Departamento de Posgrados

Maestría en Gestión de la Calidad y Seguridad Alimentaria

Versión III

"EVALUACIÓN DEL DETERIORO DEL ACEITE VEGETAL EN LA PREPARACIÓN DE PAPAS FRITAS"

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
"Magíster en Gestión de la Calidad y Seguridad Alimentaria"

Autora: Bioq. Gabriela Cristina Astudillo Rubio

Directora: Dra. Diana Catalina Chalco Quezada, Mg.

Cuenca-Ecuador

2018

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mi Dios por darme la fuerza de seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban.

A mi esposo Pablo y a mis hijos Sofía y Pablito Joaquín por brindarme su amor y su apoyo incondicional.

A mis padres y hermana por que han sido el ejemplo a seguir para poder alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo. A mis compañeras y amigas del Proyecto Alimentación, Nutrición y Salud de la Universidad de Cuenca por su apoyo operacional y motivacional durante el desarrollo de este trabajo. A la Dra. Diana Chalco por su acogida para la dirección de esta tesis y el apoyo brindado. Al Dr. Piercosimo Tripaldi por su colaboración en las diferentes etapas de este trabajo.

RESUMEN

Durante el proceso de fritura, el aceite presenta cambios en su composición que pueden generar compuestos tóxicos que pasan al alimento. El objetivo de este estudio fue evaluar el deterioro del aceite vegetal según las condiciones de uso, durante la preparación de papas fritas con la medición de la concentración de peróxidos y ácidos grasos *trans.* Esta evaluación se realizó mediante un diseño factorial 2^3 con tres factores: temperatura, tiempo de uso del aceite y la razón aceite/papa. Los resultados demuestran que relación aceite/papa fue la variable que generó mayor influencia en la producción de peróxidos y ácidos grasos *trans.*

PALABRAS CLAVES
Fritura, Papas, Deterioro del aceite, Índice de peróxidos, Ácidos grasos *trans*

ABSTRACT

During the frying process, the oil presents changes in its composition that can generate toxic compounds that pass into the food. The objective of this study was to evaluate the vegetable oil deterioration according to the conditions of use during the preparation of potato chips with the measurement of the concentration of peroxides and trans-fatty acids. This evaluation was performed through a 23 factorial design with three factors: temperature, oil usage time and oil/potato ratio. The results showed that the oil/potato ratio was the variable that generated the greatest influence in the production of peroxides and trans fatty acids.

Keywords: Fry, Potatoes, oil deterioration, Peroxide index, trans fatty acids

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas

Translated by

Ing. Paul Arpi

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA....ii

AGRADECIMIENTO....iii

RESUMEN....iv

1. INTRODUCCIÓN....1
   1.1. Aceite de la fritura....2
   1.2. Deterioro del aceite en el proceso de fritura....3
   1.2.1. Hidrolisis....4
   1.2.2. Oxidación....4
   1.2.3. Alteración térmica....6
   1.3. Proceso de fritura....6
   1.4. Problemas en la salud....7
   1.5. Regulación de las grasas y aceites en la fritura....8
   1.6. Objetivos e hipótesis del trabajo de investigación....9
   1.6.1. Objetivo general....9
   1.6.2. Objetivo especifico....9
   1.6.3. Hipótesis....10

2. CAPITULO 1: MATERIALES Y METODOS....11
   2.1. Área de estudio....11
   2.2. Tipo de estudio....11
   2.3. Métodos....11
   2.3.1. Diseño experimental....11
   2.3.2. Proceso de fritura....12
   2.3.3. Métodos Analíticos....13
   2.3.3.1. Determinación del índice de peróxidos....13
   2.3.3.2. Fundamento....13
   2.3.3.3. Materiales....13
   2.3.3.4. Equipos....13
   2.3.3.5. Reactivos....14
   2.3.3.6. Preparación de la muestra....14
   2.3.3.7. Procedimiento....15
   2.3.3.8. Cálculo....15
   2.3.4. Determinación de ácidos grasos *trans*....16
   2.3.5. Análisis Estadístico....16

3. CAPITULO 2: RESULTADOS.....17
   3.1. Evaluación del deterioro del aceite vegetal....17
   3.2. Análisis estadístico de la influencia de las variables que intervienen en el proceso de fritura.....18

3.2.1. Análisis de índice de peróxidos 18
3.2.2. Análisis de los ácidos grasos *trans* 21
4. CAPITULO 3: DISCUSION 25
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 28
5.1. Conclusiones 28
5.2. Recomendaciones 28
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 30
7. ANEXOS 33

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de los aceites y grasas comestibles reutilizados 8
Tabla 2. Especificación de variables y dominio experimental 12
Tabla 3. Combinación de las variables para el diseño experimental 2^3. 12
Tabla 4. Valor de índice de peróxidos (mEqO/kg) y porcentaje de ácidos grasos trans. 17
Tabla 5. Matriz de experimentos y resultados de índice de peróxidos (mEqO/kg) 19
Tabla 6. Coeficientes de las variables. 19
Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) del índice de peróxidos. 21
Tabla 8. Estimación de resultados de índice de peróxidos. 21
Tabla 9. Matriz de experimentos y resultados de ácidos grasos trans 22
Tabla 10. Coeficientes de las variables. 22
Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) de los ácidos grasos trans. 24
Tabla 12. Estimación de resultados de los ácidos grasos trans. 24

INDICE DE FIGURAS

Fig 1. Degradación del aceite durante la fritura (Ziaiifar, Achir, Courtois, Trezzani, & Trystram, 2008). 4
Fig 2. Fase de iniciación de la autooxidación. (Choe & Min, 2007) 5
Fig 3. Fase de propagación (Choe & Min, 2007) 5
Fig 4. Fase de terminación(Choe & Min, 2007). 6
Fig 5. Preparación de muestras de aceites líquidas, turbias y con sedimento. 14
Fig 6. Titulación de la muestra de aceite. 15
Fig 7. Espectro de los AGT de aceite crudo y experimento 1 y 5. 18
Fig 8. Diagrama de Pareto de índice de peróxidos. 19
Fig 9. Gráfico de probabilidad normal de índice de peróxidos. 20
Fig 10. Diagrama de Pareto de AGT 22
Fig 11. Gráfico de probabilidad normal de AGT. 23

Astudillo Rubio Gabriela Cristina

Trabajo de graduación

Dra. Diana Chalco

Febrero, 2018

EVALUACIÓN DEL DETERIORO DEL ACEITE VEGETAL EN LA PREPRACIÓN DE PAPAS FRITAS

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la fritura ha llegado a ser una forma habitual en la preparación de alimentos de una manera rápida y con un sabor particular con respecto a otros métodos de cocción(Cuesta, Sánchez, López, Garrido, & García, 1993b). La fritura representa un proceso de inmersión del alimento en aceite a altas temperaturas (150-200°C), con la transferencia directa de calor del aceite caliente al alimento frío (Correia, Dubreucq, Ferreira‐Dias, & Lecomte, 2015; Rivera, Gutiérrez, Gómez, Matute, & Izaguirre, 2014; Sánchez-Gimeno, Benito, Vercet, & Oria, 2008), con el propósito de modificar la superficie del producto, impermeabilizándolo de alguna manera, para controlar la pérdida de agua desde su interior. El proceso de fritura requiere un tiempo pequeño de preparación y le permite conservar muchas de las características propias del alimento, mejorando en la mayoría de los casos, su sabor, textura, aspecto y color muy deseados por los consumidores(Ramírez & Jimena, 2011; VÉLEZ & Hernández, 1999).

Durante este proceso, los aceites sufren un deterioro físico irreversible como incremento en la viscosidad, el color y el espumado, disminución del punto de humo y reacciones químicas entre ellas oxidación (primaria, secundaria y terciaria), hidrólisis y polimerización(Uribe & Rincón, 2011). Las reacciones de oxidación son las más relacionadas con la salud y la nutrición, ya que a partir de éstas se forman hidroperóxidos, compuestos polares y monómeros y polímeros cíclicos(Botero et al., 2012), las cuales conducen a la formación de mezclas complejas de productos volátiles y no volátiles, que pueden pasar al alimento frito y ser ingeridos(Cuesta, Sánchez, López, Garrido, & García, 1993a; Hurtado, 2011).

Por tanto, la calidad de las grasas y aceites utilizados para frituras es tan importante como la calidad del producto final, ya que los alimentos fritos absorben entre 5-40% del aceite utilizado.(Abilés et al., 2009)

El alto consumo de compuestos tóxicos formados durante la fritura puede causar efectos graves sobre la salud, ya que parecen estar relacionados con diversas enfermedades, como la irritación intestinal, ateroesclerosis, retardo en el crecimiento de niños, cáncer, la enfermedad de Alzheimer y el Parkinson.(Botero et al., 2012; Houhoula, Oreopoulou, &

Tzia, 2002; Uribe & Rincón, 2011)

La creciente utilización de grasas y aceites comestibles para la preparación de productos fritos, obliga cada vez más a un estricto control de los mismos para mantener la calidad de los alimentos fritos y garantizar su inocuidad.(Masson et al., 1997)

En Latinoamérica, países como Colombia, Perú, Chile y Argentina han tenido un avance significativo en establecer criterios y regulaciones en cuanto al uso y descarte de aceite, y además plantear alternativas viables de reúso del aceite de frituras.(Rivera et al., 2014)

Ecuador presenta un reglamento que tiene por objeto establecer los requisitos de calidad e inocuidad que deben cumplir los aceites y grasas utilizados durante el proceso de frituras de alimentos, con el fin de proteger la salud y la vida de las personas. Este Reglamento Técnico se aplica a las persona cuya actividad incluye la utilización y manipulación de aceites y grasas utilizados durante el proceso de frituras de alimentos, tanto industrial como en los servicios de alimentación al público, en ferias, restaurantes, franquicias de comidas rápidas, comedores populares, ventas ambulantes, kioscos, escuelas y demás establecimientos similares que proveen alimentos fritos(INEN, 2014).

En la ciudad de Cuenca no existe una autoridad encargada en la vigilancia y control del cumplimiento de los requisitos del presente Reglamento Técnico, siendo inminente la necesidad de contar con datos reales sobre la calidad del aceite y su forma de empleo, lo cual está implicado directa o indirectamente en varios problemas de salud pública.

1.1. Aceite de la fritura

Las grasas y los aceites están compuestas por moléculas orgánicas que pertenecen a la familia de los lípidos. Estos están constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, aunque también contienen fósforo y nitrógeno (Dergal, 2006; González, Klee, Valle, & Artiga, 2012).

El largo de la cadena de los ácidos grasos y su organización en la estructura del glicerol varía ampliamente, aunque la mayoría de los aceites comestibles son aquellos que tienen 16 y 18 carbonos. Los ácidos grasos que forman a los triglicéridos son diferentes entre un aceite y otro. Los aceites vegetales contienen además otros componentes, de los cuales los más importantes son los tocoferoles o Vitamina E. Estas sustancias actúan como antioxidantes protegiendo el aceite de la rancidez (González et al., 2012).

Desde el punto de vista nutricional, las grasas y aceites representan la fuente de energía más alta de los tres grupos de alimentos básicos (carbohidratos, proteínas y lípidos) con 9 kcal/g.
Las grasas y los aceites son los principales lípidos que se encuentran en los alimentos, y contribuyen a la textura, lubricidad, añaden sabor y sensación de saciedad.

Las fuentes naturales de las cuales provienen las grasas y aceites comestibles son: semillas y frutos de diferentes especies vegetales, grasas provenientes del tejido adiposo de los animales y la leche de los mamíferos; también pueden extraerse aceites de algas marinas. Sin embargo, sólo unas pocas de esas fuentes son de importancia económica debido a su factibilidad de extracción y adaptación organoléptica en la nutrición humana (Dergal, 2006; González et al., 2012).

Muchos aceites vegetales son preferibles a las grasas animales para el consumo humano. Esto se debe a que son ricos en ácidos grasos mono o poliinsaturados, una cualidad muy importante para la transformación de grasa en el organismo humano.(Vélez Vinueza, 2014)

En el mercado existe una gran cantidad de aceites utilizados para la fritura de los alimentos, entre los más importantes están los aceites de palma, soya, canola, oliva, maíz y girasol. El aceite de palma presenta el más alto contenido de ácidos grasos saturados (49,3 g/100 g de aceite), mientras que el aceite de oliva tiene mayor contenido de monoinsaturados (72,9%) y el de soya y maíz mayor proporción de polinsaturados (57,7 y 54,7% respectivamente)(Hurtado, 2011).

El aceite de palma es el aceite de mayor producción a nivel mundial y su uso en la industria alimentaria es muy amplio debido a su bajo costo. Así como el aceite de oleína de palma obtenido por el fraccionamiento del aceite de palma. Este aceite es menos saturado que el aceite de palma y su uso ha aumentado ya que tiene mejores propiedades al freír, como la alta estabilidad y un agradable aroma durante el proceso de fritura.

La oleína de palma es utilizada por algunas industrias de alimentos, como la de producción de papas fritas. Pero desde el punto de vista nutricional, presenta una desventaja, ya que tiene un alto contenido de ácidos grasos saturados.

La selección de aceites debe basarse en la optimización del proceso con respecto a aspectos culinarios, así como nutricionales, fisiológicas y tecnológicas, por lo tanto el costo no debe ser el principal factor decisivo (Aniołowska & Kita, 2015).

1.2. Deterioro del aceite en el proceso de fritura

Los aceites se deterioran lenta o rápidamente dependiendo de factores controlables y no controlables. Entre los controlados se encuentran las prácticas de manejo, el tipo de fritura, la relación aceite/alimento, el tipo de alimento, la temperatura que alcanzan los aceites, la reposición o no de aceite, el retiro de los restos de alimentos en el aceite y el tiempo de utilización. Entre los no controlables se resalta la presencia de oxígeno(Hurtado, 2011).

Durante el proceso de fritura, las grasas y los aceites experimentan las reacciones lipídicas

más importantes como la hidrólisis o rancidez hidrolítica, oxidación o rancidez oxidativa y alteración térmica (Fig.1), dando como resultado la pérdida de calidad del aceite y por lo tanto del alimento frito (Dobarganes & Márquez-Ruiz, 2015).

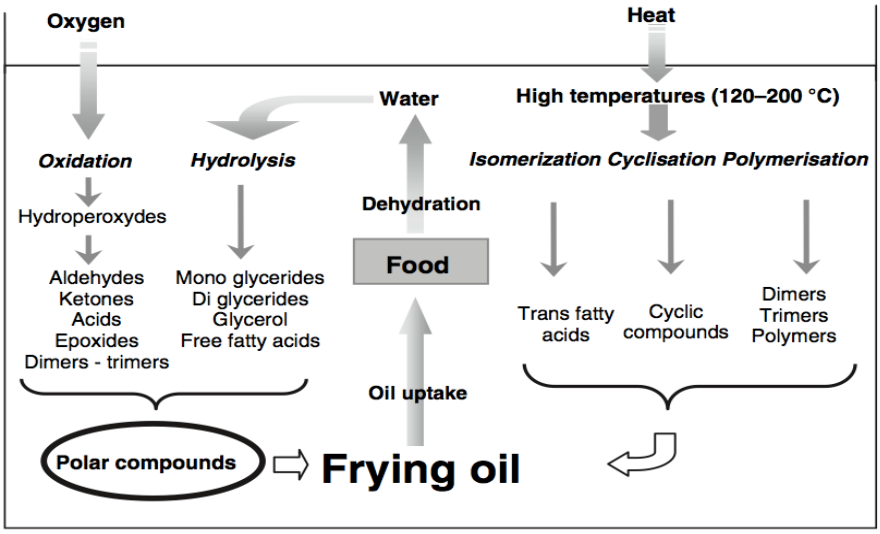

Fig 1. Degradación del aceite durante la fritura (Ziaiifar, Achir, Courtois, Trezzani, & Trystram, 2008).

1.2.1. Hidrolisis

La hidrólisis se produce debido a la humedad del producto alimenticio, que implica la ruptura del enlace éster, con la posterior liberación de ácidos grasos, monoacilgliceroles y diacilgliceroles(Dobarganes & Márquez-Ruiz, 2015). La formación de ácidos grasos libres es directamente proporcional a la cantidad de vapor eliminado por el alimento y además hay que tener en cuenta que a mayor cantidad de alimento que se fría mayor será la humedad presente en el aceite(Viera Guerrero, 2012).

1.2.2. Oxidación

La reacción de degradación del aceite y la más frecuente es la auto-oxidación o rancidez oxidativa. El oxígeno atmosférico actúa sobre el aceite produciendo la oxidación de los ácidos grasos, inicialmente en los dobles enlaces, dando lugar a los peróxidos e hidroperóxidos; posteriormente la reacción continúa formando radicales más complejos como aldehídos y cetonas. Las altas temperaturas aceleran la oxidación de los ácidos grasos, especialmente por encima de 60°C, de manera que la velocidad de oxidación se duplica por cada 15 °C de aumento(González et al., 2012).

El mecanismo de la reacción de auto-oxidación ocurre a través de la producción de radicales libres, y se considera que se lleva a cabo en tres etapas: iniciación, propagación y

terminación(González et al.); en las cuales las reacciones se desarrollan simultáneamente como lo muestra a continuación:

1. *Iniciación:* Se da comienzo con la degradación de un ácido graso en donde un hidrógeno alílico es extraído de la cadena lipídica dando radicales libres, también llamados hidroperóxidos. Para que esta fase ocurra a una velocidad significativa, también deben estar presentes algunos iniciadores oxidativos, tales como oxidantes químicos, metales de transición (hierro o cobre) o enzimas (lipoxigenasas). El calor y la luz también aumentan la velocidad de ésta y otras fases de oxidación de lípidos(González et al.; Lalas, 2008) .

Fig 2. Fase de iniciación de la autooxidación. (Choe & Min, 2007)

2. *Propagación*: Los radicales libres formados en la fase inicial se enlazan con la molécula de oxígeno dando lugar a un radical peróxido. Este radical puede atacar a otra molécula de ácido graso formando un hidroperóxido y un nuevo radical libre que continuará reaccionando. A partir de estas reacciones, la velocidad de oxidación se acelera muy rápidamente ya que los compuestos originados son muy reactivos, favoreciendo la ruptura y producción de nuevos radicales libres(González et al., 2012).

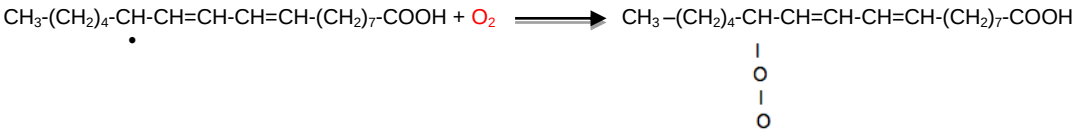

Fig 3. Fase de propagación (Choe & Min, 2007)

3. *Terminación:* Finalmente se da la unión de dos radicales libres provenientes en gran parte de la descomposición de peróxidos lipídicos, lo que da lugar a la formación de compuestos secundarios de tipo aldehído, cetona alcoholes y polímeros, entre otros. Los compuestos de polimerización se vuelven significativos solo en la etapa acelerada de oxidación después del final del período de inducción. Sin embargo, los compuestos volátiles menores formados, en particular los compuestos de carbonilo, tienen una enorme importancia sensorial y pueden contribuir a modificar negativamente el sabor del aceite(González et al., 2012; Sumnu & Sahin, 2008).

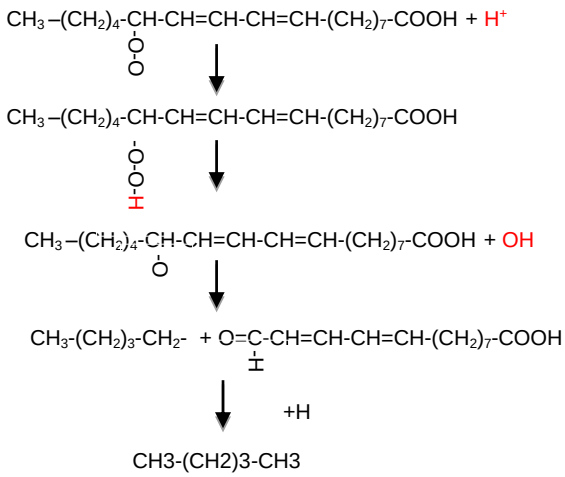

Fig 4. Fase de terminación(Choe & Min, 2007).

1.2.3. Alteración térmica

La oxidación del aceite a altas temperaturas difiere de la oxidación del mismo aceite a baja temperatura. No solo se aceleran las reacciones a altas temperaturas, sino que también se producen reacciones bastante diferentes. Esto se debe a que los productos de oxidación iniciales que se forman a bajas temperaturas son demasiado inestables para existir más que transitoriamente a altas temperaturas(Lalas, 2008).

Se pueden formar diversos productos como resultado de la oxidación térmica como es la polimerización, que se caracteriza por una producción de uniones cruzadas entre cadenas de ácidos grasos no saturados, directamente o a través de átomos de oxígeno, y que pueden dar lugar a estructuras cíclicas (Abilés et al., 2009).

Los principales productos de descomposición del aceite de fritura son compuestos polares no volátiles, dímeros y polímeros de triacilglicerol. La formación de dímeros y polímeros depende del tipo de aceite, temperatura de fritura y número de frituras. A medida que el número de frituras y la temperatura de fritura aumentan, las cantidades de polímeros aumentan(Choe & Min, 2007). Los polímeros aceleran la degradación del aceite, aumentan la viscosidad, reducen la transferencia de calor, la formación de espuma y oscurecimiento del aceite.

Además durante el proceso de fritura a temperaturas por encima de los 200 °C, tiene lugar las reacciones de isomerización, en donde se da formación de grupos acilo grasos *trans* y cíclicos (Sumnu & Sahin, 2008).

1.3. Proceso de fritura

El freído es un proceso de cocción de los alimentos, destinado a modificar sus características organolépticas, que resulta de la inmersión del alimento en grasas o en aceites a una temperatura entre 150 y 200 °C (González et al., 2012).

Durante el freído, ocurren dos mecanismos de transferencia de calor: convección y conducción. La convección ocurre entre el aceite y el material alimenticio y la conducción ocurre en el interior del alimento. La conducción se realiza en el alimento sólido y depende de propiedades físicas como forma, grosor, porosidad y la masa del alimento a freír. En este tipo de fritura, el alimento recibe en toda su superficie el mismo tratamiento térmico, lo cual le confiere un color y aspecto uniformes (Avalos Zavaleta, 2015; González et al., 2012; Sahin, Sastry, & Bayindirli, 1999).

Debido a la transferencia del calor, el agua de la superficie se evapora y se escapa hacia el aceite en forma de burbujas de vapor. El agua que sale del alimento a la superficie deja poros y capilares vacíos que son ocupados por el aceite. La velocidad de entrada del aceite en el alimento depende de su viscosidad y la tensión superficial. Al mismo tiempo las propiedades físicas del alimento varían con los cambios de temperatura y de humedad que suceden en el interior del mismo (González et al., 2012; Tirado, Acevedo, & Guzmán, 2012).

Las condiciones a las que se someten los alimentos durante el proceso de fritura provocan cambios físicos y químicos que dependen de la composición del alimento y afectan el desarrollo del color, sabor, y en la textura de los alimentos. Durante el proceso de freído el alimento sufre cambios como modificación de las proteínas, péptidos y aminoácidos(desnaturalización de proteínas y desactivación de enzimas), modificación de los azúcares (reacción de Maillard) y oxidación de la fracción lipídica del alimento (Bordin, Kunitake, Aracava, & Trindade, 2013; González et al., 2012).

1.4. Problemas en la salud

El aceite que se reutiliza en el proceso de frituras esta relacionado con los problemas de la salud. Se han observado acciones aterogénicas y teratogénicas en ratas a las que se les administró aceites que pasaron por un estrés térmico(Bansal, Zhou, Tan, Neo, & Lo, 2009). En donde las ratas fueron alimentadas con aceite de soya oxidado térmicamente con un índice de peróxido de 14 mEqO/kg, aumentado significativamente el contenido de peroxidación lipídica en varios órganos como hígado, riñón, testículos y cerebro. Por lo tanto, la ingesta crónica del aceite utilizado repetidamente podría ser perjudicial para la salud y aumentar el riesgo de muchas enfermedades, incluida la hipertensión y el cáncer (Jaarin & Kamisah, 2012).

Además, la toxicidad de los aceites térmicamente oxidados atribuyen también a los productos secundarios resultantes de las grasas rancias, ya que constituyen sustancias altamente reactivas y tóxicas que pueden modificar proteínas, ácidos nucleicos y otras biomoléculas *in vivo(Abilés et al., 2009)*.

Existen problemas de tipo nutricional y toxicológico causados por la degradación química de componentes importantes del aceite (las vitaminas liposolubles y los compuestos fenólicos) y la formación de nuevas moléculas, como son los ácidos grasos *trans*, que se han

relacionado con un aumento en el riesgo de enfermedad cardiovascular y por eso las restricciones recomendadas para su consumo (Hurtado, 2011).

1.5. Regulación de las grasas y aceites en la fritura

Los compuestos tóxicos formados durante la fritura afectan la calidad sensorial de los alimentos y la salud del consumidor(Lalas, 2008). Los parámetros y metodologías que pueden ser aplicados para vigilar la calidad de los aceites y grasas utilizados en frituras son: Ácidos grasos libres, Índice de peróxidos, Punto de humo, Índice de p-Anisidina, Color, Espuma, Viscosidad, Compuestos polares(INEN, 2014).

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2678:2013 establece que los aceites y grasas comestibles reutilizados, deben cumplir con las especificaciones establecidas en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de los aceites y grasas comestibles reutilizados

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	METODOS DE ENSAYO
Ácidos grasos libres	%	----------	3	AOAC.940.28
***Componentes polares**	%	----------	24	NTE INEN UNE-EN ISO 8420

***Valor referencial**

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2678:2013. Grasas y aceites comestibles reutilizados. Requisitos. Quito, Ecuador.

El valor del peróxido es el método clásico para determinar el grado de oxidación del aceite y se lo considera como indicador de la calidad del aceite. Aunque no distingue entre los diversos ácidos grasos insaturados que se oxidan y no proporciona información sobre los productos oxidativos secundarios formados por la descomposición del hidroperóxido, generalmente se puede afirmar que el índice de peróxido es un indicador del nivel primario de oxidación del aceite(Lalas, 2008).

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 34:2012 recomienda que el aceite destinado al consumo humano de los productos fritos deben contener un valor de índice de peróxidos máximo de 10 mEqO/Kg de aceite.

Existen otros compuestos relacionados con la calidad nutricional del aceite que pueden presentarse en ciertas concentraciones en el aceite nuevo y modificarse durante el proceso de fritura, como son los ácidos grasos *trans* (AGT).

En los informes técnicos OMS / FAO (2003) indica que la ingesta de grasas *trans* debe ser menor al 1% de la ingesta energética total, lo que equivale a no más de 2 g de grasas *trans* por día para una persona que requiere 2000 kcal(Organization)

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1334-2:2011 establece que los requisitos mínimos que debe cumplir el rotulado nutricional de los alimentos procesados, envasados y empaquetados con respecto a los ácidos grasos *trans* debe ser <0,5 g por porción. Si una porción contiene menos de 0.5 gramos, el contenido, al momento de su declaración, se expresará en “0 g”.

1.6. Objetivos e hipótesis del trabajo de investigación

En la ciudad de Cuenca, existe un hábito generalizado en la población de consumir comidas rápidas, entre ellas las papas fritas que se producen y expenden en cantidades considerables, sin que exista un control por parte de las autoridades, y sobre todo desconocimiento de la población sobre los graves daños a la salud.

El consumo de este alimento es elevado, pudiendo llegar a ser preocupante no solo por la ingesta desmedida de este tipo de alimentos desde el punto de vista nutricional, sino también por el del consumo de aceites deteriorados que se absorben en el alimento y que pudiesen contener sustancias nocivas para la salud del consumidor.

El principal riesgo radica en la reutilización del aceite que se practican de manera indiscriminada, situación que disminuiría, si expendedores y consumidores conocieran el daño potencial que representa.

Es así que se ha visto la necesidad de evaluar el deterioro del aceite en forma técnica mediante un diseño experimental con la utilización de ciertas variables que influyen en el proceso de fritura y como consecuencia de lo cual se analizará el contenido de peróxidos y ácidos grasos trans.

Los resultados obtenidos podrán servir como base para futuras investigaciones relacionadas con el tema.

1.6.1. Objetivo general

Evaluar el deterioro del aceite vegetal durante la preparación de papas fritas mediante la medición de la concentración de peróxidos y ácidos grasos trans.

1.6.2. Objetivo especifico

- Evaluar el deterioro del aceite, en función de las condiciones locales de fritura, mediante un diseño experimental.

- Analizar el contenido de peróxidos y ácidos grasos *trans* en muestras de aceite post-frituras de papa, el mismo que fue expuesto a diferentes condiciones experimentales controladas.

1.6.3. Hipótesis

Existe una variación significativa en las concentraciones de peróxidos y ácidos grasos *trans* en el aceite vegetal, según las condiciones de uso a las que se encuentra sometido el aceite durante el proceso de fritura.

2. CAPITULO 1: MATERIALES Y METODOS

2.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Alimentos y Nutrición del Departamento de Biociencias de la Universidad de Cuenca y en el laboratorio de Química de la Universidad del Azuay.

Para este estudio se utilizó una base de datos provista por el Laboratorio de Alimentos y Nutrición del Departamento de Biociencias de la Universidad de Cuenca, de donde se obtuvo la información muy valiosa para el estudio, acerca de las prácticas más comunes en el proceso de fritura de papas fritas, y así se determinó el tipo de los ingredientes de mayor uso (tipo de aceite, variedad de papas), el tiempo de calentamiento del aceite, el tiempo de fritura, el tipo de almacenamiento y el tiempo de uso del aceite durante la fritura. Con esta información se determinaron las condiciones más utilizadas en la preparación de papas fritas y se establecieron los valores mínimos y máximos para el diseño experimental: el tiempo (3 y 72 h), la temperatura (140 y 200°C) y la cantidad de aceite (1,5 y 2 L) correspondiente a una cantidad determinada de papas (100 y 250 g). Ésta última variable se denominó razón aceite/papa en el diseño experimental.

2.2. Tipo de estudio

El presente trabajo es un estudio cuantitativo analítico experimental. Se aplicó un diseño experimental factorial 2^K, en donde K representa el número total de variables que se estudió a dos niveles. Se generan 8 ensayos experimentales basadas en la combinación de tres variables a dos niveles, que pueden representarse de cuatro maneras diferentes (Lundstedt et al., 1998).

2.3. Métodos

2.3.1. Diseño experimental

Se aplicó un diseño factorial completo 2^3, para evaluar la influencia de las variables sobre el comportamiento del aceite vegetal en la fritura de papas en forma de bastón. Se establecieron tres variables independientes que fueron: temperatura de fritura (°C), tiempo de uso del aceite (horas) y proporción A/P(volumen de aceite/peso de las papas). Las variables y el dominio experimental están especificados en la Tabla 2, en donde se expresó con un valor máximo y un mínimo. En total ocho experimentos correspondientes a 2 niveles de temperatura de fritura, por 2 niveles del tiempo de uso del aceite y por 2 niveles de proporción A/P durante la fritura, todas estas combinaciones están contempladas en el diseño factorial completo 2^3 de la Tabla 3. Para estimar el error experimental se realizaron dos réplicas por experimento dando un total de 16 experimentos del proceso de la elaboración de papas fritas.

Tabla 2. Especificación de variables y dominio experimental

Variables	Dominio experimental	
	Mínimo (-1)	Máximo (+1)
A: Tiempo (h)	3	72
B: Temperatura (°C)	140	200
C:Razón Aceite/Papas (litros/gramos)	1,5/100	2/250

Tabla 3. Combinación de las variables para el diseño experimental 2^3.

Experimentos	Matriz de experimentos			Plan de experimentación		
#	A	B	C	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Razón A/P (L/gr)
1	-	-	-	3	140	1,5/100
2	+	-	-	72	140	1,5/100
3	-	+	-	3	200	1,5/100
4	+	+	-	72	200	1,5/100
5	-	-	+	3	140	2/250
6	+	-	+	72	140	2/250
7	-	+	+	3	200	2/250
8	+	+	+	72	200	2/250

Para demostrar cómo influyen las variables experimentales en el deterioro del aceite vegetal durante el proceso de fritura de las papas se siguió el siguiente modelo de respuesta:

$$y = 0 + a + b + c + ab + ac + bc + abc \qquad (1)$$

2.3.2. Proceso de fritura

El estudio se llevó a cabo con aceite comercial que presenta una combinación de aceite de soya y oleína de palma refinada, blanqueado y desodorizado con antioxidante butilhidroxitolueno (BHT). El sustrato que se utilizó para promover el deterioro de aceite fue la papa de la variedad de súper chola (*Solanium tuberosum)*.

Para la fritura de las papas se empleó una freidora eléctrica, al cual se acopló un controlador de temperatura digital (ChefAlarm® professional cooking thermometer & timer). La papa fue pelada, lavada, cortada en bastones, empleando una picadora manual para conseguir un tamaño uniforme y luego fueron sumergidas en agua. Tratando de seguir el mismo procedimiento que realizan los expendedores.

El aceite fue sometido a un calentamiento por 40 minutos, para alcanzar una temperatura estable. Diez minutos previos a la fritura se colocaron las papas en un colador para ser

escurridas y posteriormente pesadas (100g y 250g). Al alcanzar la temperatura predeterminada (140 y 200 °C respectivamente) se añadieron las papas a la freidora, dejando 10 min. de cocción para 140 °C y 3 min. para 200 °C, con intervalos de 30 min. entre cada fritura. Las papas se frieron durante periodos de tiempo y temperaturas establecidas de 3 horas con 5 frituras y 72 horas con 36 frituras y manteniendo constante el volumen de aceite en la proporción aceite/papas a freír (1,5litros/100g; 2litros/ 250g) (Anexo1).

En el caso del tiempo de 72 h, se realizaron 12 frituras diarias, 5 frituras por la mañana y 7 frituras por la tarde. Posteriormente se dejó enfriar el aceite durante toda la noche (aproximadamente 14 horas) a temperatura ambiente. La pérdida de aceite durante el proceso de fritura fue alrededor del 2 al 5%. Para mantener constante la proporción aceite/papas se realizó la adición del aceite comercial sin usar, cada 5 frituras (Anexo 2).

Finalmente, se dejó enfriar el aceite hasta que alcance la temperatura ambiente, se filtró, se tomó una alícuota de 250 ml y se envasó en frascos de vidrio ámbar que fueron sellados con nitrógeno gaseoso, con el propósito de evitar la oxidación durante el almacenamiento en refrigeración a 4 °C.

2.3.3. Métodos Analíticos

2.3.3.1. Determinación del índice de peróxidos

2.3.3.2. Fundamento

Es el número de miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra, determinado de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 277.

Consiste en valorar con solución de tiosulfato de sodio el yodo liberado por una cantidad determinada de muestra.

2.3.3.3. Materiales

- Erlenmeyer de 250 ml
- Pipetas serológicas de 1 y 10 ml
- Probetas
- Vasos de precipitación
- Bureta
- Soporte y pinza para bureta
- Papel Filtro
- Embudo de vidrio

2.3.3.4. Equipos

- Balanza analítica BOECO BBL31

- Estufa MEMMERT 100-800

2.3.3.5. Reactivos

a. *Solución de ácido acético - cloroformo.* Mezclar 3 volúmenes de ácido acético glacial con 2 volúmenes de cloroformo.

b. *Solución saturada de yoduro de potasio.* Disolver en 10 ml agua destilada recién hervida 14 g de KI obteniéndose una solución saturada en la cual fue posible evidenciar la presencia de cristales sin disolver. El reactivo preparado se almacenó en la oscuridad. Para comprobar la validez de esta solución se colocó previo a cada análisis, 0,5 ml a 30 ml de la mezcla ácido acético-cloroformo, se agregó 2 gotas de solución de almidón al 1 % y se tituló con la solución de $Na_2S_2O_3$ 0,1 N. Cuando la solución consumió más de una gota fue necesario preparar una nueva solución.

c. *Solución de tiosulfato de sodio 0,1N y 0,01N.* Pesar 2,48 g $Na_2S_2O_3.5H_2O$ y disolver con agua destilada hervida y fría aforándose a 100 ml para conseguir la solución 0,1 N. Para la solución de 0,01N se toma 1 ml del 0,1N y aforamos en un balón de 10 ml (dilución 1/10)

d. *Solución de almidón 1%.* Disolver 1 g de almidón en agua destilada fría (formando una pasta) y se agregar 100 ml de agua destilada recién hervida. Agitar rápidamente la solución y enfriar. Hervir 1 min para disolver totalmente.

2.3.3.6. Preparación de la muestra

Las muestras de aceite líquidas, claras y sin sedimento se homogenizaron varias veces por inversión del recipiente que los contenía. Para las muestras que eran líquidas, turbias y con sedimento, se colocó el recipiente que lo contenía a 50 °C en la estufa hasta que alcance la temperatura correspondiente, y se procedió a homogenizar por inversión del recipiente. Si luego de calentar y agitar, la muestra presentaba un aspecto claro y sin sedimento, se procedió a filtrar dentro de la estufa a 50 °C (Figura 3).

Fig 5. Preparación de muestras de aceites líquidas, turbias y con sedimento.

2.3.3.7. Procedimiento

a. Pesar 5 g ± 0,05g de aceite en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se realiza por triplicado.

b. Agregar 30ml de la solución de ácido acético y cloroformo y agitar para disolver.

c. Añadir 0,5 ml de la solución saturada de IK, dejar reposar con movimientos ocasionales por 1 min, y añadir 30 ml de agua destilada.

d. Usando la solución de tiosulfato de sodio 0,1 N titular gradualmente y con agitación constante, hasta que el color amarillo haya casi desaparecido.

e. Añadir 0,5 ml de la solución indicadora de almidón 1 % y continuar la titulación , agitar constantemente para liberar todo el yodo de la capa de cloroformo, hasta que el azul desaparezca.

f. Si en la titulación se ha obtenido un valor menor de 0,5ml, repetir el ensayo usando solución de tiosulfato de sodio al 0,01N (Figura 4).

g. Realizar un solo ensayo en blanco con todos los reactivos sin muestra y siguiendo el mismo procedimiento para cada determinación o serie de determinaciones.

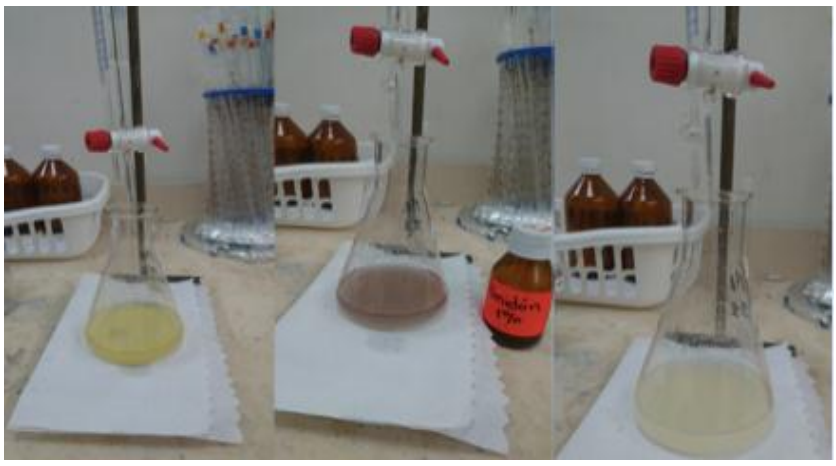

Fig 6. Titulación de la muestra de aceite.

2.3.3.8. Cálculo

$$\mathbf{IP} = \frac{\left(\mathbf{V}_{Na_2S_2O_3} - \mathbf{V}_{\mathbf{blanco}}\right) * \mathbf{N}_{Na_2S_2O_3}}{\mathbf{m}_{\mathbf{muestra}}} \quad \mathbf{(2)}$$

2.3.4. Determinación de ácidos grasos *trans*

El proceso de medición de los ácidos grasos *trans* (AGT) se realizó en un espectrofotómetro infrarrojo Nicolet IR 100 FTIR, éste cuenta con un dispositivo ATR. Las condiciones de trabajo en el espectrofotómetro fueron: una absorbancia entre 4000 cm^{-1} a 750 cm^{-1}, en donde se recogieron 32 barridos por cada lectura de las muestras de aceite con una resolución de 4 cm^{-1}.

Se utilizó aceite fresco como base de referencia para las muestras de aceite utilizadas en el proceso de fritura. Se colocó la muestra de aceite sobre la superficie del cristal hasta formar una película y luego se procedió a realizar su análisis. Para continuar con las lecturas sucesivas, se procedió a limpiar con un papel absorbente empapado en éter de petróleo la superficie del cristal, se dejó secar y se continúa con la siguiente muestra para su lectura respectiva.

El espectro obtenido de la muestra se relacionó con el espectro del material de referencia correspondiente al modelo desarrollado por Sherazi (2009). Este modelo establece los picos específicos para los ácidos grasos *trans* en rangos de 990–945 cm^{-1} y la ecuación para determinar el porcentaje de AGT es:

$$\%\boldsymbol{transtransmission}\ \mathbf{FT-IR} = -\mathbf{0.158} + \mathbf{1.847} * \boldsymbol{Area}_{\mathbf{945-990}\ \boldsymbol{cm}^{-1}} \quad \textbf{(3)}$$

r=0,99979 SD= 0,209

El área de cada pico de ácidos grasos *trans* fue determinado con el sistema software OMINIC, a cada espectro se aplicó la línea base automática y suavización automática para que el área del pico sea lo mas real posible.

2.3.5. Análisis Estadístico

El experimento fue realizado en función del diseño experimental factorial 2^3, con tres variables (tiempo, temperatura y razón). Los resultados obtenidos de las determinaciones analíticas, fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de significancia del 5%, empleando el Software Estadístico Minitab 18.

3. CAPITULO 2: RESULTADOS.

3.1. Evaluación del deterioro del aceite vegetal

La evaluación del deterioro del aceite se realizó mediante la determinación del índice de peróxido y ácidos grasos *trans* con un diseño factorial 2^3, compuestos con 8 unidades experimentales con su correspondientes replicas (16 experimentos en total). La tabla 4 demuestra cómo influyen las variables experimentales en el deterioro del aceite durante el proceso de fritura.

Tabla 4. Valor de índice de peróxidos (mEqO/kg) y porcentaje de ácidos grasos *trans.*

Número de Experimentos	Tiempo de uso del Aceite (horas)	Temperatura (°C)	Razón A/P(g/L)	Índice Peróxidos (mEqO/kg)	AGT
1	3	140	1,5/100	30,7	4,2
2	72	140	1,5/100	40,0	3,1
3	3	200	1,5/100	10,1	3,8
4	72	200	1,5/100	4,3	3,4
5	3	140	2/250	17,7	1,2
6	72	140	2/250	26,7	1,3
7	3	200	2/250	1,2	2,3
8	72	200	2/250	1,6	3,5
9	3	140	1,5/100	29,6	3,7
10	72	140	1,5/100	35,2	3,3
11	3	200	1,5/100	7,1	3,6
12	72	200	1,5/100	5,0	1,5
13	3	140	2/250	15,0	0,5
14	72	140	2/250	24,7	2,5
15	3	200	2/250	1,1	3,3
16	72	200	2/250	1,4	4,8

El valor promedio del índice de peróxidos de todas la unidades experimentales fue de 15,7 ± 13,6 mEqO/kg de aceite (1,1 a 40 meq/kg) y para AGT fue 2,9 ± 1,2 % de grasa total (0,5 a 4,8 %). En la figura 7 se presenta una comparación de los espectros de los AGT de aceite fresco con los experimentos con valores extremos de AGT (E1: 4,8% y E5: 1,3%).

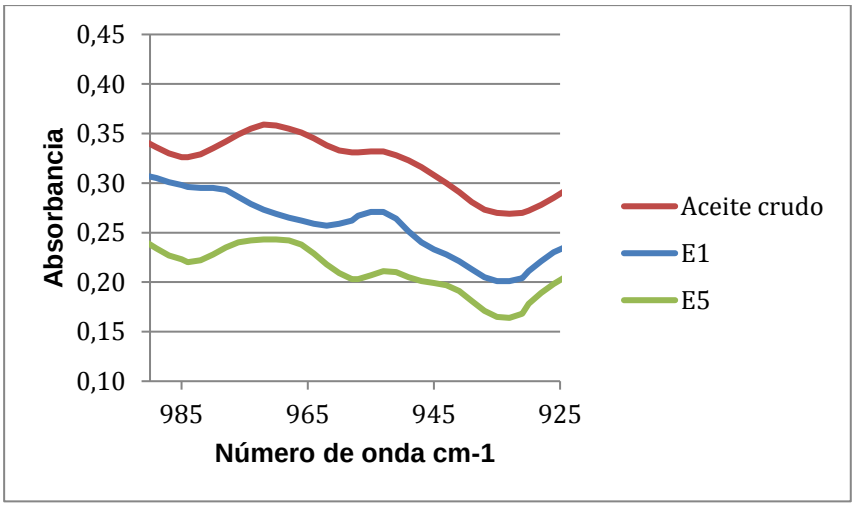

Fig 7. Espectro de los AGT de aceite crudo y experimento 1 y 5.

3.2. Análisis estadístico de la influencia de las variables que intervienen en el proceso de fritura.

La influencia de las variables experimentales en la producción de peróxidos y ácidos grasos *trans* según los dos niveles de cada factor estudiado (tiempo, temperatura y razón), se evaluaron mediante la ecuación del modelo factorial 2^3 completo con una replica. Para lo cual fue necesario realizar el análisis de cada variable respuesta.

3.2.1. Análisis de índice de peróxidos

Con los resultados de índice de peróxidos obtenidos en las unidades experimentales, se realizó la evaluación estadística mediante el modelo polinomial de interacción de tercer orden. La estimación de los efectos o interacciones de los factores estudiados en el diseño experimental sobre la variable respuesta (índice de peróxidos) se determinó combinando linealmente los datos usando la columna de signos correspondiente (Tabla 5). Mediante regresión de mínimos cuadrados se obtuvieron los coeficientes del modelo (Tabla 6).

Tabla 5. Matriz de experimentos y resultados de índice de peróxidos (mEqO/kg)

Experimentos	I	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Índice de Peróxidos
1	+	-	-	-	+	+	+	-	30,7
2	+	+	-	-	-	-	+	+	40,0
3	+	-	+	-	-	+	-	+	10,1
4	+	+	+	-	+	-	-	-	4,3
5	+	-	-	+	+	-	-	+	17,7
6	+	+	-	+	-	+	-	-	26,7
7	+	-	+	+	-	-	+	-	1,2
8	+	+	+	+	+	+	+	+	1,6
9	+	-	-	-	+	+	+	-	29,6
10	+	+	-	-	-	-	+	+	35,2
11	+	-	+	-	-	+	-	+	7,1
12	+	+	+	-	+	-	-	-	5,0
13	+	-	-	+	+	-	-	+	15,0
14	+	+	-	+	-	+	-	-	24,7
15	+	-	+	+	-	-	+	-	1,1
16	+	+	+	+	+	+	+	+	1,4

Tabla 6. Coeficientes de las variables.

Valores de Índice de Peróxidos							
b0	b1	b2	b3	b12	b13	b23	b123
15,717	1,657	-11,742	- 4,543	- 2,548	0,780	1,895	0,293

Para establecer los efectos e interacciones que predominaron en el modelo o por el contrario los que se consideraron no significativos, se utilizó el diagrama de Pareto (Fig. 8) y la gráfica de probabilidad normal (Fig. 9).

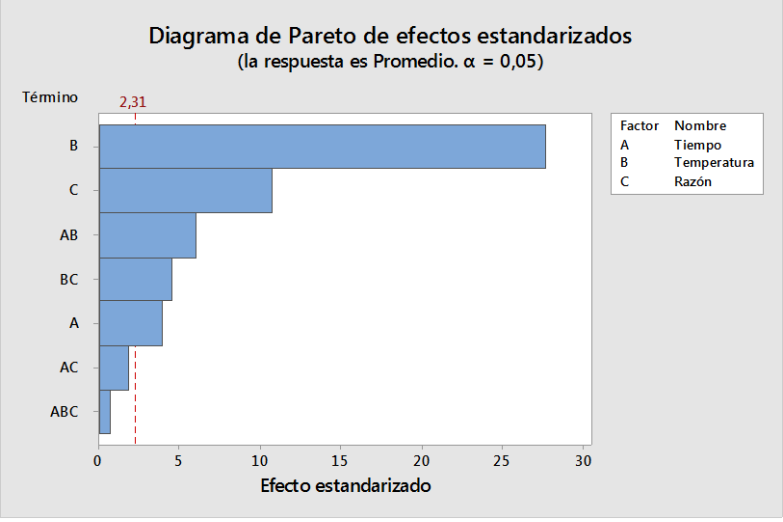

Fig 8. Diagrama de Pareto de índice de peróxidos.

En el diagrama Pareto se observó la magnitud y la importancia de los efectos. Las barras que representan los factores A (tiempo), B (temperatura) y C (razón) y las interacciones AB (tiempo-temperatura) y BC (Temperatura-razón) cruzan la línea de referencia (2.31) y son consideradas factores estadísticamente significativos en un nivel de confianza de 0.05.

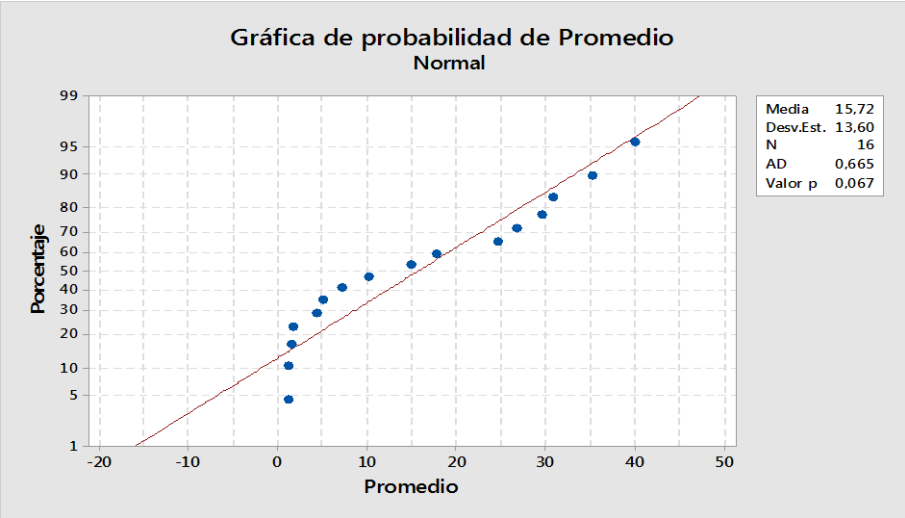

Fig 9. Gráfico de probabilidad normal de índice de peróxidos**.**

En el gráfico de probabilidad normal, se determinó que el valor p (0,067) es mayor al nivel de significancia de 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal, siendo esto aceptable. Sin embargo, la distribución normal parece no ajustarse adecuadamente a los datos, debido a que no forman una línea recta a lo largo de la línea de distribución.

Es por eso que a partir de esta pre-selección, se determinó que las interacciones AC (Tiempo-Razón) (p=0.102) y ABC (Tiempo-Temperatura-Razón) (p=0,508) no fueron significativas en el modelo, Por lo tanto, estas interacciones se eliminaron del modelo final obteniendo así una mejor estimación de la varianza residual en el que los factores estudiados (tiempo, temperatura y razón) y la interacciones AB (tiempo-temperatura) y BC (temperatura-razón) resultaron significativos para el índice de peróxidos (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) del índice de peróxidos.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Modelo	5	2741,5	548,3	161,32	<0,001
Lineal	3	2580,19	860,06	253,05	<0,001
Tiempo	1	43,95	43,95	12,93	0,005
Temperatura	1	2205,97	2205,97	649,04	<0,001
Razón	1	330,27	330,27	97,17	<0,001
Interacciones de 2 términos	2	161,31	80,65	23,73	<0,001
Tiempo*Temperatura	1	103,84	103,84	30,55	<0,001
Temperatura*Razón	1	57,46	57,46	16,91	0,002
Error	10	33,99	3,4		
Falta de ajuste	2	11,1	5,55	1,94	0,206
Error puro	8	22,89	2,86		
Total	15				

GL: grados de libertad; **SC**: suma de cuadrados; **MC**: media de cuadrados

La ecuación resultante que explica los efectos de cada variable independiente sobre el valor del índice de peróxidos se presenta a continuación (ecuación 4). A partir de esta ecuación, el menor valor ajustado de índice de peróxidos representaría la combinación más ventajosa de las variables independientes (Tabla 8). Por lo tanto, las condiciones del experimento 8 permitieron obtener el menor valor de índice de peróxidos, lo que corresponde a 72 horas para el tiempo de fritura, 200ºC de temperatura y una razón aceite/papas de 2 L/ 250 g.

$$IP = 64{,}76 + 0{,}4665\,A - 0{,}2991\,B - 15{,}28\,C - 0{,}002461\,AB + 0{,}0632BC \qquad (4)$$

Tabla 8. Estimación de resultados de índice de peróxidos.

Exp. No	Valores Observados	Valor ajustado
1	30,7	29,69
2	40	38,1
3	10,1	7,51
4	4,3	5,73
5	17,7	16,82
6	26,7	25,23
7	1,2	2,22
8	1,6	0,44

3.2.2. Análisis de los ácidos grasos *trans*

La influencia de las variables experimentales en la producción de ácidos grasos *trans* fue evaluado mediante un modelo polinomial, para lo cual se utilizó la matriz experimental. Los efectos de las variables experimentales sobre la variable respuesta fueron calculados empleando los signos de la columna indicados en la Tabla 9. Con estos datos se obtuvieron

los coeficientes del modelo mediante regresión de mínimos (Tabla 10).

Tabla 9. Matriz de experimentos y resultados de ácidos grasos *trans*

Experimentos	I	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	% AGT
1	+	-	-	-	+	+	+	-	4,2
2	+	+	-	-	-	-	+	+	3,1
3	+	-	+	-	-	+	-	+	3,8
4	+	+	+	-	+	-	-	-	3,4
5	+	-	-	+	+	-	-	+	1,2
6	+	+	-	+	-	+	-	-	1,3
7	+	-	+	+	-	-	+	-	2,3
8	+	+	+	+	+	+	+	+	3,5
9	+	-	-	-	+	+	+	-	3,7
10	+	+	-	-	-	-	+	+	3,3
11	+	-	+	-	-	+	-	+	3,6
12	+	+	+	-	+	-	-	-	1,5
13	+	-	-	+	+	-	-	+	0,5
14	+	+	-	+	-	+	-	-	2,5
15	+	-	+	+	-	-	+	-	3,3
16	+	+	+	+	+	+	+	+	4,8

Tabla 10. Coeficientes de las variables.

Valores de Ácidos grasos *trans*							
b0	**b1**	**b2**	**b3**	**b12**	**b13**	**b23**	**b123**
3,399	0,143	0,480	-0,522	0,480	0,041	0,139	0,025

Para conocer las variables ponderantes en el modelo, se utilizaron diagramas de Pareto (Fig.10) y gráficas de probabilidad normal(Fig.11).

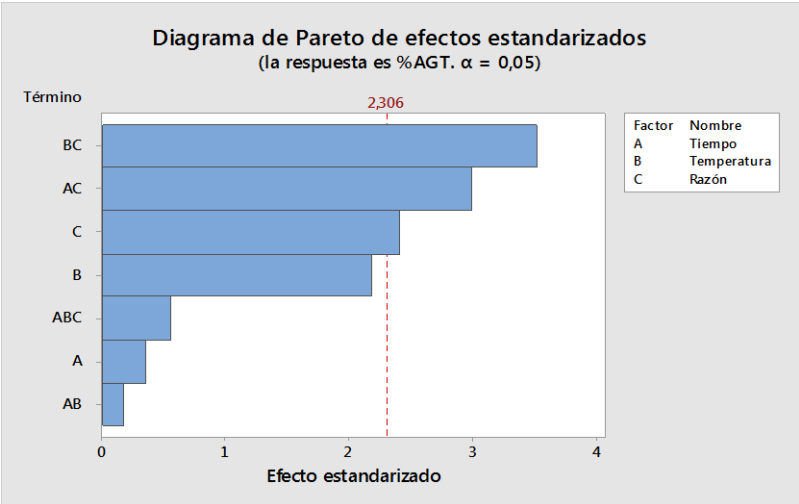

Fig 10. Diagrama de Pareto de AGT

En el diagrama Pareto se observó que las interacciones BC (temperatura-razón), AC (tiempo-razón) y la variable C (razón) son estadísticamente significativos ya que las barras que lo identifican tocan la línea de referencia (2,306).

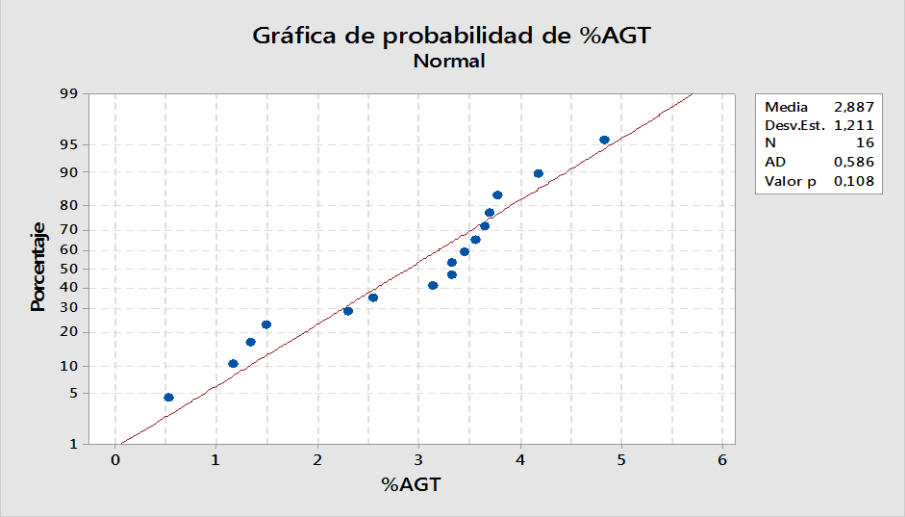

Fig 11. Gráfico de probabilidad normal de AGT.

En el gráfico de probabilidad normal se determinó que el valor p (0,108) es mayor al nivel de significancia de 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal, siendo esto aceptable. Sin embargo, los puntos de los datos no se encuentran alineados sobre la recta de distribución, lo cual indica que no existe un ajuste adecuado de estos.

A partir de este analisis, se determinó que las variables tiempo (p=0,731) y la temperatura (p=0.060) y sus interacciones de dos términos tiempo-temperatura (p=0,869) y tres términos tiempo-temperatura-razón (p=0,593) no presentan asociaciones estadísticamente significativas. Por lo tanto, sus interacciones se eliminaron del modelo final obteniendo así una mejor estimación de la varianza residual. Las variables razón (C), temperatura (B) y sus interacciones temperatura-razón (BC) y tiempo-razón (AC) resultaron significativos para el porcentaje de ácidos grasos *trans* (Tabla 11)

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) de los ácidos grasos trans.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor *p*
Modelo	5	17,4766	3,49532	7,71	0,003
Lineal	3	5,8203	1,94009	4,28	0,035
Tiempo	1	0,0691	0,06905	0,15	0,705
Temperatura	1	2,5956	2,59562	5,73	0,038
Razón	1	3,1556	3,15559	6,96	0,025
Interacciones de 2 términos	2	11,6563	5,82817	12,86	0,002
Tiempo*Razón	1	4,8816	4,88157	10,77	0,008
Temperatura*Razón	1	6,7748	6,77477	14,94	0,003
Error	10	4,5335	0,45335		
Falta de ajuste	2	0,1841	0,09206	0,17	0,847
Error puro	8	4,3494	0,54367		
Total	15	22,0101			

GL: grados de libertad; **SC**: suma de cuadrados; **MC**: media de cuadrados

Con el resultado obtenido del análisis de varianza y partir de la ecuación de regresión (ecuación 5) se busca obtener la combinación más ventajosa de las variables en el proceso de fritura. Por lo tanto, las condiciones del experimento 5 permitieron obtener el menor valor de AGT, lo que corresponde a 3 horas para el tiempo de fritura, 140 ºC de temperatura y una razón aceite/papas de 2 L/ 250 g.

$$\%\text{AGT} = 0.534 + 0{,}00190\ A + 0.01343\ B - 4.732\ C + 0{,}01601 AC + 0{,}02169\ BC \qquad (5)$$

Tabla 12. Estimación de resultados de los ácidos grasos *trans*.

Exp. No	Valores Observados	Valor ajustado
1	4,2	4,07
2	3,1	3,09
3	3,8	3,57
4	3,4	2,6
5	1,2	0,77
6	1,3	2,01
7	2,3	2,88
8	3,5	4,11

4. CAPITULO 3: DISCUSION

En el presente estudio se evaluó el deterioro del aceite comercial utilizado durante el proceso de fritura de papas fritas mediante un diseño experimental factorial 2^3 en el que se modificaron importantes factores que contribuyen en la degradación del aceite, y como resultado se midieron las concentraciones de peróxidos y ácidos grasos *trans* productos representantes de la degradación del aceite. Los factores analizados fueron el tiempo de fritura, la temperatura de fritura y la razón aceite/papa utilizada en la fritura. Los ocho experimentos del diseño fueron desarrollados por duplicado para estimar el error experimental.

A las condiciones sometidas en los experimentos, la concentración de peróxidos resultó en un rango de 1,1 a 40 mEqO/kg de aceite. Al modelar la influencia de cada factor, se observó que los factores tiempo, temperatura y razón, y las interacciones tiempo-temperatura y temperatura-razón fueron significativos para el modelo con un nivel de confianza del 95%. El tiempo, la temperatura y la razón ejercieron un efecto antagónico sobre los resultados, ya que al aumentar el valor de estas variables, la concentración del peróxido disminuyó. Esta relación inversa se basa en que al aumentar el tiempo y la temperatura de fritura sobre los 180°C la concentración de peróxidos disminuye. Esto puede deberse a la formación de productos secundarios de oxidación y la subsecuente disminución de peróxidos. Además, la razón aceite/papa fue la variable que generó mayor influencia en la formación de peróxidos. Esto puede estar relacionado a que si la cantidad de aceite con respecto a las papas es mayor, el aceite tiene menos contacto con la superficie de la papa, y en consecuencia, se obtienen pérdidas minoritarias tanto de agua como de compuestos del alimento hacia el aceite, evitando su degradación. En base a los resultados, se parecería que para disminuir la producción de peróxidos en el aceite utilizado durante el proceso de fritura de papas fritas, se deberían emplear los valores máximos de tiempo (72 horas), temperatura (200°C) y razón (2L/250g). Sin embargo, se debe recalcar que el índice de peróxidos es más bajo a valores máximos de tiempo y temperatura porque el aceite puede haber pasado a etapas más avanzadas de la oxidación mas no porque estas sean las condiciones más óptimas para la fritura en términos de protección del consumidor (González et al., 2012; Ziaiifar et al., 2008).

El comportamiento del índice de peróxidos observado en este estudio fue similar al obtenido por otros investigadores durante el calentamiento de aceite a diferentes temperaturas (Choe & Min, 2007; González et al., 2012). Por ejemplo, se han reportado concentraciones de peróxido de 237 mEqO/kg de aceite expuesto a una temperatura de 180°C durante 5 horas, llegando hasta 44 mEqO/kg de aceite después de 60 horas a la misma temperatura. Por otro lado, se obtuvo una concentración de 44 mEqO/kg al exponer el aceite a una temperatura de 250°C durante 5 horas, disminuyendo completamente (0 mEqO/kg) luego de 30 horas de exposición bajo la misma condición térmica.

(Choe & Min, 2007). En otro estudio se reportó un valor máximo de 5,1 mEqO/kg de peróxidos en aceite de maíz después de 12 h de fritura(González et al., 2012). Si bien los valores obtenidos en la literatura fueron distintos a los determinados en el estudio realizado, esto podría estar relacionado a uso de diferentes tipos de aceites con o sin aditivos antioxidantes. Por otro lado, se debería considerar que el índice de peróxidos es un indicador de degradación primaria del aceite durante el proceso de fritura, y por su inestabilidad, éste índice no debería ser utilizado como único parámetro para indicar la degradación térmica de un aceite.

Los ácidos grasos *trans* presentaron un valor mínimo de 1,2% y un máximo de 4,2 % de grasa total. En base a los resultados experimentales, se determinó que la variable razón y sus interacciones temperatura-razón y tiempo-razón fueron significativos en el modelo de producción de ácidos grasos *trans.* Al respecto, la variable razón presentó un efecto antagónico con los resultados de AGT. Por otro lado, la variable tiempo por sí sola no generó influencia, pero sí con su interacción tiempo-razón que presentó un mayor dominio. Por lo expuesto, se estableció que para tener una disminución del contenido de ácidos grasos *trans* en el aceite utilizado en el proceso de papas fritas, se deberían emplear los valores mínimos de tiempo (3 horas) y temperatura (140º C) y la razón máxima (2 L/ 250 g). Estos resultados concuerdan con lo expuesto en la literatura, pues se ha reportado que los ácidos grasos *trans* comienzan a producirse a partir de 150°C, alcanzando un valor máximo a una temperatura de 200°C. Además, estos ácidos grasos *trans* suelen presentarse en tiempos prolongados y con un número de ciclos de fritura mayor. Por ejemplo, se ha reportado un valor de 5% de AGT en aceites a una temperatura de 180°C calentado durante 2 horas (Hurtado, 2011). Mientras que en otro estudio a una temperatura de 190 °C durante 70 horas se ha reportado un valor de, 2.6% de AGT (Choe & Min, 2007). La variación de porcentajes entre el presente estudio y los reportados en literatura podría deberse a la inestabilidad del comportamiento de los AGT a tiempos prolongados a altas temperaturas, así como también a la inclusión del factor experimental razón aceite/papa que tuvo una fuerte influencia en la producción de AGT. Por lo tanto, se deduce que la cantidad de papa de la razón, podría actuar como un tipo de antioxidante natural. Investigaciones consideran que el alimento puede influir negativamente en el deterioro de la calidad de aceite, debido a la composición de estos, con producción de cambios que disminuyen la calidad o el comportamiento del aceite durante la fritura, como es el caso del almidón que contiene la papa(Wills Gutiérrez, 2014). Aunque, puede existir la probabilidad que la papa por su contenido de aminoácidos (lisina, Cisteína, Triptófano, Tirosina, Histidina, Metionina), diversas vitaminas hidrosolubles (vitamina C) y polifenoles (ácido clorogenico) pudiera actuar como un antioxidante natural protegiendo al aceite en la degradación(Lencina et al., 2012; Sakakibara, Honda, Nakagawa, Ashida, & Kanazawa, 2003).

Es necesario considerar que se observó una diferencia entre los valores de ajuste y experimentales en los modelos polinomiales de ambas variables respuesta, lo que sugeriría

que el modelo matemático utilizado no explica completamente el fenómeno estudiado. Esto también pudo deberse a errores de precisión durante la experimentación y otras variables influyentes en el proceso de fritura pero que no fueron consideradas para este estudio.

Es importante destacar que a partir del análisis de varianza se concluyó que la forma de la ecuación polinomial a través de las variables (tiempo, temperatura y razón) utilizadas en el diseño experimental no presenta una relación funcional (de forma) con las variables respuesta debido a que el valor p de la falta de ajuste es mayor a 0,05 (índice de peróxidos (p=0,206) y AGT (p=0,847)). Esto no quiere decir que el modelo no se ajusta adecuadamente a los datos, sino que es necesario incluir otras variables para mejorar el diseño experimental como tiempo de fritura de la papa, número de ciclos, tipo de freidoras, espesor de las papas, temperatura del ambiente, entre otras.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El presente estudio evidencia la complejidad del proceso de degradación del aceite, en el cual se incluyo los posibles factores más influyentes en el deterioro por fritura considerando las prácticas comunes a nivel local.

A partir del modelamiento de estos factores, se determinó que la variable razón fue la más influyente en la producción de peróxidos y AGT.

Adicionalmente, el tiempo y temperatura influyeron significativamente en la producción de peróxidos, pero en la producción de AGT influyó sólo la temperatura conjuntamente con la razón.

En cuanto al índice de peróxidos, se demostró que actúan como indicadores en la degradación primaria de aceites vegetales utilizados en procesos de fritura profunda de papas fritas bajo las condiciones experimentales (tiempo de uso, temperatura de fritura y razón) durante los ciclos de fritura establecidos en el estudio.

Dentro del análisis de varianza se determinó que es necesario considerar a otras variables que formaron parten del proceso de fritura de las papas fritas (tiempo de fritura de la papa, número de ciclos, tipo freidoras, espesor de las papas, temperatura del ambiente entre otras), para obtener una mayor relación funcional con el índice de peróxidos y los ácidos grasos *trans.*

5.2. Recomendaciones

Para establecer las mejores y más precisas condiciones de fritura para proteger a los consumidores de los productos de degradación sería necesario realizar más estudios, en los que se deberían considerar puntos de análisis en intervalos más cortos de tiempo por la inestabilidad de los productos de degradación en las primeras etapas de la oxidación, como lo observado con el índice de peróxidos.

Por otro lado, debería evaluarse más profundamente los productos de degradación a ser objeto de análisis. Al respecto, la norma vigente Ecuatoriana para grasas y aceites comestibles reutilizados, contempla los valores máximos permitidos de ácidos grasos libres y compuestos polares, que también suelen presentar un grado alto de inestabilidad.

Además, sería importante delegar a una entidad en la ciudad de Cuenca que se encargue de vigilar y controlar la reutilización de las grasas y aceites comestibles, en los lugares de expendio de alimentos fritos, siendo necesario contar con estos datos de referencia para conocer la calidad del aceite y su forma de empleo, debido a que esta relacionado con los

problemas de salud pública.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abilés, J., Ramón, A., Moratalla, G., Pérez-Abud, R., Morón Jiménez, J., & Ayala, A. (2009). Efectos del consumo de aceites termo-oxidados sobre la peroxidación lipídica en animales de laboratorio. *Nutrición Hospitalaria, 24*(4), 473-478.

Aniołowska, M., & Kita, A. (2015). The effect of type of oil and degree of degradation on glycidyl Esters content during the frying of French fries. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 92*(11-12), 1621-1631.

Avalos Zavaleta, E. T. (2015). Influencia del secado previo y del tiempo de fritura en las carácteristicas fisicoquímicas y aceptabilidad general de rebanadas de papa (solanum tuberosum) frita variedad huevo de indio.

Bansal, G., Zhou, W., Tan, T.-W., Neo, F.-L., & Lo, H.-L. (2009). Analysis of trans fatty acids in deep frying oils by three different approaches. *Food Chemistry, 116*(2), 535-541.

Bordin, K., Kunitake, M. T., Aracava, K. K., & Trindade, C. S. F. (2013). Changes in food caused by deep fat frying-A review. *Archivos latinoamericanos de nutricion, 63*(1), 5.

Botero, C. M. R., Ramírez, B. D. G., Hurtado, A. C. S., Galán, J. P. M., Zuleta, L. M. C., & Rojano, B. A. (2012). Contenido de compuestos polares totales en aceites de cocina previo uso más vendidos en Medellín (Colombia). *Perspectivas en Nutrición Humana, 14*(1), 59-69.

Choe, E., & Min, D. (2007). Chemistry of deep‐fat frying oils. *Journal of food science, 72*(5), R77-R86.

Correia, A. C., Dubreucq, E., Ferreira‐Dias, S., & Lecomte, J. (2015). Rapid quantification of polar compounds in thermo‐oxidized oils by HPTLC‐densitometry. *European Journal of Lipid Science and Technology, 117*(3), 311-319.

Cuesta, O., Sánchez, F., López, S., Garrido, M., & García, L. (1993a). Alteración termoxidativa en un aceite de girasol utilizado en 75 frituras de patatas: Efectos de su inclusión en dietas sobre crecimiento e ingesta en ratas. *Grasas Aceites, 44*, 263-269.

Cuesta, O., Sánchez, F., López, S., Garrido, M., & García, L. (1993b). Alteración termoxidativa en un aceite de girasol utilizado en 75 frituras de patatas: Efectos de su inclusión en dietas sobre crecimiento e ingesta en ratas. *Grasas Aceites, 44*, 263-269.

Dergal, S. B. (2006). *Química de los alimentos*: Pearson Educación.

Dobarganes, C., & Márquez-Ruiz, G. (2015). Possible adverse effects of frying with vegetable oils. *British Journal of Nutrition, 113*(S2), S49-S57.

González, J., Klee, R., Valle, F., & Artiga, A. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE DETERIORO DE ACEITES COMESTIBLES SALVADOREÑOS EN EL FREÍDO.

González, J., Klee, R., Valle, F., & Artiga, A. (2012). EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE DETERIORO DE ACEITES COMESTIBLES SALVADOREÑOS EN EL FREÍDO. *Universidad Centroamericana del Salvador. El Salvador*.

Houhoula, D. P., Oreopoulou, V., & Tzia, C. (2002). A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 79*(2), 133-137.

Hurtado, A. C. S. (2011). La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. *Perspectivas en nutrición humana, 11*(1), 39-53.

INEN, S. E. d. N. (2014). *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 232 "GRASAS Y ACEITES UTILIZADOS DURANTE LOS PROCESOS DE FRITURAS"*. Quito,Ecuador Retrieved from http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/10/RTE-232.pdf.

Jaarin, K., & Kamisah, Y. (2012). Repeatedly heated vegetable oils and lipid peroxidation. In *Lipid Peroxidation*: InTech.

Lalas, S. (2008). Quality of frying oil. *Advances in deep-fat frying of foods. CRC Press, New York*, 57-81.

Lencina, M. S., Gomez, M. B., Costa, E. R., Abalos, A. R., Frigola, A., & Estevés, M. J. (2012). Análisis de grasas y vitamina C en papas congeladas fritas en diferentes aceites. *Diaeta, 30*(139), 0-0.

Lundstedt, T., Seifert, E., Abramo, L., Thelin, B., Nyström, Å., Pettersen, J., & Bergman, R. (1998). Experimental design and optimization. *Chemometrics and intelligent laboratory systems, 42*(1), 3-40.

Masson, L., Robert, P., Romero, N., Izaurieta, M., Valenzuela, S., Ortiz, J., & Dobarganes, M. C. (1997). Comportamiento de aceites poliinsaturados en la preparación de patatas fritas para consumo inmediato: Formación de nuevos compuestos y comparación de métodos analíticos. *Grasas y aceites, 48*(5), 273-281.

Organization, W. H. Eliminating trans fats in Europe: a policy brief. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2015. In.

Ramírez, A., & Jimena, M. (2011). Evaluación de la calidad del aceite de mezclas vegetales utilizado en doce frituras sucesivas empleado para freír plátano hartón verde.

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, 35*(3), 157-164.

Sahin, S., Sastry, S., & Bayindirli, L. (1999). Heat transfer during frying of potato slices. *LWT-food science and technology, 32*(1), 19-24.

Sakakibara, H., Honda, Y., Nakagawa, S., Ashida, H., & Kanazawa, K. (2003). Simultaneous determination of all polyphenols in vegetables, fruits, and teas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51*(3), 571-581.

Sumnu, S. G., & Sahin, S. (2008). *Advances in deep-fat frying of foods*: CRC Press.

Sánchez-Gimeno, A., Benito, M., Vercet, A., & Oria, R. (2008). Aceite de oliva virgen extra del Somontano: evaluación de las modificaciones físico-químicas tras la fritura doméstica de patatas prefritas congeladas. *Grasas y aceites, 59*(1), 57-61.

Tirado, D., Acevedo, D., & Guzmán, L. (2012). *Freído por inmersión de los alimentos*: Revista ReCiTeIA.

Uribe, E. H. R., & Rincón, P. C. N. (2011). Método de análisis de calidad del aceite durante el freído por inmer-sión para pequeñas y medianas empresas. *Ingeniería e Investigación, 31*(1), 83-92.

Viera Guerrero, J. (2012). Estabilidad del aceite de fritura de chifles.

VÉLEZ, J., & Hernández, J. (1999). Proceso de fritura de alimentos. Una revisión. *Información Tecnológica, 10*(2).

Vélez Vinueza, M. J. (2014). *Evaluación del riesgo toxicológico en la variación de la concentración de peróxidos en las diferentes variedades de papas fritas, expendidas en la ciudad de Cuenca.*

Wills Gutiérrez, C. (2014). Comportamiento del Aceite de Palma (Elaeis Guineensis Jacq) y el Aceite de Oliva (Olea Europea) en el método de cocción: Fritura profunda.

Ziaiifar, A. M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I., & Trystram, G. (2008). Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep‐fat frying process. *International journal of food science & technology, 43*(8), 1410-1423.

7. ANEXOS

ANEXO 1

1. Ciclo de fritura realizadas en el periodo de 3 horas con 5 frituras

Temperatura del Aceite (°C)	Volumen de Aceite (litros)	Peso de papas(gr)	Tiempo de pre-calentamiento de aceite(min)	Tiempo de fritura (min)	Tiempo entre fritura (min)
140 o 200	1,5 o 2		40		
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	

2. Ciclo de fritura realizadas en el periodo de 72 horas con 12 frituras

Temperatura del Aceite (C)	Volumen de Aceite (litros)	Peso de papas(gr)	Tiempo de pre-calentamiento de aceite(min)	Tiempo de fritura (min)	Tiempo entre fritura (min)
140 o 200	1,5 o 2		40		
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2	Se deja enfriar y medir el volumen de aceite			
140 o 200	1,5 o 2		40		
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2	Se deja enfriar y medir el volumen de aceite			
140 o 200	1,5 o 2		40		
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	
140 o 200	1,5 o 2				30
140 o 200	1,5 o 2	100 o 250		10 o 3	

Anexo 2

1. Condiciones de uso del aceite vegetal en el proceso de fritura

Experimento	T (°C)	t (h)	ra	nfr	P(g)	V(L)
E1	140	3	No		100	1,5
E2	140	72	Si	5	100	1,5
E3	200	3	No		100	1,5
E4	200	72	Si	5	100	1,5
E5	140	3	No		250	2
E6	140	72	Si	5	250	2
E7	200	3	No		250	2
E8	200	72	Si	5	250	2

T: Temperatura(°C)
t: Tiempo de uso de aceite (h)
ra: Existe reposición de aceite durante proceso de fritura
P: peso de las papas (g)
V: volumen de aceite (L)
nfr : a partir de cuantas frituras se añade el aceite sin usar