



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN ANTIOXIDANTE NATURAL A
BASE DE EXTRACTO DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) EN ACEITE PARA FREIR**

Jennifer Gabriela Bautista Ardeano

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma de Martini

Guatemala, junio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN ANTIOXIDANTE NATURAL A
BASE DE EXTRACTO DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) EN ACEITE PARA FREIR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JENNIFER GABRIELA BAUTISTA ARDEANO

ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

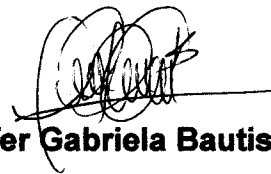
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Cesar Alfonso García Guerra
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN ANTIOXIDANTE NATURAL A BASE DE EXTRACTO DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) EN ACEITE PARA FREIR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha noviembre de 2011.



Jennifer Gabriela Bautista Ardeano

Guatemala 14 de Enero del 2014

Ingeniero

Víctor Manuel Monzón Valdés

Director

Escuela de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he revisado y dado mi aprobación al informe final del trabajo de graduación **“Evaluación del efecto de la aplicación de un antioxidante natural a base de extracto de romero (*Rosmarinus officinalis*) en aceite para freír”**, de la estudiante Jennifer Gabriela Bautista Ardeano quien se identifica con el carné 200312373.

Sin otro particular me suscribo de usted

Atentamente



Inga. Qca. Hilda Palma de Martini.

Asesora

Colegiada No 453

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 23 de enero de 2014
 Ref. EIQ.TG-IF.003.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **266-2011** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Jennifer Gabriela Bautista Ardeano**

Identificada con número de carné: **2003-12373**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN ANTIOXIDANTE NATURAL A BASE DE EXTRACTO DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) EN ACEITE PARA FREÍR

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma de Martini**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


 Ing. César Alfonso García Guerra
 COORDINADOR DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación

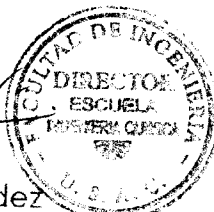



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.071.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **JENNIFER GABRIELA BAUTISTA ARDEANO** titulado: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN ANTIOXIDANTE NATURAL A BASE DE EXTRACTO DE ROMERO (*ROSMARINUS OFFICINALIS*) EN ACEITE PARA FREIR". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala




Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 264.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN ANTIOXIDANTE NATURAL A BASE DE EXTRACTO DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*) EN ACEITE PARA FREIR**, presentado por la estudiante universitaria **Jennifer Gabriela Bautista Ardeano**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 4 de junio de 2014

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi Padre, mi guía, mi fortaleza y mi mejor maestro.
Mis padres	Ebenidia Ardeano y Gustavo Bautista, por el apoyo y amor incondicional; por sus consejos y paciencia y por confiar en mí. Los amo mucho.
Mis hermanos	Saida y Jerson Bautista, por ser mis compañeros fieles en todo momento.
Mi esposo	Byron Turcios, por ese amor incondicional, por ser mi amigo, mi cómplice, mi todo; te amo.
Mi hijo	Lucas Turcios, por ser mi fuente de inspiración y el motor que impulsa mi vida.
Mis amigos	Por su apoyo incondicional en los momentos que lo necesité. En especial a Nuggy Ardeano.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por enviarme la paciencia y sabiduría para culminar este ciclo tan deseado.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi alma máter, e imprimir en mí la conciencia y responsabilidad social de mi país.
Facultad de Ingeniería	Por haberme brindado las herramientas para forjarme como profesional.
Inga. Hilda Palma	Por ser la mentora y tutora en mi formación académica, compartiendo sus vastos conocimientos; enseñándome el modelo de rectitud en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Grasas y aceites	3
2.1.1. Definición de grasas y aceites	3
2.1.2. Estructura y composición química de los aceites aptos para fritura	10
2.1.3. Componentes naturales de los aceites y grasas ...	14
2.2. Principios generales del proceso de fritura	15
2.2.1. El proceso de la fritura	16
2.2.2. El ciclo de la vida de las grasas.....	17
2.2.3. Reacciones de las grasas.....	19
2.2.3.1. Oxidación.....	19
2.2.3.2. Polimerización	23
2.2.3.3. Hidrólisis	24
2.3. Antioxidantes	25

2.3.1.	Generalidades, tipos y estructuras de antioxidantes	25
2.3.2.	Mecanismos de reacción de los antioxidantes primarios.....	29
2.3.3.	Antioxidantes secundarios.....	32
2.3.4.	Propiedades de los antioxidantes.....	32
2.4.	Métodos de medición para conocer el grado de oxidación de las grasas y aceites	34
2.4.1.	¿Por qué medir?.....	35
2.4.2.	Los diferentes métodos de medición.....	37
2.4.2.1.	Columna cromatográfica para determinar los componentes polares	37
2.4.2.2.	Medición capacitiva de los componentes polares totales	39
2.4.2.3.	Equipo Testo 270	41
2.4.2.4.	Tira reactiva para la medición de ácidos grasos libres	44
2.4.2.5.	Comprobación del color del aceite	45
2.4.2.6.	Identificación del punto de humo	46
2.4.2.7.	Grado de acidez (% AG libres).....	47
2.4.2.8.	Índice de yodo (IN)	47
2.4.2.9.	Índice de peróxido (PN)	47
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	49
3.1.	Variables	49
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	52

3.2.1.	Universo del campo de estudio.....	52
3.2.2.	Selección y tamaño de la muestra.....	52
3.3.	Recurso humano disponible	53
3.4.	Recursos materiales disponibles	54
3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa	54
3.5.1.	Técnica cualitativa	54
3.5.2.	Técnica cuantitativa	56
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	56
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	57
3.7.1.	Tabulación de los datos obtenidos	57
3.7.2.	Ordenamiento de datos y procesamiento de información	58
3.8.	Análisis estadístico	59
4.	RESULTADOS	61
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	65
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES.....	69
	BIBLIOGRAFÍA	71
	APÉNDICES	73
	ANEXOS	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Triglicéridos	4
2.	Ácidos grasos saturados	5
3.	Ácido graso monoinsaturado.....	6
4.	Ácido graso poliinsaturado	7
5.	Ácido graso cis	8
6.	Ácido graso trans	8
7.	Componente TPM	10
8.	Reacciones entre el alimento y el aceite durante el proceso de fritura	16
9.	Ciclo de vida de las grasas para freír	18
10.	Fase de inducción	21
11.	Fase de crecimiento de la cadena.....	22
12.	Reacción final de cadena	22
13.	Medición de compuestos polares por cromatografía.....	39
14.	Medición de compuestos polares por medición capacitiva.....	40
15.	Sensor de medición de aceite	42
16.	Medidor Testo 270	43
17.	Indicador LED en el visualizador	44
18.	Medición de ácidos grasos libres por el método de la tira reactiva	45
19.	Recolección y ordenamiento de la información.....	57
20.	Capacidad de fritura del aceite sin antioxidante	62
21.	Capacidad de fritura del aceite con antioxidante.....	62

22.	Componentes polares en aceite utilizado para fritura	63
23.	Comparación económica de los casos en estudio	63

TABLAS

I.	Contenido de ácidos grasos en aceites vegetales adecuados para freír.....	13
II.	Absorción de grasas de varios alimentos durante la fritura.....	17
III.	Clasificación de los valores TPM para el envejecimiento de la grasa ..	36
IV.	Variables en la evaluación de los materiales polares totales presentes en el aceite sin antioxidante	49
V.	Variables en la evaluación de los materiales polares totales presentes en el aceite con antioxidante	51
VI.	Tabulación de los resultados de las pruebas sensoriales	56
VII.	Ejemplo de tabulación de datos en bruto, para aceite sin antioxidante.....	58
VIII.	Ejemplo de tabulación de datos en bruto para aceite con antioxidante	58
IX.	Calidad de la grasa con base en el material polar total presente.....	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Q	Calor
ΔT	Cambio de temperatura
Cp	Capacidad calorífica
σ	Desviación estándar
°C	Grados Celsius
lb	Libra
mg	Miligramo
mL	Mililitro
N	Número de corridas realizadas
μ	Promedio
X_i	Valor de la variable para esa corrida

GLOSARIO

Ácido graso libre	Producto final del proceso de oxidación de una grasa o aceite.
Antioxidante	Compuesto químico que protege a las grasas y aceites contra los efectos destructivos de las reacciones de oxidación.
Extracto de romero	Antioxidante natural extraído de la planta <i>Rosmarinus officinalis L.</i>
Instauración	Número de enlaces dobles susceptibles a la oxidación, que contienen los ácidos grasos.
Quelante	Grupo de sustancias también denominadas antioxidantes secundarios o sinérgicos, cuya acción antioxidante se basa en el secuestro de las trazas metales presentes en el alimento.
Radical libre	Moléculas altamente reactivas, que contienen un electrón no apareado.
Triglicérido	Compuesto formado por una molécula de glicerol y tres de ácidos grasos.

RESUMEN

Para ser competitivos en el mercado actual, las industrias dedicadas a la elaboración de alimentos fritos deben optimizar el uso de sus materias primas, algunas veces extendiendo su vida útil. Para evitar su deterioro, hoy en día, son varios los alimentos que demandan la adición de un antioxidante para inhibir su oxidación.

El tema propuesto tiene como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de un antioxidante natural a base de extracto de romero (*Rosmarinus officinalis*) en aceite para freír.

Para realizar esta evaluación se llevó a cabo un estudio durante varias semanas, el cual consistió en que a muestras de aceite con y sin antioxidante durante un intervalo de tiempo definido; se les midió el porcentaje de compuestos polares presentes, utilizando para ello el equipo TESTO 270. Dichas mediciones se realizaron en el laboratorio de investigación y desarrollo de la empresa Asesoría en Alimentos ASEAL, S .A.

Los resultados obtenidos de dicho estudio, a un grado de confiabilidad del 95 % fueron los siguientes: se logró duplicar la vida útil del aceite, el cual luego de ser utilizado 8 días pasó a ser utilizado 15 días, sin afectar la calidad de fritura tanto en papas como en pollo; en términos de piezas de pollo, se logró freír un promedio 300-350 piezas de pollo, utilizando este antioxidante.

En cuanto a la viabilidad económica, se obtiene un ahorro del 41.07 %, en el caso de usar aceite con antioxidante. Por otro lado, las evaluaciones sensoriales dieron como resultado una probabilidad de 0.075, que indica que el antioxidante de romero, no proporciona ningún sabor o aroma característico al producto final obtenido.

OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto del extracto de romero con antioxidante natural a través de la valoración de los materiales polares totales presentes en un aceite para freír, logrando con esto alargar su vida útil.

Específicos

1. Medir el efecto antioxidante del extracto de romero en aceite para freír pollo y papas, mediante el parámetro porcentaje de materiales polares totales.
2. Realizar pruebas en locales que se dedican a la fritura de pollo y papas como su actividad comercial y así lograr condiciones reales para el estudio.
3. Determinar a través de la prueba de triángulo para diferencia, cualquier efecto sensorial impartido por el antioxidante al producto final del proceso de fritura de pollo y papas.
4. Determinar la viabilidad económica del uso del extracto de romero como antioxidante, con base en la reducción de aceite utilizado en el proceso de fritura.

Hipótesis

El extracto de romero es un antioxidante efectivo que logra estabilizar la degradación contra la oxidación del aceite de soya, resistente a altas temperaturas, utilizado para freír pollo y papas, logrando con esto aumentar su vida útil, en comparación con la del aceite sin aplicar este extracto.

INTRODUCCIÓN

Los antioxidantes de calidad alimenticia proporcionan estabilidad a las grasas y aceites, contribuyendo a alargar su vida útil en la producción de alimentos fritos; resultados que se reflejan en una reducción de desperdicios y un aumento en las ventas. A calidad y cantidad de antioxidante, aplicado al alimento a preservar, dependerá de factores tales como: disponibilidad en el mercado, condiciones en el proceso de fritura a las cuales este estará expuesto, precio, naturaleza del mismo alimento y otros.

Los alimentos fritos adquieren gran parte de las propiedades de los aceites, como olor, sabor y color, a causa de la gran cantidad que estos absorben, producto de la sustitución del agua por el aceite en el proceso de fritura (deshidratación). Si el aceite tiene color, sabor u olor extraño, el alimento los absorberá. Los antioxidantes para grasas y aceites, son clase aparte, debido a las extremas condiciones en los procesos de fritura, en donde el aceite juega un papel muy importante, como medio de transferencia de calor y masa.

Por todo lo anteriormente descrito, el presente estudio tiene como propósito, determinar la efectividad del extracto de romero como un antioxidante natural adecuado para estabilizar contra la oxidación un aceite utilizado en procesos de fritura. Para su determinación se utilizó el método de Medición capacitiva del material polar total, el cual requerirá de un equipo específico para su análisis.

1. ANTECEDENTES

Los documentos de investigación y trabajos realizados referente al uso de antioxidantes de romero en aceites de fritura por parte de la empresa VITIVA S. A., presentan resultados en donde este antioxidante proporciona una mayor protección al aceite, en relación con otros antioxidantes de origen sintético (BHA y TBHQ), sin conferirle al producto final aromas o sabores distintos a los usuales.

Estos estudios se realizaron variando tipos de aceite y antioxidantes, bajo los parámetros estandarizados en los procesos de fritura europeos (temperaturas y tiempos de cocción); en todos los casos analizados, el extracto de romero presentó resultados más beneficiosos desde el punto de vista técnico y económico, en relación con los antioxidantes sintéticos. Dichos estudios también fueron realizados con la ayuda del equipo Testo 270.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Grasas y aceites

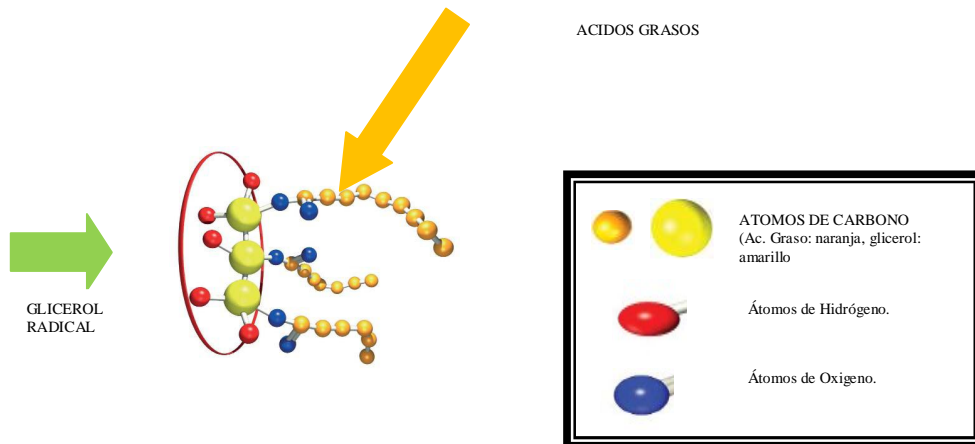
Las grasas y aceites grasos (también llamados lípidos) son sustancias no solubles en agua de consistencia líquida o sólida. A las grasas que mantienen su estado líquido por debajo de los 20 °C se les denomina generalmente como aceites.

2.1.1. Definición de grasas y aceites

Las grasas y aceites son triglicéridos formados por una molécula de glicerol y tres de ácidos grasos. Las peculiares propiedades de las grasas y aceites se las conceden los diferentes tipos de ácidos grasos (carboxílicos) unidos al triglicérido. A continuación se incluyen definiciones importantes:

- Triglicéridos: todas las grasas ya sean de origen animal, vegetal, líquidas o sólidas, tienen la misma estructura. La molécula de la grasa siempre consiste en un glicerol (alcohol). Esto forma la espina dorsal de la molécula. Los tres ácidos grasos (cadenas de hidrocarbonos) están unidos a la molécula del glicerol, formando así un triglicérido. Todas las grasas naturales tienen habitualmente diferentes ácidos grasos unidos al glicerol, por lo que también se conocen como triglicéridos mixtos.

Figura 1. Triglicéridos

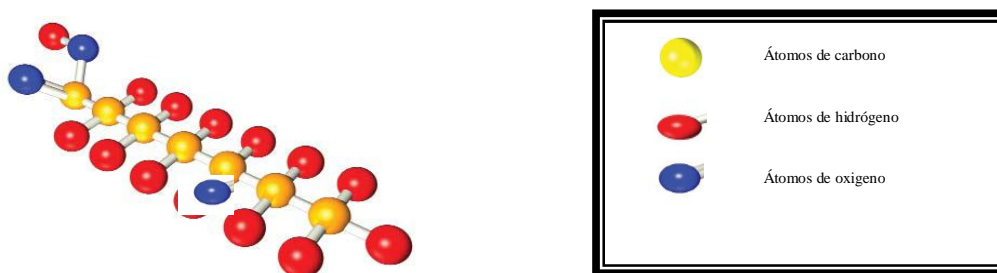


Fuente: elaboración propia, con programa Chems sketch.

- Ácidos grasos: consisten en una cadena de átomos de carbono (C) a los que se unen los átomos de hidrógeno (H). Los ácidos grasos naturales tienen habitualmente un número par de átomos de carbono (C), ya que las cadenas se forman en unidades C-C. Los ácidos grasos se clasifican según la longitud de su cadena (cadena corta, media o larga); su grado de saturación (saturados o insaturados) y la posición de los dobles enlaces (por ejemplo entre el noveno y el décimo átomo de carbono).
- Ácidos grasos saturados: si el número máximo de átomos de hidrógeno que pueden contener las cadenas de carbono está unido a dichas cadenas, estas se describen como "saturadas" (figura 2). En estas cadenas, las cuatro valencias (los "brazos" de los átomos de carbono) están "saturadas". Los ácidos grasos saturados están "saturados e inertes", son por tanto muy estables.

En términos de utilización, esto significa que pueden aguantar elevadas temperaturas y almacenarse durante largos periodos. Un ácido graso saturado muy común es el ácido esteárico con 18 átomos de carbono.

Figura 2. **Ácidos grasos saturados**

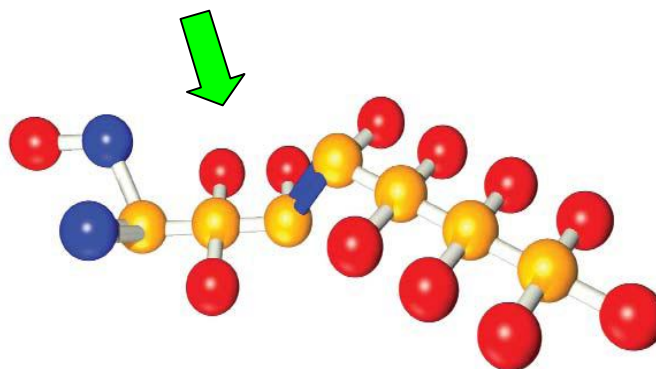


Fuente: elaboración propia, con programa Chemskech.

Los enlaces simples entre dos átomos de carbono (C-C) pueden rotar libremente. La molécula de ácido graso es por tanto extremadamente móvil; las cadenas de carbono de los ácidos grasos se pueden organizar por sí mismas en líneas rectas y ocupar menos espacio, razón por la cual las grasas con un número elevado de ácidos grasos saturados son sólidas a temperatura ambiente. Debido a su reactividad inerte, las grasas con un elevado contenido en ácidos grasos saturados son las idóneas para la elaboración de frituras.

- **Ácidos grasos insaturados:** se dividen en ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados. Los ácidos grasos monoinsaturados tienen dos átomos de hidrógeno menos, lo que significa que los dos brazos libres, se une y forma un segundo enlace, denominado “doble enlace”, entre dos átomos de carbono. El ácido graso monoinsaturado más común es el ácido oleico. Es un derivado del ácido esteárico y también está formado por 18 átomos de carbono.

Figura 3. **Ácido graso monoinsaturado**



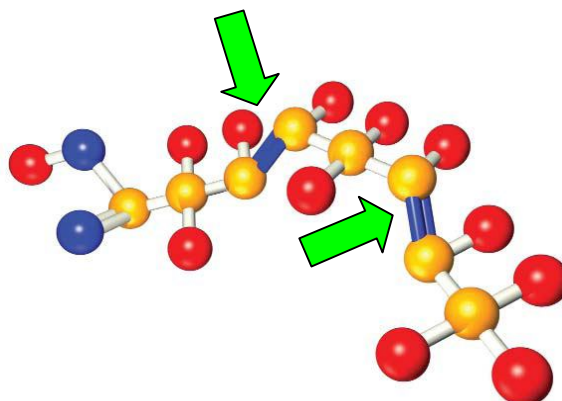
Fuente: elaboración propia, con programa Chems sketch.

Los ácidos grasos poliinsaturados tienen varios átomos de hidrógeno menos. Un ejemplo de ácido graso poliinsaturado es el ácido linoleico, con 18 átomos de carbono y dos enlaces dobles. A mayor número de dobles enlaces, más insaturados y reactivos son los ácidos grasos.

Los ácidos grasos insaturados tienen un papel especial dentro de la fisiología nutricional.

El cuerpo humano por sí mismo no puede producir ácidos grasos poliinsaturados (por ejemplo linoleo y ácido linoleico), pero los necesita para la generación de células, por ejemplo: por la misma razón, las grasas animales son bajas en contenido de estos ácidos grasos vitales. Por el contrario, los aceites vegetales como el aceite de girasol, son ricos en ácidos grasos insaturados.

Figura 4. **Ácido graso poliinsaturado**



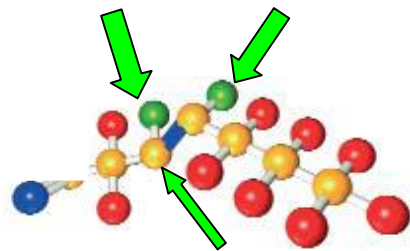
Fuente: elaboración propia, con programa Chemskech.


Las grasas que se componen mayoritariamente de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados; se fusionan a temperatura inferior que las grasas con un número elevado de ácidos grasos saturados, es decir su estado es líquido a temperatura ambiente. Como regla general, entre más larga y más enlaces dobles contiene la cadena, menor será la temperatura a la que la grasa se fusione. Las grasas con una elevada proporción de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados son más propensas a envejecer que los ácidos grasos saturados y por tanto no son adecuadas para la elaboración de frituras.

Desde el punto de vista de salud, sin embargo, es recomendable el uso de grasas con la máxima proporción posible de ácidos grasos insaturados. Las grasas de cocinar actuales tienen una elevada proporción de los ácidos grasos beneficiosos y se han modificado de tal manera que se mantienen estables a elevadas temperaturas.

- Ácidos grasos trans: otra forma de ácidos grasos insaturados son los ácidos grasos trans. Sus enlaces dobles tiene una estructura espacial especial que en química se suele denominar forma trans (figura 6), en oposición a forma cis (figura 5).

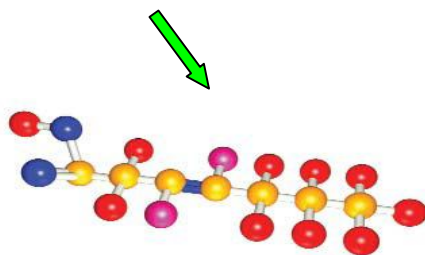
Figura 5. **Ácido graso cis**



 Átomo de hidrógeno en posición cis.

Fuente: elaboración propia, con programa Chems sketch.

Figura 6. **Ácido graso trans**



 Átomo de hidrógeno en posición trans

Fuente: elaboración propia, con programa Chems sketch.

En un ácido graso cis, los dos átomos de hidrógeno (de verde en la ilustración) están en el mismo lado; en este caso, en el lado superior. Por el contrario, en un ácido trans, los dos átomos de hidrógeno (de color rosa en la ilustración) están opuestos el uno con el otro.

Los ácidos grasos trans se encuentran principalmente en las grasas nutricionales de origen animal. Se producen por ejemplo, como resultado de la conversión de ácidos grasos cis naturales por microorganismos en el aparato digestivo de los rumiantes, y de ahí pasan a la leche o a la carne.

En las grasas vegetales, los ácidos grasos trans se producen principalmente en el proceso intermedio de endurecimiento.

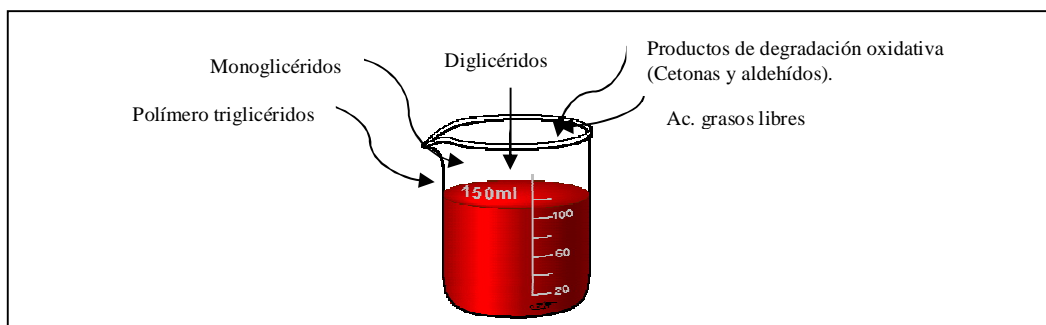
En las grasas conocidas como parcialmente endurecidas, la proporción de ácidos grasos trans es considerablemente más alta que en las grasas totalmente endurecidas.

En la fisiología nutricional, los ácidos grasos trans están a la par con los ácidos grasos saturados.

La característica común en ambos tipos es que los dos incrementan el nivel de colesterol en la sangre y por tanto el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. En cambio los ácidos grasos cis reducen el nivel de colesterol y por tanto tienen un efecto positivo en la salud.

Durante la elaboración de frituras, los ácidos grasos mencionados se separan del glicerol radical como resultado de varias reacciones, y junto a los ácidos grasos libres monoglicéridos y diglicéridos; los polímeros triglicéridos o productos de degradación oxidativa como aldehídos o cetonas, son algunas de las sustancias producidas. Estas se agrupan bajo la denominación de componentes polares totales (del inglés "*total polar materials*"), y se usan como un indicador para medir el grado de descomposición de las grasas.

Figura 7. **Componente TPM**



Fuente: elaboración propia, con programa Chemskech.

2.1.2. Estructura y composición química de los aceites aptos para fritura

La selección del mejor aceite o mezcla de aceites para la preparación de alimentos depende de diversos factores. Aunque los aceites vegetales pueden ser usados como portadores de sabor, olor y color, revestimientos o como ingredientes en sí mismo, la aplicación más común de los aceites en la industria es como medio de transferencia de calor para freír. Para escoger el aceite ideal para freír, deben considerarse muchas variables como: propiedades, sabor, estabilidad, valor nutritivo, precio y disponibilidad.

Las características del sabor de un alimento frito son el resultado de la reacción del aceite con los componentes de la proteína y los carbohidratos del producto alimenticio, más el propio sabor del aceite. Muchos aceites son desodorizados durante el procesamiento, y tienden a ser casi completamente blandos en sabor. Sin embargo con el tiempo los aceites tienen una tendencia natural a revertir el sabor característico que tenían antes de ser desodorizados.

La exposición del aceite a altas temperaturas, a la luz ultravioleta, al oxígeno del aire, a los iones metálicos y otros catalizadores, acelera este proceso.

Bajo condiciones normales, en el proceso de fritura, los aceites se comportan de forma diferente, debido a la estructura química que estos poseen, compuestos de varios triglicéridos cuyas propiedades se ven afectadas en el proceso de fritura.

Los ácidos grasos que contienen enlaces dobles son los más susceptibles a la oxidación, los aceites bien procesados que contienen niveles más bajos de estos ácidos grasos son más estables. Los tres ácidos que contienen enlaces dobles son el oleico (un enlace doble), linoleico (dos enlaces dobles) y linolénico (tres enlaces dobles).

El ácido linolénico es el más susceptible a la oxidación, así los aceites que contienen niveles bajos de este ácido son generalmente aceptados. Si el ácido graso no contiene un enlace doble es considerado "saturado", porque cada átomo de carbono está adherido al mayor número de átomos de hidrógeno. Los ácidos grasos que contienen un enlace doble son considerados monoinsaturados y los ácidos grasos con dos o más enlaces dobles son poliinsaturados.

El aumento de ácido oleico incrementa la estabilidad del aceite y su vida útil. Los aceites altamente oleicos han sido creados para aumentar el contenido de mono insaturados y reducir los componentes poliinsaturados. El aceite de oliva es la muestra de prueba para los buenos aceites culinarios. Los aceites similares al aceite de oliva deben tener al menos 90 % de contenido oleico.

Los ácidos grasos altamente oleicos se comportan bien en aplicaciones culinarias de calor medio a alto.

La velocidad a la cual se deterioran por la oxidación los ácidos grasos con más de un doble enlace en su molécula, es de 20 a 40 veces mayor a la de los ácidos grasos con un doble enlace.

La estabilidad de los aceites puede ser incrementada a través de un proceso llamado hidrogenación, cuando los átomos de hidrógeno son añadidos a los ácidos grasos poliinsaturados, saturando los enlaces. El proceso se lleva a cabo en un sistema trifásico (gas hidrógeno, aceite líquido y catalizador sólido), a temperaturas que varían desde unos 120 °C hasta unos 220 °C como máximo, en las etapas finales de la reacción.

El aceite entonces es más resistente a la oxidación y descomposición térmica, disminuyendo cualquier reversión del sabor que pudiera impartir un olor desagradable al producto alimenticio. El punto de derretimiento del aceite también se incrementará en la medida que el grado de hidrogenación se incremente.

Se denomina reversión a la alteración oxidativa que da lugar a olores diferentes, no solo para cada grasa, sino para los distintos grados de oxidación dentro del período de inducción del proceso oxidativo. Por el contrario, la rancidez es un fenómeno oxidativo que produce un olor y sabor característicos y únicos para todas las grasas fuertemente oxidadas. La presencia en las materias grasas de origen vegetal y animal de ácidos grasos con grados de insaturación diferentes, provoca el problema de la interacción oxidativa o cooxidación de los mismos.

Los aceites están constituidos en un porcentaje muy elevado por glicéridos, los cuales son el resultado de la combinación química de la glicerina con los ácidos grasos, eliminando una, dos o tres moléculas de agua, según sea el caso de combinación. Los ácidos más frecuentes en las materias grasas son el palmítico, esteárico, linoleico y linolénico.

Tabla I. **Contenido de ácidos grasos en aceites vegetales adecuados para freír**

Aceite	Ácidos grasos				
	Saturados		Insaturados		
	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linolénico
Carbono: enlace doble	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Oleína de palma	39.5	4.6	43.1	13.3	0.2
Aceite de soya	11.0	4.0	23.4	53.2	7.8
Aceite de algodón	23.0	2.3	17.6	53.3	0.5
Aceite de girasol	6.8	4.7	18.6	68.2	0.7

Fuente: MARTÍNEZ DE LA CUESTA, Pedro; RUS MARTÍNEZ, Eloísa. Alimentación. p 73.

En la tabla anterior puede observarse que el contenido de ácidos grasos insaturados es bastante elevado, debido a esto dichas sustancias sufren en mayor o menor proporción alteraciones oxidativas.

También se observa que la oleína de palma es el aceite vegetal, con el mayor porcentaje de ácidos grasos saturados y menor porcentaje de ácido linolénico; además, algunas veces contienen antioxidantes naturales como tocoferoles y tocotrienoles. Si se evalúa el contenido de ácidos grasos saturados (la suma de los ácidos grasos palmítico y esteárico) el orden descendente de selección sería: oleína de palma, aceite de algodón, aceite de soya y aceite de girasol.

Si se evalúa el contenido de ácido linolénico, en el orden ascendente de selección estaría la oleína de palma debido a su estructura química, ya que resulta ser el aceite más estable, ideal para los procesos de fritura a altas temperaturas.

2.1.3. Componentes naturales de los aceites y grasas

Existen muchas sustancias que se encuentran naturalmente en los alimentos, que en algunas ocasiones pueden ser eliminadas durante su procesamiento, que tienen la capacidad e inhibir o reducir las reacciones de oxidación.

El grupo de los tocoferoles (vitamina E), tienen esta propiedad; estos, junto con la lecitina, integran los antioxidantes naturales más importantes que se encuentran en los lípidos, pero que se pierden durante la refinación de los aceites comestibles.

El aceite de palma rojo es una rica fuente de betacaroteno, una provitamina A. En muchos países en desarrollo, el aceite de palma bruto es una importante fuente de betacaroteno, que aporta parte de la vitamina A requerida por la población. Sin embargo, la elaboración de los aceites comestibles hace que con frecuencia se eliminen totalmente los carotenoides presentes en el aceite bruto.

Como ejemplo, el aceite de palma bruto, una fuente rica en carotenoides (500-700 ppm) puede perderlos todos en el proceso de refinado. Sin embargo, se pueden utilizar técnicas suaves para elaborar el aceite de palma bruto que permitan conservar la mayor parte de los carotenoides.

El aceite de palma rojo resultante puede convertirse en un importante componente nutritivo en la lucha contra la carencia de vitamina A en muchos países.

Para evitar que las grasas o aceites contenidos en los frutos oleaginosos perecederos se descompongan y mantener la calidad de la materia prima, es necesario proceder cuidadosamente durante y después de la cosecha de estos.

Las magulladuras en los frutos frescos de la palmera aceleran la actividad de las lipasas, conduciendo a la degradación de las grasas. Estos aceites deben elaborarse tan pronto como sea posible después de la cosecha.

La primera operación después de la cosecha implica esterilización y tratamiento térmico con vapor o cocimiento, lo que inactiva las enzimas lipolíticas que pueden ocasionar una rápida degradación del aceite y facilita el flujo del mesocarpio para extraer el aceite.

La mayoría de las semillas oleaginosas y nueces se someten a un tratamiento térmico de tostado, para licuar el aceite presente en las células de la planta y facilitar su liberación durante la extracción, excepto para los frutos de la palmera, en donde la esterilización reemplaza dicho tratamiento.

2.2. Principios generales del proceso de fritura

Durante la fritura ocurren los procesos de deshidratación y absorción de grasa. Esto se explica a continuación.

2.2.1. El proceso de la fritura

La fritura es básicamente un proceso de deshidratación, lo que significa que el agua y las sustancias solubles en agua se extraen del producto frito y se transfieren a la grasa. Al mismo tiempo, el producto absorbe la grasa circundante.

Si el producto a freír se sitúa en grasa caliente, el agua de la superficie se evapora y el agua del interior se traslada hacia la superficie para compensar dicha pérdida. Ya que el agua liberada no se traspasa inmediatamente desde la superficie hidrofílica del alimento a la grasa hidrofóbica, se forma una delgada capa de vapor entre la grasa y el producto frito. Esta capa estabiliza la superficie del alimento, lo que significa que queda protegida contra la absorción de la grasa hasta que se evapora el agua. Al mismo tiempo, la capa de vapor evita que el alimento se queme en demasía.

Figura 8. **Reacciones entre el alimento y el aceite durante el proceso de fritura**



Fuente: www.testo270.com. Consulta: 23 de julio de 2011.

Protegida por el vapor, se forma una capa con un gran número de poros y cavidades en la superficie del alimento frito. Una vez se ha evaporado la mayoría del agua, el alimento absorbe la grasa al interior de dichos poros y cavidades y se cuece el interior.

Tabla II. **Absorción de grasas de varios alimentos durante la fritura**

	PRODUCTO SIN COCINAR	ALIMENTO FRITO
Pollo (sin piel)	3.9	9.9
Patatas chips	0.1	39.8
Patatas fritas	0.1	13.2
Donuts	5.2	21.9

Fuente: MARTÍNEZ DE LA CUESTA, Pedro; RUS MARTÍNEZ, Eloísa. Alimentación. p. 57.

El frío presente en la superficie disminuye progresivamente el aumento de la temperatura y en consecuencia, se produce lo que se conoce como “reacción de Maillard”. Los constituyentes proteínicos (aminoácidos) reaccionan con el azúcar presente, causando el oscurecimiento. Esto le da al alimento un aroma agradable.

2.2.2. El ciclo de la vida de las grasas

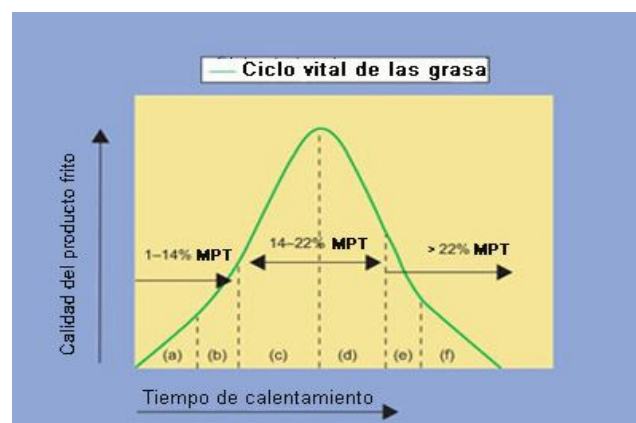
Debido a su composición y a las influencias externas, las grasas de cocinar están expuestas constantemente a reacciones químicas durante un ciclo de fritura (desde que se añade grasa nueva hasta que se desecha la usada). El estado de la grasa de cocinar se puede dividir en varias fases que se dan durante un ciclo (ver figura 8). La primera fase(a) se inicia con el aceite de cocinar nuevo, sin usar. Esta grasa todavía no se ha calentado ni ha tomado contacto con alimento alguno para freír. Por lo tanto, en esta fase, todavía no hay aromas de fritura o componentes polares.

Estos no se producen hasta que envejece el aceite/grasa. El agua se evapora muy lentamente y se mantiene en la superficie del alimento frito durante mucho tiempo. Este se cocina demasiado y se vuelve pastoso y sin color.

En la segunda fase (b) se incrementa la proporción de compuestos polares. Como resultado del contacto de la grasa calentada con el oxígeno, la descomposición produce un determinado número de estrías que son las responsables de la mayoría de los típicos y agradables aromas de fritos. Los sabores y texturas típicamente asociados con estos fritos son los que hacen que las grasas estén en el grado óptimo para la fritura (c). En esta fase se extrae el volumen idóneo de agua sin que se pierda en exceso.

Al mismo tiempo, la reacción de Maillard se produce como resultado de la extracción ideal de agua. En este punto la grasa toma contacto con el alimento durante el tiempo necesario para que este se fría adecuadamente y proporcione el gusto deseado.

Figura 9. **Ciclo de vida de las grasas para freír**



Fuente: TESTO. Manual práctico, medición del aceite de cocinar. p.100.

Durante el ciclo, la curva desciende de repente en contra del punto óptimo. Aquí se producen estrías como consecuencia del deterioro de la grasa (fase d), lo que supone también el deterioro de la fritura.

A medida que el deterioro se hace más evidente, el color de la grasa se oscurece y el sabor se vuelve más rancio y ácido. Durante esta fase la grasa que absorbe el alimento se incrementa como resultado de la extracción excesiva de agua, debido a la elevada proporción de componentes polares. Por ejemplo, las patatas se ahuecan.

Entre más rápido se evapora el agua, más contacto hay entre la grasa y la fritura, incrementándose así el volumen de grasa que absorbe el alimento frito. En la última fase (e), la grasa no es apta para la cocción y se debería desechar y sustituir por otra nueva.

2.2.3. Reacciones de las grasas

La curva descrita se puede atribuir a varias reacciones desencadenadas, entre otras cosas, por los efectos del oxígeno en el aire, la luz o el calor. Los ácidos grasos insaturados juegan un papel muy importante en estas reacciones porque sus dobles enlaces pueden reaccionar muy rápidamente. Básicamente se dan tres reacciones, descritas en detalle a continuación.

2.2.3.1. Oxidación

Es la responsable del envejecimiento de la grasa debido al contacto con el oxígeno del aire. Esto ya sucede antes de que la grasa se caliente. Para cada incremento de 10 °C de temperatura, se dobla el grado de oxidación.

Por ejemplo, si se forman dos radicales a temperatura ambiente (25 °C), habrá 16 radicales a 55 °C y 16,384 radicales a una temperatura de 155°C. En lo que respecta a la grasa; esto significa que a mayor número de los radicales, más rápido se descompone en sus partes individuales, es decir más rápido envejece. Aparte de la temperatura, la luz también tiene un impacto considerable en dicha descomposición.

La luz, entre otras cosas, consiste en rayos ultravioletas (UV) que crean unas condiciones favorables para acelerar la oxidación.

Las grasas son sustancias orgánicas que se oxidan; de hecho, entre más dobles enlaces contienen los ácidos grasos más fácilmente se oxidan. El aceite virgen, por ejemplo, solo tiene una duración de seis meses a temperatura, debido a su elevado número de ácidos grasos insaturados. Además de los productos degradados con un sabor intenso como los ácidos grasos, la oxidación también produce monoglicéridos y diglicéridos.

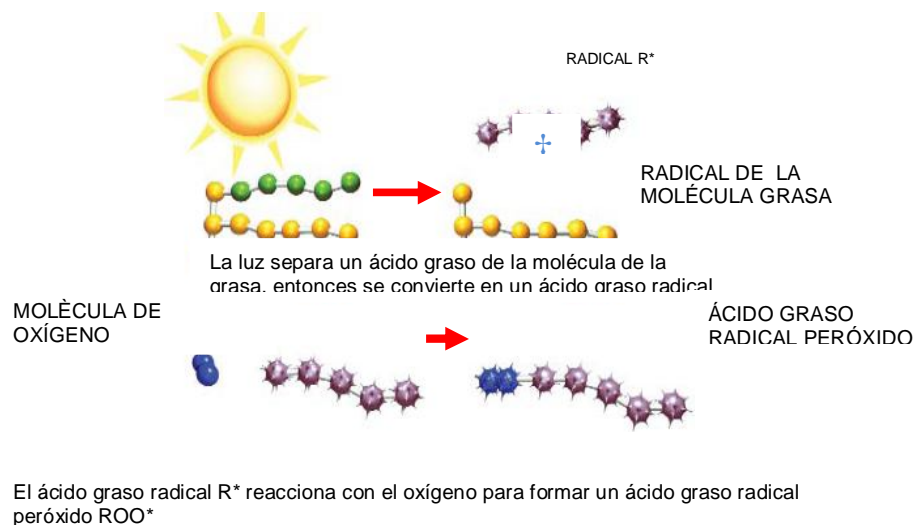
Durante el proceso de fritura, el agua se evapora y se forma una costra que impide que la grasa penetre demasiado en el alimento. Después de cierto tiempo, la mayoría del agua se ha evaporado y se detiene el proceso de enfriado en la costra. Se inicia el proceso deseado de oscurecimiento del alimento frito como resultado de la elevada temperatura. A medida que se incrementa la proporción de componentes polares, el agua se evapora de la grasa con mayor facilidad y rapidez.

La formación de la costra se ralentiza en proporción a la evaporación, pero al mismo tiempo el oscurecimiento se acelera a medida que la capa externa del alimento no se enfría de manera tan efectiva. En el caso de las patatas, se supone que se ahuecan en el interior.

En el caso de grasas con una elevada proporción de componentes polares, una mayor cantidad de ellas puede penetrar en el producto debido a la evaporación más rápida.

El proceso de descomposición se divide en varias fases: la “fase de inducción” inicia la oxidación. Los productos de oxidación como resultado de efectos tales como el calor, la luz o metales pesados (Cu, Fe) incluyen los radicales libres R^* , R = ácido graso radical) que reaccionan con el oxígeno (O_2) del ambiente, para formar radicales dependientes del oxígeno (ROO^*).

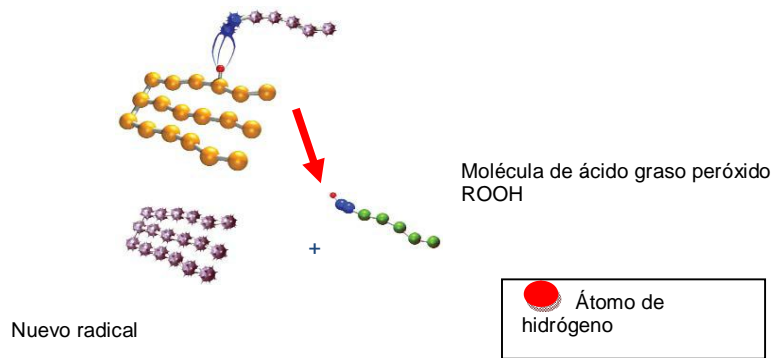
Figura 10. Fase de inducción



Fuente: elaboración propia, con programa Chemskech.

En la fase de crecimiento de la cadena, el ácido graso radical peróxido ROO^* obtiene un átomo de hidrógeno de otro ácido graso y se convierte en una molécula de ácido graso peróxido** ($ROOH$).

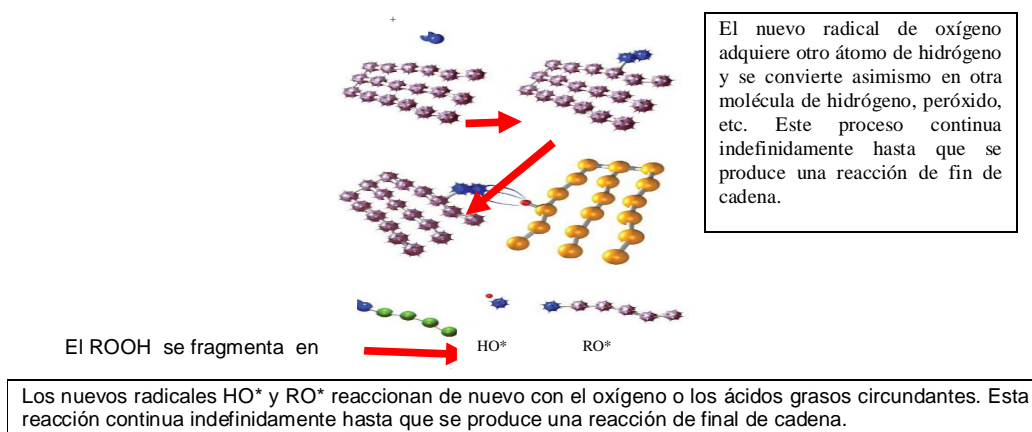
Figura 11. Fase de crecimiento de la cadena



Fuente: elaboración propia, con programa Chems sketch.

La inestable molécula de ácido graso peróxido (ROOH) se desmenuza en varios productos radicales (RO^* y *OH) y reacciones con el oxígeno presente o con los ácidos grasos que la rodean (reacción de ramificación de la cadena).

Figura 12. Reacción final de cadena



Fuente: elaboración propia, con programa Chems sketch.

A mayor formación de radicales, mayor probabilidad que estos colisionen entre sí. Cuando dos radicales colisionan, los radicales libres forman un enlace y se produce una reacción de final de cadena. Los radicales quedan “atrapados” y no pueden adquirir más átomos de hidrógeno. Los adquirentes de radicales (antioxidantes) como las vitaminas E o C también sufren este proceso. Atraen a los radicales como imanes y previenen o ralentizan la reacción en cadena. El mismo se agota cuando ya no puede atraer más radicales.

2.2.3.2. Polimerización

Se trata de una reacción química en la que los ácidos grasos insaturados presentes en el aceite de cocinar, bajo la influencia del calor de metales pesados (Cu, Fe) o de la luz y mediante la rotura del enlace múltiple, reaccionan para formar primero dímeros (dos moléculas grasas conectadas) y luego polímeros (múltiples moléculas conectadas) triglicéridos.

El aceite se vuelve más viscoso como resultado de la formación en cadenas de las moléculas. En consecuencia, es más difícil que se evapore el agua del aceite, lo que significa que tal y como sucede con el aceite nuevo, el calor no accede al alimento de forma adecuada, no se produce la reacción de oscurecimiento y el alimento se apelmaza y se seca.

Al mismo tiempo, el aceite tiende a pegarse al alimento cuando se saca de la freidora, lo que supone un gasto mayor del mismo cuando este está usado que cuando es nuevo. Después de la polimerización, se reduce la cantidad de sustancias volátiles en la superficie de la grasa. Por lo tanto las grasas más usadas forman menos humos. Aparte del cambio de color, las grasas de cocinar con una elevada proporción de polímeros, se caracterizan por la formación de una fina capa de espuma.

Tal y como sucede con la oxidación, el primer paso es la inducción. Se produce un radical (R^*) por efecto de la luz, del calor o de materiales pesados (Cu, Fe). Sin embargo, en lugar de reaccionar con el oxígeno, los radicales atacan el doble enlace de un ácido graso que forma parte de la molécula de la grasa. Después de la reacción, la molécula entera se convierte en un radical.

Si la molécula grasa radical ataca otra molécula grasa con doble enlace, este se rompe y dicha molécula se acopla ella misma. En este primer proceso, las cadenas de dos moléculas grasas pueden formar una cadena de varios centenares de moléculas grasas (polímeros).

Si dos de estas moléculas grasas radicales colisionan, se termina la cadena. Los dos radicales se enlazan (en verde) y ya no atacan a ninguna otra molécula grasa. A veces puede ocurrir que un radical graso ataque el doble enlace de uno de sus ácidos grasos propios. Esto provoca un bucle de cierre dentro de la molécula. El producto de esta reacción se llama "enlace cíclico".

2.2.3.3. Hidrólisis

La hidrólisis inicialmente está provocada por la adquisición de agua del producto que se fríe y sustentada posteriormente por ciertos productos como los rebozados. La hidrólisis es un tema de discusión controvertido en los medios especializados. Hay opiniones divergentes respecto de que la permeabilidad de agua pueda tener efectos beneficiosos en las grasas.

Por ejemplo, se sabe que a través de la evaporación se elimina un cierto número de productos volátiles degradantes como ácidos grasos de cadena corta o alcoholes de las grasas, ayudando así a su purificación y estabilización.

El contenido de agua (H₂O), al evaporarse a través de las grasas de cocinar, suelta monoglicéridos, diglicéridos y ácidos grasos libres. En la hidrólisis, el agua ataca el enlace entre el glicerol y el ácido graso, lo que provoca la separación del mismo en dos partes. Una (un átomo de H) se une al glicerol radical y la otra (radical OH) queda unida al ácido graso radical.

El índice de humos de los aceites se decrementa como resultado de la descomposición de las moléculas grasas, y esos adquieren un sabor diferente debido al cambio molecular. Si se añaden compuestos de los rebozados (alcalinos) del producto que se fríe a los aceites de cocinar, se crea una bruma de los ácidos grasos. Esto en hidrólisis se conoce como saponificación. Un ingrediente de los rebozados es el sodio. Si el rebozado reacciona con el ácido graso, se forman pequeñas cantidades de lo que se conoce como cuajada.

2.3. Antioxidantes

Los antioxidantes, como su nombre lo indica, son compuestos químicos que protegen al aceite contra los efectos devastadores de las reacciones de oxidación.

2.3.1. Generalidades, tipos y estructuras de los antioxidantes

La gran variedad de antioxidantes para grasas y aceites se clasifican de acuerdo con su origen natural o sintético. Los diversos principios de acción de los diferentes antioxidantes son:

- Secuestro de radicales libres

- Quelatación de metales
- Secuestro de oxígeno
- Inactivación de peróxidos

Además de brindar una buena protección, los antioxidantes no deben de ser tóxicos. Tampoco deben impartir olor, sabor o coloración alguna al producto (aceite o producto terminado) al que se aplica. Entre los antioxidantes más empleados para procesos de fritura se encuentran: 3-terbutil hidroxianisol (BHA), diterbutil hidroxitolueno (BHT), terbutil hidroxiquinona (TBHQ), y los tocoferoles que son de origen natural. Los primeros tres tienen la forma de polvos blancos cristalinos. Los tocoferoles son un aceite rojizo y viscoso.

El BHA es realmente una mezcla de dos isómeros, el 3-terbutil-4-hidroxianisol y el 2-terbutil-4-hidroxianisol; el isómero 3, es el mejor antioxidante en relación con antioxidantes artificiales. Comercialmente, el BHA es producido con un contenido del 90 % del isómero 3-terbutil. El BHA es una sólida cera blanca que también se vende en hojuelas o en forma de tableta. Es efectivo en grasas animales, pero relativamente inefectivo en aceites vegetales.

El BHA provee un buen acarreo (propiedad que tiene un antioxidante al ser agregado al alimento de sobrevivir al proceso de fritura o de horneado y luego seguir protegiendo al producto terminado contra la oxidación), especialmente en productos horneados que usan grasas animales. Este es altamente soluble en lípidos pero insoluble en agua. El BHA se volatiliza a temperatura ambiente, propiedad que adicionalmente es aprovechada en procesos de empaque.

El BHT es un sólido cristalino blanco, con propiedades similares a la del BHA; al igual que el BHA tiene buena efectividad en grasas animales, pero no es efectivo en aceites vegetales. El BHT provee un buen sinergismo en combinación con BHA. El BHT, es el más barato de los antioxidantes comunes, por lo que es muy usado industrialmente.

Entre todos los antioxidantes artificiales, el BHA y el BHT, ambos liposolubles, son los que más emplean. El BHA tiene la ventaja de que el cuerpo humano lo elimina rápidamente (80 % en 24 horas aproximadamente); es más efectivo para estabilizar emulsiones que aceites puros, por ser lipófilo.

Por otra parte, el BHT lo absorbe el organismo humano en pequeñas cantidades; en los últimos años, se ha dejado de usar en algunos países, por su efecto tóxico.

El TBHQ es un polvo, cuya coloración va de blanco a pardo claro, que exhibe un destacado efecto estabilizador en las grasas insaturadas, en especial de los aceites vegetales poliinsaturados y de las grasas animales comestibles. El TBHQ es también aplicable a los aceites esenciales, frutos secos, grasas animales no comestibles, grasa láctea y material para envasar alimentos, como el papel cristal y la parafina. También ofrece otras características de especial interés, las cuales se han comprobado coloreando con metales disueltos (presencia de hierro); también se ha observado un ligero oscurecimiento en presencia de pH alcalino, en ciertas proteínas y sales sódicas.

El TBHQ provee un buen acarreo cuando el alimento se hornea y un excelente acarreo cuando se fríe.

Este posee una adecuada solubilidad en grasa y aceites; y se puede mezclar con otros antioxidantes como el BHA, para producir fórmulas antioxidantes más eficaces.

El TBHQ es un antioxidante sintético de desarrollo relativamente reciente. Su uso no está permitido en países como Canadá o en el continente europeo.

El propilgalato es un sólido cristalino blanco que imparte buena estabilidad a los aceites vegetales y grasas animales. Este tiene una pobre solubilidad en grasas y alguna solubilidad en agua; cuando es combinado con BHA y BHT provee un buen sinergismo. Posee poca resistencia al calentamiento, es sensible al calor y se descompone a 148 °C, resultando en un pobre acarreo después de los procesos de fritura u horneado.

Una preocupación más con el propilgalato es que puede formar complejos coloreados de color azul oscuro, poco atractivos, con iones metálicos como el hierro o el cobre. Este puede ocasionar efectos adversos en la apariencia de grasas o aceites o productos alimenticios que contengan lípidos.

Se ha encontrado que algunas mezclas de dos o más antioxidantes funcionan mucho mejor que cada uno de sus componentes por separado, a la misma dosis de la mezcla. Este efecto, se conoce como sinergismo entre antioxidantes. Por lo regular, las formulaciones de los antioxidantes son mezclas de ellos o de un antioxidante y un agente quelante de metales, tales como el ácido cítrico o el EDTA.

Respecto de los antioxidantes naturales, el compuesto de romero posee propiedades antioxidantes innatas, el cual reduce la oxidación de la grasa contenida en el producto, incrementando la duración de este. Tampoco imparte ningún sabor al producto al cual es agregado, pero provee un efecto negativo mínimo en el color del producto terminado. El ácido carnósico, ácido carnosol y rosmarínico, son los compuestos activos del extracto de romero que tienen actividad antioxidante de gran alcance.

Estos mismos compuestos se encuentran también en la salvia. El ácido carnosónico es el más potente seguido del ácido carnosol y rosmarínico. Los ácidos carnosónico y carnosol (fenoles diterpenos) representan un 90 % de la propiedad antioxidante de dicho extracto; la actividad se debe a la colaboración de su grupo ortofenólico con sus grupos isopropílicos.

El ácido rosmarínico es categorizado como planta fenólica, el segundo éster más frecuente del ácido cafeico, seguido del ácido clorogénico, el cual va a tener actividad antioxidante equivalente al ácido cafeico. Se ha descubierto que el ácido rosmarínico tiene un superóxido de actividad de captación significativamente mayor que el ácido ascórbico. Estos compuestos presentes en el extracto de romero actúan como potentes inhibidores de la peroxidación lipídica y como quelantes de metales. Así también el carnosol y el ácido carnósico también son buenos limpiadores de radiales peroxilo.

2.3.2. Mecanismos de reacción de los antioxidantes primarios

Los antioxidantes son compuestos que inhiben o interfieren con la formación de los radicales libres asociados con la oxidación de las grasas y aceite. Se les llama compuestos fenólicos, por poseer un anillo aromático y un grupo hidroxilo unido a este.

Su principio de acción se basa en el secuestro y estabilización de radicales libres. Lo cual logra cuando el grupo OH dona su hidrógeno al radical libre y lo estabiliza. Por medio de la formación de estructuras de resonancia, se estabiliza el exceso de carga negativa.

Los antioxidantes se emplean para proporcionar fuentes de hidrógeno que rompen la cadena y terminan la autooxidación. Sin embargo, el antioxidante no puede invertir la acción de la oxidación ni regenerar un producto rancio. Por esto debe añadirse al aceite o grasa, recién preparado, antes de que la reacción oxidativa tenga oportunidad de empezar.

Existen dos categorías fundamentales de compuestos que se utilizan para evitar la oxidación de los lípidos. Los donadores de protones y los secuestradores. Entre los primeros están el BHA, BHT, TBHQ.

Los tocoferoles naturales y plantas fenólicas como el romero y salvia, no detienen la formación de los radicales que se generan en la oxidación, sino que al reaccionar con ellos los estabiliza y se producen radicales del antioxidante que son menos activos.

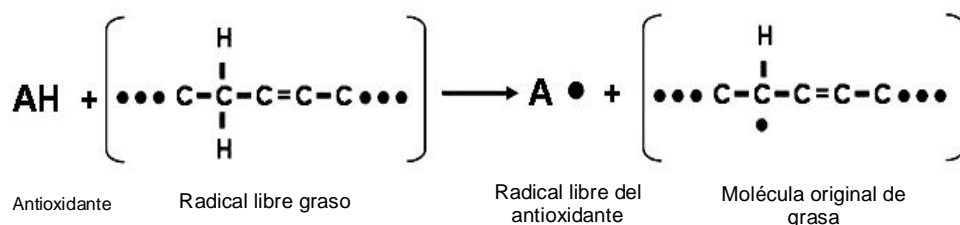
Es decir, se consumen en la reacción y por lo tanto la estabilidad del lípido dependerá de la cantidad residual del aditivo que contenga.

Es muy importante considerar que muchos de estos compuestos actúan como prooxidantes cuando se emplean en concentraciones elevadas y entonces su efecto se vuelve indeseable, principalmente cuando se adicionan alfatocoferoles o lecitina.

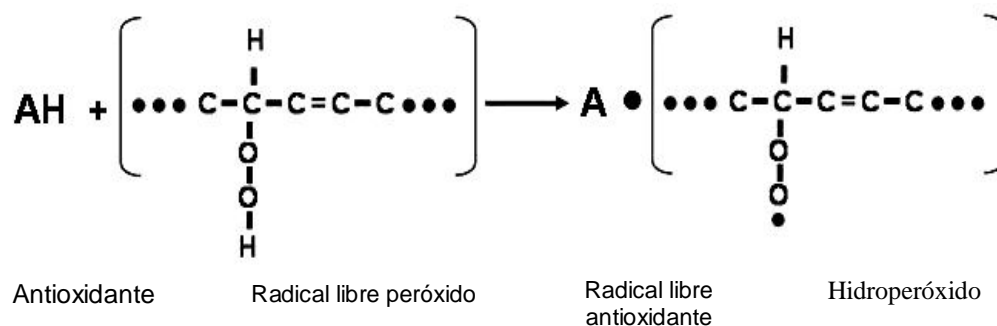
También se ha comprobado que el ácido ascórbico, en presencia de metales de transición, ejerce igualmente una acción prooxidante.

Los antioxidantes pueden funcionar en dos formas:

- Por donación de un átomo de hidrógeno al radical libre de la grasa o aceite, para formar una molécula de grasa y un radical libre del antioxidante, terminando con la reacción de oxidación en el paso inicial:



- Por donación de un átomo de hidrógeno al radical libre del peróxido, para formar un hidroperóxido y un radical libre estable del antioxidante, rompiendo con la reacción en cadena. Estas reacciones demoran las reacciones de oxidación hasta que los antioxidantes son consumidos. Los radicales libres del antioxidante son estructuras de resonancia estables y no catalizan la oxidación.



2.3.3. Antioxidantes secundarios

Los antioxidantes anteriormente descritos, son a menudo conocidos como antioxidantes primarios, porque afectan directamente la reacción en cadena asociada con la oxidación. Otro tipo de antioxidantes son los antioxidantes secundarios. Entre estos se incluyen agentes secuestradores, agentes quelantes, agentes reductores y recogedores de oxígeno. Los agentes quelantes se usan para reunir los metales, los cuales ayudan a la oxidación, cuando están presentes en substratos grasos. Los antioxidantes secundarios son usados a menudo como sinérgicos en combinación con un antioxidante primario. Los sinérgicos son definidos como sustancias que intensifican la actividad de los antioxidantes, sin ser ellos mismos antioxidantes.

El uso de dos antioxidantes primarios puede también dar un efecto sinérgico. Los antioxidantes secundarios más comúnmente usados en alimentos son: el ácido ascórbico, ácido cítrico, ésteres del ácido cítrico, o el EDTA (ácido tretaacético de diamina etileno)

2.3.4. Propiedades de los antioxidantes

- Solubilidad: los antioxidantes tienen en principio que ser solubles en el aceite, para que se puedan homogeneizar correctamente dentro del aceite y no se precipiten. Los demás grupos unidos al grupo fenólico le imparten propiedades de solubilidad al antioxidante en aceite, además de baja volatilidad y baja toxicidad. El BHA, BHT, TBHQ, tienen una solubilidad similar y moderada en aceite. Los tocoferoles y las plantas fenólicas como el romero, poseen una alta solubilidad en aceite, por su larga cadena lateral. Para que cumplan su función, los antioxidantes deben ser solubles

en la fase lípida, ya que de otra manera no podrían actuar sobre los radicales libres. Cada uno de estos compuestos tiene una relación hidrófila-lipófila que determina su solubilidad.

Aquellos que son hidrófilos como el galato de propilo y en menor grado el TBHQ, son adecuados para sistemas con muy poco agua, como los aceites y las grasas puras. Por otra parte, los aderezos y los productos cárnicos embutidos, que mantienen un porcentaje elevado de agua, requieren antioxidantes lipófilos, tal como el BHA, BHT, galato de dodecilo y los tocoferoles. Es muy importante lograr una buena distribución de los antioxidantes en los alimentos a proteger, ya que la dosificación empleada muchas veces es menor a 200 ppm.

- Volatilidad y estabilidad térmica: debido a la elevada temperatura utilizada en el proceso de fritura, los antioxidantes deben poseer buena estabilidad térmica, para que no se deterioren ante la acción del calor y baja volatilidad, para que no escapen del aceite y así evitar perder la protección brindada por este, tanto al aceite como al alimento. La presión de vapor absoluta de los antioxidantes se encuentra en un rango entre 1 y 10 mm de mercurio. Si la fritura se realiza a presión atmosférica, es decir entre 600 y 760 mm de mercurio, los antioxidantes se volatilizan en cantidades mínimas, debido a la contrapresión atmosférica ejercida. El extracto de romero tiene una volatilidad extremadamente baja; esto se debe al alto peso molecular que posee.
- Efecto de acarreo: es la propiedad que tiene un antioxidante de sobrevivir al proceso de fritura y luego seguir protegiendo al alimento frito contra la oxidación. Este efecto es crucial para un buen antioxidante. El acarreo consiste en que el antioxidante no se deteriore en el proceso de fritura y

continúe protegiendo al aceite absorbido por el alimento durante el tiempo necesario. Los antioxidantes que mejor acarreo presentan son el TBHQ, los tocoferoles y las plantas fenólicas (romero y salvia), esto es debido a la estabilidad térmica y baja volatilidad que poseen. Algunos alimentos fritos se consumen inmediatamente después de la fritura, o bien pueden que sean almacenados durante algún tiempo. Esta situación indica el antioxidante adecuado que debe seleccionarse. Para los productos de consumo inmediato como restaurantes, el hogar o puestos de comida rápida, no resulta tan necesario que el antioxidante presente un acarreo intenso; lo más importante es que proteja y prolongue la vida útil del aceite. En el caso de papas fritas y botanas que se empacan y se consumen luego de un tiempo de almacenamiento, embarque y distribución, sí es necesario que el antioxidante presente un buen acarreo.

- Potencial de hidrógeno: en general, los antioxidantes fenólicos tienen más carácter ácido que básico, por lo que son más compatibles en productos con pH menor de 7; algunos, como el galato de propilo, se inactivan en condiciones alcalinas como ocurre en las mantecas usadas en panificación, que son de naturaleza alcalina. Sin embargo, en estos casos funcionan mejor las mezclas de BHA Y BHT.

2.4. Métodos de medición para conocer el grado de oxidación de las grasas y aceites

Se producen varias sustancias degradantes en las grasas de cocinar, como resultado de las reacciones descritas anteriormente. Por tal razón, es necesario aplicar diversos métodos para conocer su grado de oxidación.

2.4.1. ¿Por qué medir?

Colectivamente, estas reacciones se conocen como componentes polares totales (TPM). Este es un término genérico para ácidos grasos libres, monoglicéridos, diglicéridos y un número determinado de productos oxidantes (aldehídos y cetonas).

Los componentes polares totales (*total polar materials*), cuya abreviatura es TPM, afectan no solo a la consistencia, sabor y aroma de las grasas, sino también a la calidad de la fritura. Un producto frito en aceite degradado enseguida presenta una costra demasiado oscura y al mismo tiempo absorbe una mayor cantidad de aceite.

En grasas con un elevado porcentaje de materiales polares, el agua se evacua mucho más rápidamente a través de la grasa y el producto se seca también mucho más rápido. Las patatas, por ejemplo, se ahuecan por dentro. Como resultado de esa misma pérdida rápida de agua, desaparece también más rápidamente la capa protectora de vapor, lo que significa que la grasa está en contacto con el alimento por más tiempo.

Como consecuencia, no solo hay una mayor absorción de grasa en el alimento frito, sino también que la superficie del alimento se somete a temperaturas más altas y por tanto, mayor oportunidad para que este se queme.

Muchas pruebas han demostrado que la grasa descompuesta produce dolores estomacales y problemas digestivos, entre otros; las grasas de cocinar con más de un 25 % TPM se consideran como gastadas.

Otro aspecto positivo de la medición de TPM es la posibilidad de ajustar las grasas al rango óptimo de fritura. En el ciclo de la vida de las grasas, esta cambia durante su uso. Cuando son frescas, no contienen ningún sabor ni aroma. Al calentarse, los aromas se incorporan ostensiblemente y la grasa llega a su punto óptimo de uso, donde se obtienen los mejores resultados al paladar. Cuando se recalienta, es cuando la grasa se degrada y no es comestible. La proporción de componentes polares para la fritura óptima está entre el 14 % y el 20 %. Con mediciones regulares, se puede mantener este rango óptimo mezclando aceite usado y sin usar, para que el cliente obtenga una calidad uniforme en la fritura del alimento.

Tabla III. **Clasificación de los valores TPM para el envejecimiento de la grasa**

Porcentaje de materiales polares	Clasificación de envejecimiento de la grasa
Inferior a 1-14% TPM	Grasa de cocinar fresca
14-18% TPM	Ligeramente usada
18-22% TPM	Usada, pero correcta
22-24% TPM	Muy usada Cambiar la grasa
Superior a 24% TPM	Grasa de cocinar gastada

Fuente: TESTO. Manual práctico, medición del aceite de cocinar. p.208.

En este punto, se debe señalar que el valor TPM puede ser diferente según el tipo de grasa. Por ejemplo, el aceite de semilla de canola fresco tiene un TPM superior al aceite de palma fresco, debido a la composición del ácido graso. No obstante, esto no quiere decir que el aceite de semillas sea un aceite de cocinar peor. Por el contrario, este aceite tiene una vida útil superior a otros aceites con el valor TPM inicial más bajo.

2.4.2. Los diferentes métodos de medición

Además de la columna cromatográfica y métodos capacitivos para determinar el valor TPM, existen otros métodos para determinar los ácidos grasos libres. En muchos países, estos son los métodos oficiales para determinar el estado de envejecimiento de las grasas, aunque esto solo es posible con un limitado grado de exactitud.

2.4.2.1. Columna cromatográfica para determinar los componentes polares

La columna cromatográfica mide los componentes polares (ácidos grasos libres, monoglicéridos y diglicéridos) de las grasas. Estos son una medida de la descomposición termooxidativa de la grasa y se utilizan como unidad oficial de medición en las pruebas químicas en laboratorios. En muchos países, la columna cromatográfica es el método oficial para la medición de componentes polares.

El contenido en componentes polares totales se especifica como % TPM o en algunos casos TPC (*total polar compounds or components*). El valor límite en España para la descomposición está establecido en 25 % TPM, aunque este valor puede variar según cada país.

¿Cómo mide la columna cromatográfica? Se introduce una muestra de la grasa con un peso determinado en la fase estacionaria de la columna. La muestra se desplaza por gravedad a través de dicha columna y se recoge en el fondo.

A medida que la muestra se desplaza por la columna, los componentes polares se retienen en la fase estacionaria, de tal forma que en el fondo solo se recogen los componentes apolares de la muestra.

Una vez se ha desplazado completamente la muestra a través de la columna, se pesa la grasa residual para determinar el nivel de componentes apolares. Si se resta este peso del total, se obtiene el nivel de componentes polares.

En muchos países, la columna cromatográfica es el método oficial para la medición de TPM. Se usa por tanto como el método de referencia para todos los instrumentos utilizados para la medición del contenido de TPM.

Una desventaja muy importante de la columna cromatográfica es su ejecución en lo que respecta al manejo de elementos químicos peligrosos y a la complejidad del procedimiento de medición.

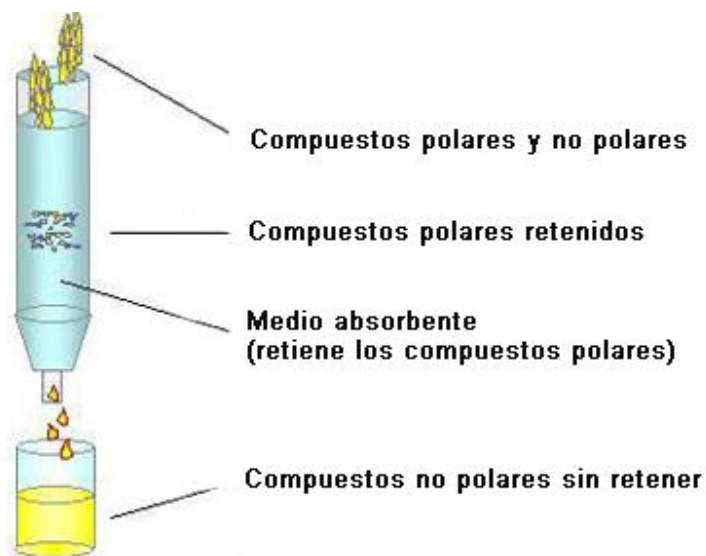
El conocimiento experto es absolutamente esencial, por lo que la medición no debe efectuarse por personas no calificadas.

Otra desventaja de la columna cromatográfica es la poca reproducibilidad de los resultados en casos determinados, cuando se usan diferentes tipos de fase estacionaria.

La cromatografía separa de acuerdo con la polaridad. Como ya se ha indicado, los componentes apolares se desplazan a través de la columna, mientras que los polares se retienen.

El aceite de cocinar contiene una mezcla de componentes polares, desde los relativamente apolares hasta los muy polares.

Figura 13. **Medición de compuestos polares por cromatografía**



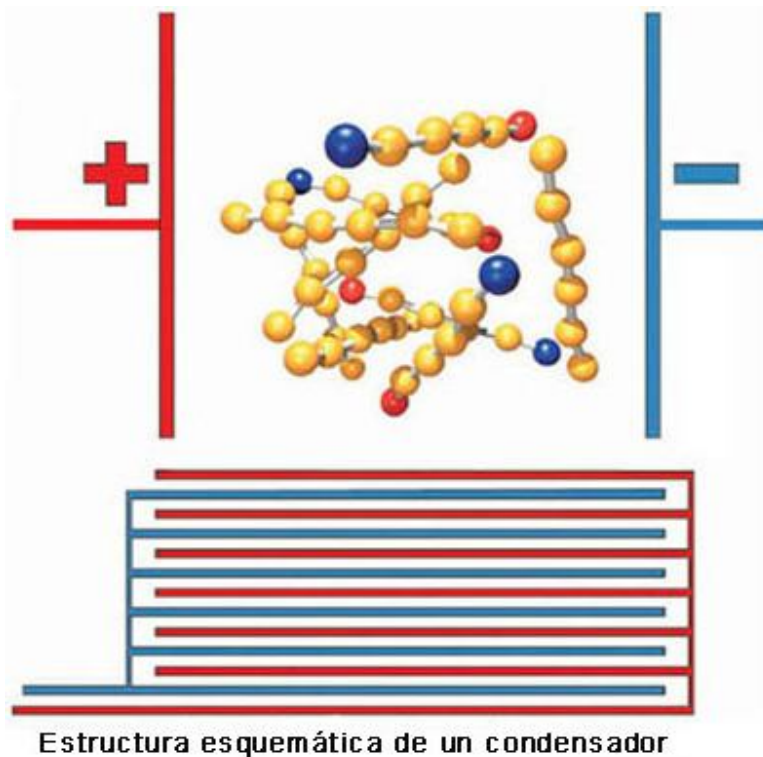
Fuente. TESTO. Manual práctico, medición del aceite de cocinar. p. 256.

La proporción extremadamente diferente entre componentes polares y apolares puede significar que una misma muestra estudiada en diferentes laboratorios produzca diferentes resultados.

2.4.2.2. Medición capacitiva de los componentes polares totales

Además de la columna cromatográfica, la medición capacitiva es otra forma de medición de los componentes polares totales. Está basada en la medición de la constante dieléctrica.

Figura 14. **Medición de compuestos polares por medición capacitiva**



Fuente: TESTO. Manual práctico, medición del aceite de cocinar. p. 285.

Para ello se aplica un voltaje entre ambas placas de condensador (en azul y rojo en la ilustración).

Estas placas se cargan hasta que se alcanzan una determinada carga eléctrica. A medida que la carga se incrementa, los componentes polares de la grasa se alinean progresivamente. El polo positivo (rojo) de los materiales se desplaza hacia la placa negativa (azul) y viceversa.

Una vez se ha cargado el condensador, este dispone de una cierta capacidad dependiente del dieléctrico, en este caso el aceite. A mayor cantidad de componentes polares en el aceite, mayor capacidad del condensador.

Este cambio en la capacidad se convierte y se muestra en el visualizador del controlador de la calidad del aceite de cocinar como porcentaje en contenido de TPM.

2.4.2.3. Equipo Testo 270

El Testo 270 permite obtener alimentos fritos de calidad contrastada y además cumplir con la reglamentación vigente. Se toman en cuenta los siguientes parámetros:

- Componentes polares totales: como ya se ha mencionado, los TPM se pueden determinar mediante la columna cromatográfica o la medición capacitiva. El medidor de la calidad de aceite de cocinar usa el principio de la medición capacitiva. Se utiliza una placa como condensador. Gracias a su amplia superficie, tiene la ventaja que puede medir muchos componentes polares a la vez. Se utiliza un material cerámico como conductor de la placa capacitadora, al que se le han acoplado las tiras conductoras doradas mediante un proceso especial.

Figura 15. **Sensor de medición de aceite**



Fuente: TESTO. Manual práctico, medición del aceite de cocinar. p.234.

- Temperatura: la constante dieléctrica varía según la temperatura, por lo que se ha situado un sensor de temperatura metálico en la parte posterior del material cerámico, y como las tiras conductoras doradas, se ha acoplado mediante el mismo proceso especial. El instrumento se puede ajustar a los límites de calidad requeridos para los componentes polares mediante las dos teclas situadas en el frontal del Testo 270. Los límites inferior y superior se pueden configurar independientemente, pero debe haber al menos una diferencia entre ellos como mínimo del 1 %. El menú de configuración está diseñado de tal manera que previene el ajuste inadvertido de los valores límite. Si un valor TPM excede el límite superior, aparece la palabra “ALARM” en el visualizador.

Figura 16. **Medidor Testo 270**



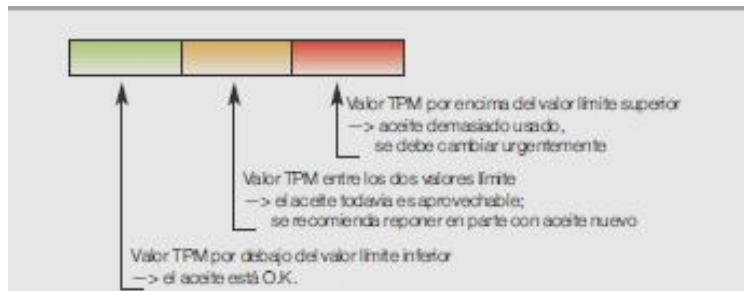
Fuente: TESTO. Manual práctico, medición del aceite de cocinar. p. 235.

La función de alarmas se complementa con una barra de tres colores. La barra del visualizador cambia de color según el contenido en componentes polares.

Por debajo del límite inferior, la barra es de color verde e indica que el aceite es bueno. En el rango entre los límites establecidos, la barra es de color naranja e indica que el envejecimiento es notable y que se debería renovar el aceite añadiendo nuevo.

Una vez se ha excedido el límite superior, el LED es de color rojo e indica que todo el aceite se debería sustituir con urgencia. El aceite está tan usado que la renovación de una parte con aceite fresco no surtiría ningún efecto.

Figura 17. **Indicador LED en el visualizador**



Fuente: TESTO. Manual práctico, medición del aceite de cocinar. p. 300.

La temperatura de la grasa de cocinar que se va a medir debe ser como mínimo de +40 °C. Si no se alcanza este valor, el visualizador muestra _ 40 °C, parpadeando. No se puede medir por debajo de dicha temperatura puesto que la discrepancia en exactitud es demasiado grande.

Lo mismo ocurre si se excede la temperatura máxima de +210 °C; en este caso, _ 210 °C parpadea en el visualizador y se debe esperar a que la temperatura disminuya hasta situarse por debajo de la temperatura máxima de medición, para continuar con la misma.

El sensor del medidor de aceite es de diseño compacto, lo que facilita las mediciones en niveles bajos de aceite.

Gracias a la capa de protección, el sensor es relativamente insensible a golpes eventuales; además, al estar incrustado en un marco metálico se incrementa su solidez y resistencia.

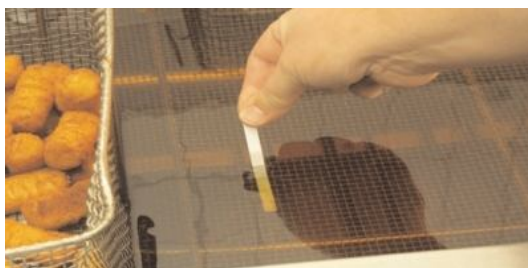
2.4.2.4. Tira reactiva para la medición de ácidos grasos libres

Los ácidos grasos libres son una medida del cambio en las grasas a temperatura ambiente en contacto con el oxígeno en el aire (ranciedad) o como resultado de una hidrólisis.

Por tanto, resulta apropiado determinar el envejecimiento de las grasas no usadas, es decir, no calentadas, mediante el contenido en ácidos grasos libres. No obstante, en determinados países los ácidos grasos libres se usan como método oficial para determinar el envejecimiento de las grasas, lo que solo es correcto en ciertas condiciones, ya que el contenido en ácidos grasos puede cambiar constantemente durante la fritura, haciendo imposible la obtención de una lectura reproducible.

Los ácidos grasos libres de una grasa sin calentar se pueden medir mediante una tira reactiva, por ejemplo: se aplica una tinta a la tira reactiva que cambia de color según el contenido en ácidos grasos libres.

Figura 18. **Medición de ácidos grasos libres por el método de la tira reactiva**



Fuente: TESTO. Manual práctico, medición del aceite de cocinar. p. 265.

Al comparar la tira con una escala de colores apropiada, se puede determinar el contenido de ácidos grasos libres. La medición de los ácidos grasos libres solo es viable si la grasa todavía no se ha calentado. Si la grasa está caliente, el agua que se evapora extrae los productos volátiles degradados de la grasa.

Dado que los ácidos grasos libres son parte de este grupo volátil, el contenido puede variar de forma ostensible. Por tanto, resulta desaconsejable utilizar solo la medición de ácidos grasos libres para determinar el grado de descomposición de la grasa ya calentada.

2.4.2.5. Comprobación del color del aceite

En la práctica, el color del aceite es un indicador de la calidad y frescura del mismo, aunque el color puede variar de un aceite a otro. Si el color del aceite fresco es más oscuro del deseado, se necesita efectuar comprobaciones adicionales, como la medición de los ácidos grasos libres.

En el caso del aceite de cocinar, el color se cambia primero por los varios productos degradados del aceite y segundo por los ingredientes que puedan pasar al aceite del producto que se está friendo. Si por ejemplo, se fríe carne rebozada, el aceite se oscurece mucho más rápidamente que cuando se fríen patatas.

Este proceso es atribuible a la llamada reacción Maillard (de su descubridor Luis Maillard). Con un calor elevado, los constituyentes proteínicos (aminoácidos) de la carne reaccionan con el azúcar (carbohidratos), lo que produce las sustancias que intensifican el gusto y el aroma por un lado y por el otro las sustancias oscurecedoras (melanoides).

La reacción Maillard también ocurre en las patatas, pero no es tan acusada debido a que estas no contienen tantas proteínas. El oscurecimiento del aceite no significa necesariamente que ya no se pueda usar más, por lo que no es aconsejable utilizar la comprobación visual para determinar el grado de descomposición.

2.4.2.6. Identificación del punto de humo

El punto de humo es la temperatura más baja de un aceite o grasa calentada, a partir de la cual se crea humo en su superficie. Según la opinión del grupo de trabajo de expertos de la química alimentaria regional y el Departamento de Salud Pública Alemán de 1991, el punto de humo de un aceite de cocinar debe ser como mínimo de 170 °C y no debe diferir en más de 50 °C de la temperatura de la grasa fresca, para que esta todavía se pueda clasificar como utilizable.

El punto de humo se ve reducido por varias reacciones de descomposición que ocurren en el aceite antes y durante la fritura, de tal forma que el aceite empieza a humear a más bajas temperaturas. El punto de humo se debería comprobar siempre mediante el uso de un termómetro externo para obtener la información más veraz acerca de la temperatura a la que ocurre dicho punto.

2.4.2.7. Grado de acidez (% AG libres)

El grado de acidez indica la cantidad de hidróxido de potasio (KOH) por miligramo que se necesita para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa.

Para determinar el grado de acidez, se añade hidróxido de potasio gota a gota a una muestra de la grasa, hasta que se aprecia un cambio de color según la escala. No obstante, el grado de acidez no es adecuado por sí solo como indicador de la calidad del aceite.

2.4.2.8. Índice de yodo (IN)

El índice de yodo indica cuántos gramos de yodo absorbe la grasa. A mayor cantidad consumida, mayor número de dobles enlaces y por tanto mayor la frescura del aceite medido. El índice de yodo se determina mediante la titulación análogamente al índice de acidez.

2.4.2.9. Índice de peróxido (PN)

El cálculo del índice de peróxido es el test clásico para la medición de la oxidación del aceite fresco. Sin embargo, no proporciona ninguna información acerca del grado de descomposición de la grasa, ya que el índice puede variar ostensiblemente.

Como con las dos mediciones previas, el PN se determina mediante titulación. El aceite debe estar frío para el cálculo, ya que el test es extremadamente sensible al calor.

3. DISEÑO METODOLÒGICO

3.1. Variables

El trabajo de investigación se divide en dos partes significativas:

- Evaluación de los materiales polares totales en el aceite sin antioxidante
- Evaluación de los materiales polares totales en el aceite con antioxidante

Tabla IV. **Variables en la evaluación de los materiales polares totales presentes en el aceite sin antioxidante**

Variable	Variable	Variable dependiente	Variable independiente	Variable de respuesta	Ruido
Oxidación del aceite en función del tiempo de calentamiento y el aire al que está expuesto.		X			
Número de piezas fritas (entre pollo y papas)			X		
Agentes externos que accidentalmente puedan caer dentro del aceite (ejemplo agua)					X

Continuación de la tabla IV.

Cantidad de condimentos que caen dentro del aceite					X
Tiempo aproximado de vida útil del aceite	X				
Temperatura a la que el aceite se mantiene en las freidoras	X				
Temperatura a la que se realiza la medición de compuestos polares			X		
Calibración del equipo utilizado para medir compuestos polares			X		
% de compuestos polares				X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Variables en la evaluación de los materiales polares totales presentes en el aceite con antioxidante**

Variable	Constante	Variable dependiente	Variable independiente	Variable de respuesta
Oxidación del aceite en función del tiempo de calentamiento y el aire al que esta expuesto		X		
Número de piezas fritas (entre pollo y papas)			X	
Agentes externos que accidentalmente puedan caer dentro del aceite (ejemplo agua)			X	
Cantidad de condimentos que caen dentro del aceite			X	
Tiempo aproximado de vida útil del aceite	X			
Temperatura a la que el aceite se mantiene en las freidoras.	X			
Temperatura a la que se realiza la medición de compuestos polares			X	
Calibración del equipo utilizado para medir compuestos polares			X	
Cantidad de antioxidante aplicado	X			
Concentración de antioxidante aplicado		X		
Tiempo adicional de estudio después del tiempo aproximado de la vida útil del aceite			X	
% de compuestos polares				X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

Para obtener resultados válidos en el presente estudio, se determinará cuál es el universo y el tamaño de la muestra.

3.2.1. Universo del campo de estudio

Antioxidante de romero y el aceite utilizado en el proceso de freír pollo y papas que se lleva a cabo en la empresa Productos y Alimentos de la Región S.A.

3.2.2. Selección y tamaño de muestra

El diseño experimental que se aplicará será unifactorial completamente al azar, con un arreglo combinatorio; se evaluará en el proceso de fritura de pollo y papas y el efecto que tiene la oxidación del aceite en relación con el tiempo de vida útil de este. Se tiene como resultado unidades experimentales y un total de 3 tratamientos. Dicho procedimiento se realizará para el aceite que se utiliza habitualmente en el proceso de fritura de pollo y papa, sin alterar las condiciones usuales de uso y del proceso en general.

Se analizará durante 3 semanas, observando las condiciones iniciales del aceite y las finales al tiempo estipulado que la empresa tiene de vida útil del aceite; se decidió realizar el estudio durante 3 semanas, debido a que no se cuenta con mucha disponibilidad de tiempo por parte de la empresa para prestar las instalaciones y realizar el procedimiento; por lo que se consideró que con 3 veces de repetido el procedimiento de estudio, se puede obtener un grado alto de confiabilidad sin interrumpir en gran manera la actividad de la empresa.

En el caso del aceite, al aplicarle el antioxidante, se analizará a una concentración de 0.1 % peso/peso; se escogió esta concentración debido a que es la recomendada por el fabricante de dicho antioxidante y es la concentración que ha tenido éxito en estudios realizados por ellos en Europa, para procesos similares al que se llevará a cabo.

Se medirá el porcentaje de compuestos polares en el tiempo estipulado como vida útil por la empresa en el proceso usual, y luego cada 2 días, el porcentaje de compuestos polares, hasta que se alcance el máximo permisible (se tomó el parámetro de 2 días debido a que se quiere ser lo más exacto posible al determinar el tiempo que se lleva alcanzar la cantidad de material polar permisible, antes de desechar el aceite); dicho estudio también se realizará por 3 semanas, al igual que la primera parte del estudio.

A la par de las pruebas realizadas al aceite, se harán pruebas sensoriales orientadas al producto (prueba sensorial triangular), elaborado en el aceite con antioxidante, para verificar que no afecta en sabor o aroma, en relación con el producto elaborado con aceite sin antioxidante; estas pruebas se realizarán en los mismos intervalos de tiempo bajo los cuales se harán las pruebas al aceite; dichas pruebas sensoriales se aplicarán a un panel previamente capacitado, para así obtener datos dentro de un rango de confiabilidad aceptado.

3.3. Recurso humano disponible

- Persona que realiza el estudio: Jennifer Gabriela Bautista Ardeano.
- Asesora: Inga. Qca. Hilda Piedad Palma de Martini. Colegiada No 453.
- Personas que realizaràn las pruebas sensoriales.

3.4 Recursos materiales disponibles

- Aceite utilizado en el freído (sazón alto rendimiento)
- Antioxidante
- Equipo Testo 265 (medidor de compuestos polares)
- Termómetro
- 2 ollas de acero de 2 litros
- Estufa
- Bàscula
- Agitadores (paletas)
- Jabón
- Agua
- Tablas
- Cuchillos
- Platos
- Palillos
- Servilletas

3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

A continuación se describe el procedimiento seleccionado, tanto para la técnica cualitativa como la cuantitativa.

3.5.1. Técnica cualitativa

Para poder conocer el efecto sensorial del antioxidante de romero sobre el producto final obtenido del proceso de fritura, se utilizará una prueba

sensorial orientada al producto, conocida como “Prueba de Triángulo para Diferencia”.

- Descripción de la tarea de los panelistas:
 - Se capacitarà a 6 panelistas (ver anexo 3), para la realización de dicha prueba.
 - Se tomaràn 3 muestras codificadas y se presentarán a los panelistas. (una es diferente y las otras dos son iguales).
 - Con estas muestras se les pedirá que seleccionen la muestra diferente (en relación con el aroma, sabor y textura del producto, entre otras características).
- Presentación de muestras: las dos muestras diferentes (A y B), serán presentadas a los panelistas en grupos de tres. Los panelistas reciben ya sea dos muestras A y una B o dos muestras B y una A. Las tres muestras se presentarán en recipientes idénticos, codificados con 3 números aleatorios. Los números de código de las muestras presentadas a cada panelista, serán diferentes aun cuando dos de las muestras sean idénticas.
- Análisis de datos: para evaluar la significancia de los resultados, se utilizará la tabla binomial de un extremo. La prueba binomial es apropiada, ya que se sabe que una muestra es diferente y por lo tanto solo hay una posibilidad de respuesta correcta.

Tabla VI. **Tabulación de los resultados de las pruebas sensoriales**

PANELISTA	RESULTADO

Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Técnica cuantitativa

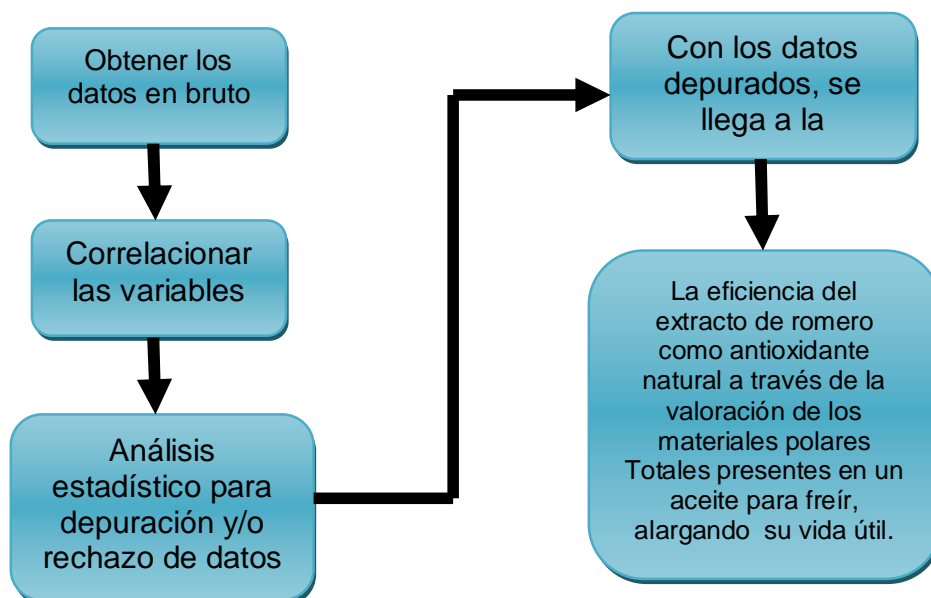
Medición del porcentaje de compuestos polares presentes en el aceite con antioxidante y sin antioxidante, utilizando para ello el equipo Testo 270; el procedimiento para realizar dichos análisis será el siguiente:

- Tomar muestra de aceite.
- Elevar el aceite a 40 °C.
- Haciendo uso del medidor Testo, hacer la lectura.
- Anotar en el cuadro correspondiente dicha lectura, para luego tabular y analizar los datos.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

En la siguiente figura se incluyen todos los pasos para recolectar y ordenar la información.

Figura 19. **Recolección y ordenamiento de la información**



Fuente: elaboración propia.

3.7. **Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

En las siguientes tablas se presenta toda la información, ordenada y procesada.

3.7.1. **Tabulación de los datos obtenidos**

Se procederá a tabular los datos obtenidos de los estudios realizados al aceite, los cuales se recabarán en la tabla presentada en el anexo 1, utilizando para ello el programa EXCEL.

Tabla VII. **Ejemplo de tabulación de datos, en bruto para aceite sin antioxidante**

FECHA	FREIDORA	% TPM

Fuente: elaboración propia

Tabla VIII. **Ejemplo de tabulación de datos en bruto para aceite con antioxidante**

FECHA	FREIDORA	Concentración de antioxidante	% TPM

Fuente: elaboración propia.

3.7.2. Ordenamiento de datos y procesamiento de la información

Luego de tabulados los datos, se procederá a ordenarlos según la fecha de tomada la muestra, para así saber si es aceite viejo o nuevo, y el porcentaje de componentes polares presentes, con base en el tiempo de vida de uso que lleva el aceite; luego se procederá a graficar dicha relación entre tiempo en días y porcentaje de compuestos polares.

En otra tabla, pruebas sensoriales con base en el tiempo de uso del aceite y porcentaje de compuestos polares presentes en el mismo, y luego graficar esto para encontrar una relación entre calidad del producto, vida de uso y porcentaje de compuestos polares presentes. Así también se procederá a realizar el análisis estadístico optado para analizar los datos y evaluar de esta manera la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Al final, con estos datos, equiparar con basa en la rentabilidad económica y a la calidad del producto, la opción de usar aceite con antioxidante, versus la opción de cambiar el aceite cada 8 días.

3.8. Análisis estadístico

Para tratar estadísticamente los datos, se utilizarán los siguientes métodos:

- Análisis de varianza: para evaluar si las diferencias de las variables son significativas; en la prueba de la media de Duncan.
- Método de análisis de media: utiliza tabla de medias para determinar el error estándar entre estas (el resultado de dividir la desviación típica agrupada entre la raíz cuadrada del número de observaciones a cada nivel) y conocer los límites más bajos y más altos alrededor de la media de cada tratamiento.
- La tabla binomial de un extremo, para evaluar la significancia de los resultados obtenidos en la prueba sensorial.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los análisis realizados a los dos casos de estudio: el aceite sin antioxidante y el aceite con antioxidante. Las gráficas están elaboradas con los datos tabulados en el apéndice 1.

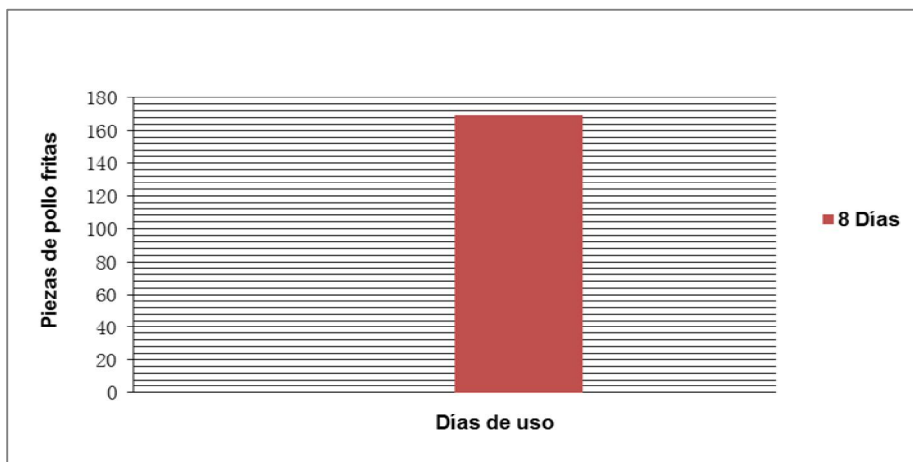
En las figuras 19 y 20 se muestra la estabilidad oxidativa del aceite con antioxidante y sin antioxidante en función del tiempo de uso y de las piezas fritas.

Por otro lado, la figura 21 muestra los componentes polares en aceite utilizado para fritura, en ambos casos de estudio.

La figura 22 muestra los resultados del estudio desde el punto de vista económico.

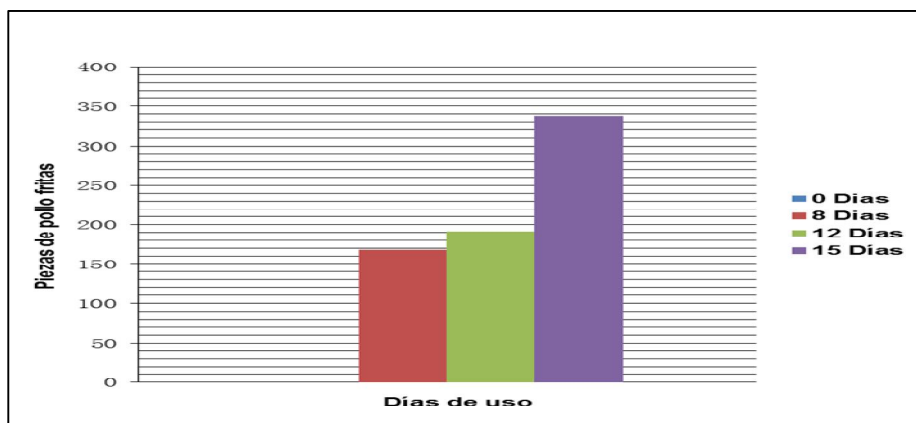
Por último, se muestran los resultados de las evaluaciones sensoriales realizadas para comprobar si el antioxidante a base de romero proporciona algún sabor o aroma característico al producto final.

Figura 20. **Capacidad de fritura del aceite sin antioxidante**



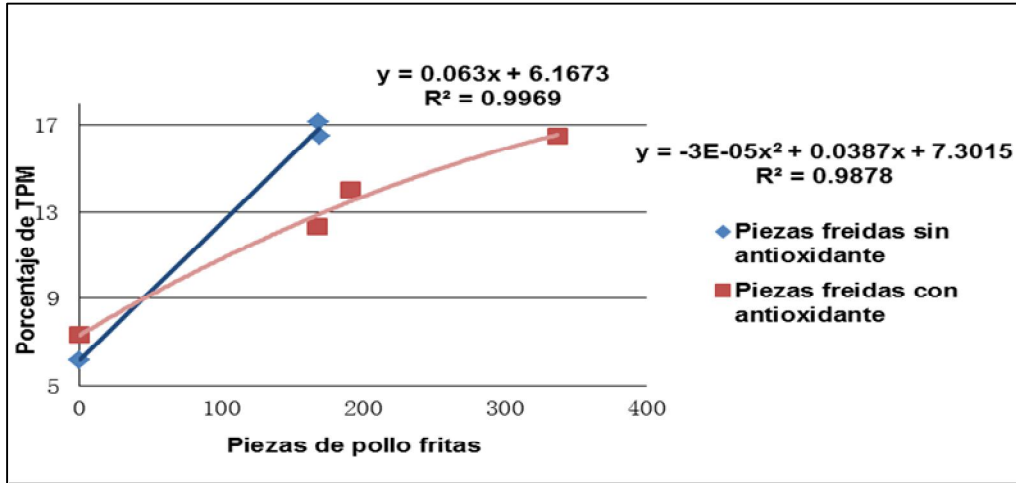
Fuente: elaboración propia. Datos tabulados en apéndice 1.

Figura 21. **Capacidad de fritura del aceite con antioxidante**



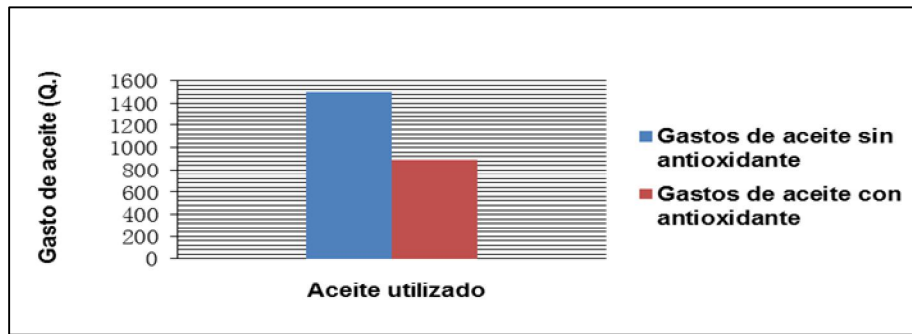
Fuente: elaboración propia. Datos tabulados en apéndice 1.

Figura 22. Componentes polares en aceite utilizado para fritura



Fuente: elaboración propia. Datos tabulados en apéndice 1.

Figura 23. Comparación económica de los casos en estudio



Fuente: elaboración propia. Datos tabulados en apéndice 1.

- Ahorro presentado: 41.07%
- Resultado evaluaciones sensoriales realizadas al producto final:
 - Probabilidad obtenida en la prueba triangular para el pollo frito: 0.075
 - Probabilidad obtenida en la prueba triangular para las papas fritas 0.05.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De las pruebas realizadas, utilizando el método de porcentaje de material polar total presente (% TPM), en donde se sometió el aceite a condiciones reales de temperatura y aeración.

Se puede observar en la figura 19, que la estabilidad oxidativa del aceite sin antioxidante en relación con la figura 20, en donde se observa el mismo fenómeno, pero ahora para el aceite con antioxidante, que se logra incrementar el tiempo de uso y las piezas obtenidas casi un 50%:

Por otro lado, al observar la figura 21, que muestra los componentes polares presentes en los casos de estudio de aceite (con antioxidante y sin antioxidante), en función de las piezas de pollo fritas (se tomó con base en este parámetro y que según muestra la literatura el pollo desgasta de manera más significativa el aceite que las papas).

Se comprueba que haciendo uso del antioxidante se logra aumentar la producción casi un 50 % y retirar el aceite en un parámetro que permita asegurar una calidad óptima de fritura, según muestra la siguiente tabla:

Tabla IX. **Calidad de la grasa con base en el material polar total presente**

Porcentaje de componentes polares	Clasificación de la grasa
Inferior a 1-14%	Grasas no usadas
14-18%	Ligeramente usadas
18-22%	Usadas, pero todavía aptas
22-24%	Muy usadas, renovar
Superior 24%	Gastadas

Fuente: TESTO. Manual práctico, medición del aceite de cocinar. p. 296.

Respecto de la viabilidad económica del proyecto, la gráfica no 22 muestra la comparación entre ambos casos de estudio, con lo que se puede comprobar que el ahorro entre usar el aceite con antioxidante y el de usar sin él, es del 41.07 %; lo que resulta ser significativo para los gastos de operación de las empresas que se dedican a este tipo de actividad económica.

En cuanto a las evaluaciones sensoriales, se puede observar en el área de resultados, que las pruebas corridas presentan una probabilidad de 0.075; por lo que no hubo una diferencia significativa entre las muestras, es decir con ello se comprueba que el antioxidante de romero no proporciona ningún sabor o aroma característico de él, al producto final obtenido.

CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos en el estudio, utilizando el método de porcentaje de material polar presente, el aceite al que se le aplica antioxidante proporciona una mayor estabilidad oxidativa, con lo que se logra alargar su vida útil.
2. Bajo condiciones normales en el proceso de fritura, para ambos casos de estudio, se observó que el aceite que contiene antioxidante, tarda más en llegar al máximo permisible de material polar presente y así dejar de ser apto para su uso.
3. Utilizando aceite con antioxidante, se calculó un ahorro significativo del 41.07 % en función del gasto generado por el consumo de aceite para fritura.
4. Al aplicar antioxidante a base de romero al aceite utilizado en el proceso de fritura para pollo y papas, no proporciona ningún aroma o sabor característico ajeno al producto final obtenido.
5. El extracto de romero es un antioxidante efectivo que logra estabilizar la degradación contra la oxidación del aceite de soya para frituras de pollo y papas, logrando con esto aumentar su vida útil en comparación con la del aceite sin antioxidante.

RECOMENDACIONES

1. Es importante tomar en cuenta la cantidad de antioxidante que se adicionará al aceite vegetal, así como el efecto de acarreo que se desea lograr. La dosis máxima recomendada es de 1 % en peso; un excedente no lograría un aumento significativo en la estabilidad del aceite, solo provocaría un gasto innecesario.
2. Si los alimentos van a ser consumidos inmediatamente después de la fritura, se puede prescindir del antioxidante. Pero si por otro lado, los alimentos van a ser almacenados por algún tiempo, se puede adicionar antioxidante a base de romero, el cual además de inhibir la degradación del aceite en el proceso de fritura, protege contra la oxidación al producto terminado en anaquel.
3. Es importante antes de recomendar el uso de antioxidante, verificar las buenas prácticas de fritura, ya que si se agrega agua en exceso al aceite, se está reduciendo su estabilidad oxidativa y entorpeciendo la acción del antioxidante.
4. Es necesario filtrar por lo menos una vez al día el aceite utilizado en la fritura, ya que el exceso de agentes externos (restos de costras de fritura, empanizador, sazónadores, etc.) aceleran el proceso de degradación del aceite y con ello se reduce la acción del antioxidante.

5. Verificar que la empresa en donde se aconseje el uso de antioxidante para aceites de fritura, se utilice aceites aptos para altas temperaturas, porque con otra clase de aceites no se logrará alcanzar los tiempos y rentabilidades obtenidos en este estudio; estos se desgastan de manera exponencial en relación con los aceites aptos para altas temperaturas.

6. El origen del aceite es necesario tomarlo en cuenta al momento de aconsejar el uso del antioxidante, porque este interacciona de distintas maneras con los diferentes aceites que se pueden encontrar en el mercado para altas temperaturas; con el que se consigue mejores resultados con base en los antecedentes del estudio es el de soya, le sigue el de palma y por último el de girasol.

BIBLIOGRAFÍA

1. FESSENDEN, Ralph; FESSENDEN Joan. *Química orgánica*. 2a ed. México: Iberoamericana, 1982. 1078 p.
2. MARTÍNEZ, Pedro J; RUS MARTÍNEZ, Eloísa. *Enranciamiento de materias grasas de origen vegetal y animal: alimentación, equipos y tecnología*. España, 1990. 73 p.
3. MORSE, Renee. *Encyclopedia of food technology*. Connecticut, USA: Avi Publishing Company, 1974. 600 p.
4. PERRY, Robert H. *Manual del ingeniero químico*. 5a ed. México: McGraw-Hill, 1986. 678 p.
5. SCHULER, Paolo. *Natural antioxidants exploited commercially*. Hudson: B.J.F., 1990. 170 p.
6. SHERWIN, Esther. *Oxidation and antioxidants in fats and oils processing*. Illinois: Journal of the American Oil Chemists' Society, 1978. 193 p.
7. SOTO, Ricardo. *Uso de los antioxidantes en productos fritos*. México: Soya-noticias, 1999. 4 p.
8. Testo. *Manual práctico, medición del aceite de cocinar*. Argentina, 2011. 386 p.

9. WINGROVE, Alan; CARET, Robert. *Química orgánica*. México: Harla, 1984. 1569 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Instrumentos de recolección de información de porcentaje de compuestos polares

SUCURSAL: _____

NÚMERO DE FREIDORA: _____

TIPO DE ACEITE: _____

FECHA	HORA	TEMP. (°C)	% TPM	RESPONSABLE DE MEDICIÓN	COMENTARIOS

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Instrumentos de recolección de información de pruebas sensorial triangular**

Apéndice 2.1. **Boleta de prueba triangular para muestras de pollo freídas en aceite con y sin antioxidante**

Nombre: _____	
Fecha: _____	
 Instrucciones:	
Aquí se le presentan tres muestras de pollo. Dos de estas son iguales y una es diferente. Pruebe las muestras que aparecen en la lista y ponga una marca (X) al lado del código de la muestra que es diferente.	
CÓDIGO	LA MUESTRA DIFERENTE ES:
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.2. **Boleta de prueba triangular para muestras de papas fritas en aceite con y sin antioxidante**

Nombre: _____	
Fecha: _____	
 Instrucciones:	
Aquí se le presentan tres muestras de papas. Dos de estas son iguales y una es diferente. Pruebe las muestras que aparecen en la lista y ponga una marca (X) al lado del código de la muestra que es diferente.	
CÓDIGO	LA MUESTRA DIFERENTE ES:
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Datos y resultados obtenidos en el estudio**

Apéndice 3.1. **Datos en bruto obtenidos en las distintas tiendas analizadas para la primera parte del estudio**

Fecha	Tienda	Temperatura	% TPM	Antioxidante presente	Cantidad de piezas de pollo fritas	Días de uso
19.11.2011	Plaza Quetzal	58	6	No	0	0
19.11.2011	Ciudad Quetzal	58	6.5	No	0	0
19.11.2011	Villas del Quetzal	58	6	No	0	0
26.11.2011	Plaza Quetzal	150	17	No	175	8
26.11.2011	Ciudad Quetzal	151	17.5	No	183	8
26.11.2011	Villas del Quetzal	150	15	No	150	8
03.12.2011	Plaza Quetzal	145	17.5	No	175	8
03.12.2011	Ciudad Quetzal	148	18	No	181	8
03.12.2011	Villas del Quetzal	147	16	No	151	8

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.2. **Datos en bruto obtenidos en las distintas tiendas analizadas para la segunda parte del estudio**

Fecha	Tienda	Temperatura	% TPM	Antioxidante	Cantidad de piezas de pollo fritas	Días de uso
10.12.2011	Plaza Quetzal	60	6.5	Sí	0	0
10.12.2011	Ciudad Quetzal	60	7	Sí	0	0
10.12.2011	Villas del Quetzal	60	8.5	Sí	0	0
17.12.2011	Plaza Quetzal	104.5	12.5	Sí	178	8
17.12.2011	Villas del Quetzal	104	13	Sí	180	8
17.12.2011	Ciudad Quetzal	105	11.5	Sí	145	8
21.12.2011	Plaza Quetzal	120.5	14	Sí	200	12
21.12.2011	Ciudad Quetzal	122.5	14.5	Sí	203	12
21.12.2011	Villas del Quetzal	121	13.5	Sí	170	12
24.12.2011	Plaza Quetzal	108	16.5	Sí	356	15
24.12.2011	Ciudad Quetzal	107	17	Sí	360	15
24.12.2011	Villas del Quetzal	108	16	Sí	296	15
31.12.2011	Plaza Quetzal	178	6	Sí	0	0
31.12.2011	Ciudad Quetzal	78	6.5	Sí	0	0
31.12.2011	Villas del Quetzal	78	6	Sí	0	0
14.01.2012	Plaza Quetzal	200	16	Sí	360	15
14.01.2012	Ciudad Quetzal	205	17	Sí	368	15
14.01.2012	Villas del Quetzal	200	15.5	Sí	300	15

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.3. **Datos tabulados para la primera parte del estudio**

Días de uso	Tienda	Piezas fritas	%
0	Plaza. Q	0	6
0	Ciudad Q.	0	6.5
0	Villas Q.	0	6
8	Plaza. Q	175	17
8	Ciudad Q.	183	17.5
8	Villas Q.	150	15
8	Plaza. Q	175	17.5
8	Ciudad Q.	181	18
8	Villas Q.	151	16

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.4. **Datos promedio obtenidos para la primera parte del estudio**

Promedio piezas fritas	Promedio %TPM	Días de uso
0	6.166667	0
169.3333	16.5	8
169	17.16667	8

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.5. **Datos tabulados para la segunda parte del estudio**

Días de uso	Tienda	Piezas fritas	%
0	Plaza. Q	0	6,5
0	Ciudad Q.	0	7,0
0	Villas Q.	0	8,5
8	Plaza. Q	178	12,5
8	Ciudad Q.	180	13,0
8	Villas Q.	145	11,5
12	Plaza. Q	200	14,0

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.6. **Datos promedio obtenidos para la segunda parte del estudio**

Promedio piezas fritas	Promedio % TPM	Días de uso
0	7,333333	0
167.6667	12,33333	8
191	14	12
337.3333	16.5	15

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.7. **Consumo de aceite mensual sin antioxidante**

Semanas	Kg de aceite	Costo aceite (Q.)
semana 1	19.85	375,95
semana 2	19.85	375,95
semana 3	19.85	375,95
semana 4	19.85	375,95

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.8. **Costo mensual de aceite sin antioxidante**

Tiempo de uso	Costo (Q.)
1 mes	1503.8

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.9. **Consumo mensual de aceite con antioxidante**

Semanas	Kg de aceite	Kg antioxidante
Semana 1	19.62	0.0794
Semana 4	19.62	0.07944

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.10. **Costo mensual de aceite con antioxidante**

Costo aceite (Q.)	Costo antioxidante (Q.)	Costo total (Q.)
371.59	71.5	443.09
371.59	71.5	443.09

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.11. **Ahorro obtenido en el estudio**

Ahorro	Porcentaje
617.62	41.07062

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.12. **Datos obtenidos en la evaluación sensorial del pollo frito**

Número de participantes	Eligió la muestra correcta
1	No
2	Sí
3	Sí
4	No
5	Sí
6	No
7	Sí
8	Sí
9	No
10	Sí
11	No
12	Sí
13	No
14	No
15	Sí
16	No
17	Sí

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.13. **Resultados obtenidos en la evaluación sensorial del pollo frito**

Número de respuestas correctas	Probabilidad
9	0.075

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.14. **Datos obtenidos en la evaluación sensorial de las papas fritas**

Número de participante	Eligió la muestra correcta
1	Sí
2	Sí
3	No
4	Sí
5	No
6	Sí
7	No
8	No
9	Sí
10	Sí
11	No
12	Sí
13	No
14	No
15	No
16	No
17	Sí

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.15. **Resultados obtenidos en la evaluación sensorial de las papas fritas**

Número de respuestas correctas	Probabilidad
8	0.075

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.16. **Datos obtenidos en el análisis de varianza para la primera parte del estudio**

Observaciones	%	SUM (X-M) ²
1	6	-7.27778
2	6.5	-6.77778
3	6	-7.27778
4	17	3.722222
5	17.5	4.222222
6	15	1.722222
7	17.5	4.222222
8	18	4.722222
9	16	2.722222

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.17. **Resultados obtenidos en el análisis de varianza para la primera parte del estudio**

Varianza obtenida
5.60968E-30

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.18. **Datos obtenidos en el análisis de varianza para la segunda parte del estudio**

Observaciones	% TPM	SUM (X-M) ²
1	6.5	-6,04167
2	7	-5,54167
3	8.5	-4,04167
4	12.5	-0,04167
5	13	0,458333
6	11.5	-1,04167
7	14	1,458333

Continuación del apéndice 3.18.

9	13.5	0,958333
10	16.5	3,958333
11	17	4,458333
12	16	3,458333

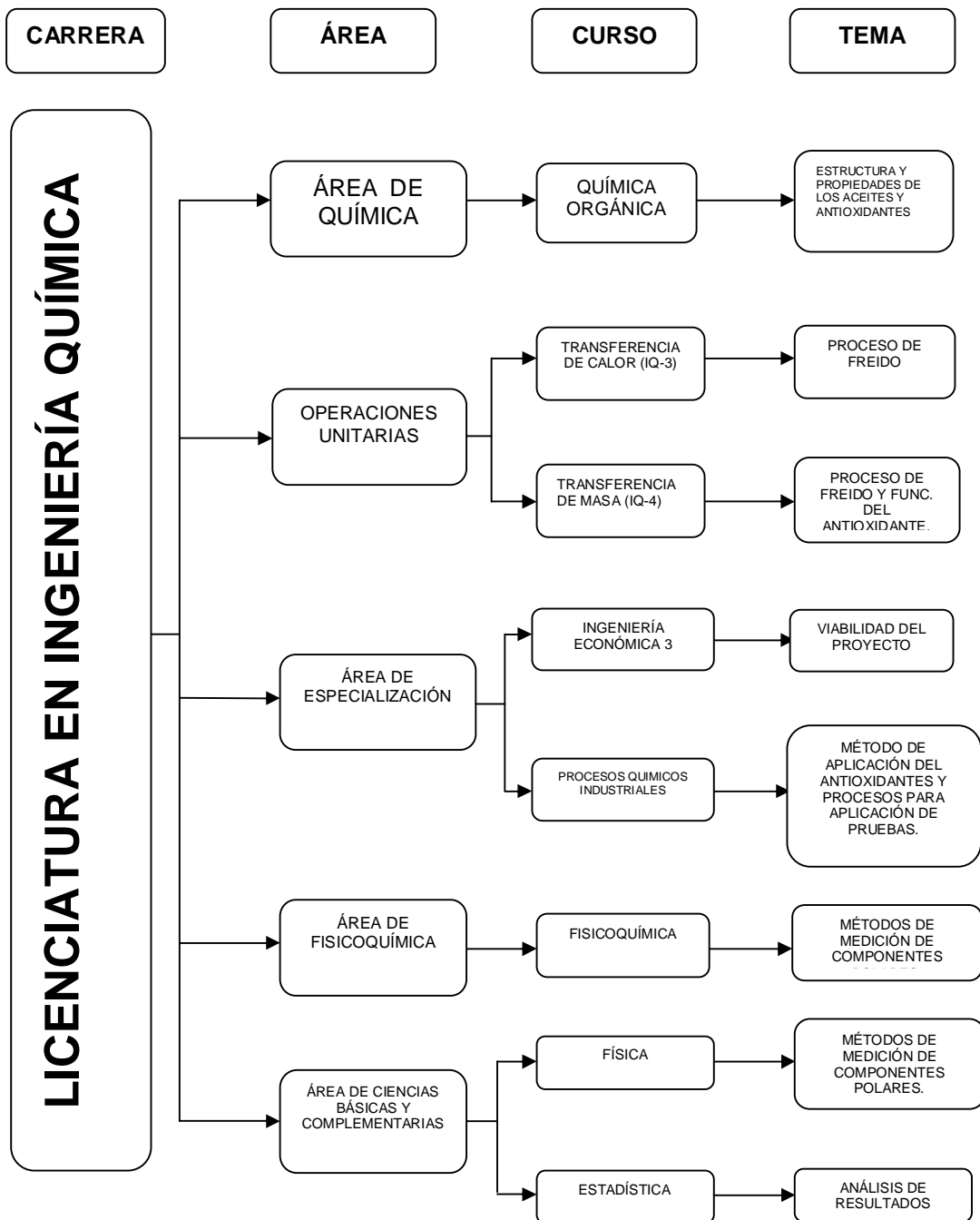
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.19. **Resultados obtenidos en el análisis de varianza para la segunda parte del estudio**

Varianza obtenida
4.20726E-30

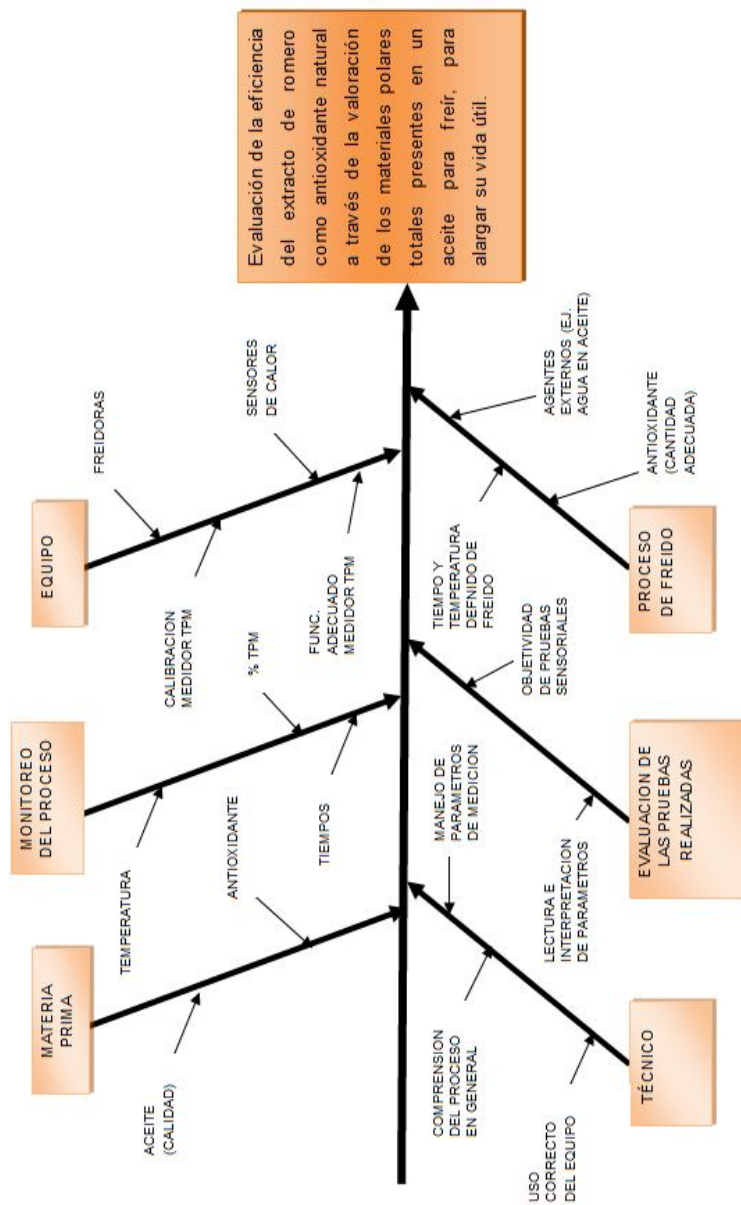
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Tabla de requisitos académicos**



Apéndice 5. Diagrama Ishikawa

Aplicación de un antioxidante natural en aceites para freír, para disminuir la formación de cuerpos polares debido al uso prolongado y exposición a altas temperaturas, alargando su vida útil



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Fotografías de estudio realizado**

Apéndice 6.1. **Freidora utilizada en el estudio**



Fuente: Restaurante Pollo del Campo, Ciudad Quetzal.

Apéndice 6.2. **Medición de compuestos polares**



Fuente: Restaurante Pollo del Campo, Ciudad Quetzal.

Apéndice 6.3. **Aplicación de antioxidante a la caneca de aceite a utilizar**



Fuente: Restaurante Pollo del Campo, Ciudad Quetzal.

ANEXOS

Anexo 1. Ampliación del método sensorial orientado al producto: “Prueba Triángulo para Diferencia”

Las pruebas orientadas a los productos, utilizadas comúnmente en los laboratorios de alimentos, incluyen las pruebas de diferencias, de ordenamiento por intensidad, de puntajes por intensidad y pruebas de análisis descriptivo. Estas siempre se llevan a cabo utilizando paneles de laboratorio entrenados. Una prueba muy utilizada para este tipo de prácticas es la prueba de Triángulo para Diferencia.

Las pruebas de diferencia se diseñan para determinar si es posible distinguir dos muestras entre sí, por medio de análisis sensorial.

Las pruebas de diferencia pueden utilizarse para determinar si ha ocurrido un cambio perceptible en la apariencia, sabor o textura de un alimento, como resultado de su almacenamiento, o si ha ocurrido un cambio en el proceso de elaboración o alteración en algún ingrediente.

La prueba de Triángulo es un tipo de prueba de diferencia utilizada comúnmente para determinar si existen diferencias perceptibles entre dos muestras; el tamaño y la dirección de las diferencias no se especifican en esta prueba. La prueba de Triángulo también puede utilizarse para determinar la habilidad de los panelistas para discriminar diferencias de apariencia, olor, sabor o textura de los alimentos.

Para identificar una diferencia utilizando la prueba triangular, deben seguirse las siguientes instrucciones generales:

- Descripción de la tarea de los panelistas: tres muestras codificadas son presentadas a los panelistas; una es diferente y las otras dos son iguales. Se pide a los panelistas que seleccionen la muestra que es diferente, aun si ellos no encuentran ninguna diferencia entre las muestras (en caso de duda, los panelistas debe decidirse por una muestras).
- Presentación de muestras: las dos muestras diferentes (A y B), son presentadas a los panelistas en grupos de tres. Los panelistas reciben ya sea dos muestras A y una B o dos muestras B y una A. las tres muestras se presentan en pequeños recipientes idénticos, codificados con 3 números aleatorios. Los números de código de las muestras presentadas a cada panelista, deben ser diferentes, aun cuando dos de las muestras sean idénticas. Las muestras se presentan simultáneamente, en el orden seleccionado para cada panelista, de manera que los panelistas las evalúen de izquierda a derecha. En esta prueba, sí se permite que se prueben las muestras una segunda vez.
- Análisis de datos: para evaluar la significancia de los resultados, se utiliza la tabla binomial de un extremo. La prueba de un extremo es apropiada, ya que se sabe que una muestra es diferente y por lo tanto solo hay una posibilidad de respuesta correcta. En la prueba triangular se suma el número de panelistas que han identificado correctamente la muestra diferente y "n" representa el número total de panelistas que participan en la prueba. La tabla contiene 3 probabilidades decimales para ciertas combinaciones de X y n; en la tabla se omite el cero inicial para ahorrar espacio; por lo tanto 868 se debe entender como 0.868; por ejemplo, si 9

de 17 participantes eligieron correctamente la muestra diferente, la probabilidad de acuerdo con la tabla ($x = 9$ y $n = 17$) sería 0.075, debido a que para tener significancia se exige una probabilidad de 0.05 o menos; se podría concluir que no hubo una diferencia significativa entre las muestras. En este tipo de pruebas de diferencia, tanto la confiabilidad como la sensibilidad aumentan a medida que participan más panelistas.

Anexo 2. Prueba binomial de un extremo

TABLA 7.9
Prueba Binomial de Un Extremo
Probabilidad de X o más juicios correctos en n pruebas (p = 1/3)

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
0	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
1	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
2	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
3	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
4	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
5	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
6	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
7	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
8	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
9	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
10	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
11	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
12	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
13	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
14	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
15	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
16	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
17	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
18	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
19	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
20	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
21	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
22	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
23	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
24	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
25	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
26	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
27	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											
28	0.000	0.377	0.267	0.197	0.146	0.109	0.081	0.059	0.043	0.031	0.021	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001											

Nota: Se ha omitido la coma del decimal inicial.

Fuente: BROWN, Watts. Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. p.126.

Anexo 3. Información técnica del extracto de romero



PRODUCT SPECIFICATION

SyneROX HT (Product code: 302144)

Vitiva d.d.
Nova vas 98
2281 Markovci
SLOVENIA
Tel.: + 386 2 7888 733
Fax: + 386 2 7888 731
e-mail: service@vitiva.eu
www.vitiva.eu

Description:

SyneROX HT is a blend of natural rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extract with other functional ingredients that can provide synergistic effects.

Composition:

vegetable oil, rosemary extract, CITREM (E 472c)

Specification:

Form at room temperature:	viscous liquid
Color:	amber*
Odor:	slightly on rosemary
Reference antioxidative compounds:	carnosic acid and carnosol
Content of reference antioxidative compounds:	min. 4.2 %, expressed as the total of carnosic acid and carnosol
Content of carnosic acid:	min. 4.0 %
Antioxidant/Volatiles ratio:	≥ 15
Arsenic:	max. 3 mg/kg
Lead:	max. 2 mg/kg
Solubility:	oil, ethanol, dispersible in water

Microbiological quality:

Total plate count	< 1000 CFU/g
Yeasts and moulds	< 100 CFU/g
Salmonellae	negative/25 g
Enterobacteriae	negative
Coliform bacteria	<10/g
Escherichia coli	negative/g
Bacillus cereus	negative/g

*Color variations may occur from batch to batch.

Information provided is offered in good faith but without guarantee, since conditions and methods of use of our products are beyond our control. By accepting this shipment, the recipient agrees not to use this product for the purpose of infringing patents, trademarks or the like.

Issue: 03

Page/Pages:1/2

Fuente: www.vitiva.eu. Consulta: mayo de 2013.