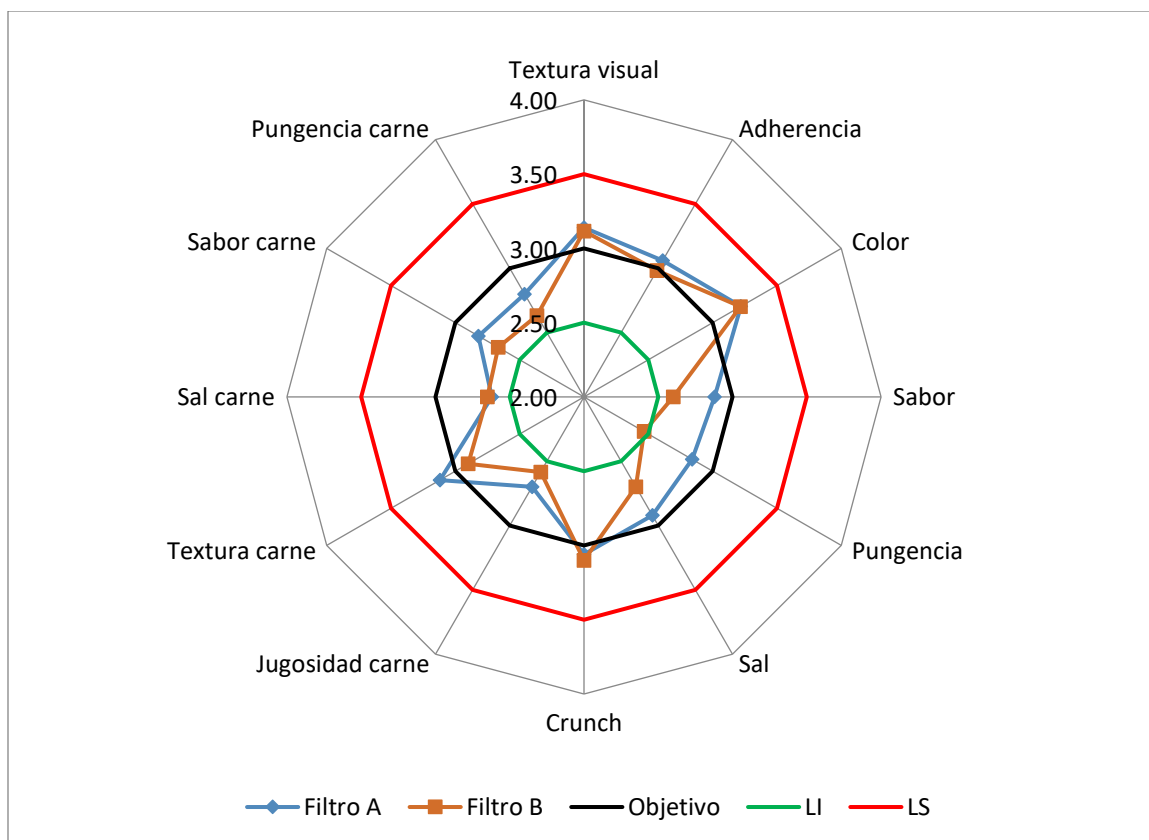
Figura 11. Medición *in situ* del porcentaje de ácidos grasos libres para un ciclo de aceite, con tres equipos en producción continua, utilizando filtro de carbón activado (Filtro B), con cintas 3M™ Low Range Shortening Monitor.



Fuente: Propia

Notas: La gráfica muestra un aumento en la concentración del porcentaje de ácidos grasos libres presentes en función de la cantidad de frituras efectuadas.

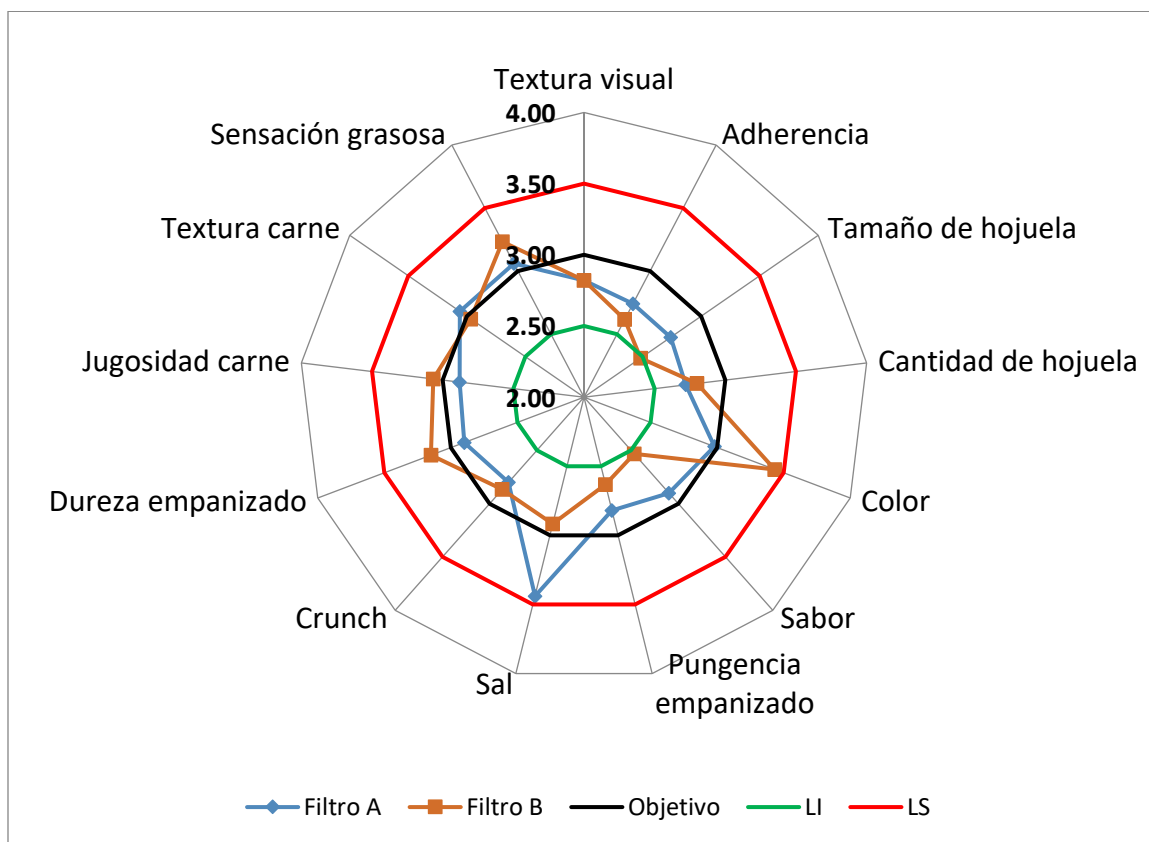
Figura 12. Evaluación sensorial del producto 1, de acuerdo con los resultados obtenidos los cuadros 22 a 25.



Fuente: Propia

Notas: LI es el valor mínimo aceptable (2.50) y LS el valor máximo aceptable (3.50). El filtro A se analizó a 198 frituras, mientras que el filtro B a 133 frituras, en los cuales se obtuvo un valor cercano a 25% TPC en el aceite utilizado en ambos casos. Se observa que todos los resultados se encuentran dentro del rango aceptable fijados por la empresa. Sin embargo, se obtuvo los resultados promedio diferentes entre los productos con aceite de diferente filtro.

Figura 13. Evaluación sensorial del producto 2, de acuerdo con los resultados obtenidos en cuadro 26 a 29.



Fuente: Propia

Notas: LI es el valor mínimo aceptable (2.50) y LS el valor máximo aceptable (3.50). El filtro A se analizó a 198 frituras, mientras que el filtro B a 133 frituras, en los cuales se obtuvo un valor cercano a 25% TPC en el aceite utilizado en ambos casos. Se observa que todos los resultados se encuentran dentro del rango aceptable fijados por la empresa. Sin embargo, se obtuvo los resultados promedio diferentes entre los productos con aceite de diferente filtro.

Cuadro 5. Resultados de análisis colorimétrico de muestras de aceite, para un ciclo utilizando filtro de silicato de magnesio (Filtro A).

Fritura	L* (±0.01)	a* (±0.01)	b* (±0.01)	DE* (±0.01%)
0	34.49	4.88	26.18	
50	23.61	-0.1	0.28	30.81
100	23.49	-0.52	0.08	31.09
150	23.45	-0.63	0.27	30.97
210	23.81	-0.49	0.08	31.06

Cuadro 6. Resultados de análisis colorimétrico de muestras de aceite, para un ciclo utilizando filtro de carbón activado (Filtro B).

Fritura	L* (±0.01)	a* (±0.01)	b* (±0.01)	DE* (±0.01%)
0	37.37	4.88	22.01	
56	23.56	-0.55	0.03	26.56
100	23.59	-0.48	0.12	26.41

Cuadro 7. Volumen de nivelación de aceite para los tres equipos durante los días de pruebas.

Filtro	Duración del ciclo (días)	Volumen de nivelación (± 0.05 L de aceite)
A	12	23.66 L (1.25 bidones)
B	9	28.39 L (1.50 bidones)

Nota: 1 bidón equivale a 5.68 L (1.5 galones de aceite).

Cuadro 8. Análisis de costo y beneficio anualizado para los filtros analizados, tomando en cuenta la operación de tres freidoras HP 500.

Comparación	Filtro de silicato de magnesio (Filtro A)	Filtro de carbón activado (Filtro B)	Diferencia
Costo por ciclo	Q 1,024.25 (US\$ 140.65)	Q 1,112.02 (US\$ 152.70)	+ Q 87.77 (US\$ 12.05)
Costo anualizado	Q 31,175.71 (US\$ 4,280.97)	Q 45,129.62 (US\$ 6,197.08)	+ Q13,953.91 (US\$ 1,916.11)

Tasa de cambio: 7.2824 Q/US\$ según BANGUAT para el 28 de agosto de 2017.

## VIII. DISCUSIÓN

Como objetivo principal se planteó evaluar la eficiencia de filtrado de aceite con un filtro de silicato de magnesio (Filtro A), y un filtro de carbón activado (Filtro B). Para esto se realizaron análisis fisicoquímicos, organolépticos y de costo beneficio entre ambas tecnologías de filtrado.

Durante las dos fases de investigación se midió el porcentaje de compuestos polares totales (% de TPC, por sus siglas en inglés) presentes durante los ciclos de vida del aceite, teniendo como parámetro de cambio llegar a 25% de TPC, de acuerdo con el código alimentario español, en la *Norma de Calidad para los Aceites y Grasas Calentados*. Las mediciones se realizaron en un restaurante, con tres freidoras Henny Penny 500, con un plan de producción programado de acuerdo con la demanda diaria, por lo que los resultados obtenidos se deben relacionar con la capacidad de producción del lugar seleccionado.

Durante la primera fase utilizando el filtro A se obtuvo los datos presentados en la Figura 5, en la cual se observa el aumento de dicho parámetro en función del número de frituras realizadas. Al modelar el cambio de %TPC con respecto al número de frituras como una función lineal se obtuvo un modelo con un coeficiente de correlación de 0.77, lo cual indica que el 77% de los datos se ajustan al modelo propuesto, este parámetro del ajuste del modelo puede deberse al graficar los valores de las tres freidoras utilizadas en una sola gráfica para tener el panorama general de la producción. Al interpolar para el valor máximo permitido de 25%, se obtuvo que se alcanzaría después de 184 frituras bajo las mismas condiciones de producción.

En la segunda fase de prueba al realizar las mediciones del porcentaje de TPC con el filtro B se obtuvo los datos presentados en la Figura 6, dichos valores presentan una región cercana a las 110 frituras en las que se alcanzó un valor de hasta 22% de TPC en el durante la producción. Al extrapolar los valores obtenidos de acuerdo con un modelo lineal con un coeficiente de correlación de 0.86, el cual indica que el 86% de los valores experimentales se ajustan al modelo matemático propuesto, se obtuvo que la cantidad de frituras en las que se alcanza el valor máximo permitido es de 117 frituras.

Al comparar la acción de cada ciclo de vida de aceite, se puede observar que el filtro A permite una reducción mayor del porcentaje de TPC presentes en el aceite, ya que, aunque estos se siguen produciendo a lo largo de todo el ciclo debido a las reacciones fisicoquímicas que sufre el producto en el aceite, especialmente la deshidratación de los alimentos congelados y las reacciones con proteínas. El filtro A tiende a retener de mejor forma dichos compuestos, comparado con el filtro B. El filtro A alcanzó 198 frituras y el B 133 frituras.

Al observar la tendencia del porcentaje de ácidos libres presentes en el desarrollo de las mediciones con los dos filtros, a partir de los datos de laboratorio reportados en los cuadros 11 y 12, y presentadas en la

Figura 7, se observa una tendencia lineal creciente, es decir un aumento en la concentración del porcentaje de ácidos grasos libres en función del número de frituras realizadas. Con este parámetro se observa que aunque la generación de ácidos grasos debido a su separación de los triglicéridos que forman el aceite se sigue produciendo debido a las reacciones de hidrólisis que se dan en el medio. La pendiente del aumento de dicho parámetro es mayor para el filtro B en comparación de la pendiente para el filtro A (Figura 7), lo que indica un mayor aumento en el porcentaje de ácidos grasos libres en el filtro B. Se alcanzó un valor de  $5.24\% \pm 0.01\%$  de ácidos grasos libres en la fritura 100 del ciclo con el filtro B, mientras que en el ciclo del filtro A, ese valor se encuentra por encima de la fritura 100, cercana a la fritura número 150, lo cual se debe a la mejor acción del filtro de silicato de magnesio para retener y disminuir la concentración de dichos compuestos a lo largo del desarrollo de la prueba.

Al analizar el índice medido de saponificación, el cual se relaciona con la concentración de cadenas de triglicéridos disponibles en el aceite, se tiene una relación aproximadamente lineal y decreciente en el caso de las mediciones para el ciclo del filtro A, que por tener cinco puntos de muestreo se puede apreciar mejor la acción del filtro activo en la disminución de los valores presentados de acuerdo con la Figura 8. Debido a que éste índice se relaciona con la cantidad de triglicéridos disponibles en el aceite al momento de la medición, se tiene una relación inversa a la presentada por los ácidos grasos libres, ya que en este caso a medida que el aceite se encuentra en uso y reaccionando con el producto inmerso, estos triglicéridos se degradan por las reacciones de hidrólisis producidas, lo cual explica el comportamiento decreciente observado para los datos de la primera fase. Sin embargo, en el caso del aceite utilizado para la segunda fase (Figura 8) no se observa un comportamiento con una tendencia definida, esto especialmente por el índice de saponificación de la muestra inicial del aceite, el cual aunque se trató del mismo utilizado para la primera fase presenta un valor menor de dicho índice, siendo la única muestras que presenta un comportamiento atípico, esto puede deberse a factores externos que pudieron afectar la muestra analizada, entre estos contaminación al momento de realizar el muestreo, o al congelar y descongelar las muestras, así como durante su análisis.

En el caso de la medición de índice de peróxidos representada en la Figura 5, se puede observar que no se dio un cambio significativo en el valor de dicha medición a lo largo del ciclo de ambos filtros analizados. Esto puede deberse a la presencia de los antioxidantes Terbutil Hidroquinona (TBHQ) y Butil Hidroxitolueno (BHT) en la formulación del aceite utilizado para la operación, los cuales contribuyen en la estabilización de la concentración de peróxidos durante la vida útil del aceite. Se comprobó que dicho parámetro no es concluyente sobre la acción de los filtros analizados para las pruebas.

Al realizar las mediciones *in situ* del porcentaje de ácidos grasos libres presentes en el aceite con el método rápido de cintas 3M™ Low Range Shortening Monitor, se presenta en las figuras 10 y 11 el cambio en dicho parámetro determinado *in situ*. Este método es utilizado como una aproximación al valor dicho

parámetro, el cual tiene la utilidad de ser una prueba rápida, sin embargo, al comparar con los resultados de laboratorio se observa una diferencia entre los valores máximos detectables por las cintas y los valores reportados con el método oficial. Esta diferencia se debe a que las cintas no indican valores aproximados mayores a 2.5 % de ácidos grasos libres en el aceite, siendo un valor menor al máximo reportado por los análisis de laboratorio, por lo que no es un método concluyente para determinar una diferencia entre la acción de los filtros analizados.

De los análisis de colorimetría Hunterlab se obtuvo los datos presentados en los cuadros 5 y 6. La muestra empleada fue el aceite inicial fresco, se obtuvo una diferencia cercana al 30% de acuerdo a las desviaciones determinadas en el equipo, en las muestras de aceite recolectado en el ciclo de uso del filtro A. Mientras que para las muestras recolectadas durante el ciclo con uso del filtro B, se tienen diferencias cercanas al 26% con respecto al valor inicial del aceite sin usar. Los valores de luminosidad (L) determinados para las muestras de aceite fresco se determinaron en 34.49% y 37.37% al inicio de las muestras, y en las muestras durante los dos ciclos analizados valores cercanos a 23.50 % de luminosidad, lo cual indica que el aceite se volvió más oscuro al ser un porcentaje menor en este parámetro.

Los valores de  $a^*$  fueron negativos en todas las muestras analizadas, con valores similares cercanos a -0.55, lo que indica que el aceite presenta un cambio a la región de verde, además los valores de  $b^*$  medidos fueron positivos, indicando que el aceite se volvió más amarillo. Aunque las muestras de las dos fases experimentales presentan diferencias en el color del aceite, con respecto al aceite fresco, este parámetro se mantiene en valores similares de cambio en los mismos ciclos de uso, y no altera significativamente los atributos de color de los productos analizados como se presenta a continuación.

Al agrupar estos parámetros fisicoquímicos medidos, se demuestra el cambio en dichos valores en función del número de frituras, sin embargo, para complementar dichos valores se debería determinar variables importantes como el cambio en el pH, viscosidad, punto de fusión, conductividad, entre otras, con el fin de evaluar cómo afecta al equipo la reutilización del aceite hasta realizar el número de frituras en el rango aceptable en los productos para el consumidor.

Como uno de los parámetros de mayor importancia se realizó el análisis sensorial de aceptación de dos muestras de productos comerciales distintas, cerca del fin cada una de las fases experimentales. La diferencia entre el producto 1 y el producto 2 es la forma de empanizar de cada producto. Como se puede observar en las figuras 12 y 13, de la sección de resultados, al comparar las propiedades organolépticas de los productos 1 y 2 después de 198 frituras con el filtro A con las del mismo producto después de 133 frituras con el filtro B, todos los valores promedio se encuentran dentro del rango de los límites aceptados. Debido a que el aceite utilizado para la fritura de los productos debe cumplir con un valor máximo de 25% TPC aceptables, se

utilizó un aceite muy cercano a ser descartado en ambos casos, lo cual implica la diferencia de más de 50 frituras.

Al comparar los resultados del análisis sensorial del producto 1 y producto 2 con el filtro de silicato de magnesio (filtro A) con los resultados del filtro de carbón activado (filtro B) (figuras 12 y 13), se observa que existen valores promedio similares como en los atributos de textura crujiente, color, textura visual y sal en carne. Sin embargo, existen atributos como el caso de la pungencia, adherencia, sabor de carne, textura de carne, que aunque se mantienen dentro de los parámetros de aceptación establecidos fueron mejor valoradas para el Filtro A en 198 frituras en comparación del filtro B a menor número de frituras (133).

Se realizó el análisis estadístico ANOVA de acuerdo con el cálculo 4, en el que se compararon las medias de las calificaciones para cada atributo por parte de los panelistas entrenados que realizaron el análisis sensorial. Se planteó la hipótesis nula que las medias obtenidas eran iguales, lo cual implicaría que se mantienen los atributos de calidad a pesar de que el número de fritura sean diferentes. De acuerdo a los valores F, p y F crítico presentados en los cuadros 31 y 32, se observa que al ser todos los valores F menores al F crítico, y que los valores p no son menores o iguales al valor alfa de 0.05 no se descarta la hipótesis nula al no existir un valor de significancia que indique una diferencia en las medias. Esto es congruente con los parámetros fisicoquímicos que demuestran que la calidad se mantiene similar, pero con número de frituras diferentes en el filtro A y el filtro B (198 y 133, respectivamente).

Se trató de controlar los factores de preparación de la muestra tales como el tiempo de marinado, la forma de empanizar del cocinero, el tiempo adecuado en la freidora, entre otros. Sin embargo, hay una variabilidad natural en la preparación de cada muestra.

Al realizar el análisis costo beneficio, en el que de acuerdo a los cálculos 5 al 7, se obtuvo los costos de llenado de tres equipos en operación, el costo de nivelación debido a disminución del volumen del aceite por el filtrado, y el costo de los filtros necesarios por ciclo, y a partir de los días de duración de cada ciclo de vida de aceite, se obtuvo un costo anualizado de Q 31,175.71 (US\$ 4,280.97) para el filtro de silicato de magnesio y un costo anualizado de Q 45,129.62 (US\$ 6,197.08) para el filtro de carbón activado en operación.

La diferencia en costo por año obtenida en el cálculo 7 es de Q13,953.91 (US\$ 1,916.11). El filtro de carbón activado presenta un mayor costo contra el filtro de silicato de magnesio, al mantenerlo en operación durante un año bajo las condiciones de operación en las que se realizaron las pruebas y mediciones, en un restaurante con tres freidoras Henny Penny 500, y con una demanda de producción similar.

El parámetro que mayormente impacta en el costo anualizado para ambos filtros es la cantidad de días de duración de un ciclo de vida de aceite, esto ya que los mismos se determinaron a partir de los parámetros fisicoquímicos aceptables para mantener el mismo aceite en operación, y aunque la función del filtro es

aumentar el tiempo de vida al controlar dichos parámetros, se puede apreciar que la tecnología del filtro de silicato de magnesio (filtro A) es más efectiva para lograr dicho propósito, en comparación del filtro de carbón activado (filtro B) con cuatro días menos de tiempo de vida.

Al comparar el costo unitario de cada filtro (Cuadro 13), el filtro A presenta un menor costo de Q 11.23 (US\$ 1.55) por unidad que el filtro B de Q 20.54 (US\$ 2.82), por lo que el filtro B para ser más rentable que el filtro A debería extender la vida útil del aceite por lo menos a 15 días, o más de 225 frituras por ciclo, manteniendo los parámetros fisicoquímicos aceptados para el uso del aceite.

Otro de los parámetros a considerar que es de mucha influencia en el costo por ciclo de uso del aceite es el volumen de nivelación de aceite en los equipos; al realizar los filtrados dos veces al día hay reducción de volumen en la tina de fritura. Esta pérdida se debe a la acción de los filtros que retienen los compuestos degradantes del aceite y parte de éste en el procedimiento. Para esto se llevó el control del volumen total de nivelación necesario durante la operación de en ambas fases, obteniendo los volúmenes mostrados en el Cuadro 7.

Como puede observarse en el Cuadro 7, el volumen de aceite de nivelación requerido durante la prueba del filtro A es menor al requerido en la prueba del filtro B que, aunque tiene una menor duración de días en el ciclo de vida del aceite, por su composición química de carbón activado, presenta una mayor capacidad de absorción del aceite aumentando el volumen de compensación necesario. Este aceite de nivelación empleado contribuye en de la vida útil del aceite empleado. Al ser un aceite nuevo con propiedades similares a las del aceite inicial muestreado, se logra la dilución de la concentración de agentes degradantes con dicha adición.

Entre los parámetros a considerar para estas pruebas, se tiene que las mismas se llevaron a cabo en operación regular de un establecimiento de fritura de pollo, con una demanda media en comparación de otros similares, y durante semanas que no presentaron días con picos de ventas que alteraran la operación. Con estos cuidados se puede establecer una estandarización de los resultados que para su comprobación pueden ser replicados en otros establecimientos similares.

El aceite tratado con el filtro A presentó una mayor vida útil con respecto a los parámetros fisicoquímicos en comparación con el filtro B, con una diferencia mayor a 50 frituras para alcanzar los valores máximos permitidos de 25% TPC. Los resultados de los atributos sensoriales en dos productos comparados son adecuados en el límite de uso de un aceite tratado con el filtro A, a un menor costo que el necesario con el filtro B.

## IX. CONCLUSIONES

1. Con la aplicación del filtro de silicato de magnesio (filtro A) el aceite alcanzó un total de 198 frituras cumpliendo con los parámetros fisicoquímicos de aceptación (25% de compuestos polares totales máximos presentes), mientras que el filtro de carbón activado (filtro B) alcanzó un total de 133 frituras cumpliendo los mismos parámetros, bajo condiciones similares de operación.
2. El análisis sensorial realizado a dos productos de venta, obtenidos con los dos filtros evaluados, confirmó los datos obtenidos por el análisis fisicoquímico del aceite, siendo aún adecuado para la obtención de productos dentro del rango de calidad establecido por la empresa.
3. La diferencia obtenida en costo por año fue de Q13,953.91 (US\$ 1,916.11), siendo el filtro de carbón activado el que presenta un mayor costo al mantenerlo en operación durante un año bajo condiciones similares de operación a las que se realizaron las pruebas.
4. Al agrupar las variables fisicoquímicas de: cambio en porcentaje de compuestos polares totales, el porcentaje de ácidos grasos libres, índice de saponificación, índice de peróxidos, los resultados del análisis sensorial y los datos de costo, se debe continuar utilizando el filtro A.

## X. RECOMENDACIONES

1. Realizar análisis de propiedades reológicas del aceite en función de las frituras (densidad, pH, viscosidad, entre otros) para cada freidora y llevar el control individual por equipo.
2. Analizar el cambio de las propiedades del aceite utilizando un filtro nuevo en los dos filtrados del día, en lugar de uno dos veces al día.
3. Analizar el impacto ambiental del método de descarte del filtro de silicato de magnesio, así como evaluar la factibilidad de regeneración compuesto activo.
4. Replicar el estudio en un establecimiento con otros modelos de freidoras Henny Penny y demandas de venta, para así ampliar el alcance de utilización del filtro de silicato de magnesio.
5. Realizar análisis sensorial después de realizar el mismo número de frituras en cada filtro evaluado para determinar el cambio en las propiedades organolépticas.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- Bailey, Altone. 1984. *Aceites y Grasas Industriales*. Barcelona: Editorial Reverté. 743 págs.
- Brennan, J y Grandison, A. 2005. *Food Processing Handbook*. Weinheim: Wiley-VCH. 2da ed. 826 págs.
- Chow, Ching. 2008. *Fatty Acids in Foods and their Health Implications*. Boca Ratón: CRC Press. 3ra ed. 1282 págs.
- Farag, R. El-Anany, A. 2006. «Improving the quality of fried oils by using different filter aids». *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86: 228-2240.
- Farag, R. Basuny, A. 2009. «Improvement in the quality of used sunflower oil by organic and inorganic adsorbents». *International Journal of Food Science & Technology*. 44: 1802-1808.
- Figura, Ludger; Teixeira, Arthur. 2007. *Food Physics: Physical Properties – Measurement and Applications*. Berlin: Springer. 549 págs.
- Gunstone, Frank, *et al.* 1994. *The Lipid Handbook*. Londres: Chapman & Hall. 2da ed. 709 págs.
- Henny Penny. *PFE 500/ PFG 600*. <http://www.hennypenny.com/product/pfe-500-pfg-600-pfe-561/> [16 de abril de 2017]
- Ibáñez, Francisco; Barcina, Yolanda. 2001. *Análisis sensorial de alimentos: Métodos y aplicaciones*. Barcelona: Springer. 181 págs.
- Index Mundi. *Aceite de palma: Precio Mensual – Dólares americanos por tonelada metrica*. <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=aceite-de-palma&meses=12> [13 de septiembre de 2017]
- Lai, Oi-Ming, *et al.* 2012. *Palm Oil: Production, Processing, Characterization, and Uses*. AOAC. Maryland: AOAC. 837 págs.
- Mariod, Abdalbasit; Ali, N. 2014. «Chemical Reactions Taken Place During Deep-Fat Frying and Their Products: A review». *Journal of Natural and Medical Sciences*.
- Moreira, Rosana, *et al.* 1999. *Deep-Fat Frying: Fundamentals and Application*. California: Gaithersburg An Aspen Publication. 337 págs.
- Nielsen, Suzanne. 2017. *Food Analysis Laboratory Manual*. Berlin: Springer. 3era ed. 549 págs.
- Ortuño, Mauel. 2006. *Manual Práctico de Aceites Esenciales, Aromas y Perfumes*. Madrid: Ediciones AIYANA. 277 págs.
- Real Academia de la Lengua Española (RAE). <http://dle.rae.es/?id=IRkiFdF> [5 de marzo de 2017]
- Stier, Richard. 2007. «Ensuring the Safety and Quality of Fried Foods». *Food Safety Magazine*.
- Taylor, Kate. *Forget burgers and fries – fried chicken is taking over the fast-food industry*. <http://www.businessinsider.com/fried-chicken-is-taking-over-fast-food-2017-1> [5 de marzo de 2017]

- Watson, R y De Meester, F. 2016. *Handbook of Lipids in Human Function: Fatty Acids*. Londres: Elsevier Inc. 808 págs.
- Zhang, W. B. 1992. «Evaluation of Frying Oil Filtration Systems». *Journal of Food Science*. LVII (3): 651-654.

## XII. ANEXOS

### A. DATOS ORIGINALES

Cuadro 9. Medición de compuestos polares torales (TPC) y ácidos grasos libres (FFA) *in situ* con filtro A.

Fecha	Máquina 1			Máquina 2			Máquina 3		
	Fritura	% FFA	% TPC ( $\pm 0.5\%$ )	Fritura	% FFA	% TPC ( $\pm 0.5\%$ )	Fritura	% FFA	% TPC ( $\pm 0.5\%$ )
7-jun	29	1.0	8.5	16	1.0	10.5	21	1.0	11.0
8-jun	52	1.0	14.0	24	1.0	11.5	28	1.0	11.5
9-jun	94	1.5	14.5	58	1.0	13.5	72	1.0	12.0
10-jun	102	1.5	17.0	70	1.5	18.0	94	1.5	13.0
12-jun	134	1.5	17.5	105	1.5	21.0	123	1.5	13.5
13-jun	148	2.0	21.0	125	1.5	22.0	140	2.0	17.5
14-jun	158	2.5	22.5	142	2.0	22.5	154	2.5	17.0
15-jun	162	2.5	21.5	149	2.5	23.0	174	2.5	20.0
17-jun	198	2.5	26.0	181	2.5	26.0	185	2.5	22.0

Cuadro 10. Medición de compuestos polares torales (TPC) y ácidos grasos libres (FFA) *in situ* con filtro B.

Fecha	Máquina 1			Máquina 2			Máquina 3		
	Fritura	% FFA	% TPC ( $\pm 0.5\%$ )	Fritura	% FFA	% TPC ( $\pm 0.5\%$ )	Fritura	% FFA	% TPC ( $\pm 0.5\%$ )
3-jul	57	1.0	13.5	68	1.0	15.0	45	1.0	13.0
4-jul	67	1.5	14.5	71	1.5	15.5	70	1.5	15.0
5-jul	79	2.0	21.0	94	2.0	19.5	80	2.0	18.5
6-jul	103	2.5	22.0	106	2.5	22.5	108	2.5	22.0

Cuadro 11. Resultados de análisis de laboratorio efectuados en muestras de aceite con filtro A.

Fecha	Fritura	Ácidos grasos libres ( $\pm 0.01\%$ )	Índice de saponificación ( $\pm 0.01$ mgKOH/g)	Índice de peróxidos ( $\pm 0.01$ meq/Kg)
6-jun	0	0.22	195.45	1.99
7-jun	50	1.45	194.98	1.98
10-jun	100	3.34	191.81	1.99
14-jun	150	6.20	192.23	1.99
17-jun	210	7.67	189.37	1.98

Cuadro 12. Resultados de análisis de laboratorio efectuados en muestras de aceite con filtro B.

Fecha	Fritura	Ácidos grasos libres ( $\pm 0.01$ %)	Índice de saponificación ( $\pm 0.01$ mgKOH/g)	Índice de peróxidos ( $\pm 0.01$ meq/Kg)
30-jun	0	0.28	190.70	1.99
3-jul	56	2.67	194.24	1.98
6-jul	100	5.24	191.47	1.99

Cuadro 13. Precios de compra de los filtros analizados.

Comparación	Filtro A	Filtro B
Precio filtro de carbón activado (US\$/filtro)	---	2.82
Precio papel para filtro de silicato de magnesio (US\$/unidad)	0.86	---
Precio silicato de magnesio (US\$/lb)	0.69	---
Precio total filtro de silicato de magnesio (US\$/filtro)	1.55	

Cuadro 14. Evaluación sensorial del empanizado del producto 1 a 198 frituras con filtro A.

Evaluador No.	Textura visual	Adherencia	Color	Sabor	Pungencia	Sal
1	3.0	2.8	2.9	2.9	2.7	2.7
2	3.0	2.8	3.0	2.5	2.5	2.7
3	3.2	3.3	3.7	3.0	2.7	3.2
4	2.8	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1
5	3.7	3.5	3.5	3.0	3.2	2.9

Cuadro 15. Evaluación sensorial de la carne del producto 1 a 198 frituras con filtro A.

Evaluador No.	Crunch	Jugosidad carne	Textura carne	Sal carne	Sabor carne	Pungencia carne
1	3.0	2.5	3.2	2.5	2.7	2.6
2	3.0	3.5	2.5	2.7	2.8	2.8
3	3.3	2.8	3.3	3.0	3.1	2.8
4	3.0	2.7	3.1	2.9	3.0	3.0
5	3.0	2.0	3.5	2.0	2.5	2.8

Cuadro 16. Evaluación sensorial del empanizado de producto 1 a 133 frituras con filtro B.

Evaluador No.	Textura visual	Adherencia	Color	Sabor	Pungencia	Sal
1	3.5	3.8	3.7	2.0	1.0	2.0
2	3.0	2.5	3.0	2.5	2.5	3.0
3	3.2	3.0	3.4	2.7	3.3	3.0
4	3.1	2.8	3.2	2.6	2.5	2.7
5	3.2	2.8	3.2	3.0	2.8	3.0
6	2.7	3.0	2.8	2.8	2.7	2.5

Cuadro 17. Evaluación sensorial de la carne del producto 1 a 133 frituras con filtro B.

Evaluador No.	Crunch	Jugosidad carne	Textura carne	Sal carne	Sabor	Pungencia carne
1	3.0	2.0	2.5	1.8	1.9	2.0
2	3.0	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0
3	3.2	2.8	3.0	2.7	2.8	2.7
4	3.4	2.5	2.7	2.9	2.7	2.7
5	3.0	2.7	2.7	2.9	2.9	2.7
6	3.0	2.5	3.0	2.6	2.7	2.7

Cuadro 18. Evaluación sensorial del empanizado producto 2 a 198 frituras con filtro A.

Evaluador No.	Textura visual	Adherencia	Tamaño de hojuela	Cantidad de hojuela	Color	Sabor	Pungencia de empanizado
1	2.4	2.9	2.8	2.7	2.3	2.4	2.6
2	3.0	2.8	2.6	2.8	3.0	3.4	3.4
3	3.3	2.6	3.2	2.7	3.1	2.8	2.8
4	2.7	2.7	2.6	2.7	3.0	2.9	2.8
5	2.7	2.7	2.5	2.7	3.5	3.0	2.5

Cuadro 19. Evaluación sensorial de la carne del producto 2 a 198 frituras con filtro A.

Evaluador No.	Sal	Crunch	Dureza empanizado	Jugosidad carne	Textura carne	Sensación grasosa
1	3.0	2.0	2.3	2.8	3.2	3.5
2	3.8	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
3	3.5	3.0	3.2	2.8	3.0	2.8
4	3.1	3.0	3.0	2.8	3.1	3.0
5	3.8	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

Cuadro 20. Evaluación sensorial del empanizado del producto 2 a 133 frituras con filtro B.

Evaluador No.	Textura visual	Adherencia	Tamaño de hojuela	Cantidad de hojuela	Color	Sabor	Pungencia de empanizado
1	2.5	2.7	2.0	2.6	3.7	2.0	2.5
2	2.3	2.6	2.2	3.0	3.2	2.3	2.0
3	4.0	3.5	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0
4	2.5	2.3	2.3	2.5	3.3	2.5	3.0
5	2.8	2.9	2.6	2.7	3.2	2.6	2.8
6	N/A	1.7	1.8	2.0	3.7	2.8	2.5

Cuadro 21. Evaluación sensorial de la carne del producto 2 a 133 frituras con filtro B.

Evaluador No.	Sal	Crunch	Dureza empanizado	Jugosidad carne	Textura carne	Sensación grasosa
1	3.4	2.8	3.3	2.7	3.0	3.8
2	2.0	2.6	2.5	2.8	3.3	3.4
3	3.0	3.0	3.5	3.5	3.0	3.0
4	3.0	2.8	3.0	3.2	3.0	3.2
5	3.1	3.0	3.1	2.9	3.0	2.5
6	3.0	3.0	3.5	3.3	2.5	3.5

Cuadro 22. Costos de operación por un ciclo de uso de cada filtro.

Comparación	Filtro de silicato de magnesio (Filtro A)	Filtro de carbón activado (Filtro B)	Diferencia
Llenado	Q 695.52 (US\$ 95.51)	Q 695.52 (US\$ 95.51)	-
Nivelación	Q 193.20 (US\$ 26.53)	Q 231.84 (US\$ 31.84)	+ Q 38.64 (US\$ 5.31)
Filtro por ciclo	Q 135.53 (US\$ 18.61)	Q 184.66 (US\$ 25.36)	+ Q 87.77 (US\$ 6.75)

Tasa de cambio: 7.2824 Q/US\$ según Banguat para el 28 de agosto de 2017.

## B. CÁLCULOS

Cálculo 1. Determinación del número de frituras necesarias para alcanzar 25% de compuestos polares totales (%TPC) a partir de los datos obtenidos para el filtro de silicato de magnesio (filtro A).

Para determinar los parámetros de la ecuación de la recta que modela los datos obtenidos se utilizaron las funciones de Microsoft Excel 2016.

Dato	Coficiente	Error estándar
Intercepto	8.79 % TPC	1.05 % TPC
Pendiente	0.8 Frituras/%TPC	0.01 Frituras/% TPC
Coficiente de correlación	0.77	

A partir de los datos determinados para la ecuación de la recta, se obtuvo que al valor máximo permitido de 25% TPC el número máximo de frituras 184.

Cálculo 2. Determinación del número de frituras necesarias para alcanzar 25% de compuestos polares totales (%TPC) a partir de los datos obtenidos para el filtro de carbón activado (filtro B).

Para determinar los parámetros de la ecuación de la recta que modela los datos obtenidos se utilizaron las funciones de Microsoft Excel 2016.

Dato	Coficiente	Error estándar
Intercepto	4.31 % TPC	1.63 % TPC
Pendiente	0.2 Frituras/%TPC	0.02 Frituras/% TPC
Coficiente de correlación	0.86	

A partir de los datos determinados para la ecuación de la recta, se obtiene que el valor máximo permitido de 25% TPC es 125 frituras.

Cálculo 3. Determinación del promedio y desviación estándar de los resultados del análisis sensorial. El mismo cálculo se realizó en cada atributo, para cada una de las cuatro muestras, por ejemplo, para la textura visual del producto 1 con el filtro de silicato de magnesio (filtro A).

Para esto se utilizaron las funciones estadísticas de Microsoft Excel 2016.

Textura visual	
Promedio	3.1
Desviación estándar	0.3

Cálculo 4. Análisis ANOVA para la comparación de medias en las calificaciones promedio de los atributos de análisis sensorial, de cada filtro en un producto determinado.

Para esto se utilizaron las funciones estadísticas de Microsoft Excel 2016.

Atributo	F	Valor P	F crítico
Textura visual	0.02	0.90	5.12

Cálculo 5. Determinación del costo de operación anualizado con el filtro de silicato de magnesio (filtro A).

De acuerdo con los precios presentados en el Cuadro 13.

Costo para el llenado de los tres equipos de 28.39 L (7.5 gal de aceite) /máquina por ciclo de uso de aceite.

*Costo de llenado*

$$= (\text{Número de máquinas}) \times (\text{Galones de aceite por máquina}) \\ \times (\text{Precio en Quetzales por galón de aceite})$$

$$\text{Costo de llenado} = \left(3 \frac{\text{máquinas}}{\text{ciclo}}\right) \times \left(7.5 \frac{\text{gal}}{\text{máquina}}\right) \times \left(\frac{30.912Q}{\text{gal}}\right) = 695.52 \frac{Q}{\text{ciclo}} \left(95.51 \frac{US\$}{\text{ciclo}}\right)$$

Costo de nivelación de aceite por ciclo de vida de aceite, de acuerdo con el volumen de nivelación reportado en el Cuadro 12.

*Costo de nivelación*

$$= (\text{Bidones para nivelación}) \times (\text{Galones de aceite por bidón}) \\ \times (\text{Precio en Quetzales por galón de aceite})$$

$$\text{Costo de nivelación} = \left(1.25 \frac{\text{bidones}}{\text{ciclo}}\right) \times \left(5 \frac{\text{gal}}{\text{bidón}}\right) \times \left(\frac{30.912Q}{\text{gal}}\right) = 193.20 \frac{Q}{\text{ciclo}} \left(26.53 \frac{\text{US\$}}{\text{ciclo}}\right)$$

Costo del filtro A por ciclo

$$\text{Costo del filtro} = ((\text{Masa de agente filtrante}) \times (\text{Precio por masa de agente filtrante}) \\ + (\text{Precio papel filtro})) \times (\text{Días de duración del ciclo})$$

$$\text{Costo del filtro} = \left( \left(16 \text{ oz fl} \times \frac{4 \text{ oz wt}}{10 \text{ oz fl}} \times \frac{1 \text{ lb}}{16 \text{ oz wt}} \times 12.59Q/\text{lb} \right) + (6.26Q/\text{papel}) \right) \times \left(12 \frac{\text{días}}{\text{ciclo}}\right) \\ = 135.53 \frac{Q}{\text{ciclo}} \left(18.61 \frac{\text{US\$}}{\text{ciclo}}\right)$$

Costo de operación por ciclo

$$\text{Costo por ciclo} = \text{Costo de llenado} + \text{Costo de nivelación} + \text{Costo del filtro}$$

$$\text{Costo por ciclo} = 695.54 \frac{Q}{\text{ciclo}} + 193.20 \frac{Q}{\text{ciclo}} + 135.53 \frac{Q}{\text{ciclo}} = 1024.25 \frac{Q}{\text{ciclo}} \left(140.65 \frac{\text{US\$}}{\text{ciclo}}\right)$$

Costo anualizado de operación

$$\text{Costo anualizado} = \text{Ciclos por año} \times \text{Costo por ciclo} = \left(30.44 \frac{\text{ciclos}}{\text{año}}\right) \times \left(1024.25 \frac{Q}{\text{ciclo}}\right) \\ = Q 31,175.71 \text{ por año (US\$ 4,280.97)}$$

Cálculo 6. Determinación del costo de operación anualizado con el filtro de carbón activado (filtro B). De acuerdo con los precios presentados en el Cuadro 13.

Costo para el llenado de los tres equipos de 7.5 gal de aceite/máquina por ciclo de uso de aceite.

*Costo de llenado*

$$= (\text{Número de máquinas}) \times (\text{Galones de aceite por máquina}) \\ \times (\text{Precio en Quetzales por galón de aceite})$$

$$\text{Costo de llenado} = \left(3 \frac{\text{máquinas}}{\text{ciclo}}\right) \times \left(7.5 \frac{\text{gal}}{\text{máquina}}\right) \times \left(\frac{30.912Q}{\text{gal}}\right) = 695.54 \frac{Q}{\text{ciclo}} \left(95.51 \frac{\text{US\$}}{\text{ciclo}}\right)$$

Costo de nivelación de aceite por ciclo de vida de aceite, de acuerdo con el volumen de nivelación reportado en el Cuadro 12.

*Costo de nivelación*

$$= (\text{Bidones para nivelación}) \times (\text{Galones de aceite por bidón}) \\ \times (\text{Precio en Quetzales por galón de aceite})$$

$$\text{Costo de nivelación} = \left(1.50 \frac{\text{bidones}}{\text{ciclo}}\right) \times \left(5 \frac{\text{gal}}{\text{bidón}}\right) \left(\frac{30.912Q}{\text{gal}}\right) = 231.87 \frac{Q}{\text{ciclo}} \left(31.84 \frac{\text{US\$}}{\text{ciclo}}\right)$$

Costo del filtro B por ciclo

$$\text{Costo del filtro} = (\text{Precio filtro}) \times (\text{Días de duración del ciclo})$$

$$\text{Costo del filtro} = \left(20.52 \frac{Q}{\text{filtro}}\right) \times \left(9 \frac{\text{días}}{\text{ciclo}}\right) = 184.66 \frac{Q}{\text{ciclo}} \left(25.36 \frac{\text{US\$}}{\text{ciclo}}\right)$$

Costo de operación por ciclo

$$\text{Costo por ciclo} = \text{Costo de llenado} + \text{Costo de nivelación} + \text{Costo del filtro}$$

$$\text{Costo por ciclo} = 695.54 \frac{Q}{\text{ciclo}} + 231.87 \frac{Q}{\text{ciclo}} + 184.66 \frac{Q}{\text{ciclo}} = 1112.02 \frac{Q}{\text{ciclo}} \left(152.70 \frac{\text{US\$}}{\text{ciclo}}\right)$$

Costo anualizado de operación

$$\begin{aligned} \text{Costo anualizado} &= \text{Ciclos por año} \times \text{Costo por ciclo} = \left(40.58 \frac{\text{ciclos}}{\text{año}}\right) \times \left(1112.02 \frac{Q}{\text{ciclo}}\right) \\ &= Q 45,129.62 \text{ por año (US\$ 6,197.08)} \end{aligned}$$

Cálculo 7. Determinación de la diferencia anual en costo de implementación del filtro B en comparación al filtro A.

$$\text{Diferencia de costos} = \text{Costo anualizado filtro B} - \text{Costo anualizado filtro A}$$

$$\text{Diferencia de costos} = Q 45,129.62 - Q 31,168.67 = Q 13,953.88 \text{ (US\$ 1,916.11) por año}$$

## C. DATOS CALCULADOS

Cuadro 23. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial del empanizado del producto 1 a 198 frituras con filtro A.

	Textura visual	Adherencia	Color	Sabor	Pungencia	Sal
Promedio	3.1	3.1	3.2	2.9	2.8	2.9
Desviación estándar	0.3	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2

Cuadro 24. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial de la carne del producto 1 a 198 frituras con filtro A.

	Crunch	Jugosidad carne	Textura carne	Sal carne	Sabor carne	Pungencia carne
Promedio	3.1	2.7	3.1	2.6	2.8	2.8
Desviación estándar	0.1	0.5	0.4	0.4	0.2	0.1

Cuadro 25. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial del empanizado del producto 1 a 133 frituras con filtro B.

	Textura visual	Adherencia	Color	Sabor	Pungencia	Sal
Promedio	3.1	3.0	3.2	2.6	2.5	2.7
Desviación estándar	0.3	0.4	0.3	0.3	0.8	0.4

Cuadro 26. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial de la carne del producto 1 a 133 frituras con filtro B.

	Crunch	Jugosidad carne	Textura carne	Sal carne	Sabor carne	Pungencia carne
Promedio	3.1	2.6	2.9	2.7	2.7	2.6
Desviación estándar	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3

Cuadro 27. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial del empanizado del producto 2 a 198 frituras con filtro A.

	Textura visual	Adherencia	Tamaño de hojuela	Cantidad de hojuela	Color	Sabor	Pungencia de empanizado
Promedio	2.8	2.7	2.7	2.7	3.0	2.9	2.8
Desviación estándar	0.3	0.1	0.3	0.0	0.4	0.4	0.3

Cuadro 28. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial de la carne del producto 2 a 198 frituras con filtro A.

	Sal	Crunch	Dureza empanizado	Jugosidad carne	Textura carne	Sensación grasosa
Promedio	3.4	2.8	2.9	2.9	3.1	3.1
Desviación estándar	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.3

Cuadro 29. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial del empanizado del producto 2 a 133 frituras con filtro B.

	Textura visual	Adherencia	Tamaño de hojuela	Cantidad de hojuela	Color	Sabor	Pungencia de empanizado
Promedio	2.8	2.6	2.5	2.8	3.4	2.5	2.6
Desviación estándar	0.7	0.6	0.8	0.7	0.2	0.4	0.4

Cuadro 30. Promedio y desviación estándar de la evaluación sensorial de la carne del producto 2 a 133 frituras con filtro B.

	Sal	Crunch	Dureza empanizado	Jugosidad carne	Textura carne	Sensación grasosa
Promedio	2.9	2.9	3.2	3.1	3.0	3.2
Desviación estándar	0.5	0.2	0.4	0.3	0.3	0.5

Cuadro 31. Análisis ANOVA para la comparación de medias de la evaluación del producto 1 a 198 frituras con filtro A y a 133 frituras con filtro B.

Atributo	<i>F</i>	<i>Valor P</i>	<i>F crítico</i>
Textura visual	0.02	0.90	5.12
Adherencia	0.10	0.75	5.12
Color	0.00	0.99	5.12
Sabor	2.51	0.15	5.12
Pungencia	1.02	0.34	5.12
Sal	1.18	0.31	5.12
Crunch	0.19	0.68	5.12
Jugosidad carne	0.19	0.67	5.12
Textura carne	1.00	0.34	5.12
Sal carne	0.01	0.91	5.12
Sabor carne	0.58	0.47	5.12
Pungencia carne	1.08	0.33	5.12

Cuadro 32. Análisis ANOVA para la comparación de medias de la evaluación del producto 2 a 198 frituras con filtro A y a 133 frituras con filtro B.

Atributo	<i>F</i>	<i>Valor P</i>	<i>F crítico</i>
Textura visual	$-3 \cdot 10^{-15}$	N/A	5.32
Adherencia	0.20	0.66	5.12
Tamaño de hojuela	0.47	0.51	5.12
Cantidad de hojuela	0.07	0.80	5.12
Color	4.94	0.06	5.12
Sabor	2.86	0.12	5.12
Pungencia de empanizado	0.70	0.42	5.12
Sal	3.95	0.08	5.12
Crunch	0.12	0.74	5.12
Dureza empanizado	1.28	0.29	5.12
Jugosidad carne	1.58	0.24	5.12
Textura carne	0.59	0.46	5.12
Sensación grasosa	0.57	0.47	5.12

## D. FICHAS TÉCNICAS

### Anexo 1. Información del filtro de silicato de magnesio.

Minerals extracted from the crust of the earth are used in a certified, technologically controlled process to produce **Filter A**. The result is a non-soluble magnesium silicate based powder with extraordinary ultrafine filtration and regeneration properties when used in food oils and fats.

**Filter A** binds particles that are smaller than 1  $\mu\text{m}$  and absorbs any unwanted discolorations, odors and off-flavors in the oil. Every time it is used **Filter A** also reduces the polar compounds, i.e. the sum total of all spoiling and substances, in your oil.

### Anexo 2. Composición del filtro de silicato de magnesio.

SECTION 3: COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS				
Chemical Name	CAS#	EINECS#	GHS Classification	%
Magnesium Silicate	1343-88-0	215-681-1	Not classified as hazardous	50.86
Cellulose	65996-61-4	265-995-8	Not classified as hazardous	41.40
FDA Approved Binder	Proprietary	Proprietary	Not classified as hazardous	7.74

### Anexo 3. Propiedades fisicoquímicas del filtro de silicato de magnesio.

<b>Physical State:</b> Solid	<b>Appearance:</b> Solid powder in a pad form
<b>Odor:</b> Odorless	<b>Odor Threshold:</b> Not applicable
<b>pH:</b> 7.0-10.8 (10% slurry)	<b>Relative Density:</b> Not determined
<b>Boiling Point:</b> Not applicable	<b>Melting Point:</b> 1910°C (3470°F) (magnesium silicate)
<b>Vapor Pressure:</b> Not applicable	<b>Water Solubility:</b> 127-268 mg/L (expressed as total oxides) @30°C (magnesium silicate)
<b>Vapor Density:</b> Not applicable	<b>Evaporation Rate:</b> Not applicable
<b>Viscosity:</b> Not applicable	<b>Pour Point:</b> Not applicable
<b>Flash Point:</b> None	<b>Flammable Limits: LEL:</b> None
<b>Autoignition Temperature:</b> None	<b>Flammable Limits: UEL:</b> None
<b>Percent Volatile:</b> 0%	<b>Flammability (solid/gas):</b> None
<b>Partition Coefficient: n-octanol/water:</b> Not applicable	<b>Decomposition Temperature:</b> None
<b>Explosive Properties:</b> None	<b>Oxidizing Properties:</b> None

Anexo 4. Hoja técnica del filtro de carbón activado.

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Placa negra de carbón activado y otros ingredientes. La placa es fabricada con un lado rugoso para incrementar la superficie y facilitar a los usuarios la colocación de la placa en el filtro. Los productos han sido diseñados para mejorar la calidad del aceite al remover y reducir el porcentaje de elementos químicos indicadores de la calidad de los aceites como jabones, materiales polares, metales pesados y polímeros. Las placas están disponibles en tamaños de Unifit © estándar o cortadas a la medida según las aplicaciones específicas.

Las placas son empacadas en fibra de alta calidad para proteger el producto durante los envíos y su almacenamiento. Los empaques son 100% reciclables.

#### DECLARACIÓN DE INGREDIENTES

Fibra de celulosa, carbón activado, resina de alta temperatura, aditivo para mejorar porosidad, agente blanqueador (silicato amorfo), & espesante.

**NÚMERO DE ESPECIFICACIÓN:** FC-001

#### INSTANCIA DE FABRICACIÓN:

Las placas **Filtro B** son fabricadas con componentes autorizados como grado alimenticio o como materiales de contacto alimenticio ( Ver Código Federal de Regulaciones Título 21 Parte 17 y 178 y Regulaciones Americanas). Si se requiere, se puede solicitar una carta de Garantía Continua.

#### MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Las placas **Filtro B** deben de almacenarse en un ambiente fresco y seco en su paquete original hasta su utilización.

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN
Velocidad de flujo (litros/minuto/metro <sup>2</sup> @ 0.3 bar	3500 mínimo
Peso (g/metro <sup>2</sup> )	680 – 860
Espesor (mm)	4.0 – 4.4
Color	Negro
Estabilidad	No se presentan residuos de resina u otros componentes al exponerse a aceite a 200°C
Fuerza de tracción (Humedo – N/25mm)	17 mínimo
Fuerza de tracción (Seco – N/25mm)	10 mínimo
Tamaño de poro nominal (Micras)	10.13 – 14.9 μ
Capacidad de remoción (Micras)	0.5μ

## E. METODOLOGÍAS

Anexo 5. Método AOAC 940.28 para la determinación de ácidos grasos libres.

### 41.1.21

**AOAC Official Method 940.28**  
**Fatty Acids (Free)**  
**in Crude and Refined Oils**  
Titration Method  
First Action 1940  
Final Action

***National Cottonseed Products Association—AOAC Method***

(a) *In crude oils.*—Weigh 7.05 g well-mixed oil into 250 mL flask or 4 oz bottle. Add 50 mL alcohol, previously neutralized by adding 2 mL phenolphthalein solution and enough 0.1M NaOH to produce faint permanent pink. Titrate with 0.25M NaOH, **936.16** (see A.1.12), with vigorous shaking until permanent faint pink appears and persists  $\geq 1$  min. Report as percent free fatty acids expressed as oleic acid; mL 0.25M NaOH used in titration corresponds to this percent.

(b) *In refined oils.*—To ca 50 mL alcohol in clean, dry 150 mL flask, add few drops of the oil and 2 mL phenolphthalein. Place flask in H<sub>2</sub>O at 60–65°C until warm, and add enough 0.1M NaOH to produce faint permanent pink. Weigh 56.4 g oil into the neutralized alcohol and titrate with 0.1M NaOH, **936.16** (see Appendix A), occasionally warming and vigorously shaking mixture until same faint permanent pink appears in supernate alcohol. Multiply mL 0.1M NaOH by 0.05 and report as percent free fatty acids expressed as oleic acid.

Free fatty acids may also be expressed in terms of acid value (mg KOH necessary to neutralize 1 g oil).

Acid value = percent free fatty acids (as oleic)  $\times 1.99$

## Anexo 6. Método AOCS Cd 8-53 para la determinación del índice de peróxidos.

SAMPLING AND ANALYSIS OF COMMERCIAL FATS AND OILS

AOCS Official Method Cd 8-53  
Surplus 2003

## Peroxide Value

### Acetic Acid–Chloroform Method

**DEFINITION**

This method determines all substances, in terms of milliequivalents of peroxide per 1000 grams of sample, that oxidize potassium iodide (KI) under the conditions of the test. The substances are generally assumed to be peroxides or other similar products of fat oxidation.

**SCOPE**

Applicable to all normal fats and oils, including margarine. This method is highly empirical, and any variation in the test procedure may result in variation of results. Replaced by Cd 8b-90.

**APPARATUS**

1. Pipet—0.5 mL, or other suitable volumetric apparatus capable of dispensing 0.5 mL of saturated potassium iodide (KI) solution.
2. Erlenmeyer flasks—with glass stoppers, 250 mL.
3. Low actinic red or amber container, about 50 mL to 100 mL capacity.
4. Burette—with 25 mL or 50 mL, class A, graduated in 0.1 mL division.
5. Timer.
6. Balance—top loading, 500-g capacity with  $\pm 0.01$  gram sensitivity.

**REAGENTS**

1. Acetic acid–chloroform solution (3:2, v/v)—prepared by mixing 3 volumes of reagent-grade glacial acetic acid with 2 volumes of reagent-grade chloroform (see Notes, 1 and *Caution*).
2. Potassium iodide (KI) solution—saturated, prepared fresh each day analysis is performed by dissolving an excess of KI in recently boiled distilled water (about 10.0 gram KI in 6.0 mL of water). Make certain the solution remains saturated during use, as indicated by the presence of undissolved KI crystals. Store in the dark when not in use. Test the saturated KI solution by adding 2 drops of starch solution to 0.5 mL of the KI solution in 30 mL of the acetic acid–chloroform solution. If a blue color is formed that requires more than 1 drop of 0.1 N sodium thiosulfate solution to discharge, discard the KI solution and prepare a fresh solution.
3. Sodium thiosulfate ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) solution—0.1 N, accurately standardized vs. potassium dichromate primary standard as follows:
  - (a) Sodium thiosulfate solution 0.1 N, prepared by dissolving 24.9 g of sodium thiosulfate in distilled water and diluting to 1 L.
  - (b) The potassium dichromate primary standard should be finely ground, dried at 105°C for 2 hr and cooled in a desiccator. Weigh 0.16–0.22 g of potassium dichromate into a 500-mL flask or bottle by difference from a weighing bottle. Dissolve in 25 mL of water, add 5 mL of concentrated hydrochloric acid, 20 mL of potassium iodide solution (Reagents, 2) and rotate to mix.

Allow to stand for 5 min and then add 100 mL of distilled water. Titrate with sodium thiosulfate solution, shaking continuously until yellow color has almost disappeared. Add 1–2 mL of starch indicator and continue the titration, adding the thiosulfate solution slowly until the blue color just disappears. The strength of the sodium thiosulfate solution is expressed in terms of its normality.

Normality of  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  solution =

$$\frac{20.394 \cdot \text{mass of } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{ g}}{\text{mL of sodium thiosulfate}}$$

4. Sodium thiosulfate solution, 0.01 N—accurately standardized. This solution may be prepared by accurately pipetting 100 mL of 0.1 N sodium thiosulfate into a 1000-mL volumetric flask and accurately diluting to volume with recently boiled distilled water.
5. Starch indicator solution—tested for sensitivity, prepared by making a paste with 1 g of starch (see Notes, 2) and a small amount of cold distilled water. Add, while stirring, to 100 mL of boiling water and boil for a few seconds. Immediately remove from heat and cool. Salicylic acid (1.25 g/L) may be added to preserve the indicator. If long storage is required, the solution must be kept in a refrigerator at 4–10°C. Fresh indicator must be prepared when the end point of the titration from blue to colorless fails to be sharp. If stored under refrigeration, the starch solution should be stable for about 2–3 weeks.

*Test for sensitivity*—Place 5 mL of starch solution in 100 mL of water and add 0.05 mL of freshly prepared 0.1 N KI solution and one drop of a 50-ppm chlorine solution made by diluting 1 mL of a commercial 5% sodium hypochlorite (NaOCl) solution to 1000 mL. The deep blue color produced must be discharged by 0.05 mL of 0.1 N sodium thiosulfate.

**PROCEDURE FOR FATS AND OILS**

1. Weigh  $5.00 \pm 0.05$  g of sample into a 250-mL Erlenmeyer flask with glass stopper and add 30 mL of the 3:2 acetic acid–chloroform solution. Swirl to dissolve the sample. Add 0.5 mL of saturated KI solution using a suitable volumetric pipet.

**Cd 8-53 • Peroxide Value**

2. Allow the solution to stand with occasional shaking for exactly 1 min, and then immediately add 30 mL of distilled water (see Notes, 3 and References, 1).
3. Titrate with 0.1 N sodium thiosulfate, adding it gradually and with constant agitation. Continue the titration until the yellow iodine color has *almost* disappeared. Add about 2.0 mL of starch indicator solution. Continue the titration with constant agitation, especially near the end point, to liberate all of the iodine from the solvent layer. Add the thiosulfate solution dropwise until the blue color just disappears (see Notes, 4).
4. Conduct a blank determination of the reagents daily. The blank titration must not exceed 0.1 mL of the 0.1 N sodium thiosulfate solution.

**PROCEDURE FOR MARGARINE**

1. Melt the sample by heating with constant stirring on a hot plate set at low heat, or by heating in an air oven at 60–70°C. Avoid excess heating and particularly prolonged exposure of the oil to temperatures above 40°C.
2. When completely melted, remove the sample from the hot plate or oven and allow to settle in a warm place until the aqueous portion and most of the milk solids have settled to the bottom.
3. Decant the oil into a clean beaker and filter through a Whatman no. 4 paper (or equivalent) into another clean beaker. Do not reheat for filtration unless absolutely necessary. The sample must be clear and brilliant.
4. Proceed as directed in Procedure for Fats and Oils, paragraphs 1–4.

**CALCULATIONS**

1. Peroxide value (milliequivalents peroxide/1000 g sample) =

$$\frac{(S - B) \cdot N \cdot 1000}{\text{mass of sample, g}}$$

Where—

- B = volume of titrant, mL of blank
- S = volume of titrant, mL of sample
- N = normality of sodium thiosulfate solution

**NOTES****Caution**

Chloroform is a known carcinogen. It is toxic by inhalation and has anesthetic properties. Avoid contact with the skin. Prolonged inhalation or ingestion can lead to liver and kidney damage and may be fatal. It is nonflammable, but will

burn on prolonged exposure to flame or high temperature. The TLV is 10 ppm in air. A fume hood should be used at all times when using chloroform.

Acetic acid in the pure state is moderately toxic by ingestion and inhalation. It is a strong irritant to skin and tissue. The TLV in air is 10 ppm.

Potassium dichromate is toxic by ingestion and inhalation. There is sufficient evidence in humans for the carcinogenicity of chromium [+6], in particular, lung cancer. It is a strong oxidizing agent and a dangerous fire risk when in contact with organic chemicals.

**NUMBERED NOTES**

1. Isooctane has been proposed as a replacement for chloroform in this method. The method using isooctane was approved by the AOCS Uniform Methods Committee in 1990 as AOCS Official Method Cd 8b-90 and first appeared in the second printing of the 4th edition of *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*. The isooctane method is preferred due to the elimination of chloroform. It is the intention of the AOCS Uniform Methods Committee to delete the acetic acid–chloroform version of the method (AOCS Official Method Cd 8-53) from *Official Methods* within the next several years.
2. "Potato Starch for Iodometry" is recommended, because this starch produces a deep blue color in the presence of the iodonium ion. "Soluble Starch" is not recommended because a consistent deep blue color may not be developed when some soluble starches interact with the iodonium ion. The following are suitable starches: Soluble Starch for Iodometry, Fisher S516-100; Soluble Potato Starch, Sigma S-2630; Soluble Potato Starch for Iodometry, J.T. Baker 4006-04.
3. The test should be carried out in diffuse daylight or in artificial light shielded from a direct light source. A report on a coulometric method for the measurement of peroxide value (References, 2) indicates that the iodide–peroxide reaction is complete at the end of 1 min, and that the liberation of iodine is affected by light.
4. If the titration is less than 0.5 mL using 0.1 N sodium thiosulfate, repeat the determination using 0.01 N sodium thiosulfate.

**REFERENCES**

1. *Oil and Soap* 9:89 (1932).
2. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 75:507 (1992).

Anexo 7. Boleta de evaluación sensorial del producto I.

**ANÁLISIS SENSORIAL: PRODUCTO 1**

Nombre \_\_\_\_\_ Fecha de evaluación \_\_\_\_\_

A continuación se presenta la escala para evaluar Producto 1. En el cuadro de abajo, utilizando 1 línea por muestra, escriba la calificación que le asigna a cada atributo. **Tome en cuenta que el rango de aceptación es entre 2.5 a 3.5 puntos.**  
Entre muestras para limpiar el paladar, coma galleta de soda y bebe agua

	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
Textura visual									
Adherencia del empanizado									
Color									
Sabor del empanizado									
Pungencia del empanizado *									
Grado de sal									
Crunch (mordida)									
Jugosidad de la carne de pollo									
Textura de la carne de pollo									
Sabor salado de la carne									
Sabor de la carne									
Pungencia de la carne									

\*Pungencia: Sensación picante (calor) producido por la pimienta

Muestra	Pieza evaluada	Textura visual	Adherencia	Color	Sabor	Pungencia empanizado	Sal	Crunch	Jugosidad carne	Textura de la carne	Sabor salado carne	Sabor de la carne	Pungencia carne
201													

Observaciones: \_\_\_\_\_

## Anexo 8. Boleta de evaluación sensorial del producto 2.

## ANÁLISIS SENSORIAL : Calidad Empanizado Producto 2

Nombre \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

A continuación se presenta la escala para evaluar Producto 2. En el cuadro de abajo, utilizando 1 línea por muestra, escriba la calificación que le asigna a cada atributo. **Tome en cuenta que el rango de aceptación es entre 2.5 a 3.5 puntos.**  
Entre muestras para limpiar el paladar, coma galleta de soda y bebe agua

	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	
Textura visual										Demasiado grueso
Adherencia del empanizado										Mucha
Tamaño de hojuela										Demasiado grande
Cantidad de hojuela										Mucha
Sabor del empanizado										Demasiado fuerte
Pungencia del empanizado *										Muy Pungente
Grado de sal										Muy salada
Crunch (sonido)										Muy fuerte el sonido
Dureza empanizado (mondida)										Demasiado duro
Color										Demasiado oscuro
Jugosidad de la carne de pollo										Demasiado jugoso
Textura de la carne de pollo										Demasiado dura

Normal

## Producto 2

Pieza	Textura visual	Adherencia	Tamaño hojuela	Cantidad hojuela	Color	Sabor	Pungencia empanizado	Sal	Crunch (sonido)	Dureza empan.	Jugosidad carne	Textura carne	Sens. Grasosa
497													

Observaciones: \_\_\_\_\_

### XIII. LOSARIO

*% FFA.* Porcentaje de ácidos grasos libres.

*% TPC.* Porcentaje de compuestos polares totales.

*Adsorción.* Compuesto con capacidad de adherir partículas a su superficie.

*Fritura.* Inmersión de una bandeja de pollo en pieza o preformado.

*Carbón activado.* Residuo de la destilación de materiales orgánicos con alta capacidad adsorbente.