



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
RECURSOS NATURALES

**“EFECTO DEL TRATAMIENTO DE FREÍDO, ADICIÓN DE ACEITE  
FRESCO Y TIPO DE ALIMENTACIÓN SOBRE LA ESTABILIDAD  
OXIDATIVA DE UN ACEITE VEGETAL”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A

**ING. LILIAN MONTES DE OCA ROSALES**

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México; Mayo de 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
RECURSOS NATURALES

**“EFECTO DEL TRATAMIENTO DE FREÍDO, ADICIÓN DE ACEITE  
FRESCO Y TIPO DE ALIMENTACIÓN SOBRE LA ESTABILIDAD  
OXIDATIVA DE UN ACEITE VEGETAL”**

# **T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A

**ING. LILIAN MONTES DE OCA ROSALES**

**COMITÉ TUTORIAL**

**TUTOR ACADÉMICO**

**DRA. MARÍA DOLORES MARIEZCURRENA BERASAIN**

**TUTORES ADJUNTOS**

**DRA. DORA LUZ PINZÓN MARTÍNEZ**

**DRA. ANA TARIN GUTIÉRREZ IBÁÑEZ**

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México; Mayo de 2019

## RESUMEN

El deterioro del aceite vegetal durante la fritura de alimentos es un problema de salud en los vendedores ambulantes. Los parámetros de oxidación y deterioro pueden determinarse mediante el análisis de ácidos grasos libres, peróxidos, *p*-anisidina, valores de TOTOX y la composición de ácidos grasos (Flores *et al.*, 2018, Ganesan *et al.*, 2018). En la presente investigación no se observaron las temperaturas de las frituras muy altas, sin embargo, pudo verse que continuamente se adiciona aceite fresco. Se checo el método de fritura y el tipo de reciclaje del aceite en cuatro proveedores. Los valores de ácidos grasos libres y peróxido fueron mayores en dos proveedores (0,8 y 7,0 meq / kg de aceite, respectivamente) aunque todos los valores superaron los valores máximos según la NMX-F-223-SCFI-2011. El índice de color, la variabilidad de la composición de los ácidos grasos, los valores de *p*-anisidina y TOTOX revelaron un deterioro de la oxidación del aceite. Las temperaturas registradas ( $\geq 150.41$  ° C) y el aceite continuamente fresco podrían funcionar como agentes de mitigación o enmascaramiento para la oxidación del aceite.

Palabras clave: Freído, temperaturas de fritura, oxidación térmica.

## ABSTRACT

Vegetable oil deterioration during food frying is a health problem in street vendors. Free fatty acid determination, peroxide, p-Anisidine, TOTOX values and fatty acid composition are useful oxidation and deterioration parameters (Flores *et al.* 2018; Ganesan *et al.* 2018). Not so high frying temperatures, fresh oil addition, frying method, and recycling oil were observed in four vendors. Free fatty acids and peroxide values were higher at two vendors (0.8 and 7.0 meq/kg oil, respectively) and all exceeded the NMX-F-223-SCFI-2011 maximum values. Colour index, fatty acid composition variabilities, p-Anisidine and TOTOX values revealed oil oxidation deterioration. Temperatures registered ( $\geq 150.41$  °C) and continually fresh oil addition are suggested as mitigating or masking agents for oil oxidation degradation due to chemical reactions are extremely fast.

Keywords: Frying, frying temperatures, thermal oxidation.

## ÍNDICE

DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. El proceso de freído.....	4
2.1.1. Freído por inmersión.....	5
2.1.2. Freído superficial.....	7
2.2. Sistemas de freído.....	8
2.3. Aceites vegetales empleados en el proceso de freído.....	9
2.3.1. Cuerpo graso empleado en el freído de alimentos.....	10
2.3.2. Temperaturas recomendadas para el Freído.....	14
2.3.3. Tipo de alimentos sometidos a freído y acondicionamiento de los mismos.....	15
2.3.4. Cambios en el alimento durante el freído.....	18
2.4. Regiones del alimento sometido a freído.....	20
2.4.1. Principales modificaciones de la composición de los alimentos durante la fritura.....	22
2.5. Alteraciones en la composición del aceite de fritura.....	27
2.6. Reacciones de degradación durante el freído.....	29
2.6.1. Oxidación.....	33
2.6.2. Oxidación a altas temperaturas.....	35
2.6.3. Polimerización.....	37
2.6.4. Hidrólisis.....	38
2.6.5. Formación de color.....	40
2.7. Efectos Nocivos o tóxicos de los productos de oxidación después de freído.....	41
2.8. Prácticas inadecuadas que contribuyen a la degradación del aceite durante el Freído.....	45
III. JUSTIFICACIÓN.....	47
IV. HIPÓTESIS.....	48
V. OBJETIVOS.....	49
5.1 Objetivo General.....	49

5.2 Objetivos Específicos .....	49
VI. MATERIAL Y MÉTODOS .....	50
6.1 Lugar de estudio .....	53
6.2 Muestreo .....	53
6.3 Análisis fisicoquímicos de calidad para aceites vegetales.....	54
6.3.1 Contenido de ácidos grasos libres (AG) .....	54
6.3.2 Índice de Peróxidos (IP) .....	54
6.3.3 Índice de p-Anisidina (Ip-A) .....	55
6.3.4 Índice TOTOX (TX).....	55
6.3.5 Índice de Color (IC).....	55
6.3.6 Composición del perfil de ácidos grasos (CPAG).....	55
6.4 Diseño experimental .....	56
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	57
7.1 Cuestionario para identificar las condiciones de operación. ....	57
7.2 Análisis fisicoquímicos de calidad para aceites vegetales.....	60
7.2.1 Temperatura durante el freído .....	61
7.2.2 Contenido de ácidos grasos libres .....	69
7.2.3 Índices de peróxido (IP), p-Anisidina y TOTOX .....	71
7.2.4 Índice de color (IC).....	73
7.2.5 Composición del perfil de ácidos grasos .....	74
VIII CONCLUSIONES .....	78
IX SUGERENCIAS .....	80
X. BIBLIOGRAFÍA .....	82
Anexo 1: Cuestionario aplicado para seleccionar los establecimientos de estudio.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

No. 1	Transferencia simultánea de masa y calor durante la fritura de alimentos.....	13
No. 2	Cambios en el alimento durante el freído.....	22
No. 3	Reacción de deshidratación del glicerol.....	28
No. 4	Oxidación excesiva de un producto frito.....	30
No. 5	Reacción de autooxidación.....	34
No. 6	Proceso de hidrólisis durante la fritura.....	39
No. 7	Diagrama general de la Metodología.....	50
No. 8	Registro de la temperatura promedio durante las tres jornadas de freído observadas en el vendedor V <sub>1</sub> .....	64
No. 9	Registro de la temperatura promedio durante las tres jornadas de freído observadas en el vendedor V <sub>2</sub> .....	64
No. 10	Registro de la temperatura promedio durante las tres jornadas de freído observadas en el vendedor V <sub>3</sub> .....	66
No. 11	Registro de la temperaturas en las tres jornadas de freído observadas en el vendedor V <sub>4</sub> . A=Jornada 1, B=Jornada 2 y C=Jornada 3.....	67
No. 12	Contenido de ácidos grasos libres durante las jornadas estudiadas.....	69

## INDICE DE CUADROS

No. 1.	Especificaciones básicas para el aceite empleado en el freído de alimentos.....	12
No. 2	Aceites más utilizados para el freído industrial o de restauración.....	14
No. 3	Contenido de aceite de productos fritos comerciales.....	22
No. 4	Cambios experimentados en el alimento durante la fritura.....	25
No. 5	Principales grupos de compuestos formados en los aceites y grasas durante el proceso de fritura....	32
No. 6	Tipo de recipientes y alimentos por establecimiento durante el freído.....	58
No. 7	Condiciones reales de freído entre establecimientos.....	59
No. 8	Medias de los tratamientos ( $P \geq 0.01$ ) para los vendedores V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> , V <sub>3</sub> , y V <sub>4</sub> , para las variables respuesta AGL, PV <i>Ip-A</i> , CI, TX, C 16:0, C 18:2, C 18:1, C18:3, C 18:0 y T °.....	61
No. 9	Medias de los tratamientos ( $P \geq 0.01$ ) para las jornadas de trabajo 1, 2 y 3, para las variables respuesta AGL, PV, <i>Ip-A</i> , CI, TX, C 16:0, C 18:2, C 18:1, C18:3, C 18:0 y T °.....	61
No. 10	Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para las variables evaluadas	62

## I. INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos fritos se ha incrementado gradualmente en los años recientes debido a los requerimientos de la vida moderna. El método de freído es usado en establecimientos de pequeña escala, así como a escala industrial. Es el método más importante, sencillo en la preparación de los alimentos y el comúnmente usado por la industria alimentaria. Durante la cocción total de un alimento frito por inmersión en materia grasa caliente, se da lugar a la formación de una costra o corteza dorada. Estos productos son de gran aceptación por parte del consumidor, debido a sus especiales características sensoriales. Lo cual, se origina por que las grasas y aceites tienen propiedades únicas que confieren un mejor sabor y palatabilidad para los consumidores. Dichas características deseables, dependen de la capacidad de calentamiento del medio de freído, conductividad térmica del alimento, diferencias de temperatura entre el aceite y el alimento, deshidratación en la superficie del alimento y la absorción e interacción con los componentes del alimento (Lutz, 2017; Torres y Rojas, 2018).

En todo proceso de cocción se tiene que alcanzar un cierto equilibrio entre la absorción de energía en la superficie del alimento y la conducción de la energía térmica hacia el interior del mismo. Dentro del proceso de freído la velocidad a la que el calor es absorbido en la superficie del alimento, depende de la intensidad de calor aportado por el medio graso, y la velocidad de conducción de ese calor hacia el centro del alimento depende de la naturaleza del mismo, por lo que se debe controlar la relación entre estos dos factores. Se pueden distinguir varios tipos de cocciones de los alimentos, en función de diversos factores como: tipo de alimento, sistema calorífico utilizado, materiales, maquinaria y método empleado de freído. Cada uno de ellos se caracteriza por ejercer una



influencia peculiar y específica sobre la naturaleza del alimento, así como sobre sus propiedades sensoriales. La elección de uno u otro tipo de cocción dependerá, de modo fundamental de las características del alimento antes de ser sometido y de los resultados que se deseen conseguir (textura, color y aroma, entre otros.) (Flores *et al.*, 2018; Tirado *et al.*, 2012)

El característico uso de aceites y grasas que son metidos a altas temperaturas en el freído ha sido estudiado por diversos investigadores, al ser una serie de procesos muy complejos que afectan a la composición del aceite y del producto. El producto frito absorbe una elevada cantidad de la grasa del medio de fritura. Lo cual, origina una acumulación de compuestos originados por las alteraciones sufridas en el medio graso (hidrólisis, oxidación y polimerización) y cuya presencia, condicionará la estabilidad y la vida comercial del producto. A Altas temperaturas (150-200 °C) los aceites vegetales altamente insaturados, muestran una vida de uso corta, e igualmente, los alimentos fritos así tienen una vida de anaquel corta debido a ser susceptibles a la oxidación. Además de presentar también características potencialmente nocivas para el organismo (Garidaju *et al.*, 2015; Ganesan *et al.*, 2018). Así, el consumo frecuente de alimentos fritos se ha relacionado como factor de riesgo para enfermedad coronaria, falla cardíaca, Diabetes o hipertensión, entre otros padecimientos crónicos. Sin embargo, el consumo de estos alimentos se incrementa notablemente y especialmente en diversos sectores de la sociedad Mexicana. Diversos países de América Latina no presentan suficiente información, sobre la relación de los aceites de fritura con el tipo de alimento o el proceso de freído, lo cual, no es regulado en los comercios a pie de calle o ambulantes (Garidaju *et al.*, 2015; Rivera *et al.*, 2014; Flores *et al.*, 2018).

Por lo anterior, el presente estudio fue realizado con el propósito de evaluar el efecto de las condiciones del tratamiento térmico sobre la calidad de los aceites vegetales empleados en pequeños establecimientos dedicados al freído comercial de alimentos, en distintos puntos del Valle de Toluca.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El proceso de freído

El freído es un proceso de cocción total de un alimento por inmersión en un cuerpo graso que ha sido previamente calentado a una temperatura considerablemente elevada, en función de la naturaleza y del grosor del alimento. Es un proceso muy complejo en donde aceites o grasas son calentados a elevadas temperaturas durante prolongados periodos de tiempo y en presencia de aire, con ello, se consigue obtener preparaciones culinarias doradas y crujientes. Durante este proceso ocurre de modo simultáneo una transferencia de humedad y calor, así como una transferencia entre el producto y el aceite. Lo cual, origina la formación de una costra en el alimento, responsable de la aceptación del producto por el consumidor (Rojas y Narváez, 2011; Oke *et al.* 2017).

Numerosas variables permiten el desarrollo del freído y llevan a la optimización de sus condiciones para cada tipo de producto. Las principales variables dependientes del proceso a considerar son temperatura y tiempo. Así como el método de fritura (Continuo o discontinuo) y las que derivan del material del recipiente donde el proceso sea llevado a cabo, y las que dependen del tipo de aceite (composición) o las que derivan del alimento a procesarse. Tales aspectos son, la relación superficie/volumen, cobertura, humedad, contenido de proteínas, de minerales y de vitaminas, así como de la composición de la fracción lipídica del alimento. El conjunto de dichas variables determina las características finales del producto frito, así como, la alteración sufrida por el medio de freído durante el proceso (Badui *et al.*, 1993; Oke *et al.*, 2017).

El freído se caracteriza por la pérdida de humedad y la ganancia en aceite, fenómenos que operan en contracorriente, donde el medio graso imparte varios atributos de calidad deseables como el sabor, textura, apariencia y olor a los productos alimenticios. Estos

cambios deseables son un efecto combinado de formación de costra, desnaturalización de las proteínas, ganancia de aceite-grasa, gelatinización del almidón y cuantiosos cambios estructurales en el interior del alimento. Sin embargo, cambios indeseables son impartidos al medio de cocción debido a la interacción aceite/agua y la oxidación, cambios causados por el calentamiento, cocimiento, transferencia de materiales extraños del alimento al aceite y por la acumulación de residuos de alimentos de composición diferente en el mismo medio graso (Badui *et al.*, 1993; Oke *et al.*, 2017).

Existen principalmente dos mecanismos en el proceso de freído, por inmersión o freído por inmersión profunda y por freído superficial (freído por contacto). Sin embargo, la inmersión es el método más antiguo y más utilizado (Badui *et al.*, 1993; Oke *et al.*, 2017).

#### **2.1.1. Freído por inmersión**

El freído por inmersión es muy importante y consiste en emplear materia grasa líquida a determinada temperatura (120-180 °C), dependiendo de lo crudo del material y del producto final deseado. Durante el proceso se transmite calor a los alimentos, que además de cocerse, experimentan oscurecimiento en su superficie. Lo cual, se origina como resultado de diversos cambios fisicoquímicos como la gelatinización de los gránulos de almidón, desnaturalización de proteínas, reacciones de caramelización y formación de la costra. Tales reacciones suceden tanto a un nivel micro como macro y da como resultado, un producto seco, crujiente y dorado. El alimento se cocina por transferencia de calor directa del aceite caliente hacia el alimento frío; cuando el alimento se adiciona al aceite caliente, la temperatura del aceite desciende y la humedad superficial del alimento forma vapor rápidamente. Al mismo tiempo, el agua en el interior de éste, se difunde hacia la superficie, para finalmente pasar a la fase de vapor y viajar a través del aceite de freído hacia el aire atmosférico. Lo que se evidencia por la presencia de burbujas en el aceite.

Así, cuanto más avanza el freído, el alimento comienza a obtener su color característico. El aceite se absorbe en el alimento, para generar una textura crujiente y un sabor característico (Badui *et al.*, 1993; Oke *et al.*, 2017).

El inconveniente de este método radica en que el volumen de aceite empleado es mayor al que se requiere en el freído superficial, por el tipo de contenedores empleados. Generalmente, a nivel industrial se emplean freidoras totalmente mecanizadas, donde el alimento queda completamente inmerso. Existe una estrecha relación entre las temperaturas de trabajo y los tiempos necesarios para alcanzar los objetivos de cada cocción. Los tiempos se prolongan a medida que se reducen las temperaturas de trabajo. La cocción apropiada exige la perfecta combinación de temperatura-tiempo. La temperatura óptima reportada para el freído por inmersión es de  $180\pm 5$  °C, para minimizar la absorción de grasa. Entre los principales factores señalados como determinantes de la velocidad de conducción del calor hacia el centro del alimento, se encuentran (Badui *et al.*, 1993; Oke *et al.*, 2017 Godswill *et al.*, 2018):

- La velocidad de evaporación en la superficie del alimento.
- La temperatura en la superficie.
- El espesor del alimento.
- La relación área superficial/volumen. Cuanto mayor sea la superficie existen más posibilidades de disponer de mayor cantidad de calor.
- La distancia al centro del alimento. Los alimentos delgados requieren tiempos de cocción más cortos que los gruesos.

Asimismo, cuando el alimento se introduce en el aceite caliente ocurren los siguientes sucesos (Bordin *et al.*, 2013):

- El calor continúa transfiriéndose incluso después de que el alimento es cocinado y retirado del recipiente.
- La humedad del alimento comienza a formar vapor, que se elimina mediante burbujeo que desciende gradualmente a medida que el alimento va cocinándose.
- En el freído por inmersión las altas temperaturas empleadas durante el proceso provocan que la grasa se oxide, dando como resultado un desarrollo temprano en la tendencia a la formación de espuma, un definitivo oscurecimiento del color y un incremento notable en la tendencia de las grasas y aceites a producir humo (Lawson, 1999).

### **2.1.2. Freído superficial**

La aplicación del freído superficial es casi exclusivamente una práctica culinaria en la hostelería y restaurantería. El cocinado a la plancha y el freído superficial son los métodos más usados en la preparación de desayunos. En los últimos años, muchas cadenas de servicios de comida rápida han incrementado su volumen de ventas, al ser un método sencillo y de fácil aplicación (Bordin *et al.*, 2013). En este proceso se sumerge en el aceite la superficie del alimento que se desea freír, normalmente en sartenes o recipientes de poca profundidad y un bajo nivel de aceite. La parte del alimento sumergida se fríe y la que no está en contacto con el aceite, se cuece debido al vapor intenso desprendiendo del mismo producto al calentarse (Bordin *et al.*, 2013; Oke *et al.*, 2017).

Por lo regular se utilizan utensilios de acero inoxidable, para evitar el desprendimiento de metales que puedan provocar el deterioro oxidativo. El tiempo del freído superficial varía dependiendo del alimento a cocinar. Debido a que el índice de agua contenida es diferente, y el nivel de penetración del calor es controlado por la conductividad térmica del alimento. Una de las ventajas del freído superficial sobre los demás procesos

culinarios reside en el calentamiento rápido y uniforme del alimento. Las altas temperaturas empleadas (85-175 °C) “sellan” la superficie del producto. Lo cual, evita que se desprenda el vapor rápidamente y facilita la cocción del interior del producto y permitiendo que quede más jugoso. El incremento de la temperatura acelera el proceso de freído pero también el deterioro del aceite, ya que se activan los procesos químicos y en dependencia de las temperaturas empleadas, también se favorecen los procesos enzimáticos, por tanto, las grasas o los aceites calentados tienden a degradarse con bastante rapidez, en especial si en ellos hay sustancias o residuos que actúan como catalizadores de las alteraciones. Cuando el aceite comienza a desprender humo blanco significa que el aceite se está descomponiendo y pueden empezar a formarse productos poco benéficos para la salud (Badui *et al.*, 1993).

## **2.2. Sistemas de freído**

Cabe señalar dos sistemas de freído según el modo de proceder:

**2.2.1. Freído continuo.** Este sistema de freído se trata de un proceso de producción altamente automatizado, que permite trabajar con incorporación constante de alimento a freír y de aceite empleado, para mantener las condiciones de proceso. Dentro de este grupo se encuentra el freído industrial, donde se originan grandes volúmenes de producto. El proceso continuo garantiza una presencia constante de alimento y un aporte continuo de aceite fresco, las condiciones de freído no son agresivas y el equipo empleado está continuamente controlado (Flore y Sosa, 2016)

**2.2.2. Freído discontinuo.** Las características de este sistema, son radicalmente diferentes debido a que las condiciones lo son también (aireación, relación masa producto/masa aceite, tiempo, superficie de contacto, entre otros). El proceso discontinuo

se caracteriza por una producción del producto frito según la demanda destinada al consumo inmediato (Nagshine y Mirhosseini., 2010).

Las diferencias mayores de este proceso con el continuo son: su mejor regulación de la temperatura y la mayor superficie/volumen de grasa, mientras que sus inconvenientes se centran en el calentamiento reiterado de un mismo aceite a elevada temperatura y la existencia de una baja velocidad de reposición con aceite fresco. Además, la degradación es mucho más elevada, debido a los ciclos de calentamiento-enfriamiento, y los periodos en los cuales el aceite es calentado sin presencia de producto a freír. La renovación del aceite es muy lenta lo que provoca la presencia de un aceite residual cada vez más alterado, que debe ser reemplazado. Estas diferencias explicarían, en parte el elevado porcentaje de muestras con altos niveles de compuestos polares que se observan cuando se analizan muestras reales tomadas en sistemas de fritura discontinua (Godswill *et al.*,2018).

### **2.3. Aceites vegetales empleados en el proceso de freído**

Los aceites vegetales comestibles se obtienen principalmente de semillas oleaginosas (70.0% de la producción mundial), pero es posible obtenerlos de otras fuentes como el maíz, palma de aceite, coco, olivo y almendro entre otros. Hasta la década de los 50's el consumo de aceites y grasas mantenía una proporción similar entre grasas de origen animal y aceites de origen vegetal. Situación que cambió a partir de los 60's, cuando la soya se convierte en la principal fuente de aceites vegetales comestibles, consolidándose así, el fuerte repunte de la industria aceitera a nivel mundial. México cuenta, con una importante capacidad para procesar industrialmente semillas de soya, no obstante, sólo alrededor del 8% de las semillas oleaginosas es producido en territorio



nacional. Actualmente, se producen innumerables tipos de aceites y grasas comestibles. Aunque, un grupo reducido de aceites son habitualmente utilizados para fritura, industrial o doméstica, debido a que reúnen las mejores características para dicho proceso o por su bajo costo. No obstante, la fritura de cada tipo de producto requiere características diferentes, ya que las características finales del producto frito pueden ser variables. Una propiedad fundamental, directamente ligada con el tipo de aceite o grasa usada, es la estabilidad del producto frito y por tanto, de sus características de conservación o vida comercial (Mba, 2017; Oke *et al.*, 2017).

Los aceites comerciales de fritura deben cumplir unas normas estrictas de calidad. Tales como la fluidez a bajas temperaturas y como principal característica, la termoestabilidad en el freído con respecto a la oxidación y polimerización. Para alargar la vida útil del aceite en el freído, éste debe poseer una estabilidad química considerable, controlada por la rancidez hidrolítica y oxidativa (Oke *et al.*, 2017).

### **2.3.1. Cuerpo graso empleado en el freído de alimentos**

Las grasas y los aceites son los principales lípidos que se encuentran en los alimentos contribuyendo a la textura y en general a las propiedades sensoriales del producto (Astudillo, 2018).

El proceso de fritura utiliza aceite y grasa como medio de transferencia de calor al producto. Casi todas las clases de aceites y grasas pueden ser usados para freír, incluyendo aceites vegetales con y sin hidrogenar, grasas animales, mezclas de los anteriores y margarinas (Warner, 1999).

La elección del medio graso a utilizar es importante porque su naturaleza química debe estar en consonancia con diversos factores y criterios: condiciones de trabajo, gustos y rentabilidad, entre otros (Bello, 1998).

El mejor aceite para someterse a temperaturas de freído debería ser un producto de consistencia líquida a temperatura ambiente, que no sea deteriorado por el calor aplicado en forma continua o intermitente, que no imparta mal sabor u olor al producto que se fríe, que no presente los efectos negativos atribuidos a los ácidos grasos saturados e hidrogenados. Los aceites en los que predominan los ácidos grasos insaturados son mucho más adecuados desde el punto de vista nutricional, pero presentan desventajas en cuanto a su estabilidad, ya que a mayor grado de insaturaciones, el aceite va a ser menos estable frente al efecto de la temperatura (Belitz y Grosch, 1997).

*Requisitos que debe cumplir un cuerpo graso para fritura*

1. Tener un sabor neutro, con el fin de que los alimentos fritos puedan manifestar sus sabores característicos.
2. Soportar sin descomponerse temperaturas elevadas de trabajo, que pueden oscilar entre los 180 y los 200 °C.
3. Ser anhidros, es decir, no contener agua, que con el proceso se vaporizaría y se proyectaría fuera del recipiente que lo contenga.
4. Resistir las oxidaciones, que conducen a enranciamientos, surgidas como consecuencia de calentamientos repetidos y numerosos.
5. Soportar, sin degradarse, numerosas disminuciones y elevaciones de temperatura.
6. Ser muy fluidos al aplicar temperatura, con el fin de que los alimentos puedan ser bien escurridos al ser retirados del aceite.
7. Ser pobres en ácidos grasos poliinsaturados, ya que suelen ser los principales responsables de las oxidaciones que pueden sufrir los cuerpos grasos durante el proceso de freído, con cambios indeseables: formación de componentes polares y triglicéridos

poliméricos, oscurecimiento del color y aumento de la viscosidad, entre otros (Bello, 1998).

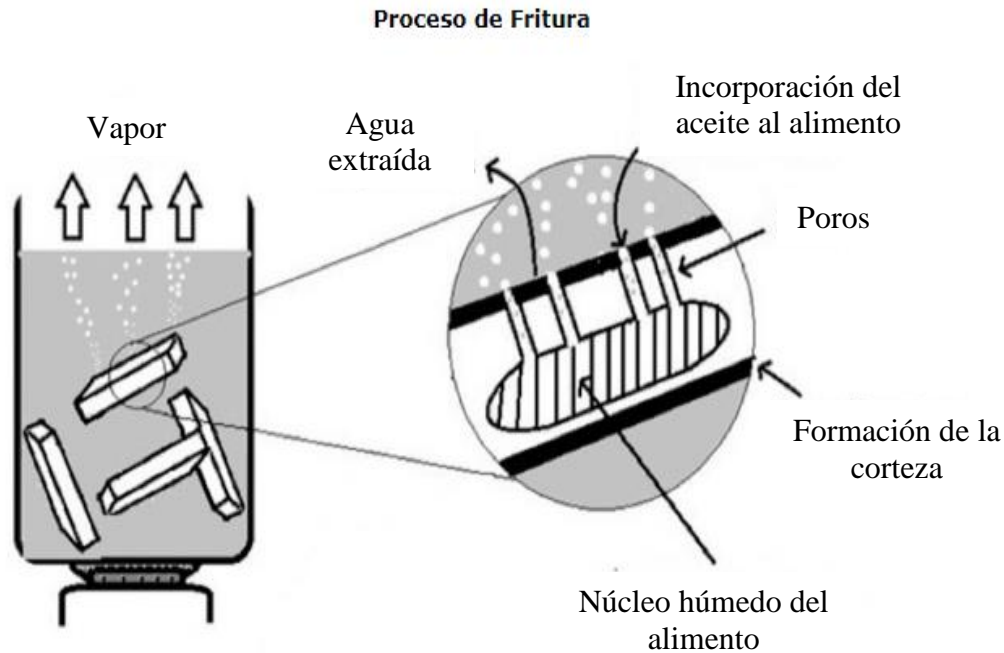
Los aceites para fritura deben ser frescos y sujetos a criterios de calidad, como los que se mencionan en el Cuadro 1. Independientemente del aceite o la grasa usada en el proceso, su calidad puede tener una gran influencia en la calidad del producto frito y en la estabilidad del aceite a elevadas temperaturas (Navas, 2005).

Cuadro 1. Especificaciones básicas para el aceite empleado en el freído de alimentos

<b>Variable</b>	<b>Especificación</b>
Color	2,0 máx., claro
Gusto	Ninguno
Flavor (sabor)	Ninguno
Ácidos grasos libres	0,1 % máx
Índice de peróxidos	1-2 meqO <sub>2</sub> /kg
Punto de humo	200-220 °C min.
Humedad	0,05-0,1 máx
Ácido linoleico	2-3 % máx

Fuente: Navas, 2005.

La función del aceite en el freído es doble. Por un lado actúa como medio transmisor de calor y por otro de transferencia de masa, llegando a ser un ingrediente del producto frito al ser absorbido por el mismo, tal como se ve en la Figura 1. Ésta última función tiene especial interés, ya que la estabilidad del aceite y su grado de alteración influirán directamente en la duración del producto. (Belitz y Grosh, 1997)



Fuente: Montes *et al.*, 2016.

Figura 1 Transferencia simultánea de masa y calor durante la fritura de alimentos

La velocidad de transferencia de calor hacia el alimento está influenciada por las propiedades térmicas, viscosidad del aceite y las condiciones de agitación. Mientras exista producción de burbujas en la superficie el régimen será de convección forzada y la determinación de los coeficientes de transferencia de calor convectivos se hace más difícil de cuantificar. El proceso de transferencia de calor hacia la superficie se dificulta aún más si las burbujas permanecen adheridas al producto (Oyedeki *et al.*, 2017).

Una amplia variedad de aceites y grasas refinadas son utilizados como medio de fritura (Cuadro 2), donde los aceites mayoritariamente insaturados son los más utilizados, ya que presentan ventajas respecto a las grasas saturadas o parcialmente hidrogenadas por cuestiones relacionadas con la salud, y también, por cuestiones de estabilidad y calidad

sensorial. El uso de mezclas de aceites es una posibilidad real para conseguir una mayor flexibilidad en la disponibilidad de los mismos (Marinova *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Aceites más utilizados para el freído industrial o de restauración.

<b>Tipo</b>	<b>Grasas y aceites</b>
Grasas animales	Manteca de cerdo
	Sebos
Aceites vegetales	Oliva
	Girasol
	Soya
	Maíz
	Algodón
	Canola
	Cacahuete
Grasas vegetales	Palma
	Coco
Fracciones de grasas	Estearina de algodón
	Oleína de palma
	Estearina de palma
Grasas hidrogenadas	Aceite de pescado hidrogenado
	Oleína de palma hidrogenada
	Aceite de soya hidrogenado

Fuente: Navas, 2005.

### 2.3.2. Temperaturas recomendadas para el Freído

Existe una estrecha relación entre las temperaturas de trabajo y los tiempos necesarios para alcanzar los objetivos del freído (Bello, 1998).

El aumento de la temperatura de fritura disminuye la absorción del aceite, pero en general no tiene efecto significativo. Mientras mayor es la relación superficie/masa producto mayor es la absorción de grasa, existiendo una relación lineal entre ambos parámetros (Oyedeji *et al.*, 2017).

La uniformidad en el freído depende de la similitud de las piezas del alimento que serán fritas. Piezas pequeñas de alimento son más rápidas de freír, mientras que piezas grandes, requieren de tiempo largos para la penetración del calor a ellas. Piezas grandes generalmente requieren bajas temperaturas para prevenir un sobrecocinado o quemado de la superficie del alimento (Flores y Sosa, 2016)

Las temperaturas recomendadas para el freído varían entre 160 °C y 190 °C, incluso hasta 200 °C, encontrando dentro de éste intervalo lo siguiente:

a) Conviene usar temperaturas medianamente calientes (140 °C), para alimentos que contienen grandes cantidades de agua (hortalizas y pescado, entre otros) y para alimentos gruesos.

b) Las temperaturas calientes (160 °C) se emplean para la elaboración de alimentos que hayan tenido una precocción (verduras cocidas y rebozadas, entre otros) o para los que llevan alguna pasta de freír.

c) Las temperaturas muy calientes (180 °C) son adecuadas para alimentos de pequeño volumen donde la cocción es muy rápida (Bello, 1998).

### **2.3.3. Tipo de alimentos sometidos a freído y acondicionamiento de los mismos**

El freído se puede aplicar a los grupos de alimentos más variados: carnes, pescado, huevo, verduras, pastas, entre otros. No obstante, el resultado del proceso viene marcado por un conjunto de variables, que dependen de la naturaleza tanto del alimento como de la grasa, así como de la tecnología del proceso. El alimento destinado a la fritura debe ser cuidadosamente seleccionado, teniendo como criterio general el trabajar siempre con piezas relativamente pequeñas. En este sentido, se debe evitar aplicar el proceso de fritura a piezas grandes, ya sea enteros o en trozos, porque antes de que el interior esté cocido pueden deteriorarse sus zonas externas (Astudillo, 2018).

Dentro de las características de los alimentos sometidos a freído debe considerarse el contenido de agua, proteína y almidón ya que estos son factores que propician el deterioro del aceite en el freído. No obstante, la temperatura tampoco debe resultar excesiva para que no se caramelicen los azúcares, porque en este caso los productos vegetales adquieren un sabor poco agradable (Avalos, 2003).

Asimismo, el alimento destinado a la fritura debe ser adecuado para la misma o debe acondicionarse para que cumpla con las exigencias del proceso. Su superficie debe ser lo más seca posible para evitar al máximo la hidrólisis del aceite por la combinación de la presencia de agua y las altas temperaturas que caracterizan al proceso, lo que de hecho, también favorece la oxidación del aceite y la formación de espuma (Astudillo. 2018)

Algunas veces, para una fritura se parte directamente de alimentos crudos, que no necesitan de protección para ofrecerlas cualidades sensoriales buscadas, tal es el caso de las papas fritas. Sin embargo, existen alimentos con alto contenido de humedad que deben ser protegidos por una capa superficial de harina, huevo y leche, entre otros, para moderar la penetración del calor intenso, prevenir la pérdida de humedad y conseguir una cubierta que impida la penetración de la grasa del medio. (Chuang *et al.*, 2006)

En este sentido se deben mencionar las operaciones siguientes:

1. Enharinado: Operación que consiste en proteger el alimento con una ligera capa de harina, como se hace con frecuencia para el pescado frito.
2. Rebozado: Operación por la que un alimento se recubre con una capa de ciertas características de acuerdo con los ingredientes empleados (harina de trigo, proteína

de soya, gluten de trigo, albúmina de huevo, leche, sal, entre otros y determinado grosor, con la finalidad de mejorar su textura, sabor, apariencia y olor, entre otros.

3. Empanizado: Operación por la que un alimento se recubre con pan rallado y pulverizado, antes de que se proceda a su fritura.
4. Otros pre y postratamientos para disminuir la absorción de aceite en el alimento son el escaldado y secado, usados para controlar la absorción de aceite. Durante el escaldado se gelatiniza el almidón en la superficie del alimento. Este almidón en contacto con el aire caliente del secador (66 °C), se deshidrata y forma una costra que impide la entrada de aceite durante la fritura reduciendo su contenido de 37.5 a 31.0% (Astudillo, 2018).
5. Lamberg (1990), también encontró que las papas escaldadas y presecadas con aire de 2.0% H.R. eran las que menos aceite absorbían.

Moreno y Bouchon (2008), sometieron cilindros de papa a deshidratado utilizando métodos como aire, congelado y deshidratación osmótica, encontrando diferencias significativas entre todos, concluyendo que la estructura porosa externa reduce la resistencia a la absorción del aceite, probablemente debido a la baja permeabilidad del tejido exterior

La eliminación posfritura del excedente de aceite, particularmente del adherido a la superficie externa, se puede realizar rociando las papas con agua caliente o mediante su inmersión en difluorometano (Warner, 1999).

Dentro de las características de los alimentos sometidos a freído debe considerarse el contenido de agua, proteína y almidón ya que estos son factores que propician el deterioro del aceite en el freído. (Dorni *et al.*, 2017)



Además hay que considerar algunas variables dependientes del alimento a freír dentro del proceso como son: la relación superficie/volumen, cobertura del alimento, humedad y la composición de su fracción lipídica. Alimentos ricos en hidratos de carbono, específicamente azúcares reductores, generan acrilamida, sustancia demostrada como genotóxica y carcinogénica en investigaciones realizadas con animales, misma que surge durante la reacción de Maillard (Álvarez, 2005).

#### **2.3.4. Cambios en el alimento durante el freído**

La nutrición y la salud son aspectos fundamentales y no es suficiente con disponer de los procedimientos adecuados de producción de los diferentes alimentos, sino que se hace indispensable verificar el aporte nutrimental de los mismos en la dieta. En muchos casos el desconocimiento de los factores que afectan la estabilidad de los nutrientes en los diferentes procesos de transformación de los alimentos a nivel industrial o artesanal conduce al consumo de alimentos con bajos aportes de nutrientes esenciales. En la mayoría de casos se conoce la información de composición de los alimentos crudos, pero dependiendo del tipo de preparación, se modifica el aporte de nutrientes especialmente de aquellos solubles en agua como los minerales y los termosensibles como las vitaminas (Flores y Sosa, 2016).

Durante el freído ocurren reacciones químicas en el alimento, fundamentalmente oxidativas y térmicas, las que afectan a los lípidos, proteínas, hidratos de carbono y a otros componentes minoritarios de los alimentos (Álvarez, 2005). Los mayores cambios microestructurales se producen a nivel de la corteza, donde se observa la deshidratación y encogimiento de células, gránulos de almidón gelatinizados y la acumulación del aceite. Las proteínas, aunque estén presentes en el alimento en pequeñas concentraciones sufren desnaturalización y posiblemente degradación. Así por ejemplo, la formación de corteza

en la carne frita se ha atribuido a cambios estructurales en las proteínas y su color café oscuro a la combinación de deshidratación y reacciones de pardeamiento (Oyedeji *et al.*, 2017).

Los alimentos calentados en grasa, no sólo se cuecen, sino que también su superficie se oscurece debido a la caramelización de los azúcares y a la reacción reductora de azúcar-proteína. Las superficies crujientes de los alimentos fritos ayudan tanto a su apariencia como a su sabor. Cuando los alimentos son bien preparados, la superficie del alimento es dorada en el exterior y húmeda en el interior. La cantidad de calor que recibe un alimento durante su cocción puede tener efectos en el desarrollo de una serie de fenómenos físicos y químicos en la grasa empleada, que sin duda afectan la calidad del alimento, porque inciden sobre sus características sensoriales, nutritivas y sanitarias (Rojas y Narváez, 2011).

Un incremento de la temperatura puede fluidificar la grasa, que puede pasar a vapor el agua líquida con pérdidas de sustancias volátiles, provocar movimientos de componentes capaces de solubilizarse en el agua o en las grasas con alteración de los sistemas coloidales presentes. Al convertirse el agua en vapor aumenta la presión al interior del alimento y el vapor escapa del interior a través de capilares o poros formados por la reducida adhesión entre células. A medida que el proceso continua, las áreas que rodean los sitios por donde escapa el vapor se secan y pierden su hidrofobicidad. El aire se adhiere entonces a la superficie y entra al producto por estas áreas dañadas (Warner, 1999).

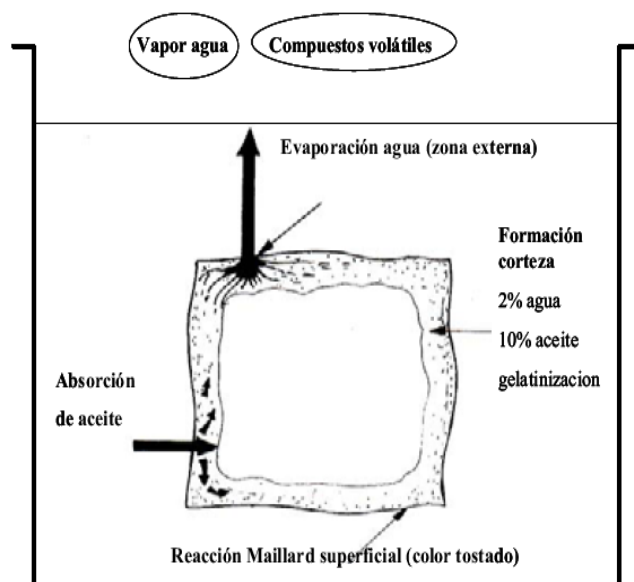
La pérdida de agua, o desecación, sufrida por el alimento al ser sometido a un proceso de cocción resulta un fenómeno que va a tener una cierta trascendencia en la calidad del producto final (Lamberg *et al.*, 1990)

Son varios los factores determinantes de la velocidad a la que tienen lugar estas pérdidas de agua a nivel superficial:

1. La temperatura a la que se encuentra la superficie del alimento.
2. La temperatura y humedad relativa del medio (que puede ser el aire)
3. La velocidad a la que se mueve el medio.
4. La actividad del agua en el alimento (Bello, 1998).

#### 2.4. Regiones del alimento sometido a freído

Existen tres diferentes regiones de textura en el alimento: una capa externa, capa intermedia y región interna, estas pueden ser identificadas en un alimento sometido a freído profundo o por inmersión, tal como se ve en la Figura 2 (McSavage y Trevisan, 2001; Navas, 2005).



Fuente: Navas, 2005.

Figura 2. Cambios en el alimento durante el freído

Entre los fenómenos físicos y químicos que ocurren en la matriz del producto sometido a freído se dan fenómenos de deformaciones mecánicas incluyendo expansiones, disgregación de la matriz sólida, desarrollo de porosidad y de una superficie rugosa, transferencia de agua del alimento al medio de fritura y posterior evaporación, la absorción y adsorción por parte del alimento de compuestos de alteración del aceite (Navas, 2005).

La mayor concentración de aceite tiende a encontrarse en la corteza externa. Moreira *et al.*, (1995), reportaron que el aceite en tortilla chips no se encuentra distribuido uniformemente y se concentra en los bordes y en las zonas expandidas de las tortillas. Lo mismo se ha comprobado en papas fritas por observación al microscopio. La retención de aceite tendría que ver con la formación de huecos o ampollas y quizá con el daño que se produce en las células externas durante el corte de las rebanadas. En algunos casos se ha propuesto la analogía con una esponja la cual, retiene líquido que entra por succión en su estructura porosa.

Es conveniente dar una idea del contenido de grasa en algunos alimentos después de ser sometidos al freído (determinado generalmente, por extracción con solventes) de distintos alimentos fritos y que contribuye de manera importante a la ingesta de lípidos de los consumidores. El Cuadro 3, enlista algunos productos fritos comerciales pertenecientes a distintos tipos de materias primas alimentarias y su contenido de aceite en fritura (Bordin *et al.*, 2013).

Cuadro 3. Contenido de aceite de productos fritos comerciales

<b>Producto</b>	<b>% de aceite</b>
<b>Vegetales</b>	
Papas fritas	8-16
<b>Cárnicos</b>	
Pollo frito	28
Croquetas de pescado	22-34
Pescado frito	7-18
<b>Pastelería</b>	
Donuts	9-31
<b>Snacks</b>	
Tortillas de maíz	23-34
Papas chips	35-45
Expandidos de queso	32-46

Fuente: Oyedeji *et al.*, 2017

#### **2.4.1. Principales modificaciones de la composición de los alimentos durante la fritura**

##### **2.4.1.1. Modificaciones vinculadas al aspecto externo**

Lo primero que puede llamar la atención cuando un alimento se somete a un tratamiento térmico suelen ser las modificaciones vinculadas a su aspecto externo (Lamberg *et al.*, 1990)

**1. Volumen.** El cambio de volumen puede deberse a fenómenos como los siguientes:

- Pérdida de agua de constitución, que se produce por una deshidratación superficial, debida a la duración de la exposición del alimento al calor y de la superficie tratada así como de la intensidad de la fuente de calor.

- Pérdidas de materia grasa por fusión debido al calor, éstas pérdidas también resultan proporcionales a tres parámetros tecnológicos: Tiempos y temperaturas de cocción, y la cantidad de agua contenida en el alimento y su punto de fusión. De aquí la importancia de respetar los tiempos señalados para el freído, así como la regulación precisa de la temperatura. (Rivera *et al.*, 2014)

**2. Coloración.** El freído modifica el color inicial de los alimentos. La causa del cambio de color puede responder a los motivos más diversos, aunque siempre en función de factores como la naturaleza y composición química del alimento (Astudillo, 2018)

*Debido a lo anterior cabe destacar:*

- Una caramelización de los azúcares mono y disacáridos presentes.

- Pardeamientos en estructuras proteicas, que han coagulado como consecuencia de una desnaturalización., cuando se trata de cocciones en un medio graso hay que contar con pardeamientos, como consecuencia de las altas temperaturas alcanzadas (Mariod *et al.*, 2006)

**3. Consistencia.** La modificación de la consistencia de un alimento por la aplicación de calor, se encuentra vinculada a fenómenos muy diversos, debidos principalmente a los efectos sobre proteínas y polisacáridos.

- Una coagulación de las proteínas desnaturalizadas, con el endurecimiento posterior, será proporcional a la duración del freído en función de la naturaleza del alimento.

- La gelatinización del almidón conlleva a espesar la fase líquida por aumento de la viscosidad.

- La dextrinización como la que se produce en el almidón cuando se calienta en medio seco y que al caramelizar, se endurece y se vuelve crujiente. (Mba, 2017)

**4. Sabor.** El tratamiento térmico provoca en el alimento modificaciones de aroma y de sabor, que se observan a través de los sentidos del olfato y del gusto, tales como:

- Captación de sabores
- Liberación de sustancias volátiles
- Desarrollo de sabores característicos, como consecuencia de reacciones químicas
- Volatilización de sustancias aromáticas
- Solubilización de sustancias sápidas (Mc Savage y Trevisan, 2001)

***2.4.1.2. Modificaciones vinculadas con las estructuras químicas***

El calor aplicado a un alimento para su cocción puede ocasionar cambios en las estructuras químicas que integran su composición, con reacciones que varían de acuerdo con la naturaleza química de la sustancia afectada (Rojas, 2011).

Las principales modificaciones sufridas por el alimento en cuanto a su composición, debido a la acción del calor durante el freído, se resumen en el Cuadro. 4.

Cuadro 4 Cambios experimentados en el alimento durante la fritura.

Componentes del alimento	Cambios experimentados en el alimento durante la fritura
Grasa	Pronunciado incremento de su contenido
Agua	Pérdida sustancial
Azúcares reductores	Reacción de Maillard
Almidón	Gelatinización, dextrinización
Proteínas	Desnaturalización
Aminoácidos	Formación de sustancias heterocíclicas del sabor-olor
Sustancias del flavor	Formadas por reacciones oxidativas y de Maillard Interacción con el aceite de fritura
Vitamina C	Pérdida moderada
Minerales	Pérdida mínima
Fenoles	Pérdida moderada

Fuente: Navas, 2005.

**1. Lípidos.** La fracción lipídica presente en el alimento es oxidada como se ha mencionado con anterioridad debido a las altas temperaturas con una limitada concentración de oxígeno. Esta oxidación se da principalmente en la superficie.

**2. El agua.** El tratamiento térmico del alimento hace que el agua contenida en él participe en dos fenómenos: ebullición con evaporación y como medio disolvente, dando lugar a una pérdida sustancial. Los intercambios de agua entre el medio de freído y el alimento modifican su estructura, composición y su valor nutritivo.

**3. Azúcares.** La principal reacción de los azúcares es la de Maillard (pardeamiento no enzimático) reacción que se produce entre los grupos amino, péptidos o proteínas y los



grupos carbonilo de los azúcares reductores u otros aldehídos o cetonas. Diversos productos intermedios que reciben el nombre de productos de Amadori, o premelanoidinas, son rápidamente polimerizados a la temperatura de freído formando macromoléculas de color oscuro (melanoidinas). Este oscurecimiento se acelera a temperaturas superiores a 150 °C. Otros compuestos volátiles se originan como productos secundarios de la reacción y participan en el sabor y aroma del producto frito (pirazinas).

**4. Almidón.** Los gránulos de almidón son rápidamente gelatinizados en contacto con el aceite caliente y la estructura del alimento crudo se pierde y se transforma en una nueva estructura característica. Durante el calentamiento, se forma una corteza crujiente en la superficie que es apreciada por el consumidor (Navas, 2005)

**5. Proteínas.** Durante la cocción de los alimentos, sus proteínas sufren una desnaturalización (con pérdidas de solubilidad) a diferentes temperaturas que varían de acuerdo con el entorno en el que se encuentran: presencia de sales, azúcares, almidones y grasas, entre otros. La velocidad de calentamiento ejerce su influencia sobre la coagulación proteica; cuando el alimento se calienta de modo lento, coagula a temperaturas más bajas; en cambio los calentamientos rápidos, provocan una brusca precipitación en forma de grumos (Moreno y Bouchon, 2008)

Los efectos de las temperaturas mayores a 100 °C aplicadas a los alimentos, sobre las proteínas son:

- Reacción de Maillard
- Destrucción de aminoácidos, con isomerización a formas D y reducción del valor nutritivo.
- Reducción de digestibilidad por formación de puentes covalentes.

**6. Vitaminas.** Diferentes vitaminas son sensibles a las temperaturas altas y a la oxidación y su retención en el alimento depende más de la temperatura interior del producto que de la temperatura de fritura. La vitamina B (tiamina, riboflavina, niacina, B6) es la más afectada en este proceso (Warner, 1999)

**7. Fenoles.** Estos compuestos con características antioxidantes y quelantes, son fácilmente oxidables. Así mismo, se favorecen sus reacciones con proteínas. Todo ello en conjunto disminuye su concentración (Warner, 1999)

## **2.5. Alteraciones en la composición del aceite de fritura**

La descomposición del aceite aumenta con el tiempo de fritura y con su uso prolongado. Cambios en el aceite no sólo resultan de la producción de compuestos de degradación térmica e incorporación de compuestos extraídos del producto sino también de la producción de surfactantes. Estos últimos reducen la tensión superficial entre el aceite y el agua, favoreciendo el contacto entre el aceite y el agua, lo que causa una absorción excesiva de aceite y mayor transferencia de calor que conduce al oscurecimiento de la superficie (Oyedepi *et al.*, 2017).

Se producen una serie de cambios químicos y físicos, como consecuencia de la interacción entre el aceite, el agua y los componentes del alimento. Por todo ello el aceite utilizado determina la calidad del alimento, así como las condiciones del proceso y la composición del producto (Navas, 2005).

**2.5.1. Humedad:** La humedad en los alimentos produce una capa de vapor sobre el recipiente de freído o freidora, reduce el contacto con el aire y aumenta la hidrólisis de los aceites durante el freído por inmersión (Stauffer, 1996). La mayoría de los estudios demuestran que un contenido alto de humedad resulta en una mayor absorción de aceite.

Se presume que un contenido menor de humedad, especialmente en las capas externas del producto, resulta en menor evaporación de agua y por tanto en menor porosidad interna donde se puede ubicar el aceite absorbido.

**2.5.2. Punto de humeo de las grasas:** Cuando una grasa se sobrecalienta, el glicerol que se acumula debido a la hidrólisis se descompone y la grasa desprende un gas azul que irrita el tracto respiratorio del operador. El glicerol se deshidrata y se obtiene el aldehído insaturado, acroleína. Lo anterior se muestra gráficamente en la Figura 3.

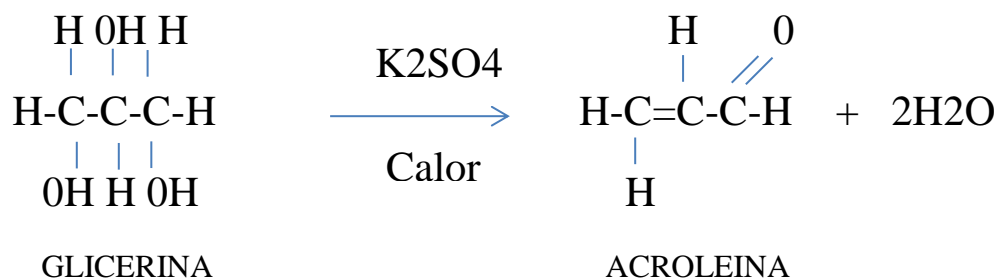


Figura 3. Reacción de deshidratación del glicerol (Avalos, 2003).

Una característica deseada en las grasas utilizadas para freír es un alto punto de humo (la temperatura a la que pueden calentarse antes de la aparición de la acroleína). El punto de humo de la grasa depende del porcentaje de glicerol libre en la grasa o en la facilidad con la que las moléculas se hidrolizan hasta glicerol libre. Las grasas que han sido previamente utilizadas, hacen humo a temperaturas inferiores debido a la hidrólisis que ya ha ocurrido en algunas moléculas grasas (Belitz, 1997)

**2.5.3. Absorción de la grasa:** La absorción de la grasa durante el freído se debe mantener al mínimo, debido a que los alimentos grasos son menos agradables y proporcionan más calorías. Manteniendo al mínimo el tiempo de contacto de la superficie

del alimento expuesto a la grasa con el medio de freído, así como acondicionar la superficie del alimento con métodos antes ya descritos como el enharinado, empanizado o rebozado. Las moléculas de grasa o aceite calentado por arriba de los 200 °C, pueden formar largas cadenas o polímeros. La grasa se hace más viscosa con el uso y entre más viscoso sea el medio de freído, mayor es la absorción de grasa por el alimento frito. Los productos hidrolíticos y de oxidación formados en la grasa caliente durante el freído, tienden a disminuir la tensión interfacial entre la grasa y el agua y esto favorecerá la penetración de la grasa en el alimento (Belitz, 1997)

## **2.6. Reacciones de degradación durante el freído**

Durante el proceso de freído, ocurren reacciones termolíticas y oxidativas en el aceite, debido a la temperatura del proceso, en especial cuando en el medio hay sustancias o residuos que actúan como catalizadores en esta alteración. Los cambios más importantes son: formación de color, oxidación, polimerización e hidrólisis, a partir de tres agentes agua, oxígeno y temperatura elevada. Además de estas transformaciones químicas se observan cambios físicos como el desarrollo de olor y sabor (Navas, 2005).

Una **oxidación excesiva** del producto frito, origina rancidez acompañada de una pérdida de palatabilidad y la aparición de olores y sabores no deseables, así como el cambio en el color del medio de freído (Figura 4) (Navas, 2005). Estos cambios pueden ser usados como un índice de la calidad del aceite durante el freído y determinar así el momento de descartar el aceite degradado (Vijayan, 1996).

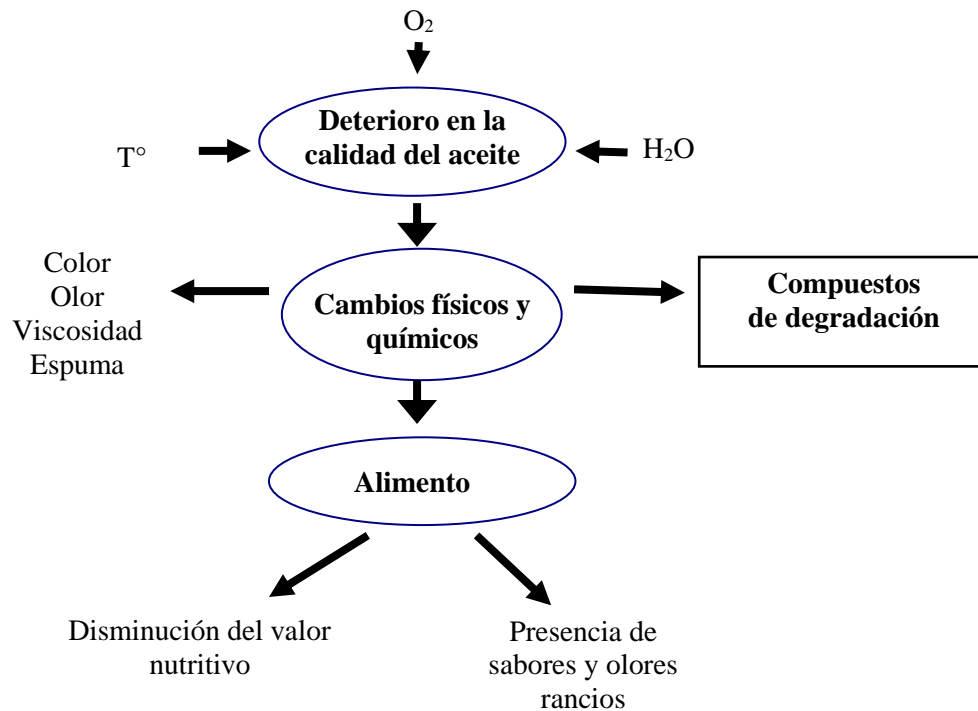


Figura 4: Oxidación excesiva de un producto frito

Fuente: Navas, 2005

Las temperaturas que se alcanzan durante el proceso de freído pueden deteriorar seriamente la composición química del aceite si este es muy insaturado, también da lugar a la formación de ácidos grasos libres que dependen de variables como la cantidad de agua liberada en el aceite, la temperatura de aceite de fritura, la velocidad de renovación del aceite, el número de ciclos de calentamiento/enfriamiento de los aceites, así como también es importante la eliminación de las partículas de alimento que se encuentran en el aceite de fritura (Belitz y Grosch, 1997).

Los productos de descomposición no volátiles son polares y no polares. Estos son monómeros cíclicos, monómeros no cíclicos, dímeros y compuestos de alto peso molecular, permanecen en el aceite, siendo absorbidos por el alimento frito e ingeridos

por el consumidor. Son indicadores fiables del abuso en la utilización de la grasa, porque su acumulación es constante, al ser no volátiles (Cuadro 5).

Estos productos de reacción son responsables de los cambios físicos en el medio de fritura (incremento de la velocidad, color y formación de espuma) y de los cambios químicos como los aumentos de ácidos grasos libres, índice de carbonilos, contenido en hidroxilos, saturación y la formación de compuestos de alto peso molecular (Lawson, 1999).

Cuadro 5. Principales grupos de compuestos formados en los aceites y grasas durante el proceso de fritura

TIPO DE ALTERACIÓN	AGENTE CAUSAL	COMPUESTOS RESULTANTES
Hidrolítica	Humedad	Ácidos grasos libres Diacilgliceroles Monoacilgliceroles Monómeros oxidados (TG) Dímeros y polímeros oxidados (TG)
Oxidativa	Aire	Compuestos volátiles (aldehídos, cetonas, hidrocarburos, etc) Óxidos de esteroles Dímeros y polímeros no polares (TG)
Térmica	Temperatura	Monómeros cíclicos (TG) Isómeros trans (TG) y de posición

Fuente: Navas, 2005.

Diversos autores admiten que en un proceso industrial de fritura, el aceite pasa por varios estadios de calidad.

- Inicial: El aceite tiene poca viscosidad y su poder surfactante es mínimo.
- Fresco: Comienza los fenómenos de hidrólisis y aparecen mono y diglicéridos.
- Óptimo: se alcanza la cantidad adecuada de sustancias emulsionantes para que el contacto del producto con el aceite sea el correcto. Aparece la formación de espumas, que son favorecedoras de la oxidación de los compuestos grasos.
- Degradado: Se llega a un nivel tan elevado de hidrólisis y oxidación que aparecen sustancias químicas indeseables. Existe un exceso de cocción y de absorción de compuestos grasos.
- Descartado: Aparecen sabores y olores recusables (Bello, 1998).

### 2.6.1. Oxidación

Ocurre por la presencia del oxígeno del aire, mientras que la oxidación enzimática no tiene gran incidencia. Hay formación de hidroperóxidos y en las reacciones posteriores aparecen, hidrocarburos, lactonas, alcoholes, compuestos carbonilos, ácidos y epóxidos, entre otros. La presencia de estas sustancias provoca cambios sensoriales, alteraciones del olor y el sabor, conocidos como rancios, también el oscurecimiento del producto y la afectación de su palatabilidad. El sabor rancio se debe a la presencia de ácidos orgánicos de cadena corta como fórmico, acético y propiónico (Dorni *et al.*, 2017)

Los productos de la oxidación estarán determinados por las composiciones del aceite y del alimento y también por las condiciones del proceso. Se ha informado sobre la incidencia de los lípidos en el pardeamiento no enzimático de alimentos a partir de estudios realizados mayoritariamente en sistemas modelo de las reacciones proteína/lípido oxidado en comparación con otras reacciones donde ocurre también este oscurecimiento, por ejemplo la reacción de Maillard, el pardeamiento producido por el ácido ascórbico, y las reacciones de las quinonas con los grupos amino. El papel de los lípidos en las reacciones investigadas no parece ser muy diferente del papel de los carbohidratos en Maillard o de los fenoles en el pardeamiento enzimático (Tirado *et al.*, 2014).

#### 2.6.1.1. Tipos de oxidación

La oxidación puede ser ***autooxidación***, ***fotooxidación*** y ***oxidación enzimática***.

a. La ***autooxidación*** se produce a través de las reacciones en cadena de radicales libres mediante el ataque sobre el  $\alpha$ -metileno al doble enlace. Generalmente es un proceso lento, que ocurre a menudo en los productos que contienen una alta proporción de ácidos grasos insaturados. Esta reacción se lleva vía radicales libres (Lawson, 1999).



El mecanismo propuesto (Figura 5) para dicha reacción está dividido en tres etapas: iniciación, propagación y terminación.

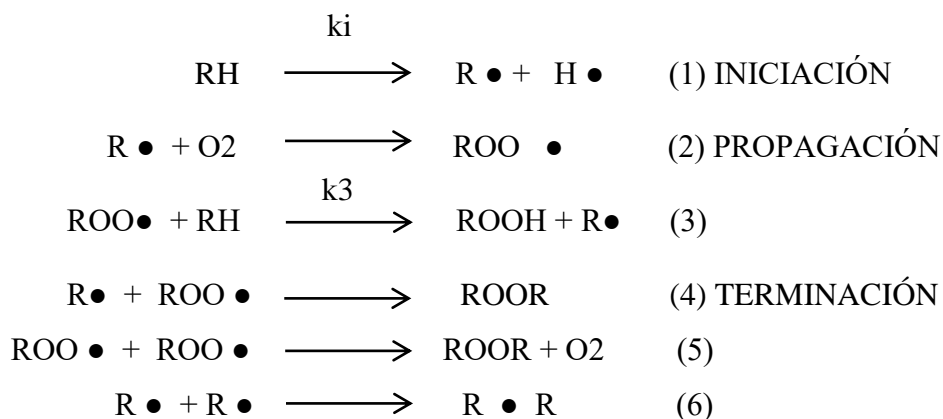


Figura 5. Reacción de auto oxidación.

Fuente: Avalos, 2003.

b. La **fotooxidación** es una reacción mucho más rápida que cataliza el ataque al doble enlace por la formación de oxígeno

c. La **oxidación enzimática** de los lípidos es causada principalmente por las lipoxigenasas. Las lipoxigenasas producen hidroperóxidos que dan lugar a productos secundarios importantes para el sabor-olor de productos alimenticios, entre ellos los aceites y las grasas (Lawson, 1999).

A temperaturas de fritura, la oxidación de los ácidos grasos depende de la concentración de oxígeno en estas grasas calentadas, convirtiéndose la disponibilidad de oxígeno en un factor limitante.

Algunos factores que afectan la velocidad de oxidación:

- a) La velocidad a la cual el aceite es absorbido por el alimento y reemplazado por aceite nuevo.
- b) Cantidad de área superficial del aceite que se encuentra expuesta al oxígeno.

- c) Presencia de metales como el cobre o latón que aceleran la oxidación (prooxidantes).
- d) Presencia de antioxidantes a altas temperaturas.
- e) La calidad del aceite (Stauffer 1996; Lawson 1999).

#### **2.6.2. Oxidación a altas temperaturas**

Los dos mecanismos que han sido postulados para la oxidación a altas temperaturas de las grasas insaturadas son *descomposición térmica o autoxidación* y *descomposición inducida o polimerización*:

**a. Descomposición térmica:** Es la reacción que resulta por interacción entre radicales libres, cuando los ácidos grasos insaturados son continuamente calentados a elevadas temperaturas.

**b. Descomposición inducida:** a través de la formación de hidroperóxidos a partir de ácidos grasos insaturados cuando son sujetos a calentamiento intermitente. Bajo estas condiciones, los hidroperóxidos se acumulan a bajas temperaturas contribuyendo a la formación de radicales libres cuando los aceites son recalentados; por ello se considera la fritura discontinua más destructiva que la fritura continua (Navas, 2005).

La termooxidación se produce por el efecto de las elevadas temperaturas, de forma que se favorece todavía más la alteración oxidativa.

Es evidente que el hábito de añadir aceite nuevo al ya usado o alterado, facilita su oxidación. Algunos aceites contienen sustancias antioxidantes naturales, pero la tendencia es usarlos como aditivos de aceites y grasas especiales para freír. Además no son estables a altas temperaturas de freído (Yagüe, 2003).

Algunos de los productos de la reacción son eliminados por el vapor desarrollado durante el freído del alimento, pero otros productos de la reacción permanecen en el aceite

y pueden acelerar su oxidación posterior. A temperatura ambiente la oxidación suele ser un proceso relativamente lento. Sin embargo, a las temperaturas del freído la oxidación se produce de manera bastante rápida. Cuanto mayor sea la temperatura, más rápida será la velocidad de oxidación. Por lo tanto es importante que la temperatura del aceite no sea más elevada que la necesaria para realizar el proceso (Lawson, 1999; Stauffer, 1996).

Un primer tipo de compuestos derivados de la oxidación de los ácidos grasos insaturados y de otras moléculas insaturadas son los hidroperóxidos compuestos de oxidación primaria característicos y de mayor abundancia (Navas, 2005).

Teóricamente durante el freído los triglicéridos pueden ser degradados a glicerol y ácidos grasos, donde los ácidos grasos insaturados como el oleico podrían sufrir oxidación a forma de hidroperóxidos que degradan a octanal conduciendo a la formación de acrilamida a través de reacciones con aspargina (Chuang, 2006).

La rancidez oxidativa ocurre en el aceite cuando el oxígeno reacciona en puntos de insaturación de los ácidos grasos y forman compuestos volátiles y no volátiles. Los compuestos no volátiles continuarán la acumulación y formarán polímeros, causando incremento en la viscosidad, la tendencia del aceite a espumarse y efectos negativos en la calidad del alimento (McSavage y Trevisan, 2001).

Durante el freído, los componentes volátiles son formados como resultado de la degradación del medio de freído. Estos han sido extensamente estudiados. Los productos de descomposición volátiles como hidrocarburos, aldehídos, cetonas, fenoles, dienos, cetonas y ácidos orgánicos, son removidos en el aceite por el vapor generado durante el freído. Sin embargo, estos componentes son de gran interés, porque algunos de estos productos volátiles son retenidos en el freído por el alimento e influencia en el aroma y el

sabor del producto. Ellos podrían ser también inhalados por los operadores y tener un efecto en la salud humana de estos individuos. Los compuestos volátiles se dan como resultado de la degradación del aceite y su desarrollo muestra una degradación progresiva del aceite durante su uso (Mariod, 2006).

Los productos de descomposición no volátiles son polares y no polares, estos son monómeros cíclicos, no cíclicos, dímeros, trímeros y compuestos de alto peso molecular, mismos que son indicadores del abuso en la utilización de la grasa porque su acumulación es constante al ser no volátiles (Lawson, 1999). Los dímeros y polímeros de triacilglicéridos presentes en los aceites de fritura, son los más importantes desde el punto de vista cuantitativo y su formación está también catalizada por altas temperaturas del proceso, debido a que la formación de radicales libres de los ácidos grasos y triacilgliceroles es mucho mayor a elevada temperatura. Por ello estos compuestos están íntimamente relacionados con la calidad de la grasa y con una pérdida significativa de su valor nutritivo (Navas, 2005).

### **2.6.3. Polimerización**

Da lugar a la formación de monómeros y dímeros, muchos de ellos son tóxicos, además oscurecen el aceite. Los polímeros favorecen la formación de espuma y por tanto se incrementa el proceso oxidativo. Hay aumento de la viscosidad y un mayor arrastre de aceite por el producto frito. Aparece una capa de polímeros adherida a las paredes de la freidora e inclusive en la superficie del aceite que es difícil de eliminar. Existen polímeros de origen oxidativo y de origen térmico (Yu *et al.*, 2018)

Se han expresado criterios con relación a que los polímeros de alta masa molar no son digeribles, por lo que tienen poca importancia en cuanto a la nutrición y la salud de

los consumidores, además se ha observado que las grasas usuales en condiciones normales de fritura industrial solo producen una cantidad reducida de estos compuestos. Los monómeros y dímeros, polímeros de baja masa molar, si son absorbidos por la pared intestinal y muchas de estas sustancias están reconocidas como tóxicas o potencialmente cancerígenas, por ejemplo, el benzopireno producido por la ciclación del colesterol (Yu *et al.*, 2018)

Estos procesos deteriorantes pueden ocurrir en las grasas y aceites comestibles, así como también en los lípidos presentes en los alimentos, inclusive a concentraciones menores al 1.0% (Tirado *et al.*, 2014).

#### **2.6.4. Hidrólisis**

La reacción del agua del alimento con el aceite durante la fritura conduce a la liberación de ácidos grasos y ésteres parciales del glicerol, a partir de triacilgliceroles, como se muestra en la Figura 6.

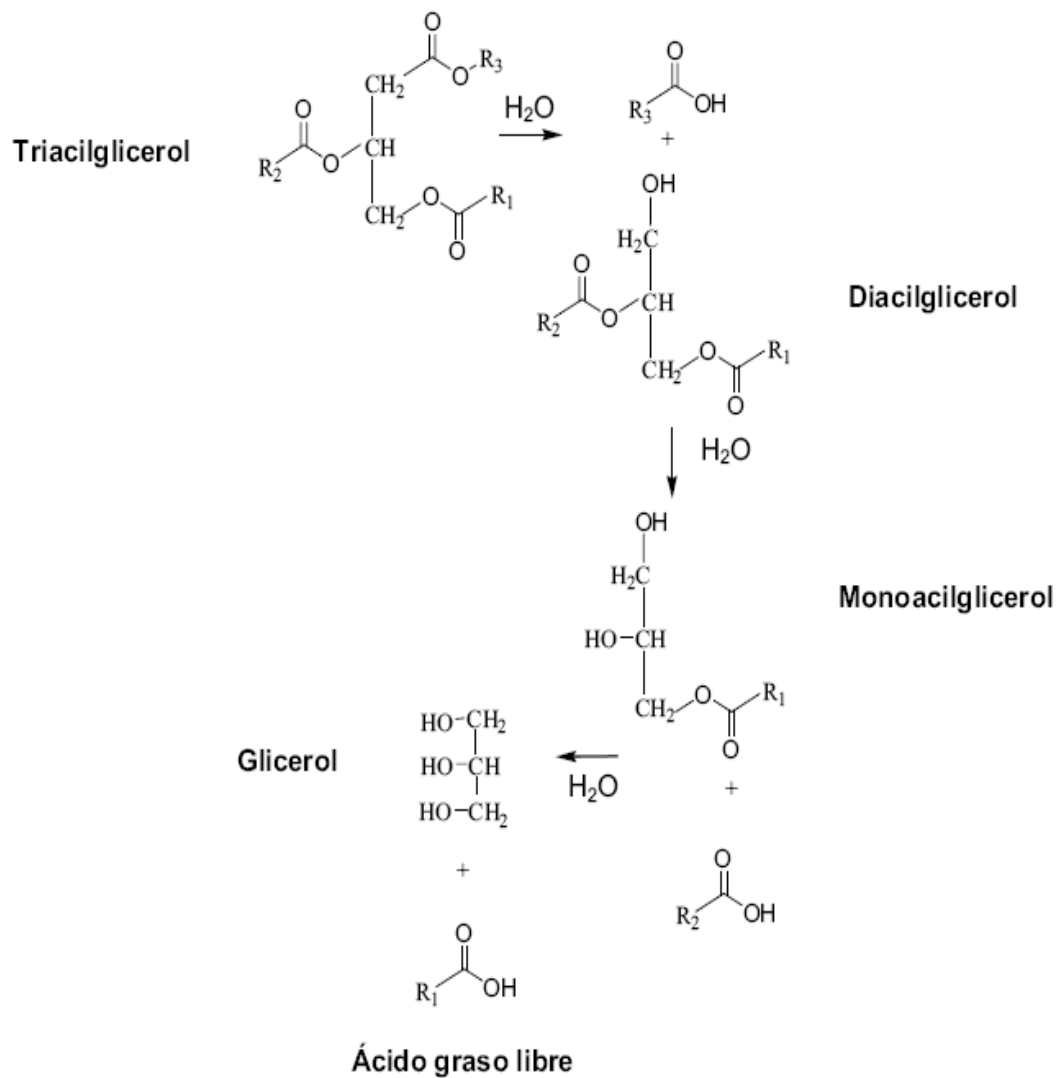


Figura 6: Proceso de hidrólisis durante la fritura.

La intensidad de este proceso de hidrólisis, que puede medirse mediante la acidez libre, depende de diversos factores:

- La cantidad de agua en contacto con el medio de freído.
- La relación superficie /volumen. A mayor valor de esta relación, mayor contacto entre el aceite y el agua del producto.

- Una temperatura elevada favorece la formación de ácidos grasos libres.
- La presencia excesiva de partículas sólidas residuales en el aceite de fritura acelera la formación de ácidos grasos libres. Por lo tanto la filtración correcta y frecuente es importante para que el efecto sea mínimo.
- La velocidad de renovación del aceite es también importante, entre más rápida sea la renovación del aceite utilizado por aceite nuevo más lenta es la velocidad de desarrollo de ácidos grasos libres.
- El número de ciclos de calentamiento/enfriamiento de los aceites (Rivera *et al.*, 2014).

#### **2.6.5. Formación de color**

Sin duda, el color es la propiedad óptica más importante de los alimentos. Antes de tomar la decisión de ingerir un alimento se tiene en cuenta su aspecto visual y especialmente su color. La sensación que la persona experimenta al percibir el color influye sobre su reacción ante el alimento: puede rechazarlo o aceptarlo sin considerar otras características (Flores *et al.*, 2016)

Cierto número de cambios se realizan en las grasas calientes, algunos de los cuales influyen en la calidad del alimento frito. El color de la grasa cambia de amarillo tenue a ámbar y a diferentes tonos de café, la grasa se hace más viscosa, comienza a espumar y la cantidad de grasa absorbida por el alimento se incrementa. (Potter, 1978)

Los alimentos que se fríen aportan sustancias (azúcares, almidones, proteínas, fosfatos, compuestos de azufre y metales traza) que se acumulan en el aceite durante el proceso. Estos materiales doran y/o reaccionan con el aceite y causan el oscurecimiento del mismo.

Como el aceite se va volviendo más oscuro con el uso, los alimentos fritos en él se oscurecen a una velocidad más rápida, alcanzando con el tiempo de freído un punto en el cual el alimento puede tener un color demasiado oscuro o no estar completamente cocinado; así como presentar un color indeseable (gris o coloración desigual). Todo esto se debe a que los componentes que contienen proteínas causan el oscurecimiento a una velocidad más alta que el almidón, de otra forma los alimentos con alto contenido en azúcares reductores como la miel, la glucosa (dextrosa) y el jarabe de cereales, dan una coloración oscura más rápidamente (Flores *et al.*, 2016)

El oscurecimiento en el aceite depende de manera considerable de la velocidad de renovación del aceite en el recipiente. Cuando un alimento se fríe, parte del aceite es absorbido por el alimento. Este aceite debe ser reemplazado por aceite nuevo, ya que a mayor velocidad de renovación del aceite menor nivel de oscurecimiento (Lawson, 1999).

## **2.7. Efectos Nocivos o tóxicos de los productos de oxidación después de freído**

Actualmente, el consumo de grasas degradadas químicamente está causando una gran preocupación en la población, debido a los efectos negativos que pueden ocasionar en la salud humana (Tirado, 2012).

Los efectos nutricionales de aceites y grasas que son empleados durante el proceso de freído han sido sujetos de investigaciones intensas desde 1950. Desde el punto de vista nutricional, los productos no volátiles de degradación formados en el medio de freído son importantes desde que se empiezan a formar, ya que estos, son retenidos en el alimento y subsecuentemente ingeridos por los consumidores. Tales productos no volátiles incluyen triglicéridos monoméricos y poliméricos determinados generalmente por cromatografía. La degradación o alteración y los tipos de componentes formados, dependen



principalmente de las condiciones en que haya sido realizado el proceso de freído (temperatura, tiempo, calentamiento continuo o discontinuo, insaturación del aceite, así como el impacto de antioxidantes o prooxidantes) (Chuang *et al.*, 2006)

La absorción del aceite por parte del producto frito tiene una gran importancia nutricional y económica. Los productos fritos (Por ejemplo, papas fritas, chips, bocadillos) son consumidos en gran cantidad contribuyendo de manera significativa a la ingesta de lípidos (Kozempel *et al.*, 1991)

Nutricionalmente el consumo de grasas es considerado un elemento clave en el sobrepeso, enfermedades coronarias y ciertos tipos de cáncer, por lo tanto, se hace recomendable su reducción. Por otra parte algunos compuestos producidos durante el uso prolongado de aceites de fritura podrían tener efectos mutagénicos (Oyedeji *et al.*, 2017).

Un punto importante en el que se han realizado esfuerzos considerables es en relación al valor nutritivo, la posible formación de materiales tóxicos o nocivos como consecuencia de la exposición al calor y al oxígeno (Lawson, 1994).

El uso de grasas o aceites vegetales hidrogenados se excluye de toda recomendación nutricional, debido al riesgo potencial para la salud que significa el consumo de ácidos grasos saturados y con isomería trans (Ferrerri *et al.*, 2005).

El proceso de freído origina un sinnúmero de compuestos, muchos de ellos nocivos para la salud humana. Dentro de estos compuestos podemos encontrar inhibidores enzimáticos, destructores de vitaminas, productos de oxidación lipídica, irritantes gastrointestinales y/o mutagénicos potenciales (Yagüe, 2003)

Otros compuestos tóxicos que se generan son los peróxidos de los ácidos grasos correspondientes (hidroperóxidos); aldehídos, hidrocarburos, alcoholes y otros

compuestos que luego se fusionan, un porcentaje de ellos para formar compuestos volátiles y otro para dar compuestos cíclicos y polímeros con grupos hidroperóxidos, hidróxidos, epóxidos y carbonilos, así como puentes de éster y epóxido.

Varias enfermedades han sido vinculadas con la ingesta de productos de degradación de aceites a elevadas temperaturas, como la arterioesclerosis y las enfermedades articulares inflamatorias, entre otras (Tirado *et al.*, 2012).

El aceite contiene triglicéridos y con frecuencia las personas que padecen de colesterol alto tienen asimismo alterado ese parámetro, por ello deben controlar la calidad del aceite, en cualquier caso, puede que sea necesario restringir un exceso de frituras en su dieta. En este sentido se han descrito efectos biológicos negativos para muchos de los productos de oxidación lipídica. Entre ellos destacan los derivados oxidados del colesterol (derivados con grupos hidroxilos, cetónicos y epóxido) y de los ácidos grasos (compuestos aldehídicos, monómeros cíclicos e hidroperóxidos).

El estudio de los derivados oxidados del colesterol está recibiendo una atención importante en los últimos años, debido a que se han observado numerosos efectos biológicos de estos compuestos, la mayoría de ellos negativos que pueden estar relacionados con ciertas enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades degenerativas (Mariod *et al.*, 2006)

Estudios recientes indican que la formación de sustancias cancerígenas ocurre cuando se utilizan condiciones de freído variables como lo son los tiempos prolongados de exposición del medio graso a altas temperaturas, existiendo la posibilidad de que estas sustancias cancerígenas formadas se evaporen y pasen a formar parte del humo y vapor

desprendidos siendo inhalados por el operador, afectando el aparato respiratorio (Chuang *et al.*, 2006)

La administración de una concentración elevada de grasas oxidadas a animales de laboratorio provocó problemas en el hígado, o hepatomegalia, conjuntamente con diarreas y pérdida de peso y del apetito y en caso de consumo prolongado se observó cáncer y la muerte. En la transformación de las grasas y los aceites se generan compuestos aromáticos policíclicos derivados del antraceno, todos cancerígenos reconocidos (Chuang *et al.*, 2006).

La formación de los compuestos dañinos depende de las condiciones en que se efectúe el proceso. Debe aclararse que los estudios toxicológicos se realizan suministrando dietas con grandes cantidades de grasa oxidada y con grados de oxidación que pudieran no ser los que el hombre consume normalmente, por tanto no puede hacerse una total extrapolación a los humanos de los resultados obtenidos con animales (Moncada, 2016).

Actualmente no existen sistemas prácticos y objetivos para la evaluación del deterioro de aceites de fritura en establecimientos, ya que, por un lado, los métodos de determinación estandarizados que se utilizan para análisis de los aceites de fritura implican equipos y procedimientos de costos, tiempo y complejidad técnica que no están al alcance de estas empresas y por el otro, el uso de los sistemas de prueba rápida, que generalmente se utilizan en Europa y Estados Unidos, no se han generalizado en Latinoamérica, especialmente por el elevado costo de los equipos y su difícil consecución (Rojas y Narváez, 2011).

## **2.8. Prácticas inadecuadas que contribuyen a la degradación del aceite durante el Freído**

El aceite degradado durante el freído debe ser reemplazado antes de que la calidad del producto y la seguridad del usuario puedan estar comprometidas. Los aceites tienen un límite de freído y si son usados después de este límite también la seguridad del operador podría estar en riesgo, por el humo y el vapor desprendidos (McSavage y Trevisan, 2001).

Las malas prácticas pueden acortar las expectativas de vida de freído del aceite. Si el aceite no es cambiado en intervalos regulares, existen daños durante el tiempo de freído, produciendo así un aceite degradado en menos tiempo. A continuación se citan algunos factores que pueden conducir a la degradación acelerada de un aceite empleado en el freído de alimentos (Mba, 2017)

**2.8.1. Recalentado.** El freído a altas temperaturas que conducirán a una rápida degradación del aceite de freído. El termostato del equipo utilizado debe ser regularmente vigilado para asegurar el control de la temperatura.

**2.8.2. Filtración inadecuada.** Si los residuos remanentes de los alimentos procesados no son removidos regularmente estos continuarán cocinándose hasta que se carbonicen, generando que la degradación del aceite ocurra.

**2.8.3. Cubriendo con aceite usado.** La adición de una porción de aceite usado está relacionado con productos de deterioro que conducirán a una mayor degradación del aceite que está en la freidora.

**2.8.4. Limpieza inadecuada.** El aceite polimerizado es viscoso y puede acumularse en todas las superficies incluyendo elementos de la freidora. Si este material no es removido entonces cualquier aceite fresco adicionado a la freidora llegará a contaminarse.

**2.8.5. Adición no intencional de sal.** Una reacción química puede ocurrir entre la sal y los ácidos grasos libres (AGL) que conlleva a la formación de jabones, los cuales, tienen propiedades surfactantes y producirán espuma prematura en la freidora.

**2.8.6. Contacto con cobre y aleaciones similares.** El cobre es un catalizador muy eficiente, más que el hierro y el aluminio. Por lo tanto el contacto de la materia grasa con materiales como el cobre, latón, bronce y aleaciones similares deben ser evitados (Mc Savage y Trevisan, 2001)

### III. JUSTIFICACIÓN

La presencia de compuestos oxigenados tóxicos, en grasas y aceites sometidos a tratamiento térmico de freído, pone de manifiesto la necesidad de controlar los procesos de manufactura y preparación de alimentos. Dicho control existe en México en cuanto a las Normas Mexicanas, sin embargo, su aplicación en locales certificados sucede y es vigilado por las autoridades correspondientes, dejando sin dicho control a los establecimientos medianos y pequeños, que en las zonas urbanas como el Valle de Toluca tienen enorme presencia y surten de alimento a millones de residentes, que debido a la vida urbana requieren de dichos alimentos por tiempo y por costo.

Por lo tanto, la calidad de la materia grasa empleada, los aceites vegetales, requiere de ser controlada por su capacidad para generar compuestos oxigenados responsables de la pérdida de valor nutritivo, calidad sensorial de los alimentos y de contribuir al desarrollo enfermedades crónico degenerativas. Estudiar el deterioro de los aceites vegetales utilizados en el freído comercial de alimentos en establecimientos semifijos y durante varios días de jornadas de proceso, permite tener una visión clara de lo que sucede fisicoquímicamente en dicho sistema graso en las condiciones reales a las que una importante parte de la población está expuesta diariamente.

#### **IV. HIPÓTESIS**

La calidad de los aceites vegetales utilizados en el freído de alimentos Mexicanos tradicionales o de comida rápida que se vende en establecimientos semifijos, es afectada seriamente por las condiciones de proceso de los diferentes locales y decrece de acuerdo a la duración del tiempo de freído.

## **V. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo General**

Analizar la calidad del aceite vegetal durante el freído de alimentos tradicionales y comida rápida del Valle de Toluca.

### **5.2 Objetivos Específicos**

1.- Identificar las condiciones de operación en el freído de alimentos tradicionales y comida rápida en vendedores semifijos de diferentes puntos del Valle de Toluca.

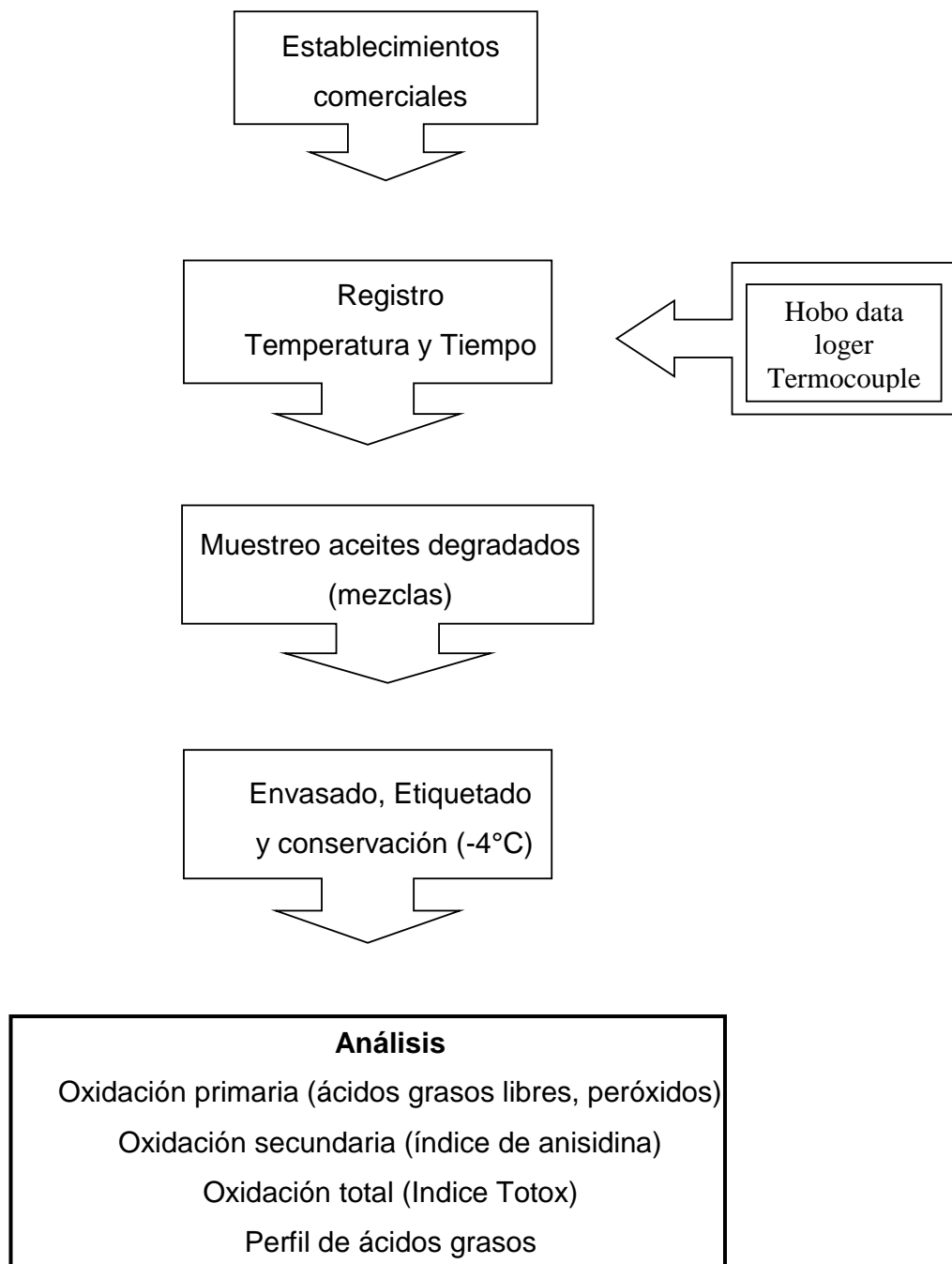
2.- Evaluar el efecto de las condiciones de operación de establecimientos de comida semifijos sobre el deterioro oxidativo del aceite vegetal durante el freído de diferentes alimentos tradicionales y de comida rápida en condiciones reales.

3.- Evaluar el efecto de las jornadas de trabajo en establecimientos de comida semifijos sobre el deterioro oxidativo del aceite vegetal durante el freído de diferentes alimentos tradicionales y de comida rápida en condiciones reales.



## VI. MATERIAL Y MÉTODOS

En la Figura 7 se presenta el Diagrama General de la metodología:





Cuando se tuvieron a los establecimientos participantes dedicados al freído comercial de alimentos para la investigación propuesta, se procedió a la aplicación de un cuestionario para saber acerca de cómo realizaban la técnica de freído y conocer algunas variables que serían de suma importancia para la interpretación de los resultados a obtener.

Se acudió a cada uno de los establecimientos donde se realizaba la práctica de freído ya fuera superficial o por inmersión, sin alterar de ninguna manera el procedimiento de cada operador, para que los resultados fueran apegados a la realidad.

Posteriormente en el aceite utilizado durante el freído se insertó un Hobo Data Logger Termocouple, el cual registraba las variaciones de temperatura al paso del tiempo, durante la jornada de trabajo.

Las muestras fueron tomadas cada media hora por espacio de 3 hr desde que le prendían a la parrilla para iniciar a calentar el aceite, siendo envasadas en frascos de color ámbar y cerrados inmediatamente, etiquetando cada muestra con el nombre del establecimiento, la hora de la toma de muestra, para posteriormente conservarse en refrigeración.

Una vez terminados los muestreos en los establecimientos se procedió al análisis de dichas muestras conservadas en refrigeración para evitar un mayor deterioro, determinandoles Oxidación primaria (ácidos grasos libres, peróxidos), Oxidación secundaria (índice de anisidina), Oxidación total (Cálculo) y PAG (Cromatografía de gases).

## **6.1 Lugar de estudio**

Para este estudio se contó con la participación de establecimientos ubicados en distintos puntos de la Ciudad de Toluca, dedicados al freído comercial. Los cuales, llevaban a cabo la práctica de freído comercial, tanto superficial como por inmersión y frían una gran variedad de alimentos dentro de la cocina Mexicana y alimentos de comida rápida. Para identificar las condiciones de operación se realizó un cuestionario para identificar el tipo y marca de aceite vegetal utilizado, estado inicial del aceite (si era nuevo o reciclado), adición de aceite fresco durante la jornada, tipo de metodología de freído (superficial o inmersión), tipo de utensilios utilizados, temperatura durante el freído y tipo de alimento procesado. En el presente trabajo se estudiaron cuatro vendedores semifijos. Los cuales fueron: Capultitlán (V<sub>1</sub>), Centro (V<sub>2</sub>), Cerrillo (V<sub>3</sub>) y Sánchez Colín (V<sub>4</sub>).

## **6.2 Muestreo**

De los cuatro establecimientos participantes se tomaron muestras durante tres días consecutivos, llamados jornadas, con el fin de tener la secuencia e identificar si iniciaban su jornada con aceite reciclado o con fresco. Los muestreos se adaptaron a horarios y condiciones de trabajo de cada establecimiento, para no alterar ningún parámetro y que los resultados fueran lo más apegados a la realidad. Al inicio de cada muestreo se conectó al recipiente o contenedor de aceite un termopar marca HOB0 data logger, de acero inoxidable y de uso alimentario, para obtener los registros de tiempo y temperatura. El registro de tales parámetros fue por espacio de tres horas durante los tres días de jornada consecutivos ya mencionados. La toma de muestras se efectuó cada 30 min a lo largo de la jornada de trabajo de 3 h por día. Para lo cual, se empleó un cucharón de acero inoxidable y colocando el aceite caliente en frascos de vidrio color ámbar. Las muestras se conservaron en congelación hasta el momento del análisis.

### **6.3 Análisis fisicoquímicos de calidad para aceites vegetales**

Se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos que proporcionan información de oxidación primaria, secundaria, total, composición y color, como consecuencia de la alteración del aceite como resultado del proceso de freído, bajo condiciones habituales durante la jornada de trabajo en particular.

#### **6.3.1 Contenido de ácidos grasos libres (AG)**

La determinación del contenido ácidos grasos libres es una metodología utilizada como un parámetro de referencia para la hidrólisis de los triacilglicéridos del aceite durante el freído.

La determinación se realizó con el Método para ácidos grasos libres en aceites y grasas crudos y refinados Ca 5a-40 de la Sociedad Americana de Químicos de Aceite (AOCS) (*Del Inglés*, American Oil Chemists' Society). Los resultados se expresaron en porcentajes de ácido Oleico.

#### **6.3.2 Índice de Peróxidos (IP)**

El índice de peróxidos es una determinación que se utiliza como evidencia del deterioro de los aceites, por oxidación primaria. Los peróxidos se producen durante el deterioro de éstos, por acción del oxígeno sobre las dobles ligaduras de las cadenas hidrocarbonadas de los ácidos grasos. Son causantes de los olores y sabores de rancidez y posteriormente, a partir de dichos compuestos se forman radicales más complejos como aldehídos y cetonas. Su determinación se realizó mediante el método AOCS Cd 8-53 para el índice de Peróxidos.

### **6.3.3 Índice de p-Anisidina (Ip-A)**

La oxidación secundaria que comprende principalmente, la producción de aldehídos se estima por el *Ip-A* como una estimación de la termoestabilidad de los aceites. Dicha metodología se ha mencionado como una determinación rápida y no muy costosa para pequeñas empresas. Su determinación se realizó mediante el método AOCS Cd 18-90 para el índice de *p*-Anisidina.

### **6.3.4 Índice TOTOX (TX)**

Este parámetro es considerado una aproximación más completa del grado de oxidación de los aceites vegetales durante el freído, debido a que contempla en su estimación los valores de los índices de peróxido y *p*-Anisidina (Rudzińska *et al.*, 2018).

### **6.3.5 Índice de Color (IC)**

El incremento en el índice de color se ha relacionado con daño físico irreversible por procesos de degradación en los aceites. El exceso de deterioro durante el freído puede ocasionar un oscurecimiento de los mismos, lo cual, es reportado por varios autores como útil como parámetro de calidad. La determinación de este parámetro se realizó mediante el método AOCS 13c-50 para determinación mediante espectrofotometría a 460, 550, 620 y 670 nm.

### **6.3.6 Composición del perfil de ácidos grasos (CPAG)**

Los cambios en el perfil de ácidos grasos (PAG) durante el freído son considerados una útil herramienta para el análisis de oxidación de los aceites. Los cambios principalmente, en C18:2 se relacionan con el grado de degradación del aceite. La determinación se realizó mediante la preparación de ésteres de ácidos grasos libres (FAME) de las muestras de aceite durante el freído mediante la metodología de Libien, (2014). Las muestras FAME se disolvieron en 1 mL de hexano grado HPLC y se analizaron en un Cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosistema XL equipado con un detector de la flama de ionización (FID), un

inyector Split/splitless y una columna capilar Supelco SP<sup>TM</sup> - 2560 GC (100 m X 0.25 mm,  $\phi$  0.20  $\mu$ m). El gas acarreador utilizado fue Helio con una velocidad de flujo de 25 mL/min. La temperatura utilizada para el inyector y el detector fue 200 °C. La temperatura inicial del horno se estableció a 70 °C/min y se incrementó a 220 °C/4 min. Finalmente, se ajustó a 230 °C/20 min. Se tomó un 1  $\mu$ L de cada muestra para ser inyectada al equipo. El estándar utilizado fue el componente FAME una mezcla de ésteres de ácidos grasos. Los picos de las áreas de los ácidos grasos del programa de cómputo y sus porcentajes se calcularon mediante la relación del área parcial y total para los ácidos grasos C16:0, C18:2, C18:1, C18:3 y C18:0.

#### **6.4 Diseño experimental**

Se realizó un diseño factorial 4X3 en un Análisis de Varianza (ANOVA) al 1%. El factor A, consistió en las condiciones de operación de cada uno de los vendedores estudiados como Capultitlán (V<sub>1</sub>), Centro (V<sub>2</sub>), Cerrillo (V<sub>3</sub>) y Sánchez Colín (V<sub>4</sub>). El factor B, consistió en las tres jornadas consecutivas consideradas J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub> y J<sub>3</sub>. Las variables de respuesta fueron la temperatura registrada durante el proceso de freído (T), el contenido de ácidos grasos libres, índice de peróxido, índice de *p*-Anisidina, índice TOTOX y la composición del perfil de ácidos grasos. Todos los análisis se realizaron por triplicado. Al encontrarse diferencias significativas entre tratamientos se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey 5% ( $P \leq 0.05$ ).

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Cuestionario para identificar las condiciones de operación.

En el Cuadro 6, se proporciona información correspondiente al tipo de recipiente empleado y variedad de alimentos preparados en los cuatro establecimientos participantes. En los cuatro establecimientos la jornada de freído se inició empleando recipientes limpios. Sin embargo, la cantidad de aceite y el tiempo de la adición de aceite fresco fueron diferentes entre los vendedores y dependía de la cantidad de producto cocinado durante la jornada y en función de la demanda de alimentos. En cuanto a la variedad de alimentos, éstos consistieron en papas doradas, papas a la francesa, banderillas, salchichas, chicharrones, pambazos y flautas, en los vendedores V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> y V<sub>3</sub>. El vendedor V<sub>4</sub> procesaba quesadillas de diferentes guisados. Cabe mencionar que en los tres primeros establecimientos (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> y V<sub>3</sub>) para el caso de las papas a la francesa, las papas eran lavadas, peladas, cortadas y sumergidas en agua, posteriormente eran escurridas por minutos antes de ser sometidas a freído. Las salchichas eran adicionadas al aceite cuando la espuma comenzaba a bajar, que era el momento en que el operador consideraba prudente realizar éste paso. En el caso de las papas doradas, solo peladas, cortadas y sometidas al freído. Las banderillas se preparaban a base de harina de trigo para hot cakes para envolver o “capear” una salchicha en su interior y se sumergían en el aceite.

En el caso del cuarto vendedor para las flautas, primero se colocó el relleno en la tortilla de maíz y se enrollaba para ser sumergida en el aceite. Los pambazos eran previamente freídos con la salsa a base de chile “chilaca” o “pasilla” (*Capsicum annuum* L. var. *annuum* L.) en la parte exterior del pan, colocando relleno en el interior de la pieza de pan para sumergirla en el aceite nuevamente, cabe mencionar que la elaboración de los alimentos era de acuerdo a la demanda del consumidor.



Para las quesadillas, la tortilla se preparaba de masa cruda elaborada al momento posteriormente, el relleno era colocado dentro de la pieza y se procedía a doblar la tortilla por la mitad y sellando por las orillas, para evitar en lo posible que el guisado se saliese de la pieza durante el freído. En las flautas, pambazos y quesadillas se emplearon tinga (pollo guisado), mole verde (pollo), rajas con queso, champiñones y papa con pollo o chorizo.

En cuanto al tipo de aceite vegetal utilizado, los cuatro vendedores estudiados utilizaban la misma marca y tipo de aceite vegetal (Aceite Cristal). El cual consistía en una mezcla de aceites de canola (*Brassica* sp.), soya (*Glycine max*), girasol (*Helianthus annuus*) y cártamo (*Carthamus* sp.). El freído iniciaba con utensilios limpios. El 50 % de los establecimientos iniciaban con aceite nuevo ( $V_1$  y  $V_4$ ) y el resto utilizaban aceites reciclados (Cuadro 6). El 75% de los vendedores realizaban freído por inmersión, ya que solamente el vendedor  $V_4$  recurría al freído superficial, lo cual le demandaba utilizar menor cantidad de aceite (0.5 L y el constantemente adicionar aceite fresco. El resto de los comercios adicionaban aceite fresco ocasionalmente.

Cuadro 6. Tipo de recipientes y alimentos por establecimiento durante el freído.

<b>Establecimiento</b>	<b>Capultitlán (V1)</b>	<b>Centro (V2)</b>	<b>Cerrillo (V3)</b>	<b>Sánchez Colín (V4)</b>
Tipo de freído empleado	Inmersión	Inmersión	Inmersión	Superficial
Cantidad de aceite inicial	15 L	20 L	15 L	0.5 L
Recipiente empleado	Cazo de acero inoxidable	Paila*	Cazo acero inoxidable	Cazo acero inoxidable
Condiciones del aceite al inicio de la jornada	Reciclado	Reciclado	Reciclado	Fresco
Producto elaborado	Papas doradas Papas a la francesa Banderillas Salchichas	Papas doradas Papas a la francesa Chicharrones Salchichas	Papas doradas Papas a la francesa Salchichas	Pambazos Flautas Quesadillas con diferente guisado
Adición de aceite fresco	Ocasionalmente	Ocasionalmente	Ocasionalmente	Durante toda la jornada

\* sartén de metal o de cerámica, grande, redonda y poco profunda.

Durante la aplicación del cuestionario y en acompañamiento de los vendedores durante las jornadas de trabajo se registraron datos adicionales, como el retiro de residuos de alimentos, control de temperatura u otros parámetros que se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Condiciones reales de freído entre establecimientos

V <sub>1</sub> (Capultitlán)	V <sub>2</sub> (Centro)	V <sub>3</sub> (Cerrillo)	V <sub>4</sub> (Sánchez Colín)
Aceite cristal		Aceite cristal	Aceite cristal
Gas		Gas	Gas
Cazo	Cazo	Cazo	Paila
Aceite reciclado (1 semana)	Aceite reciclado (meses)	Aceite reciclado (1 semana)	Aceite fresco
Freído por inmersión	Freído por inmersión	Freído por inmersión	Freído Superficial
Sin control de la temperatura	Sin control de la temperatura	Sin control de la temperatura	Sin control de la temperatura
Adición de aceite fresco	Adición de aceite fresco	Adición de aceite fresco	Adición de aceite fresco
Retira residuos al final de la jornada	Retira residuos al final de la jornada	Retira residuos al final de la jornada	Retira residuos durante la jornada
Agrega solución salina	No agrega solución salina	Agrega solución salina	No agrega solución salina

## 7.2 Análisis fisicoquímicos de calidad para aceites vegetales

Los resultados del ANOVA demostraron que en cuanto al Factor A (V1, V2, V3, V4) existieron diferencias significativas ( $P \geq 0.01$ ) para AG, IP, TC e IC, así como para los ácidos grasos C16:0, C18:2, C18:1, C18:3 y C18:0. No se observaron diferencias significativas ( $P \geq 0.01$ ) en las variables de  $I_p$ -A y T (Cuadro 8).

En cuanto a las jornadas de trabajo (Factor B), se encontraron diferencias significativas ( $P \geq 0.01$ ) para las variables de IP, IC y TX y para el contenido del ácido graso C18:0. En cuanto al factor de la interacción Vendedor X Jornada laboral (AXB), las diferencias significativas ( $P \geq 0.01$ ) fueron solamente en las variables CI y TX (Cuadro 10).

### **7.2.1 Temperatura durante el freído**

Las temperaturas de freído no mostraron diferencias significativas ( $P \geq 0.01$ ) por lo que no fueron afectadas por las diferentes condiciones de operación entre los cuatro vendedores estudiados (Cuadro 8). Las temperaturas observadas en los cuatro vendedores corresponden dentro de las temperaturas de freído reportadas por diversos autores (120-180 °C). Sin embargo, las temperaturas del presente estudio no rebasaron los 200 °C, en donde se presentan aún más las reacciones indeseadas de deterioro de aceites (Garidaju *et al.*, 2015; Oke *et al.*, 2017., Astudillo 2018).

Cuadro 8. Medias de los tratamientos ( $P \geq 0.01$ ) para los vendedores ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  y  $V_4$ ) para las variables respuesta FFA, PV, *Ip-A*, CI, TX, C 16:0, C 18:2, C 18:1, C18:3, C 18:0 y T °C.

Vendedor	AGL	PV	<i>Ip-A</i>	CI	TX	C 16:0	C 18:2	C 18:1	C 18:3	C 18:0	T °C
$V_1$	0.27c	4.88b	0.44a	1.93d	11.27b	7.95c	27.59b	66.17a	1.00a	4.09b	140.55a
$V_2$	0.41b	5.44b	0.45a	31.98a	10.23b	10.70b	21.47c	64.32a	0.84 ab	5.13a	147.21a
$V_3$	0.80a	5.11b	0.56a	11.64b	10.13b	13.13a	37.96a	40.21b	0.68b	4.613 ab	119.0 a
$V_4$	0.27c	7.00a	0.39b	4.33c	14.87a	8.81c	26.34b	63.10a	1.01a	3.81b	150.41a

Nota: Diferentes letras entre columnas, implica diferencias significativas ( $P \geq 0.01$ ). AGL=ácidos grasos libres, PV=valores de peróxido, *Ip-A*=*p*-Anisidina, CI=Índice de color, TX=Valores de TOTOX.

Cuadro 9. Medias de los tratamientos ( $P \geq 0.01$ ) para las jornadas de trabajo (1, 2 y 3) para las variables respuesta FFA, PV, *Ip-A*, CI, TX, C 16:0, C 18:2, C 18:1, C18:3, C 18:0 y T °C.

Jornada de trabajo	FFA	PV	<i>Ip-A</i>	CI	TX	C 16:0	C 18:2	C 18:1	C18:3	C 18:0	T °C
1	0.44	6.25a	0.42b	11.29b	11.92b	10.64	28.56	59.45	0.98	5.18a	132.50
2	0.44	6.62a	0.58a	14.69a	14.23a	9.92	27.65	58.52	0.80	3.88b	147.22
3	0.44	3.95b	0.38b	11.17b	8.69c	9.88	28.81	57.38	0.86	4.16b	138.20

Nota: Diferentes letras entre columnas, implica diferencias significativas ( $P \geq 0.01$ ). FFA=ácidos grasos libres, PV=valores de peróxido, *Ip-A*=*p*-Anisidina, CI=Índice de color, TX=Valores de TOTOX.

Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para las variables evaluadas.

F.V.	G.L	AG	PV	<i>Ip-A</i>	CI	TX	X1	X2	X3	X4	X5	X6
FACTOR A	3	1.12 **	16.37 **	0.092 ns	3351.101 **	89.103 **	94.703 **	865.972 **	2691.097 **	0.432 *	6.063 *	3583.051 ns
FACTOR B	2	0.000 ns	50.01 **	0.267 *	111.448 **	185.381 **	4.352 ns	8.879 ns	25.678 ns	0.192 ns	11.153 **	1323.226 ns
INTERACCIÓN AXB	6	0.000 ns	9.43 *	0.102 ns	50.622 **	80.111 **	7.086 **	145.607 ns	41.508 ns	0.19 ns	3.954 *	2253.205 ns
Error		0.004	3.620	0.063	12.070	15.710	2.920	72.439	41.893	0.112	1.710	2607.199
Media		0.441	5.610	0.466	12.475	11.615	10.151	28.342	58.455	0.887	4.410	139.306
C.V.		14.840	33.910	53.980	27.840	34.122	16.837	30.029	11.072	37.811	29.674	36.653

ns= no significativo; \* significativo al 5%, \*\*= significativo al 1%

AGL=ácidos grasos libres, PV=valores de peróxido, *Ip-A*=*p*-Anisidina, CI=Índice de color, TX=Valores de TOTOX, X1=c16:0, x2=c18:2, X3=c18:1, X4=c 18:3, X5=c 18:0, X6=Temperatura

### ***7.2.1.1 Condiciones presentes en los establecimientos participantes de la Ciudad de Toluca que realizan freído comercial***

Después de aplicar cuestionarios y de observar la jornada de cada uno de los establecimientos en cuanto a las condiciones en las que realizó el freído se obtuvieron las siguientes observaciones:

1. La elección del tipo de aceite para los cuatro establecimientos se basaba generalmente en el precio del mercado al momento de su demanda, y no en cuanto a su composición.
2. En los establecimientos V<sub>2</sub> y V<sub>3</sub> la jornada se inició con aceite que ya cuenta con ciclos de reutilización prolongados.
3. La temperatura no fue controlada, más bien, depende de la demanda de alimento, es decir no se mantiene constante a lo largo de la jornada.
4. De igual manera, la adición de aceite fresco se basaba en la demanda de alimento para el caso del vendedor V<sub>4</sub>, no así para los establecimientos restantes que requerían iniciar sus jornadas con un volumen determinado.

En el registro de las temperaturas durante el freído en cuanto al establecimiento de Capultitlán, (V<sub>1</sub>) se muestra en la Figura 8, que aunque no existieron diferencias estadísticamente significativas ( $P \geq 0.01$ ) entre los establecimientos y las jornadas estudiadas, hubo ciertos tiempos en que la tendencia de la temperatura se acercaba al límite recomendado para el freído (200 °C) (Flores *et al.*, 2018).

### Vendedor V<sub>1</sub>

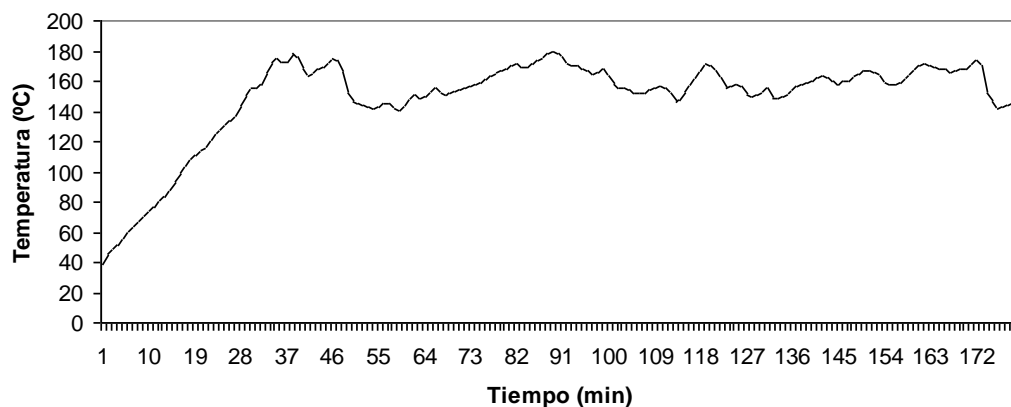


Figura 8. Registro de la temperatura promedio durante las tres jornadas de freído observadas en el vendedor V<sub>1</sub>.

Para el establecimiento Centro (V<sub>2</sub>), en la Figura 9, donde se presenta el promedio de las temperaturas registradas, pudo observarse incrementos de la temperatura. Durante dichos tiempos se observó que al inicio de cada jornada se realizaba primero la fritura de chicharrones.

### Vendedor V<sub>2</sub>

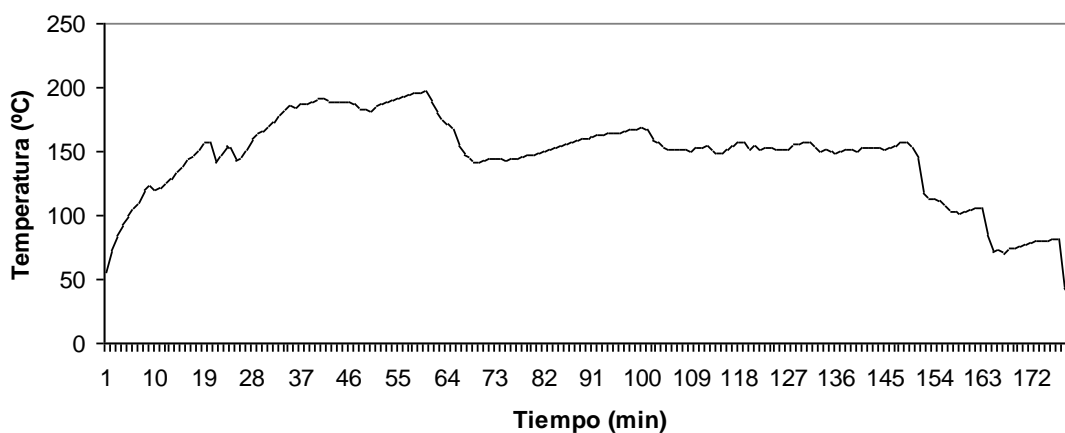


Figura 9. Registro de la temperatura promedio durante las tres jornadas de freído observadas en el vendedor V<sub>2</sub>.



En este establecimiento se observó que para la elaboración de los productos que ofrece al consumidor, se registraron momentos con temperaturas hasta de 222 °C, lo cual, rebasó las temperaturas máximas recomendadas para la realización de una buena práctica de freído. Dicha situación pudiera relacionarse con que el aceite en dicho momento alcanzara su punto de humeo (Avalos, 2003). Lo cual, se ha reportado como un riesgo para la salud tanto del consumidor que ingiere el alimento, como del operador al inhalar el vapor desprendido, en ambos casos llevando inmerso gran cantidad de compuestos tóxicos (Rivera *et al.*, 2014; Oke *et al.*, 2017). Sin embargo, dicha determinación no fue realizada.

Para el establecimiento El Cerrillo (V<sub>3</sub>), la Figura 10, muestra el comportamiento de la temperatura en función del tiempo. En el cual, para la elaboración de los alimentos que ofrece al consumidor, la temperatura más alta registrada es de 170.66 °C, estando dentro del rango de las temperaturas recomendadas para la realización de una buena práctica de freído (Bello, 1998)

El tipo de freído empleado fue por inmersión, y se requería de elevar la temperatura debido a las grandes cantidades de aceite (40–50 L), requeridas por el operador durante la jornada de trabajo. Los descensos en la disminución de temperatura, se registraron en el momento en que se realizaba en la adición de aceite fresco o de nuevos alimentos al cazo. En este establecimiento se observó la adición de solución salina durante el proceso de freído.

### Vendedor V<sub>3</sub>

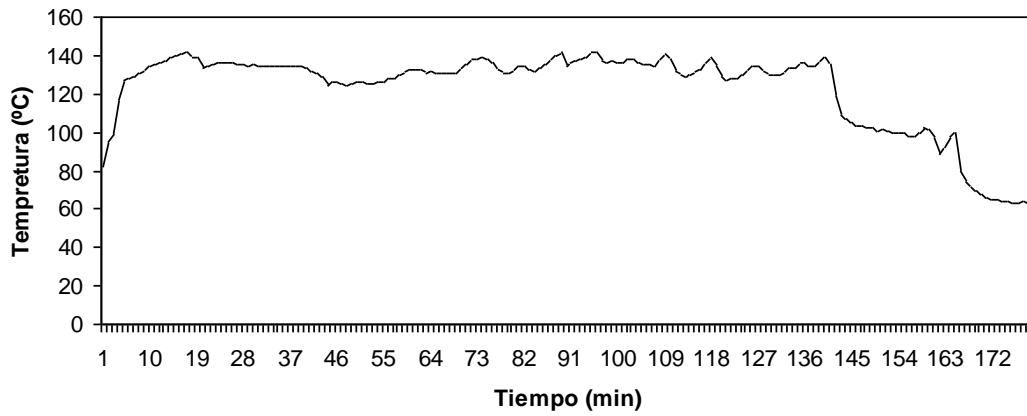


Figura 10. Registro de la temperatura promedio durante las tres jornadas de freído observadas en el vendedor V<sub>3</sub>.

Finalmente, para el establecimiento Sánchez Colín (V<sub>4</sub>), se graficaron las temperaturas registradas en función del tiempo, correspondientes a tres jornadas muestreadas del establecimiento. Las cuales, para éste vendedor, al haber sido el único que utilizó freído superficial, se presentan las gráficas por jornada. Las cuales se nombraron SC1, SC2 y SC3 para el primero, segundo y tercer muestreos, respectivamente y se presentan en la Figura 11.

Vendedor V<sub>4</sub>

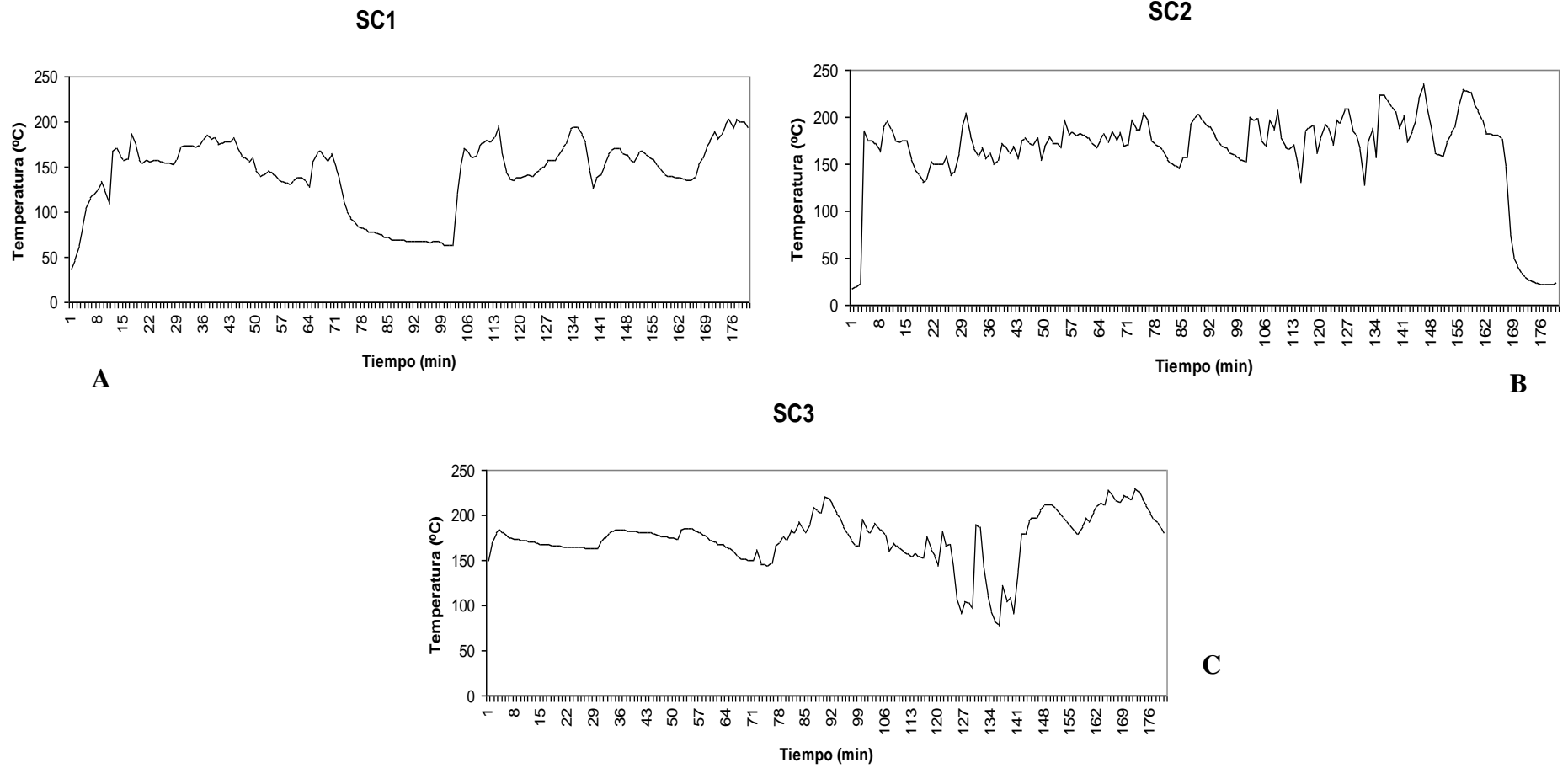


Figura 11 Registro de la temperaturas en las tres jornadas de freído observadas en el vendedor V<sub>4</sub>. A=Jornada1, B=Jornada 2 y C=Jornada 3

Para este caso en particular, las variaciones de temperatura se vieron influenciadas directamente por la demanda de alimento. Como se puede observar en la Figura 11, la temperatura más alta registrada fue 235 °C, rebasando el rango de las temperaturas recomendadas para la realización de una buena práctica de freído. El tipo de freído empleado fue superficial, donde el alimento no quedaba inmerso completamente en el medio graso y no se requerirían elevadas temperaturas ya que la cantidad de aceite es mínima. Pero el sistema de freído fue continuo y a diferencia de los otros establecimientos, la demanda de alimento fue constante y para abastecer a los clientes, el operador estaba obligado a utilizar temperaturas de punto de humeo (Avalos, 2003). Como en los otros locales estudiados, los descensos reflejados en la disminución de la temperatura, de acuerdo a los registros durante el muestreo, se observaron cuando se realizó la adición de aceite, o cuando se colocaba nuevo alimento y los descensos más marcados, cuando al no haber consumidores, el operador procedía a bajar la flama y por lo tanto, el registro de temperatura en dicho punto fue de 66 °C.

### **7.2.2 Contenido de ácidos grasos libres**

En cuanto al factor A, el mayor promedio aritmético de ésta variable se registró en vendedor El Cerrillo ( $V_3$ ) (0.80). El cual, superó estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ) a los ubicados en el Centro, Sánchez Colín y Capultitlán (Cuadro 8). El vendedor  $V_2$  (0.41) también superó estadísticamente al vendedor  $V_4$  (0.27) y  $V_1$  (0.27), como se puede observar en el Cuadro 8. Los vendedores con los valores más altos al resto de los locales estudiados registraron al iniciar las labores con aceite reutilizado y freído por inmersión. Los valores del contenido de ácidos grasos libres de los cuatro establecimientos estudiados fueron

superiores a los mencionados (0.05% de AG) en la Norma Mexicana (NMX-F-223-SCFI-2011). Sin embargo, en otros estudios, incluso en vendedores comerciales, se han reportado valores más elevados de AG, pero en temperaturas de freído más altas ( $\geq 170$  °C) que en el presente trabajo. En los vendedores con menores valores de AG, no se reportó el uso de aceite reciclado más una frecuente adición de aceite fresco durante el proceso de freído fue observado. Algunos reportes han relacionado el agregar aceite fresco durante el freído con menor grado de hidrólisis y por consiguiente, menor contenido de ácidos grasos libres. Presuntamente, las no muy elevadas temperaturas reportadas en el presente trabajo no fueron suficientes para provocar una mayor ruptura de los enlaces C-C o C-H de los triacilglicéridos del aceite vegetal (Rivera *et al.*, 2014; Mba, 2017; Rudzińska *et al.*, 2018). En cuanto al factor B, el paso del tiempo de freído durante las jornadas no afectó la producción de AG (Figura 12), como se muestra en el Cuadro 9.

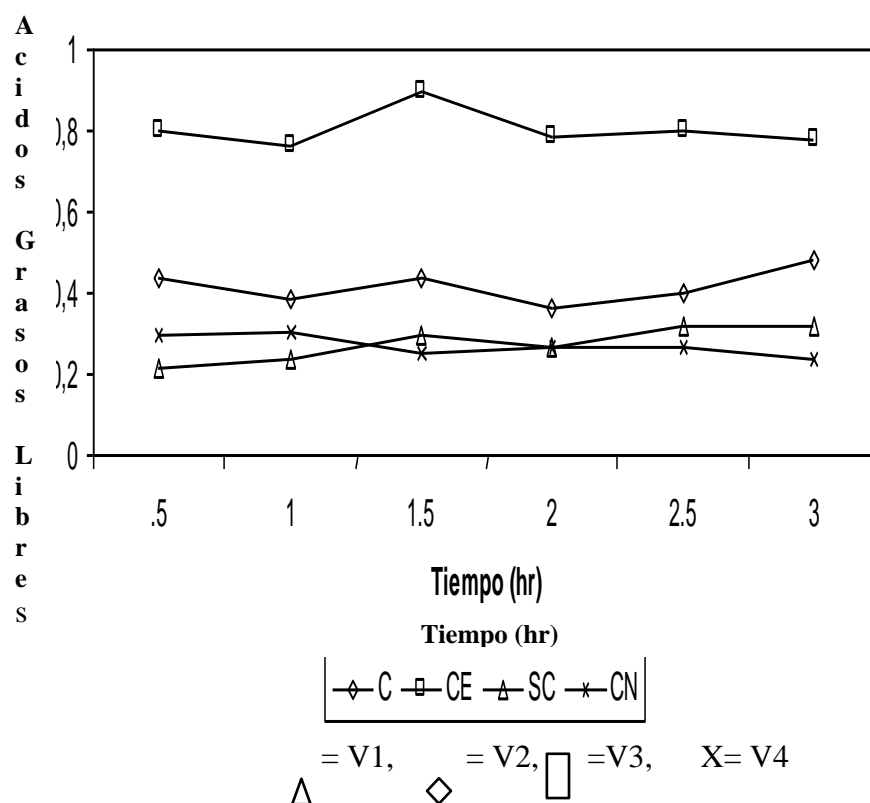


Figura 12. Contenido de ácidos grasos libres durante las jornadas estudiadas.

### **7.2.3 Índices de peróxido (IP), p-Anisidina y TOTOX**

Los peróxidos son una evidencia del grado de deterioro de un aceite. Las reacciones de termooxidación se han descrito bajo los mismos mecanismos que la oxidación por presencia de oxígeno, sin embargo, por condiciones térmicas esta oxidación ocurre con mayor velocidad. Para el factor A, el IP se presentó con valores más elevados que el resto de los vendedores estudiados, en el vendedor V4 (7.0 meq/kg de aceite). Cabe mencionar que aunque dicho vendedor presentó los valores más elevados, todos los locales estudiados presentaron índices de peróxido más elevados que los límites mencionados por la NMX-F-223-SCFI-2011 (2.0 meq/kg de aceite), es decir, presentaron compuestos de oxidación primaria superando lo permitido por las normatividades nacionales (Cuadro 8).

Para el factor B, las jornadas laborales, los valores del índice de peróxidos encontrados fueron menores durante el tercer día (Cuadro 9). Lo cual, podría ser originado debido a que las altas velocidades de las reacciones de oxidación térmica permiten una producción de compuestos de oxidación primaria, lo cual, es registrado por los IP. Sin embargo, dichos compuestos formados en la oxidación primaria son altamente reactivos y se propaga entonces, una reacción en cadena de peroxidación de los lípidos. Lo cual, origina que dichos hidroperóxidos recién formados, que son inestables, sean transformados en radicales alcoxi e hidroxil radicales y por consiguiente, el valor del IP decrezca. Diversos reportes han mencionado dicho mecanismo como la posible causa por la cual, los valores del IP pueden menguar durante largos periodos de jornadas de freído. Las condiciones de operación del vendedor V<sub>4</sub>, como pudiera ser el tipo de comida procesada, el uso de aceite reciclado y la

adición de aceite, influyeran sobre la oxidación del aceite. (Marinova *et al.*, 2012; Mba, 2017; Rudzińska *et al.*, 2018; Oke *et al.*, 2017)

En cuanto a los compuestos de oxidación secundaria, estimados por el IA, el factor A mostró que la termoestabilidad fue afectada igualmente en los vendedores estudiados, sin diferencia significativa entre ellos ( $P \geq 0.01$ ) (Cuadro 8). Por otro lado, en cuanto al efecto de las jornadas laborales, el valor de ésta variable fue más alto en el segundo día observado (Cuadro 9). Los valores del índice TOTOX, que estiman una aproximación más completa de la oxidación en cuanto al factor A, se presentaron más elevados para el vendedor Sánchez Colín (V<sub>4</sub>). Lo cual, permite sugerir al menos una oxidación primaria durante el freído superficial utilizado. En cuanto al factor B, se observaron durante el segundo día de trabajo los valores más altos de ésta variable, los cuales, posteriormente fueron menores.

El factor de la interacción AXB, es decir el efecto de las condiciones de operación durante los tres días de jornadas laborales observadas propone que tanto las condiciones de operación como el tiempo de freído afectaron a la presente variable. La reducción de los valores de TX (Oxidación Total) durante el tercer y último día de trabajo observado, pudieron haberse debido a la constante adición de aceite fresco reportada en los comerciantes estudiados. La mayoría de las operaciones de condición observadas sugieren la producción de compuestos de oxidación secundaria en base a los resultados observados. Los valores de éstos índices se han encontrado aún más elevados en temperaturas de freído de 170-200 °C, pero sin el registro de que se adicionara aceite fresco, por lo tanto, esto pudiera ser la presunta razón para explicar que dichos índices no estuvieron tan elevados en el presente trabajo (Mba, 2017; Astudillo, 2018; Godswill *et al.*, 2018; Rudzińska *et al.*,

2018). Sin embargo, durante los procesos estudiados los resultados revelan que al menos se formaron compuestos de oxidación primaria durante las primeras horas del proceso. Los cuales, pudieron haber sido degradados a epóxidos como productos de una oxidación secundaria (Freire *et al.*, 2013).

#### **7.2.4 Índice de color (IC)**

Un incremento en el color u oscurecimiento del tono de los aceites se ha mencionado como un indicador del exceso de deterioro de los aceites durante el freído y es considerado, al IC, como un indicador de la viabilidad de los aceites de freído. La presente variable, en cuanto al factor A, fue afectada principalmente por la manipulación del vendedor V<sub>2</sub>, quien presentó los valores más oscuros de color (31.98) en comparación con los resultados obtenidos de los otros tres vendedores. El valor más bajo del IC fue presentado por el vendedor V<sub>4</sub> (Cuadro 8). El oscurecimiento del aceite se ha relacionado con los compuestos generados a partir de reacciones de oscurecimiento no enzimático, principalmente la reacción de Maillard, o por cantidades traza de algunos pigmentos de la composición química del aceite. Los ácidos grasos libres liberados durante el freído, junto con las reacciones entre los amino y los grupos carbonilos de los carbohidratos presentes reaccionan con la oxidación ocasionada por el calor, así como los aminoácidos procedentes de los alimentos procesados, son entre otras circunstancias asociados con las alteraciones del color de los aceites durante el freído. Con excepción del vendedor V<sub>4</sub>, Sánchez Colín, el resto de los vendedores estudiados procesaron entre sus productos a las papas a la Francesa o las papas fritas, las cuales, son alimentos relacionados con una intensa producción de la reacción de Maillard y por resultado, de los compuestos coloridos producidos.



En cuanto al factor B, las jornadas laborales, durante el segundo día estudiado se reportó un incremento del IC, mismo que mostró un valor menor al final de las jornadas analizadas (Cuadro 9). Dichos resultados, presuntamente pudieron haberse originado nuevamente como resultado de la constante adición de aceite fresco que el vendedor requería utilizar, probablemente a demanda tanto de los alimentos procesados, como por el freído superficial utilizado (Freire *et al.*, 2013; Mba, 2017).

#### **7.2.5 Composición del perfil de ácidos grasos**

En cuanto al factor A, las condiciones de operación de los vendedores estudiados afectaron el perfil de los ácidos esteárico C16:0 y linoleico C18:2, así como al Oleico C18:1. En cuanto a la jornada de trabajo, el ácido graso C18:0 fue el único en haber sido afectado de acuerdo a los valores obtenidos. Los vendedores V<sub>4</sub> y V<sub>1</sub> fueron quienes presentaron una presunta menor alteración en el contenido del ácido graso esencial Omega 3, el ácido linolénico C18:3, al haberse observado los mayores más altos de dicha molécula (0.01 y 1.00%, respectivamente) en los vendedores mencionados (Cuadro 8). El ácido linolénico fue el ácido graso en menor concentración, pese a que los vendedores reportaron la usual adición de aceite fresco. Sin embargo, C18:3 es un ácido graso poliinsaturado, el cual ha sido descrito como el más susceptible a la termoxidación y la hidrólisis en los procesos de freído, debido al número de dobles enlaces presentes en la molécula. Por lo tanto, los aceites vegetales con altos contenidos de dicho ácido graso, no son altamente recomendables para procesos térmicos. Todos los vendedores dentro de sus condiciones de operación coincidieron en utilizar el mismo aceite vegetal de la marca Cristal<sup>®</sup>, mismo que consiste en una mezcla de cuatro aceites individuales, sin embargo, solamente dos de los

mismos (Soya y canola) contienen C18:3 en comparación con el resto, como reporta el CODEX Alimentario. Los otros dos aceites individuales, el aceite de girasol y el de cártamo principalmente, presentan mayor contenido de C18:2. Los valores de los ácidos grasos C18:1 y C18:2 resultaron relativamente bajos en todos los vendedores, con excepción del vendedor V<sub>3</sub>. Por lo tanto, las condiciones de operación de dicho vendedor pudieron haber afectado en un menor grado el contenido de dichos ácidos grasos como presunto efecto de una menor degradación del aceite en dicho vendedor. Los valores encontrados para tales ácidos grasos, resultaron similar a los de otras investigaciones, en donde los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) son más sensibles a la oxidación térmica. El ácido graso saturado C16:0 resultó con el valor más alto en el vendedor V<sub>3</sub> (13.13%). Park y Kim (2016), sugirieron en su investigación, que los ácidos grasos saturados pueden incorporarse de los alimentos procesados durante el freído hacia el aceite utilizado. Por lo tanto, la comida procesada en los locales comerciales estudiados y la adición de aceite fresco practicada también por todos los vendedores podría explicar la variación de los presentes resultados.

Algunos autores han utilizado ciertas proporciones para evaluar tanto la calidad, como la estabilidad de los aceites durante procesos térmicos, como el freído. Las proporciones propuestas con C18:2/C16:0 y la proporción de polienos o de poliinsaturación a saturación para indicar el grado de deterioro en los AGPI y el grado de polinsaturación del aceite que tiende a oxidar al mismo, respectivamente (Marinova *et al.*, 2012; Ahmad e Ismail, 2014; Flores, 2018). El índice de polieno del vendedor V<sub>3</sub> (4.40 %) resultó ser un valor muy cercano al que se ha reportado para los aceites vegetales frescos. El resto de los vendedores

por lo contrario, presentaron valores menores de dicho índice. Flores *et al.*, (2018) reportaron que la reducción del índice de polienos era ocasionada por largos procesos de jornadas de freído. Contrario a lo anterior, la común práctica de adicionar aceite fresco por parte de todos los vendedores se sugiere como la razón por la cual los resultados de ésta estimación no fueron tan altos como los que el autor menciona, a pensar de hablar de más de 24h de freído. En cuanto al índice C18:2/C16:0, el mismo vendedor, presentó un valor de 2.89 % como el más alto observado en comparación con el resto de los vendedores, que presentaron los valores similares al de mezclas de aceites que se han descrito con buena calidad durante el freído. Cabe mencionar que los aceites vegetales se han presentado como buenas opciones para el freído, precedidos principalmente por el aceite de palma o de coco, y las mezclas de éstos con diferentes aceites vegetales (Ahmad e Ismail, 2014; Dorni *et al.*, 2017). Los ácidos grasos C18:2 y C18:1 no mostraron ser afectados por el factor B, es decir, por las jornadas de trabajo estudiadas. Lo cual, se sugiere que fue a razón de una migración del contenido de ácidos grasos de los alimentos procesados al aceite, como varios autores mencionan en sus estudios Park y Kim, 2016 (Cuadro 9).

Otro aspecto importante durante las jornadas de trabajo observadas fue la temperatura del freído, la cual, como ya se mencionó no fue afectada por este factor y presentó valores que oscilaron entre 132.50-147.22 °C (Cuadro 9). Tales valores, no excedieron las altas temperaturas que son utilizadas prácticamente en todas las investigaciones reportadas sobre el tema (170-190 °C), en donde el contenido de los ácidos oleico y linoleico muestra un decremento importante después de dos días de freído. Así, las temperaturas que no fueron tal elevadas en el presente reporte, junto con la constante adición de aceite fresco pueden

sugerirse como los factores para que no se observaran diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en la composición de ácidos grasos durante el tiempo estudiado (Yu *et al.*, 2018; Flores *et al.*, 2018). Sin embargo, el decremento del ácido esteárico en el segundo día de trabajo es difícil de explicar debido a los cambios fisicoquímicos que se presentan durante el freído como la absorción de aceite por parte del alimento y la transferencia de ácidos grasos al aceite (Bordin *et al.*, 2013., Sayon-Orea *et al.*, 2015., Ganesan *et al.*, 2018).

Es importante mencionar nuevamente, que el presente trabajo tuvo como parte de sus objetivos, el presentar el deterioro de los aceites vegetales durante el freído en condiciones reales en los vendedores estudiados y durante sus jornadas de trabajo. La mayoría de las investigaciones semejantes presentan interesantes datos sobre el deterioro de éstos sistemas grasos, pero en condiciones controladas de temperatura o con un solo tipo de alimento a diferencia del presente estudio. En tales reportes, los parámetros fisicoquímicos del deterioro de los aceites presentan por consecuencia valores más elevados que los del presente trabajo, pero a temperaturas más elevadas (Marinova *et al.*, 2012., Christy, 2017., Mba, 2017; Flores, 2018, Yu *et al.*, 2018).

## VIII CONCLUSIONES

- a) Se identificó dentro de las condiciones de operación en los cuatro establecimientos estudiados en el Valle de Toluca, que utilizan la misma marca de aceite vegetal y realizan adición de aceite fresco constantemente durante las jornadas.
- b) Se analizó la calidad del aceite vegetal utilizado en el freído comercial de comida tradicional Mexicana y de comida rápida en la región de Toluca, Edo. de México, mediante la medición de la temperatura de freído, contenido de ácidos grasos libres, índices de peróxido, *p*-Anisidina y TOTOX, así como el índice de color y la composición del perfil de ácidos grasos, los cuales son afectados principalmente por las condiciones de operación de los cuatro locales estudiados.
- c) Los análisis fisicoquímicos de calidad para el deterioro de los aceites vegetales, mostraron que éstos presentaron hidrólisis y oxidación primaria y secundaria, así como cambios en la composición de los ácidos grasos presentes, lo cual es relacionado como evidencia de la degradación del aceite vegetal utilizado en cada operador en base a las condiciones estudiadas en los mismos.
- d) Durante las jornadas de freído estudiadas, los análisis fisicoquímicos indicaron oxidación, principalmente secundaria, así como deterioro del aceite vegetal.
- e) Las temperaturas de freído reportadas no fueron tan elevadas y la constante adición de aceite fresco, se sugieren como posibles agentes mitigantes o enmascarantes del deterioro del aceite vegetal en las condiciones observadas.
- f) Los compuestos químicos generados tanto por la hidrólisis como por la oxidación térmica evidenciada, pueden transferirse a los alimentos procesados y afectar así, su

composición nutricional y aportar a los consumidores compuestos tóxicos para la salud.

- g) Se requiere de un programa gubernamental para controlar los procesos de freído en los productores pequeños y medianos, fijos y semifijos principalmente, para regular la producción de alimentos con posibles compuestos químicos que representan un riesgo para la salud.

## **IX SUGERENCIAS**

La fritura es una de las técnicas culinarias más antiguas y más utilizadas en las cocinas, especialmente en los países mediterráneos, sin embargo, esta técnica no está exenta de peligros al consumidor, sobre todo para aquellos especialmente aficionados al consumo de productos fritos. Por lo anteriormente mencionado se recomienda vigilar el aceite empleado durante el freído de alimentos observando los cambios en el mismo.

La mejor práctica es retirar el aceite antes de que aparezca el punto de humeo, es decir, aquella temperatura en la que el aceite empieza a descomponerse emitiendo compuestos gaseosos visibles (neblina azulada) y otros signos como olores desagradables, sabores ácidos y rancios, oscurecimiento, aumento de la viscosidad, disminución de la tensión superficial, presencia de espuma, de residuos y de películas en las paredes del recipiente utilizado.

En la práctica, existe una buena correlación entre las medidas de percepción de cambios en el aceite y los resultados de las pruebas analíticas más objetivas, por lo que éstas pueden usarse para realizar controles periódicos o para establecer inicialmente un tiempo de vida útil para el aceite que estemos usando en nuestras instalaciones y con nuestros productos.

Por lo anteriormente mencionado se recomienda para posteriores investigaciones:

- Realizar un estudio incluyendo el análisis de las variables estudiadas al aceite de freído fresco, al iniciar la jornada.

- Analizar la relación del contenido de humedad de los alimentos a procesarse, antes y después del freído.
- Analizar cambios de degradación en el aceite, así como en los alimentos procesados.

Se pueden recomendar a los operarios algunas buenas prácticas que van a contribuir a trabajar con aceites de fritura en las mejores condiciones tanto de seguridad como de calidad alimentaria a la vez que conseguiremos reducir el gasto de aceite:

- Retirar o filtrar los residuos del aceite.
- Cubrir los alimentos al freír por un máximo de 1-2 cm de aceite.
- Limitar la temperatura de fritura a 180 °C y apagar la freidora si no se usa.
- Sacudir los alimentos empanados y rebozados entre otros, antes de su introducción en la freidora.
- Minimizar la mezcla de aceites diferentes o la adición de aceite fresco al ya usado.



## X. BIBLIOGRAFÍA

- 1. Ahmad T.A.H., Ismail R.** (2014) Use of pilot plant scale continuous fryer to simulate industrial production of potato chips: thermal properties of palm olein blends under continuous frying conditions. *Food Science & Nutrition*, 1: 28– 38
- 2. Álvarez G.,** 2005. Profesor de Química de los Alimentos. Instituto de Farmacia y Alimentos (IFAL) de la Universidad de La Habana, Ciudad de La Habana, Cuba. Disponible en <http://www.monografias.com>. Consultado el 23 de Marzo 2009.
- 3. Astudillo R. G. C.** 2018. Evaluación del Deterioro del Aceite Vegetal en la preparación de papas fritas (Tesis de grado maestría). Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- 4. Avalos G. N. I.** 2003. Evaluación química del proceso degradativo de los aceites de soya, maíz y girasol en la industria de las frituras. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México.
- 5. Badui S., Anzaldúa A., Bourges H.** 1993. Química de los alimentos. Alhambra Mexicana. Editorial, S.A. de C.V. México D.F. pp. 247-258.
- 6. Belitz H.D., Grosch W.** 1997. Química de los alimentos. Ed. Acribia. 2ª ed. Zaragoza España. Pp 224-226, 717-723.
- 7. Bello , G.J.** 1998. Ciencia y Tecnología culinaria. Editorial Diaz de Santos. España. Pp. 148-162
- 8. Bordin K., Tomihe K.M., Kazue A.K., Favaro T. C. S.** 2013. Changes in food caused by deep fat frying – A review. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol.63. No 1. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2013/1/art-1/>

- 9. Chuang W., Chiu C. and Chen B.** 2006. Analysis and Formation of Acrylamide in French Fries and Chicken Legs during Frying. *Journal of Food Biochemistry*. Vol. 30. Pp. 487-507.
- 10. Christy. A. A.** 2017. Changes in Unsaturated Fatty Acid Profiles of Some Vegetable Oils during Frying at Medium Frying Temperature. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 9(10) pp. 223-226
- 11. Cruz y Huaman** 2002. Formación de hidrocarburos aromáticos policíclicos y del 3,4-Benzopireno en aceites comestibles alterados por recalentamiento. Universidad Mayor de San Marcos. Lima, Perú. <http://sisbib.unmsm.edu.pe/Tesisdigitales>.
- 12. Dorni, C., Sharma, P., Saikia G., Longvah T.** 2017. Fatty acid profile of edible oils and fats consumed in India. *Food Chemistry*. 238 p.p. 9–15.
- 13. Ferreri C. Angelini F. Chatgialloglu c. Dellonte s. Mosches V. Rossi P. y Chini L.** 2005. Trans Fatty Acids and Atopic Eczema/Dermatitis Syndrome: The Relationship with a Free Radical cis-trns Isomerization of Membrane Lipids. *Lipids*. Vol. 40. pp.661-667.
- 14. Flores, M., Meyer, L., Orellana, S., Saravia, C., Claudia, G., y Pérez C. M. C.** 2018. Quality of Lipid Fractions in Deep-Fried Foods from Street Vendors in Chile. *Journal of Food Quality*. Volume, Article ID 7878439. pp. 1-8.
- 15. Flores L. T. y Sosa M. M. E.** 2016. Rancidez hidrolítica y oxidativa de aceites sometidos al freído repetido de nuggets de pescado. 2:1 pp. 1399-1403
- 16. Freire, P. C. M., Mancini-Filho, J., Ferreira, T. A. P. C.** 2013. Quality of deep frying oils and fats used in street-fairs in Goiânia, Brazil. *Food Science and Technology*. vol.33 no.3.

17. **Godswill C.A., Amagwula O.I., Victory S.I. and Isiaga G. A. 2018.** Effects of repeated deep frying on refractive index and peroxide value of selected vegetable oils. *International Journal of Advanced Academic Research*, 4:106-110.
18. **Gadiraju, T.V. Patel, Michael, G. J. y Djoussé, L. 2015.** Fried Food Consumption and Cardiovascular Health: A Review of Current Evidence. *Nutrients* 2015, 7, pp. 8424–8430.
19. **Ganesan, K., Sukalingam K. y Xu, B. 2018.** Impact of consumption and cooking manners of vegetable oils on cardiovascular diseases- A critical review. *Trends in Food Science & Technology* 71. pp. 132–154.
20. **Kozempel MF, Tomasula PM, Craig JC. 1991.** Correlation of moisture and oil concentration in French fries. *Lebensm Wiss Technol.* 1991;24:445–448.
21. **Lamberg I, Hallstrom B, Olsson H. 1990.** Fat uptake in a potato drying/frying process. *Lebensm, Wiss, Technology.* 1990; 23:295-300.
22. **Lawson H. 1999.** Aceites y grasas alimentarias. Tecnología, utilización y nutrición. Editorial Acribia España. Pp 67-92.
23. **Libien J. Y. 2014.** Efecto de la adición de selenio orgánico en la dieta de ovinos en finalización sobre la vida de anaquel de la carne (Tesis de grado Doctoral). Universidad Autónoma del Estado de México.
24. **Lutz, B. (2017):** Alimentación y clases sociales en la Ciudad de México. *Revista de Alimentación Contemporáneas y Desarrollo Regional.* 49: 296-305
25. **Marinova E. M., Seizova K. A., Totseva I. R., Panayotova S. S., Marekov I. N., Momchilova, S. M. 2012.** Oxidative changes in some vegetable oils during heating at

frying temperature. Bulgarian Chemical Communications, Volume 44, Number 1. pp. 57 – 63.

**26. Mariod A., Matthaus B., Eichner K., Hussein H.** 2006. Frying Quality and Oxidative Stability of two Unconventional Oils. Journal of the American Oil Chemists Society. 83:6, pp.529-538.

**27. Mba O.I.** 2017. Deep-fat frying characteristics of blends of palm and canola oils (Tesis de grado doctoral) Department of Bioresource Engineering. McGill University, Montréal, Canada.

**28. Mc Savage J. and Trevisan S.** 2001. The use and abuse of frying oil. Bournemouth University. Blcwell Science. Food Service Technology. Pp. 85-92.

**29. Montes O. N., Millar I., Provoste R., Martínez M. N., Fernández Z.D., Morales I. G. y Valenzuela B. R.** 2016. Absorción de aceite en alimentos fritos. Revista Chilena de Nutrición. 43:1 pp.

**30. Moreira RG, Sun X and Chen Y.** 1995. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. Journal Food Engineering. 1997; 31:485-98.

**31. Moreno M.C. y Bouchon P.** 2008. A Different Perspective to Study the effect of Freeze, Air, and Osmotic Drying on Oil Absortion during Potato Frying. Journal of Food Science. p.p. E1-E7.

**32. Navas, S.J.A.** 2005. Optimización y control de la calidad y estabilidad de aceites y productos de fritura. Universidaqd de Barcelona. Memoria para obtener el grado de Doctor. España. Disponible en: [www.tesisenxarxa.net/TESISUB/AVAILABLE/TDX-0217106-112414/02.JANS antecedentes bibliogr%E1ficos.pdf](http://www.tesisenxarxa.net/TESISUB/AVAILABLE/TDX-0217106-112414/02.JANS antecedentes bibliogr%E1ficos.pdf) (Consultada el 8 de junio de 2008).

- 33. Naghshineh M. y Mirhosseini H.** 2010. Effects of frying condition on physicochemical properties of palm oleic-olive oil blends. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. Vol.8. (3 y 4) p.p. 175-178.
- 34. NMX-F-223-1985.** Alimentos. Aceite vegetal comestible. Foods edible. Vegetable oil. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- 35. Oyedeji A.B., Sobukola, O.P., Henshaw F. Adegunwa M.O., Ijabadeniyi O. A. Sanni L. O. and Tomlins K. I.** . 2017. Effect of Frying Treatments on Texture and Colour Parameters of Deep Fat Fried Yellow Fleshed Cassava Chips. *Journal of Food Quality*. 2017, Article ID 8373801.
- 36. Oke, E. K. Idowu, M. A. Sobukola, O. P. Adeyeye S. A. O. y Akinsola A. O.** 2017. Frying of Food: A Critical Review. *Journal of Culinary Science & Technology*.
- 37. Park J.M. y Kim J.M.** 2016. Monitoring of Used Frying Oils and Frying Times for Frying Chicken Nuggets Using Peroxide Value and Acid Value. *Korean J. Food Sci. An.*, Vol. 36, No. 5, pp. 612-616.
- 38. Rivera Y., Gutiérrez C., Gómez R., Matute M., Izaguirre C.** 2014. Cuantificación del deterioro de aceites vegetales usados en procesos de frituras en establecimientos ubicados en el Municipio Libertador del Estado Mérida. *Ciencia e Ingeniería*. Vol. 35, núm. 3, pp. 157-164. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- 39. Rojas, U.E.H., Narváez R.P.C.** 2011. Método de análisis de calidad del aceite durante el freído por inmersión para pequeñas y medianas empresas. *Ingeniería e Investigación* Vol. 31. No. 1 pp. 83-92.
- 40. Rudzinska, M., Hassanein, M. M. M., Abdel R. A.G., Kmiecik, D., Siger A. y Ratusz, K.** 2018. Influence of composition on degradation during repeated deep-fat frying

of binary and ternary blends of palm, sunflower and soybean oils with health-optimised saturated-to-unsaturated fatty acid ratios International. Journal of Food Science and Technology, 53, pp.1021–1029

**41. Sayon O.C., Carlos S., Martínez G.M.A.** 2015. Does cooking with vegetable oils increase the risk of chronic diseases?: a systematic review. British Journal of Nutrition, 113:S36–S48.

**42. Tirado, D. F., Acevedo, D., Guzmán, L. E.** 2012. Freído por Inmersión de los Alimentos ReCiTeIA - V.12 N.1. Universidad de Cartagena, Colombia. pp. 70-82.

**43. Tirado D. F., Acevedo D. y Montero P. M.** 2014. Transferencia de Calor y Materia durante el proceso de Freído de alimentos: Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y fruta de pan (*Artocarpus comunnis*). 26(1):85-94

**44. Torres F. y Rojas A.** 2018. Obesidad y salud pública en México: transformación del patrón hegemónico de oferta-demanda de alimentos. Revista problemas del desarrollo, 193 (49). pp. 145-170.

**45. Vijayan J. Slaughter D. and Shing R.** 1996. Optical properties of corn oil during Frying. Journal of Food Science and Technology. 31. pp 353-358.

**46. Yagüe, A. M. A.** 2003. Estudio de utilización de aceites para fritura en establecimientos alimentarios de comidas preparadas. Informes técnicos. Observatorio de la Seguridad Alimentaria. Disponible en: <http://magno.uab.es/epsi/alimentaria/mangeles-aylon.pdf> (Consultada el 8 de Junio de 2018).

**47. Yu K.S., Cho H. and Hwang K.T.** 2018 Physicochemical properties and oxidative stability of frying oils during repeated frying of potato chips. *Food Science Biotechnology*, 3:651–659.

**Anexo 1: Cuestionario aplicado para seleccionar los establecimientos de estudio.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS**  
**AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**ENCUESTA**

ESTABLECIMIENTO \_\_\_\_\_

DIRECCIÓN (Calle y colonia) \_\_\_\_\_

- 1.- ¿Cuántos y que días a la semana trabaja?
- 2.- ¿De cuántas horas es su jornada de trabajo?
- 3.- ¿Qué tipo de alimentos fríe?
- 4.- ¿Qué tipo de aceite y marca utiliza? ¿Porqué?
- 5.- ¿Qué tipo de utensilios utiliza para realizar el freído?
- 6.- ¿Los alimentos quedan cubiertos totalmente por el aceite durante el freído?
- 5.- ¿Inicia su jornada de trabajo con aceite nuevo?
- 6.- Adiciona aceite fresco durante su jornada de trabajo? ¿En qué momento?
- 7.- ¿En algún momento retira los restos que quedan en el aceite después de freír?
- 8.- ¿Regula la temperatura del aceite o la mantiene constante?