



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO**



INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

Área Académica de Química

**“Efecto de la utilización de placas de cerámica en
parámetros de oxidación del aceite usado para fritura
de botanas”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO DE QUÍMICA EN ALIMENTOS**

PRESENTAN:

**Magali Santos Arista
Maricela García Ahued**

DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Eva María Santos López

Mineral de la Reforma, Hidalgo; 2015

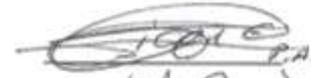
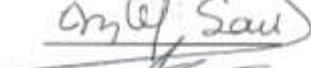
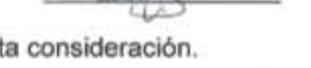


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
 Institute of Basic Sciences and Engineering
Área Académica de Química
 Chemistry Department

M. en A. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO,
DIRECTOR DE CONTROL ESCOLAR
DE LA U.A.E.H.,
Presente:

Por este conducto le comunico que el jurado asignado a las pasantes de la Licenciatura de Química en Alimentos **Maricela García Ahued y Magali Santos Arista**, quienes presentan el trabajo de investigación **"Efecto de la utilización de placas de cerámica en parámetros de oxidación del aceite usado para fritura de botanas"**, después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales, estos han decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

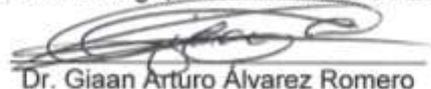
A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

Presidente	Dr. Javier Añorve Morga	
Primer vocal	Dra. Eva María Santos López	
Segundo vocal	Dr. José Antonio Rodríguez Ávila	
Tercer vocal	Dra. Araceli Castañeda Ovando	
Secretario	Dr. Javier Castro Rosas	
Primer suplente	Q.A. Andrés García Guerrero	
Segundo suplente	Dra. Esmeralda Rangel Vargas	

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

ATENTAMENTE
 "Amor, Orden y Progreso"
 Pachuca Hidalgo, 6 de noviembre de 2015.



Dr. Gian Arturo Álvarez Romero
 Coordinador Adjunto de la Licenciatura de
 Química en Alimentos



Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
 Av. del Conocimiento s/n, Colonia Carboneras, Pachuca, Hidalgo, México

Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
 Colonia Carboneras
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
 Tel. +52 771 7172000 exts. 2200 y 2201, Fax 6502
 aaq_icbi@uah.edu.mx



www.uah.edu.mx



Esta investigación fue apoyada por el Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica del CONACYT, convocatoria 2013, en la modalidad INNOVATEC, Proyecto número 199839, de la Empresa FRITOS TOTIS, S.A. de C.V.



Parte de los resultados se presentaron en el 6to Congreso Internacional de “Ciencia y Biotecnología de los Alimentos en países en Desarrollo” (8-10 de Octubre del 2014) llevado a cabo en Monterrey, Nuevo León, México y el 6to Foro de Alimentos (22-23 de abril del 2015) en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

~ AGRACECIMIENTOS DE MAGALI ~

Gracias a **Dios**, por esta oportunidad y poner en mi camino a estas personas que son tan importantes.

A mis padres **Camelia Arista** y **Marcos Santos**, que son los mejores padres del mundo y lo más importante en mi vida, por el apoyo y confianza (confiaron más que yo en mí) se siempre me dieron, por ese cariño y amor. Estoy muy orgullosa de ustedes, los amo. GRACIAS POR TODO.

Abuelito David†, muchas gracias por su apoyo, cariño y miles de recuerdos que me dio. Por ser esa inspiración para estudiar Química, Un poco tarde para que lo viera, pero lo logre. SI SE PUDO!!!.

Gracias a mis hermanitos (churpios) **Daniel** y **Diana**, a pesar de todo lo que ha sucedido me han hecho fuerte, los TQM y siempre estaré para ustedes.

Dra. Eva, muchas gracias por el apoyo, la paciencia como tutora y directora de tesis, las oportunidades y confianza que nos brindó. Es una gran persona y muy honesta. Gracias por todo...

A los Dres., gracias por los consejos, regaños y enseñanza aprendí de ustedes tanto académicamente y como persona.

Gracias a las pequeñas MA's (**Gaby, Ale, Andrea**), por ese apoyo y pláticas que ayudan a relajar en el estrés, por ese tiempo que nos conocimos gracias al proyecto con la Dra. Eva. Gracias por esa amistad.

Y al último y no por eso menos importantes a mis queridos Beffos (**Maricela** y **Javier**).

Mary muchas gracias, has estado en momento difíciles para mí, por esa amistad que se logró, por soportar a esa niña #loca y por muchas otras cosas que no acabaría de decir. Cinco años de amistad que espero que sean muchos más y con muchas más pato aventuras por vivir.

Javier, no me queda más que decir gracias, eres una gran persona en todos sentidos y un buen amigo que claro suele desaparecer, pero espero que no lo hagas ☹. Sigue siendo el mismo de siempre y claro con esa sonrisa que te caracteriza.

Gracias beffos por sus pláticas y risas interminables que espero que sigan después de años.

Sé que olvido nombres, pero gracias en general a esas personas que compartieron con mígo esta estancia en la Universidad (nueva etapa de vida) haciéndola más ligera y divertida.

~ AGRADECIMIENTOS DE MARICELA ~

En la vida se encuentran momentos especiales los cuales te hacen crecer de alguna manera, estos momentos pueden llegar a ser experiencias o grandes éxitos de los cuales aprendes diariamente. Este trabajo estuvo lleno de días de esfuerzos, en los cuales participamos varias personas de manera directa e indirecta, dando su apoyo o bien palabras de aliento para seguir haciendo la tesis con entusiasmo. Por ello, es necesario agradecer a las personas que nos apoyaron en estos 5 años de trayecto y en los últimos años haciendo este trabajo.

Primero a **Dios**, por ser un gran guía y permitirme llegar a este momento.

A mi mamá (**Maricela Ahued**), por dedicarme cada momento de tu vida desde que nací. Sé que no ha sido fácil para ti, pero sabes que eres mi orgullo y te admiro mucho por todos los sacrificios que has dado a los que más quieres. Gracias por el apoyo y por aguantar que tu hija pequeña tuviera que irse a otro sitio a estudiar, que aunque no fue fácil creo que me has hecho un gran bien dándome cierta libertad de ejercer mi vida. Sabes que te quiero infinitamente...

A mi papá (**Jorge García**), gracias por las palabras de aliento, por el apoyo que me brindaste en este lapso de mi vida. También te agradezco por entender que esta carrera era un gran sueño que tenía y sé que no te agrada tanto estas materias pero siempre estuviste para mí.

A mi hermano, **Francisco Ahued**. Eres mi veterinario favorito y un gran profesional, espero llegar a ser una gran profesionalista como tú lo has hecho hasta ahora. Sabes que te admiro y te agradezco todo lo que has hecho por mí en todo este tiempo. Sin ti mi sueño tampoco se hubiese cumplido, y ahora el mejor pago que puedo hacerte es entregarte un fruto de mi esfuerzo de tanto tiempo que estuve aquí. Te quiero aunque siempre andemos de la greña XD.

Gracias a mis tíos (**Ángeles Ahued y Jordán Avilés**), gracias por el apoyo cuando lo necesite siempre estuvieron, por estar con mi mamá apoyándola y preocupándose por ella. Gracias por apoyar a mi hermano durante su estancia en México, por todo eso y más los quiero mucho...

Obviamente no puede faltar **Magali**, quien iba decir que después de la preparatoria íbamos a coincidir en este camino... sobre todo haciéndonos grandes amigas. Gracias por todo Santitos, sabes que te quiero mucho (aunque tú dices que no XD) pero también tengo que agradecerte por tenerme paciencia durante todo este tiempo, por aguantar mi mal humor, por mis locuras, por mis risas. Para ninguna de las dos ha sido fácil dejar todo para estar aquí en Pachuca estudiando, pero al fin este esfuerzo da frutos, y fue un honor trabajar juntas en este gran proyecto.

No pueden faltar mis amigos que conocí durante este trayecto, fueron un gran apoyo mientras me encontraba en Pachuca.

Beffito **Javier**, gracias por todo amigo. Tengo muchas cosas que agradecerle, y una de esas cosas es tu amistad y apoyo durante estos años, la verdad cuando te conocí nunca pensé llevarme tan bien contigo. Tienes mi admiración por tu esfuerzo y dedicación, siempre recordare que tienes una gran sonrisa para todos y en todo momento no dejes que nadie la quite de tu rostro...

Monse y Ana, la vida me enseñó que hay gente que pueda quedarse siempre aunque cambien nuestros caminos, así paso con nosotras, gracias por su amistad y apoyo durante todo este tiempo. Nos dieron la confianza y un gran soporte durante todo este tiempo. Las quiero muchísimo y lo saben.

Gracias a mis compañeros de la generación por su apoyo y comprensión en todo momento. Me dieron la responsabilidad muchas veces de ser su jefa de grupo, pero debo aceptar que muchas veces me apoyaron en este trabajo.

También agradezco infinitamente a mi equipo de trabajo de laboratorio de tesis (puras mujeres que loco...). Nuestra mami **Gaby**, gracias por ayudarnos durante todo el trabajo, quedarte con nosotros hasta largas horas de la noche para freír y salir con un lindo perfume a fritura XD. **Ale**, nuestra bióloga experta convertida en alimentóloga XD, gracias por apoyarnos y demostrarnos que aprender de todo está bien aunque no sea de tu profesión, también gracias por ese viaje a Monterrey fue una gran experiencia. **Andrea**, nuestra veracruzana, te conocimos poco pero entablamos una buena amistad, sabes que se te aprecia y que tendrás éxito en todo Ingeniera.

Dra. Eva muchas gracias por permitirme ser parte de su equipo de trabajo y tenemos la confianza para llevar a cabo cada parte del proyecto. Quiero agradecerle las oportunidades que nos ha dado en todo este tiempo, regañarnos cuando necesitábamos poner más atención en las cosas, y sobre todo por enseñarnos un poco de su conocimiento y experiencia en esta área. Sobre todo le agradezco su honestidad y hacernos crecer como personas sobre todo en lo profesional.

Dr. Añorve y Dr. José Antonio, tengo mucho que agradecerles a ambos. Muchas veces algunos profesores durante la profesión pueden influenciar sus palabras o sus acciones durante nuestra estancia. Quiero agradecerles sus palabras, confianza y apoyo durante estos años, ya que fueron de gran ayuda para que siguiera aquí y no me rindiera a pesar de las dificultades que se me presentaban.

Dra. Araceli, gracias por darnos un poco de su tiempo, conocimiento y paciencia durante este proyecto.

Dra. Elizabeth, gracias por ser una excelente tutora en este tiempo, por darse tiempo de escucharme y apoyarme en mis problemas.

Gracias **al Dr. Victor y Dra. Rosa Linda**, que aunque no estuvieron durante mi estancia en la universidad, me permitió trabajar un tiempo con ustedes en ICAP. Gracias por su paciencia, disponibilidad y sobre todo darme ciertos conocimientos que me servirían durante mi formación.

Finalmente agradezco a todos los sinodales, por darse tiempo para leer, corregir y aportar sus opiniones al proyecto, ya que fueron importantes para la presentación del trabajo.

~DEDICATORIAS~

“Para empezar un gran proyecto, hace falta valentía. Para terminar un gran proyecto, hace falta perseverancia”

(Anónimo)

A mi abuelito David† y mis padres Camelia y Marcos

Por su apoyo y confianza

~ Magali ~

A Maricela Ahued, Jorge García y Paco

Por ser mí fuerza durante estos años

~ Maricela ~

ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN	2
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Botanas: clasificación y consumo	3
2.2 Botanas y su relación con la obesidad	4
2.3 Proceso de elaboración de botanas saladas	5
2.4 Efecto del proceso de fritura profunda en la materia prima	6
2.5 Problemas de deterioro en botanas	12
2.6 Medida de la calidad del producto frito y aceite	15
2.7 Estrategia para reducir la oxidación en el producto y aceite	21
3. JUSTIFICACIÓN	24
4. OBJETIVOS	25
4.1 Objetivo general	25
4.2 Objetivos específicos	25
5. MATERIALES Y MÉTODOS	26
5.1 Material	26
5.2 Fritura	26
5.3 Análisis de producto (papas y pellets)	27
5.3.1 Determinación de humedad	27
5.3.2 Determinación de grasa	27
5.3.3 Análisis sensorial	28
5.3.4 Determinación de color	28
5.4 Análisis del aceite	29
5.4.1 Determinación de peróxidos	29
5.4.2 Determinación de índice de p-anisidina	30
5.4.3 Determinación del índice de acidez	30
5.4.4 Determinación de compuestos polares	31
5.4.5 Medición de color	31

5.5	Análisis estadístico	32
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
6.1	Resultados del producto frito	33
6.1.1	Análisis de humedad y grasa	33
6.1.2	Análisis sensorial	35
6.1.3	Análisis de color	37
6.2	Resultados de aceite	40
6.2.1	Análisis de índice de acidez libre	40
6.2.2	Análisis del índice de peróxidos	42
6.2.3	Análisis de índice de p-anisidina	42
6.2.4	Análisis de compuestos polares totales	46
6.2.5	Análisis de color	49
6.3	Correlación entre las variables de oxidación	52
7.	CONCLUSIONES	57
8.	REFERENCIAS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación del consumo de botanas en México del año 2014 (Organización de Botanas en México)	4
Figura 2. Mecanismo de reacción de Maillard.....	8
Figura 3. Mecanismo de formación de la acrilamida por el calentamiento de alimentos (Zyzak <i>et al.</i> , 2003).....	9
Figura 4. Mecanismo de la reacción de oxidación lipídica (Mimica <i>et al.</i> , 2012)	13
Figura 5. Formación de ácidos grasos y diacilgliceroles (Dobarganes, 2009) .	14
Figura 6. Reacción de los aldehídos con la <i>p</i> -anisidina.	17
Figura 7. Correlación de los estados de oxidación lipídico con las alternativas de cuantificación de compuestos de oxidación (Castillo, 2007).....	17
Figura 8. Correlación general de alternativas de detección de oxidación con respecto al tiempo de freído (Choe y Min 2007).	19
Figura 9: Placas de cerámica utilizadas en el proceso de fritura (FRYLOW®, 2015).....	23
Figura 10. Ficha de prueba sensorial realizada en el análisis de botanas	28
Figura 11. Relación de aciertos y errores obtenidos en la evaluación de sensorial de papa frita a diferentes tiempos	36
Figura 12. Comparación de aciertos y errores obtenidos en la evaluación sensorial de pellet tipo donita a diferentes tiempos.	36
Figura 13. Relación del índice de <i>p</i> -anisidina obtenido en oleína de palma utilizada para realizar fritura de papa. (* Indica diferencia significativa ($P < 0.05$) en la muestra).	44
Figura 14. Comportamiento del Índice de <i>p</i> -anisidina del Aceite utilizado en <i>pellet</i> tipo donita (* Índica diferencia significativa ($P < 0.05$) en la muestra). 46	
Figura 15. Relación entre el parámetro <i>b</i> , índice de <i>p</i> -anisidina y % CPT	52
Figura 16. Correlación de índice de <i>p</i> -anisidina y %CPT de oleína de palma usada para el proceso de fritura de papa	53
Figura 17. Relación entre el índice de acidez, índice de <i>p</i> -anisidina y % CPT del aceite usado para <i>pellet</i>	54
Figura 18. Correlación de índice de % CPT e índice de acidez en oleína de palma usada para el proceso de fritura de pellet tipo donita.....	55
Figura 19 Correlación de índice de <i>p</i> -anisidina y acidez libre de oleína de palma usada para el proceso de fritura de <i>pellet</i> tipo donita.	55
Figura 20. Correlación de índice de % CPT e índice de <i>p</i> -anisidina en oleína de palma usada para el proceso de fritura de pellet tipo donita.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales aceites y grasas utilizados en la industria alimentaria.	10
Tabla 2. Niveles generales de calidad que debe cumplir un aceite de fritura (Navas, 2005).	11
Tabla 3. Resultados de porcentaje de humedad y grasa cruda obtenida en la papa frita (desviación estándar en paréntesis; N=9).....	33
Tabla 4. Resultados de humedad y grasa en pellet tipo donita (desviación estándar en paréntesis; N=9).....	35
Tabla 5. Resultados de Color presentes en papa frita elaborada a los distintos tratamientos (entre paréntesis la desviación estándar; N=9).....	38
Tabla 6. Resultados de color presentes en pellet tipo donita elaborado a los distintos tratamientos (desviación estándar en paréntesis; N=9).....	39
Tabla 7. Resultados de Índice de Acidez (mg de NaOH/g oleína de palma) del Aceite utilizado en papa frita (desviación estándar en paréntesis; N=9)....	40
Tabla 8. Resultados de Índice de Acidez (mg de NaOH/g oleína de palma) del Aceite utilizado en pellet (desviación estándar en paréntesis; N=9)	41
Tabla 9. Resultados de Índice de p-anisidina (meq de aldehídos/g aceite) del Aceite utilizado en papa frita (desviación estándar en paréntesis; N=9)....	43
Tabla 10. Resultados de Índice de p-anisidina (meq de aldehídos/g aceite) del Aceite utilizado en pellet tipo (desviación estándar en paréntesis; N=9) ...	45
Tabla 11. Resultados de %CPT presentes en el aceite de papa frita (desviación estándar entre paréntesis; N=9)	47
Tabla 12. Resultados de %CPT presentes en el aceite de pellet tipo donita (desviación estándar entre paréntesis; N=9)	48
Tabla 13. Relación de resultados de Color en aceite diluido presentes en el aceite de papa frita (Desviación estándar entre paréntesis; N=9)	50
Tabla 14. Resultados de color presentes en el aceite de pellet tipo donita diluido (desviación estándar entre paréntesis; N=9)	51
Tabla 15. Coeficientes de correlación entre parámetros de oxidación en muestras de aceite utilizado para fritura de papa.	52
Tabla 16. Coeficientes de correlación entre parámetros de oxidación en muestras de aceite utilizado para fritura de pellet.....	54

1. RESUMEN

En México, las botanas saladas son consumidas de manera cotidiana por millones de personas, por sus características sensoriales. Al ser las botanas un alimento indulgente, las personas no miden la cantidad que consumen de estos productos, lo cual causa problemas nutricionales generando obesidad e hipertensión, por el exceso de aceite presente en las botanas. Es por ello que la industria de las botanas se ha preocupado por reducir el contenido de grasa disminuyendo temperatura/ tiempo de freído, adicionando o modificando materias primas, desarrollando otros procesos de fritura. Por otro lado, otro de los retos de la industria botanera es aumentar la vida útil del producto, reduciendo la oxidación de lípidos sin afectar las características sensoriales. En el presente trabajo se evaluó la eficacia de la utilización de unas placas de cerámica comerciales durante la fritura de papa y de *pellet* de maíz, en la reducción de contenido graso en el producto y disminución o retardo de fenómenos de oxidación, frente al proceso tradicional. Para ello, se realizaron frituras de papa y *pellet* cada 15 min a $180 \pm 5^\circ\text{C}$ durante un período de 2 h, evaluando tanto el producto como el aceite de fritura. En el producto se evaluaron parámetros fisicoquímicos, y se realizó análisis sensorial. En las muestras de aceite se determinaron el índice de acidez, índice de peróxidos, índice de *p*-anisidina, porcentaje de compuestos polares totales (% CPT), además de color. De acuerdo a los resultados el contenido graso de los *pellets* y la papa frita no fueron afectados significativamente por la presencia de las placas. En el caso del aceite de fritura de papa, la presencia de placas afectó significativamente de manera positiva reduciendo la producción de compuestos secundarios de oxidación (índice de *p*-anisidina y compuestos polares). En lo que respecta a *pellets* la presencia de las placas no supuso una mejora evidente en los parámetros de oxidación del aceite.

2. ANTECEDENTES

2.1 Botanas: clasificación y consumo

Las botanas son productos (papas, harinas, semillas, frutos, piel de cerdo, etc.) que pueden ser horneados, inflados, fritos, explotados, cubiertos, extruidos o tostados adicionados o no con aditivos alimenticios (NOM-187-SSA1/SCFI-2002).

A nivel mundial, el consumo de botanas ronda en un 32% de los diferentes productos botaneros, tanto salados como dulces. América del Norte es uno de los principales consumidores de botanas saladas/fritas, a comparación de África que son quienes consumen menos este tipo de productos ya que no tienen la materia prima y el equipo para producirlas (The Nielsen Company, 2014).

Según la Organización de Botanas en México, éstas se han clasificado por su elaboración en las siguientes categorías (Limón y León, 2014):

- Frituras de harina de trigo y maíz.
- Papas fritas.
- Totopos y tostadas.
- Chicharrón de cerdo.
- Cacahuates y semillas.
- Otros productos inflados / horneados

Por otro lado, *Canacintra* (2010) clasifica las botanas por la composición de las mismas utilizadas en la industria: 33% corresponde a frituras de maíz; 31% papas y otros productos fritos y tostados; 27% otros productos secundarios; 8% para otros productos de maíz y trigo, además de 1% de otros productos no genéricos como chicharrones de cerdo.

Las botanas más consumidas en el país son las fritas, entre ellas se pueden encontrar las frituras de harina de trigo y maíz y las papas como se muestra en la figura 1 (Limón y León, 2014).

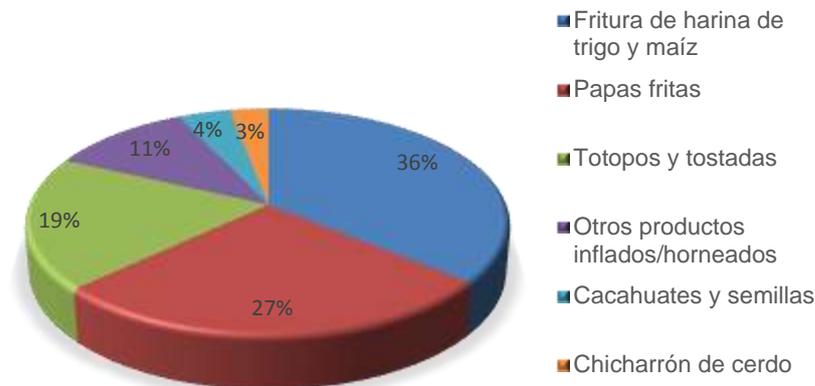


Figura 1. Relación del consumo de botanas en México del año 2014 (Organización de Botanas en México)

De acuerdo con Kantar World Panel (KWP), en el año 2014 las botanas se consumen en el 97% de los hogares mexicanos. En tanto que, en volumen, el consumo promedio en los hogares durante el 2012 fue de 2.8 kilogramos (Limón y León, 2014).

2.2 Botanas y su relación con la obesidad

Las botanas son un alimento frito altamente consumido por sus características sensoriales agradables para el consumidor, y no tanto por el aporte energético que proporciona, convirtiéndolo en un alimento indulgente. Es el proceso de fritura profunda el cual confiere sabor al producto, excelente sensación de palatabilidad, color dorado o tostado y textura crujiente (Ramos *et al.*, 2012). Sin embargo, estos productos presentan una cantidad considerable de grasa, algunos más del 45 % del producto total. En diferentes países entre ellos México y Estados Unidos la demanda por los productos fritos continua aumentando, siendo las papas fritas uno de los más populares, con contenidos de grasa de entre 35 y 45 g/100 g (Masson *et al.*, 2002; Ramos *et al.*, 2012).

Aunque el consumo de grasas es esencial en la dieta por el aporte energético, el consumo excesivo de alimentos con alto contenido en grasa provoca problemas de salud como son obesidad, diabetes y problemas cardiovasculares. Debido a esto, en los últimos años muchas empresas de botanas han enfocado su investigación en buscar procesos alternativos para reducir la absorción del aceite en los productos fritos, sin que estos pierdan las características sensoriales deseadas como textura y sabor (Ramos *et al.*, 2012).

2.3 Proceso de elaboración de botanas saladas

La fritura es un proceso sencillo, rápido y conveniente para la producción de alimentos que tiendan a tener características sensoriales favorecedoras al añadir aceite en el producto para tener una superficie crujiente (Bou *et al.*, 2012).

El proceso de fritura puede ser realizado de dos maneras, superficial (en poca grasa) o profunda (sumergido en grasa) (Navas, 2005; Suaterna, 2008). El primer proceso consiste en un recipiente de superficie plana, donde se precalienta una capa fina de aceite para la cocción de un producto sin cubrir totalmente la materia frita. La función del aceite en este proceso es que el producto no se pegue en la superficie del recipiente y obtener una ligera crujencia en el exterior (Suaterna, 2008).

El proceso de fritura profunda consiste en una cocción en aceite o grasa caliente a temperaturas de 180-190°C, donde el aceite transmite calor al producto y hace que tome las características sensoriales ideales para su consumo, las cuales son una crujencia y una textura deseable (Suaterna, 2008; Suaterna, 2009; Al-Khusaibi *et al.*, 2012).

A su vez, el proceso de fritura profunda puede realizarse de manera continua o discontinua. La primera consiste en una producción automatizada a nivel industrial, en el cual las botanas a elaborar y el aceite se mantiene a un nivel constante para su elaboración. El equipo que se utiliza, las condiciones de uso, la fritura, el tipo de aceite elegido son algunos de los parámetros que se consideran en la industria para cuidar la calidad del producto (Navas, 2005).

El proceso de fritura discontinuo es utilizado por productores de botanas en baja escala, ya que este se realiza en una freidora convencional con una cantidad de aceite limitado, y éste no suele ser supervisado en su calidad porque el producto es consumido de manera inmediata (Navas, 2005; Bou *et al.*, 2012).

El aceite utilizado para la fritura de las botanas debe ser empleado por ciclos en ambos casos. Estos ciclos deben ser revisados para que se mantengan estandarizadas las condiciones de calidad del aceite. Pero este ha sido un problema para la industria, ya que existen diversos factores que afectan la calidad, algunos de ellos son el almacenamiento del aceite, la naturaleza de la materia prima (aceite y producto a freír), y la interacción que existe entre ellos, los equipos y las condiciones del proceso (Bou *et al.*, 2012).

2.4 Efecto del proceso de fritura profunda en la materia prima

Un factor primordial en el deterioro presentado durante el proceso de fritura es el producto a freír y el aceite usado. La papa es uno de los productos que más estudios científicos y tecnológicos tienen, por el efecto que causa en el deterioro de aceite dado sus características (humedad, presencia de azúcares, almidón, maduración, entre otros) (Bou *et al.*, 2012).

Lo que ocurre con la papa en la fritura es un cambio físico y químico a nivel celular del producto. Este inicia con un daño a la pared externa de la papa, por medio del calor que causa desnaturalización proteica y produce una gelatinización del almidón. De esta forma, la materia prima se hace susceptible a un intercambio de agua que se encontraba en la papa por el aceite que se encuentra en el medio, dando como resultado la textura crujiente de la botana. Cuando se enfría el producto para su envasado, se estabiliza la estructura del almidón causando la retención total del aceite (Ramos *et al.*, 2012). En el caso de los *pellets*, el aceite del medio se absorbe en menor cantidad que la papa, puesto que al ser un producto seco no tiene las mismas propiedades que la papa (Thanatuksorn *et al.*, 2009).

El *pellet* al ser un producto de baja humedad tiene una alta capacidad de absorción de aceite. Esta absorción se da por la capilaridad y la presión que se genera en la estructura de la harina, hace que los poros se vuelvan más grandes. Al pasar el tiempo de freído, la estructura del *pellet* se debilita causando que la presión capilar ya no sea tan fuerte y disminuya la capacidad de absorción del aceite (Thanatuksorn *et al.*, 2009).

Otro cambio que tienen las botanas durante el proceso de fritura es la reacción de Maillard (pardeamiento no enzimático), el cual proporciona cambios sensoriales deseables en ellas, como son la coloración dorada. Esta reacción es el resultado de una serie de transformaciones, que dependen de diferentes factores como son: temperaturas elevadas (140-180°C), presencia de azúcares reductores (grupo carbonilo), presencia de grupo amino (proteínas o aminoácidos), pérdida de agua y tipo de materia prima utilizada (Rossi, 2007; Hasbún *et al.*, 2009).

En la reacción de Maillard, el grupo carbonilo (azúcar reductor o lípido oxidado) se condensa y el grupo amino forma una base de Schiff, sufriendo una reorganización llamada de Amadori, donde el grupo amino se bloquea y pierde disponibilidad, degradando los aminoácidos debido a las altas temperaturas, generando compuestos de Amadori, como se muestra en la figura 2 (Ruiz, 2009).

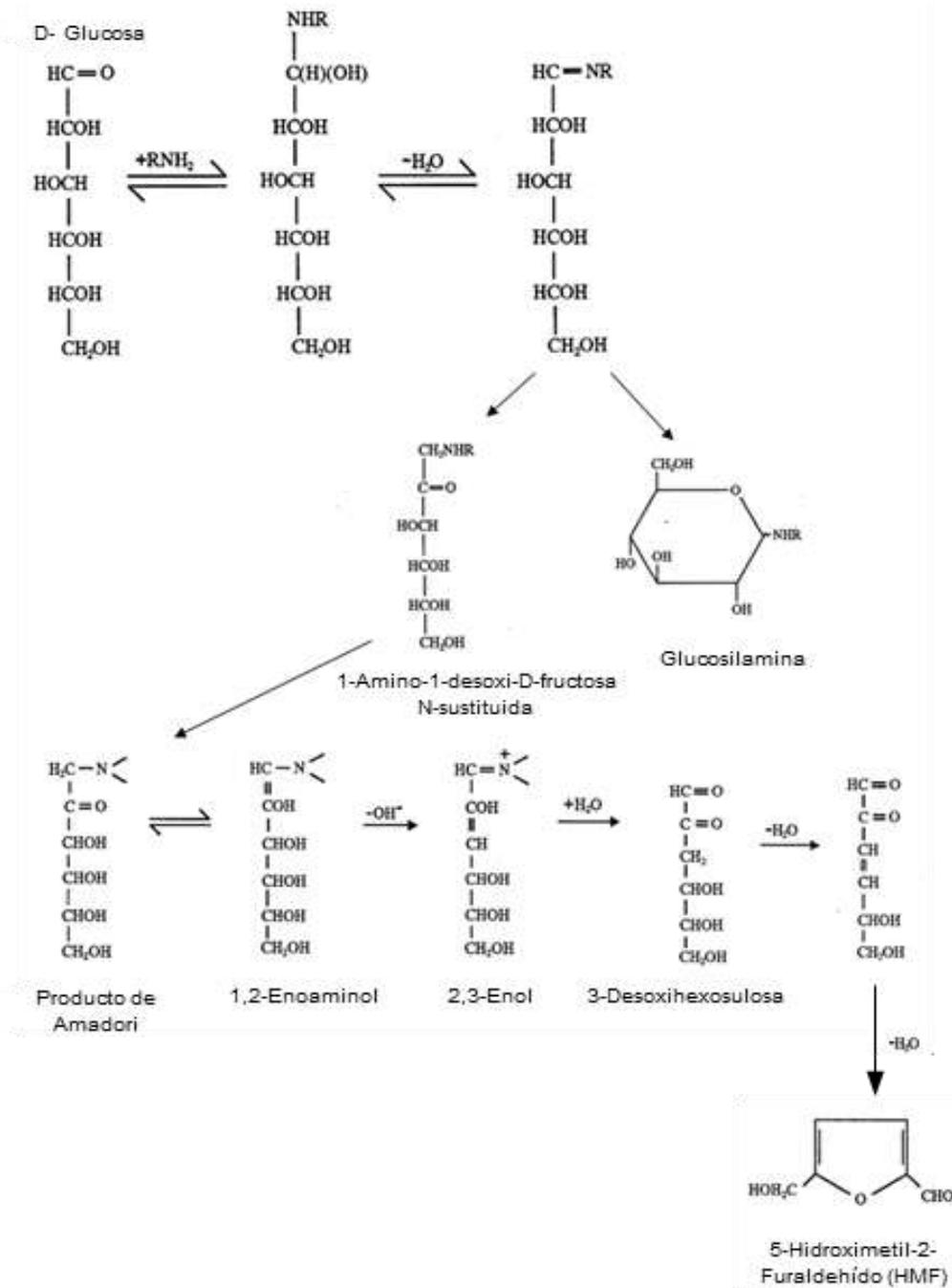


Figura 2. Mecanismo de reacción de Maillard (Kirck *et al.*, 1996).

Posteriormente, al final de la reacción se forman las melanoidinas que son compuestos de alto peso molecular que proporcionan la coloración marrón dorada característica de las botanas, si el proceso de calentamiento continua, la reacción puede llegar a la formación de acrilamida que es un compuesto blanco, tóxico, mutágeno y cancerígeno, el cual sigue un mecanismo de reacción de la figura 3. Las condiciones de reacción para la formación de este

compuesto son calentamiento prolongado a elevadas temperaturas, alto contenido en azúcares y bajo contenido proteico (Sara *et al.*, 2005; Matsuura-Endo *et al.*, 2006; Valenzuela y Ronco, 2007; Ruiz, 2009).

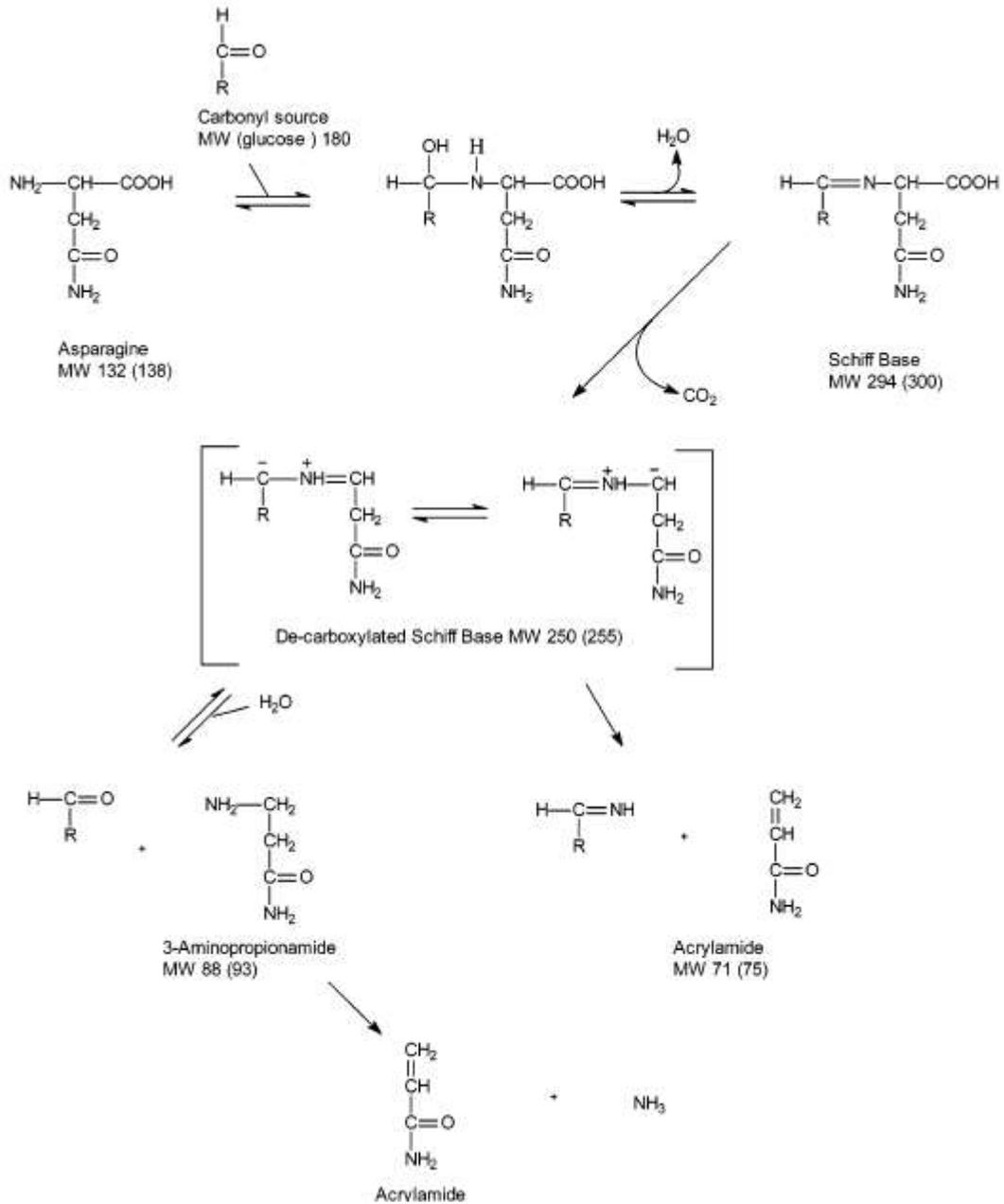


Figura 3. Mecanismo de formación de la acrilamida por el calentamiento de alimentos (Zyzak *et al.*, 2003)

El otro gran ingrediente en el proceso de fritura es el tipo de aceite utilizado. Los aceites y las grasas son distinguidos por los ácidos grasos y los triglicéridos que contienen, dándoles características en su estructura química y física. Los ácidos grasos pueden ser saturados e insaturados, la diferencia radica en la presencia de dobles enlaces en su estructura química. Los dobles enlaces en la estructura hacen que el ácido graso se haga más susceptible a una oxidación rápida, en comparación a los saturados (Fennema, 2000).

Los aceites comúnmente utilizados para la elaboración de frituras se muestran en la tabla 1 (Navas, 2005; Tarrago *et al.*, 2006).

Tabla 1. Principales aceites y grasas utilizados en la industria alimentaria.

Tipo	Grasas y Aceites
Grasas animales	Manteca de Cerdo y sebos
Aceites vegetales	Oliva, girasol, soya, maíz, algodón y colza.
Grasas vegetales	Palma, palmiste y coco
Fracciones de grasas	Esterina de palma, oleína de palma y esterina de palma
Grasas hidrogenadas	Aceite de pescado, soya, oleína de palma hidrogenada.

Sin importar el origen de este tipo de grasas o aceites deben tener ciertos niveles de calidad para ser utilizados en la industria de las botanas, para evitar que los productos tengan propiedades sensoriales desagradables y cumplan con la normativa vigente. Los niveles de calidad utilizados para los aceites se mencionan en la tabla 2, aunque a veces puede llegar a cambiar por el producto frito (Navas, 2005; Rojas y Narváez, 2011).

Tabla 2. Niveles generales de calidad que debe cumplir un aceite de fritura (Navas, 2005).

Criterio	Especificación
Color (unidades Lovibond rojo)	2.0 máx.
Ácidos grasos libres	0.1% máx.
Índice de peróxidos	1-2 meq de O ₂ /kg
% Compuestos Polares Totales	25%
Punto de humo	200-220°C mín.
Índice de <i>p</i>-anisidina	156 meq de aldehídos/kg

Teniendo en cuenta los datos anteriores, se han desarrollado fracciones grasas o grasas parcialmente hidrogenadas para mantener la estabilidad del aceite por mayor tiempo. Las grasas hidrogenadas se originan por medio de métodos físicos o químicos, teniendo en cuenta las propiedades del aceite o grasa. Uno de los aceites vegetales más usados para estos procedimientos es el de palma, dando lugar a dos extractos: la oleína y la esterina de palma (Navas, 2005; Mba *et al.*, 2015).

De los dos extractos, la oleína de palma es muy utilizada en las empresas de alimentos principalmente en la de frituras. Esto es por la estabilidad que presenta a la oxidación durante el calentamiento (Mba *et al.*, 2015).

2.5 Problemas de deterioro en botanas

En la industria de los alimentos es importante determinar los diferentes defectos que presenta un alimento para mejorar su conservación. Las botanas tienen dos principales deterioros, el físico y el químico, que se detallan a continuación:

Deterioros Físicos

Daños físicos

Este daño es, principalmente, la reducción de tamaño durante el almacén o transporte, provocando la pérdida de calidad del producto ya que el consumidor prefiere producto no dañado (FAO, 2014).

Absorción de agua

La absorción de humedad es uno de los deterioros más importantes en las botanas, esto es porque el producto puede absorber agua del ambiente provocando pérdida de textura, oxidación de la fritura y favoreciendo la formación de hongos y levaduras (FAO, 2013).

Deterioros químicos

Auto-oxidación o enranciamiento

El aceite de fritura al ser sometido a altas temperaturas y condiciones ambientales (humedad, oxígeno, equipos, materia prima entre otros), inicia la degradación de los ácidos grasos del aceite. Durante la oxidación, tanto en el aceite como el producto, la calidad se ve afectada causando defectos sensoriales (olores rancios, pérdida de crujencia) y nutricionales, estos son provocados por los compuestos de oxidación secundaria (malonaldehído, principalmente) (Masson *et al.*, 2002).

El mecanismo de reacción de la oxidación de lípidos se lleva a cabo por una reacción de radicales libres, el cual consta de tres pasos que son iniciación, propagación y terminación (figura 4), los cuales se explican a continuación (Barreiro y Sandoval, 2006):

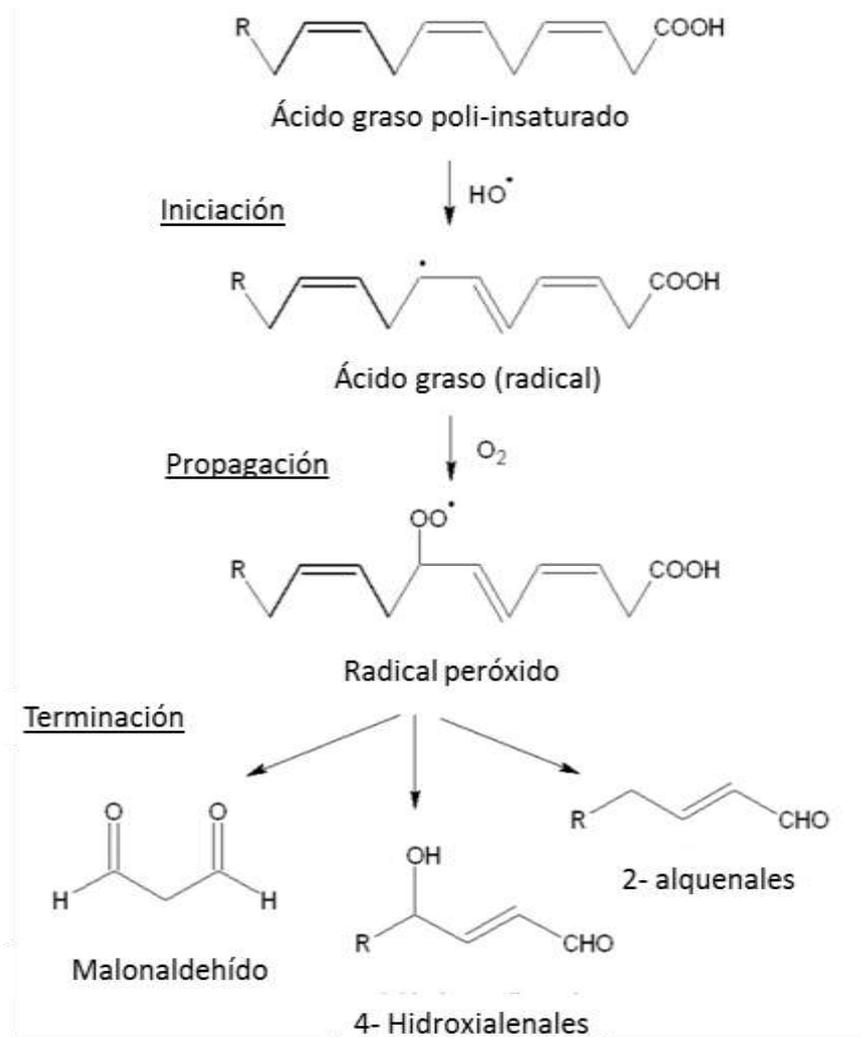


Figura 4. Mecanismo de la reacción de oxidación lipídica (Mimica *et al.*, 2012)

-Iniciación

En esta etapa se lleva a cabo un ataque del oxígeno en estado singlete al carbono adyacente al doble enlace con lo que se pierde un átomo de hidrógeno de la molécula del lípido, formando un radical libre debido al rearrreglo en la estructura. En este proceso se tiene como catalizador el oxígeno, fotones o trazas de metales (Shahidi y Zhong, 2005; Barreiro y Sandoval, 2006)

-Propagación

El oxígeno se incorpora al radical libre anterior formando un hidroperóxido. En esta etapa, es el oxígeno triplete el que interviene, formando un ciclo de reacción entre oxígeno e hidroperóxido (Shahidi y Zhong, 2005; Barreiro y Sandoval, 2006).

-Terminación

El proceso termina cuando ya no se pueden seguir formando peróxidos ni radicales libres, es decir cuando se lleva cabo la oxidación total del lípido, teniendo así compuestos estables (aldehídos, cetonas, alcoholes entre otros), los cuales generan los defectos sensoriales, como olores rancios y pérdida de textura (Shahidi y Zhong, 2005; Barreiro y Sandoval, 2006).

Hidrólisis o enranciamiento hidrolítico

Al freír alimentos con alto contenido de agua se lleva a cabo un intercambio agua-aceite, provocando cambios en los ácidos grasos del aceite de fritura, degradándolos a moléculas más pequeñas, llevando a cabo una reacción de hidrólisis que se muestra en la figura 5.:

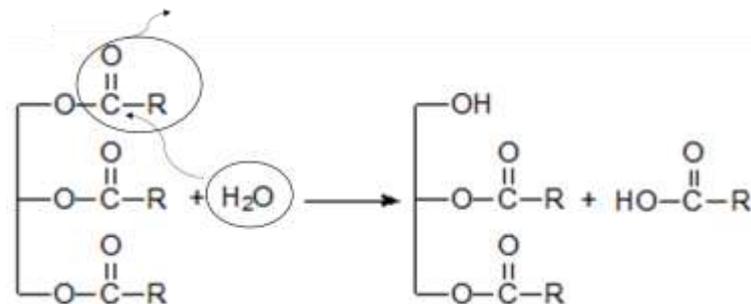


Figura 5. Formación de ácidos grasos y diacilglicerol (Dobarganes, 2009)

El freído profundo al cual se someten las botanas favorece la reacción de hidrólisis debido a que ésta requiere altas temperaturas (143 - 213°C). Otra forma de favorecer esta reacción es por medio de un tensoactivo como aceite fresco, alimentos o restos de detergente en la freidora, aumentando la interacción agua/aceite (Gupta, 2005).

Esta reacción no sólo es provocada por la presencia de agua, sino también es catalizada por la presencia de enzimas (lipoxigenasa), pero esto no perjudica en el caso de las botanas debido a la ausencia de esta enzima (Zamora *et al.*, 1991).

2.6 Medida de la calidad del producto frito y aceite

Las reacciones de deterioro en el aceite de fritura y producto afectan la calidad de éstos. Para ello, es necesario medir con diversos métodos analíticos y sensoriales la rancidez de ambos ingredientes.

Debido a los diferentes compuestos que se originan durante el deterioro de este tipo de productos, no existe una sola técnica la cual englobe la medición de todos los compuestos. A continuación se mencionan algunas de las metodologías más utilizadas para determinar la oxidación de aceite de fritura y botanas.

Métodos analíticos

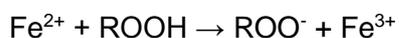
Índice de acidez

El uso de esta técnica es frecuente en la industria de alimentos, ya que es un método rápido y eficaz. La importancia de esta radica en la cuantificación de ácidos grasos libres de cadena corta hidrolizados durante el proceso de rancidez hidrolítica, por medio de una neutralización provocada por la adición de una base fuerte. A mayor cantidad de ácidos grasos libres la oxidación se favorece dada la ruptura de las cadenas de ácidos grasos. La técnica consiste en una valoración de la muestra de aceite diluida con solventes orgánicos y valorando con una base fuerte (NaOH o KOH) (Panreac, 2000; Navas, 2005; Castillo, 2007).

Índice de peróxidos

Los compuestos de oxidación se van originando por etapas, en el caso de los peróxidos suelen ser los primeros en aparecer de forma que incrementan su concentración en las primeras etapas de la autooxidación para luego disminuir al seguir reaccionando dando origen a los compuestos secundarios de oxidación siendo más estables estos últimos. Existen dos principales técnicas por las cuales se puede determinar este tipo de compuestos. La primera de la AOAC (965.33) se basa en la reacción del yoduro de potasio con los peróxidos y así liberar el yodo para ser valorado con tiosulfato de sodio. La cuantificación se realiza de estequiometría tomando en cuenta el exceso de yodo que se liberó (Panreac, 2000; Castillo, 2007; Navas, 2005).

La otra técnica consiste en una medición espectrofotométrica a una longitud de 470 nm. La reacción que se presenta es una oxidación de ion ferroso a ión férrico, el cual forma un complejo con el tiocianato dando lugar a un compuesto cromóforo (naranja-rojizo). Las reacciones ocurridas durante el proceso del experimento se muestran a continuación (Hornero *et al.*, 2001):



Índice de p-anisidina

Los peróxidos son inestables ya que siguen la reacción de oxidación hasta formar compuestos secundarios más estables, como el malonaldehído, cetonas entre otros; los cuales provocan el olor desagradable (rancio) en los productos. La técnica de *p*-anisidina mide la concentración de estos compuestos. Se basa en la reacción de los compuestos secundarios con la *p*-metoxianilina (*p*-anisidina) para formar un cromóforo (figura 6) (Navas, 2005; Castillo, 2007).

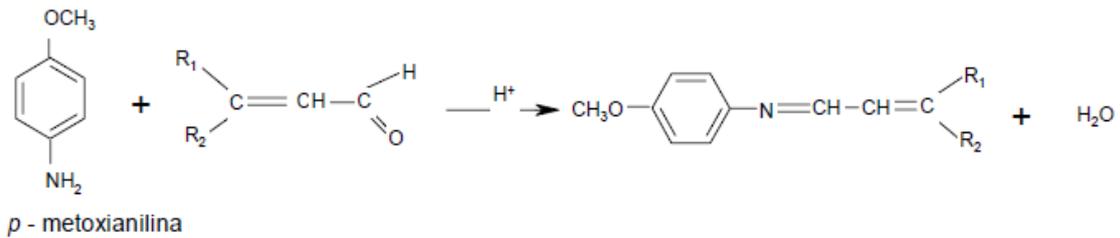


Figura 6. Reacción de los aldehídos con la *p*-anisidina.

La reacción se basa en la formación de una base de Schiff de color amarillo, que se lleva a cabo en medio ácido entre el reactivo (*p*-anisidina) y los compuestos carbonílicos del aceite o grasa utilizada. Los compuestos a los que se les atribuye principalmente la reacción son los 2-alquenes y 2,4-alcadienales por la disponibilidad de dobles enlaces conjugados aumentando la intensidad de absorbancia. Por la formación de un cromóforo y que la concentración de éstos, se mide la absorbancia a 350 nm (Castillo, 2007).

El cálculo se hace por diferencia de absorbancias de la mezcla de aceite con hexano y la misma mezcla haciéndola reaccionar por 10 min con la *p*-anisidina (NMX-F-051-SCFI-2007).

La relación que guardan las diferentes medidas de parámetros de oxidación se muestran en la figura 7 (Castillo, 2007).

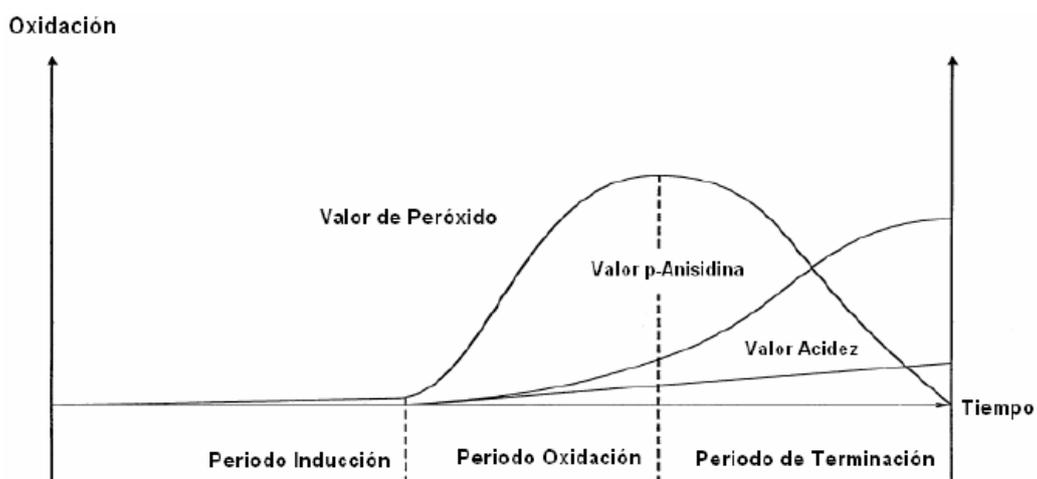


Figura 7. Correlación de los estados de oxidación lipídico con las alternativas de cuantificación de compuestos de oxidación (Castillo, 2007).

Índice de TOTOX

Es una de las técnicas más utilizadas en la industria de los aceites, ya que engloba los dos compuestos de auto-oxidación (oxidación total). Esta técnica mide peróxidos por valoración y el índice de *p*-anisidina por espectrofotometría. El cálculo completo de los compuestos de autooxidación se determina por una fórmula que engloba a ambos compuestos (Tatt *et al.*, 2009).

$$\text{Índice TOTOX} = 2(\text{índice de peróxidos}) + (\text{índice de } p - \text{anisidina})$$

Compuestos polares totales

También conocido como componentes polares totales, es una de las técnicas mayormente utilizadas, por que engloba todos los compuestos de oxidación tanto hidrolítica como de la auto-oxidación, presentes en aceites que han sufrido un calentamiento progresivo. Una de las técnicas más utilizadas para detectar los compuestos polares es la cromatografía, pero se lleva mucho tiempo. Últimamente se han empleado nuevas técnicas para determinar la concentración de % compuestos polares totales (% CPT) por medio de sensores de cerámica y laminas de metales que basan su funcionamiento en la conductividad del aceite como consecuencia de la presencia de compuestos polares (Testo, 2010; Al-Khusaibi *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2013).

Color

El aceite al sufrir un calentamiento progresivo o bien en condiciones de almacenamiento inadecuadas, además de sufrir cambios químicos también presenta cambios sensoriales en el color. Dado este cambio, se puede tomar como parámetro para determinar la oxidación o bien el deterioro que ha sufrido el aceite.

Para la medición de color se utilizan escalas que transforman medidas espectrofotométricas en valores cuantificables de color como parámetros CIE Lab, tri-estímulo etc. Los parámetros CIE Lab son los más comúnmente utilizados para medir el color en alimentos, donde L luminosidad, “a” es la componente verde-rojo y “b” es la azul-amarillo (Rodríguez *et al*, 2011).

Según Choe y Min (2007), las diferentes técnicas analíticas utilizadas para la determinación de la oxidación presentan un comportamiento de acuerdo a la figura 8, de tal manera que inicialmente se produce un aumento de peróxidos y de compuestos volátiles conforme avanza el tiempo, mientras que disminuyen otros compuestos como los ácidos grasos insaturados y aumenta el color oscuro.

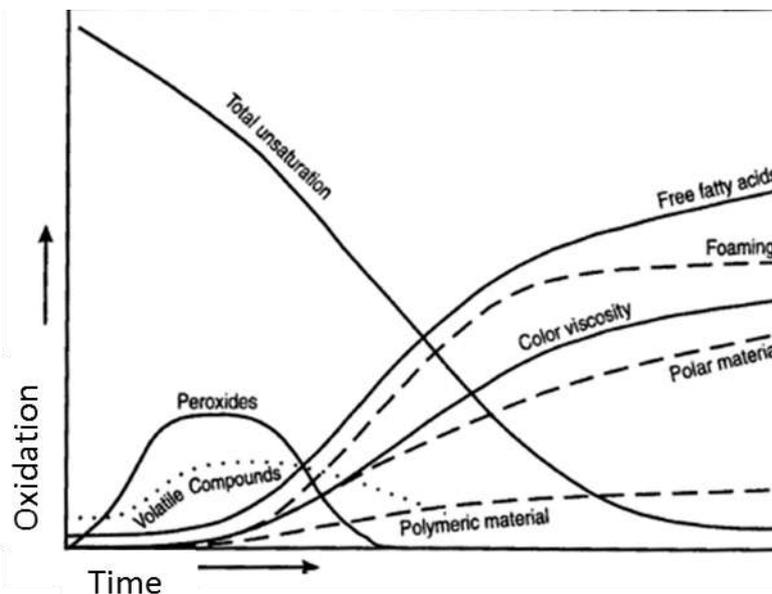


Figura 8. Correlación general de alternativas de detección de oxidación con respecto al tiempo de freído (Choe y Min 2007).

Métodos sensoriales

Para las pruebas analíticas de determinación de oxidación, el uso de las botanas es complejo debido al pre-tratamiento de la muestra (extracción), pudiendo afectar la cuantificación de los compuestos de oxidación provocado por el calentamiento. Es por ello que las técnicas sensoriales son ideales para evaluar la rancidez de la fritura (Navas, 2005).

Entre las pruebas más usadas en las botanas saladas para su evaluación sensorial y de vida de anaquel se encuentra la prueba hedónica escalar, de aceptación y la triangular (Jaswir *et al.*, 2000; Espinosa, 2007). Las tres pruebas se encargan de distinguir parámetros a evaluar como es la apariencia, olor, sabor o textura. La prueba hedónica escalar identifica y evalúa una característica en específico dando un rango de evaluación del producto. La prueba de aceptación es una prueba muy utilizada para evaluación general de los parámetros del producto por medio de una calificación de agrado de los diferentes catadores, dándole un porcentaje. Finalmente, la prueba triangular se usa para distinguir diferencia entre dos productos que han sufrido algún cambio, ya sea en el proceso de elaboración, el uso de algún aditivo o bien para evaluar un cambio que no sea muy notorio para el consumidor. Las tres evaluaciones requieren jueces semi-entrenados o bien que consuman de manera frecuente el producto (Jaswir *et al.*, 2000; Espinosa, 2007; Jonnalagadda *et al.*, 2007; UNE- EN ISO 4120:2008).

La textura del aceite se basa en el espesor que va causando la oxidación por medio del calor y el intercambio de agua-aceite de la botana. Estas técnicas se realizan por dos equipos: densímetro y viscosímetro. El densímetro es un instrumento que mide la densidad relativa, sin necesidad de saber el peso ni el volumen del aceite. El equipo es un instrumento de vidrio, el cual tiene un bulbo que contiene resina que genera un peso y en la parte superior una zona hueca graduada para medir la densidad del aceite. El viscosímetro es un instrumento que a través de una fuerza ejercida por una aguja, genera una resistencia al movimiento que es medida por el instrumento.

Las mediciones con este instrumento se pueden corregir de acuerdo a la medición y al tipo de aguja utilizada (Navas, 2005; Cedi *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2011).

2.7 Estrategia para reducir la oxidación en el producto y aceite

Puesto que la oxidación es uno de los fenómenos de deterioro más importantes, se han desarrollado diferentes métodos o alternativas para reducir este fenómeno. La calidad de producto y el aceite que se utiliza en el proceso de fritura se debe controlar durante el proceso. Por lo tanto, es necesario buscar diferentes métodos para reducir las reacciones de oxidación en el aceite, lo que afectará de forma positiva al producto. Algunas de las alternativas para reducir la oxidación son las siguientes:

Incorporación de antioxidantes en el aceite de fritura

Los antioxidantes son sustancias añadidas en bajas concentraciones al aceite de fritura, las cuales retardan las reacciones de oxidación. La función de los antioxidantes es realizar una reacción con los radicales libres formados del aceite para evitar que reaccionen con el oxígeno que se puede encontrar en el medio, retardando la reacción. Existen dos tipos de antioxidantes: los naturales y artificiales; éstos se diferencian en cómo se obtienen, los naturales pueden estar presente en la materia prima como lo son los carotenoides y las antocianinas (en las papas), los artificiales son los que se añaden en cierta concentración, como son los secuestradores, algunas vitaminas (como la C), el TBHQ, el BHA entre otros (Navas, 2005; Brown, 2005).

Envasado en atmósferas sin oxígeno

Los empaques son una manera de proteger el producto final de las reacciones de oxidación provocadas por la humedad y el oxígeno encontrado en el ambiente. Por ello, al cerrar el empaque se realiza con atmósferas modificadas con diferentes gases para evitar la oxidación de la grasa absorbida por las botanas (Navas, 2005).

Fritura al vacío

Es un nuevo procedimiento de la industria alimentaria para reducción de absorción de grasa. El proceso consiste en sumergir el producto en aceite en un sistema cerrado a vacío. Al cambiar la presión, la temperatura de ebullición cambia, provocando que el aceite haga la cocción de la botana en un corto tiempo y con una temperatura menor, sin afectar las propiedades sensoriales (Crosa *et al.*, 2014).

Deshidratación osmótica de la materia prima

Esta técnica se lleva cabo para disminuir el contenido de agua y conservar la calidad de los productos, se basa en sumergir el producto en soluciones acuosas generalmente se usa azúcar o sal, para que se lleve a cabo una transferencia de sólidos agua-producto perdiendo humedad. En el caso de las papas fritas estas se sumergen en soluciones de sal para disminuir el contenido de agua, con esto las papas absorben menos grasa en el proceso de fritura debido al alto contenido en sólidos y así se reduce la oxidación en las botanas (Ramos *et al.*, 2012).

Dispositivos para reducción de grasa y oxidación lipídica

Un dispositivo que se ha implementado para reducir la absorción de grasa y disminuir la oxidación en el aceite son las placas de cerámica FRYLOW®, las cuales se muestran en la figura 9 (Qualifrit, 2002, Japón) con tecnología fotocatalítica. El efecto fotocatalizador se basa en la activación del semiconductor que es el dióxido de titanio (TiO₂), que se activa mediante energía electromagnética y electroquímica; a través del calor generado por la freidora, el cual genera su propia energía para activarse.

Las placas están compuestas por ocho esferas de cerámicas que contienen cuatro capas de arcilla, TiO_2 , carbón activado y dióxido de platino (PtO_2), compactadas en una sola placa la cual se lleva a cocción en horno a temperaturas entre $900-1200^{\circ}C$ (Qualifrit, 2002). La primera capa está compuesta por un anión rico en arcilla que mediante una radiación natural emite un infrarrojo el cual activa las demás capas (TiO_2 , Carbón activado y TiO_2/PtO_2). Estos materiales le conceden propiedades (iones negativos), antioxidantes e infrarrojas, permitiendo que el aceite se degrade más lentamente, disminuye la viscosidad del aceite y mejora la conductividad térmica (Qualifrit, 2002; KitchenPro, 2010).

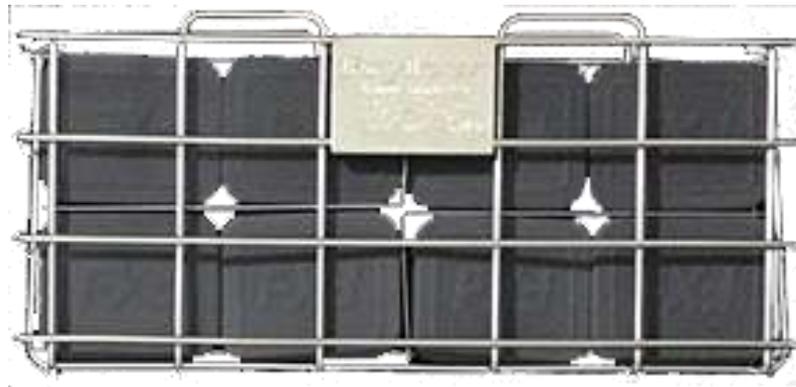


Figura 9: Placas de cerámica utilizadas en el proceso de fritura (FRYLOW®, 2015)

3. JUSTIFICACIÓN

La mayoría de las botanas son resultado de un proceso de fritura profunda, el cual consiste en una inmersión de la materia prima en aceite a temperaturas elevadas por un tiempo determinado, para que se lleve a cabo la cocción y proporcione las características sensoriales (color, textura y sabor) y fisicoquímicas (baja humedad y alto contenido graso) al producto.

Al ser productos con alto contenido en grasa y carbohidratos, las personas tienden a asociarlo con los problemas de obesidad. Por ello, la industria de botanas ha buscado diferentes formas para disminuir el contenido graso mediante diferentes tratamientos en el proceso de fritura, sin afectar la calidad del aceite y producto final. Para determinar la calidad se llevan a cabo diferentes pruebas tanto en el aceite como en el producto, siendo las más importantes las pruebas de oxidación y el porcentaje de grasa.

Se encuentran en el mercado diferentes alternativas para la reducción de grasa en botanas. Una de ellas es la utilización de placas de cerámica durante el proceso de freído, debido a las características térmicas, antioxidantes e infrarrojas que promociona la marca que las comercializa, que retrasa la oxidación del aceite y mejora la transferencia de calor, para así obtener una cocción uniforme y disminuir el contenido graso en el producto. Sin embargo, no hay mucha información al respecto más allá de la publicidad de la empresa. Es por ello que se hace necesario un estudio para comprobar si realmente son efectivas tanto para la fritura de papas como botanas tipo *pellets*.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Determinar el efecto que tiene la utilización de placas cerámicas y el tiempo de calentamiento del aceite (oleína de palma) en la reducción de absorción de grasa en botanas (papas y *pellets*) y la oxidación del aceite durante el proceso de freído en lote mediante pruebas fisicoquímicas y sensoriales.

4.2 Objetivos específicos

- Realizar un freído profundo en batch de papa y *pellet* tipo donita a diferentes tiempos de calentamiento del aceite con la utilización de las placas de cerámica.
- Evaluar el efecto de las placas de cerámica y el tiempo de calentamiento del aceite de fritura mediante parámetros fisicoquímicos y sensoriales sobre la absorción de grasa, color y sabor en el producto final.
- Evaluar si el uso de las placas cerámicas y el tiempo de calentamiento de fritura reduce la oxidación del aceite (oleína de palma) utilizado en el freído mediante pruebas fisicoquímicas (índice de acidez, índice de *p*-anisidina, compuestos polares totales y color).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Material

Las papas, *pellets*, y el aceite (oleína de palma) y las placas de cerámica (CP) los proporcionó la empresa FRITOS TOTIS, S.A de C.V. Las papas se pelaron y rebanaron manualmente con un grosor de 1.4 mm previo al freído. Para cada ciclo de fritura se utilizaron 3 L de oleína de palma. El estudio se realizó durante el período 2013-2014.

5.2 Fritura

La fritura, tanto de papa como de *pellet*, se realizó de forma discontinua, en una freidora convencional (Torrey) con 3 L de oleína de palma sometidos a una temperatura de $180^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. El producto se frió cada 15 min retirando muestras de producto y aceite tras cada fritura durante 2 h. La fritura se realizó con la utilización de las placas de cerámica (CP) y se realizó un control sin placas (SP).

Las placas de cerámica se colocaron de forma paralela en un costado dentro de la freidora sostenida por un gancho de acero inoxidable para evitar su caída.

En el caso de las papas, se pesaron 40 g de papa rebanada y se frieron cada 15 min por 105 s. Tras la fritura, las papas se dejaron escurrir sobre una rejilla para retirar el exceso de aceite. Después de la medición de color se tomó muestra para determinar el contenido de humedad y grasa y para el análisis sensorial que se hizo dentro de las 24h posteriores al proceso. Las muestras se guardaron en bolsas con sello hermético para evitar la absorción de humedad.

En el caso de los *pellets*, se pesaron 30 g y se frieron en lapsos de 15 min por 15 s. Posteriormente, se dejó escurrir el producto sobre una rejilla para retirar el exceso de aceite durante 1 min. Se realizó la medición de color y se tomó muestra para las determinaciones de humedad, grasa y análisis sensorial que se hicieron dentro de las 24h posteriores al proceso. Las muestras se guardaron en bolsas con sellos herméticos.

Tras cada fritura, se retiró 80 mL de aceite, depositándolos en frascos tornasol y se llevó a ultra-congelación a -80 °C para las determinaciones de oxidación. El tiempo 0 se consideró cuando el aceite alcanzó la temperatura de 180°C.

También se tomó una muestra del aceite en frío, previo a la fritura, para ser usado como referencia (control) y ser comparado con cada tiempo. El proceso y tratamiento aplicado en la fritura se realizó por triplicado para los dos tipos de botana.

5.3 Análisis de producto (papas y pellets)

5.3.1 Determinación de humedad

Para la determinación de humedad se siguió el método gravimétrico 930.15 de la AOAC (1995), basado en la evaporación de agua del alimento por aplicación de calor ($100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$). Para ello, se pesó con precisión alrededor de 3 g de la muestra en una charola previamente puesta a peso constante y se llevó a $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 4 h. El cálculo se realizaba por diferencia de peso una vez enfriadas las muestras en un desecador. Cada muestra se analizó por triplicado.

5.3.2 Determinación de grasa

El contenido en grasa de las botanas se determinó por gravimetría tras la extracción de la grasa con éter de petróleo por el método Soxhlet de (AOAC 963.15). Se ingresó la muestra seca en el equipo Soxhlet durante 6 h, se evaporó el solvente sobrante y el porcentaje de grasa se calculó por diferencia de peso.

5.3.3 Análisis sensorial

Los triplicados de las muestras de cada botana frita de los tiempos 0 min y 60 min se homogenizaron para realizar la prueba sensorial dentro de las 24h siguientes. Se llevó a cabo una prueba triangular (Espinosa, 2007) con 12 y 20 jueces para papa y *pellet* respectivamente para determinar si existía diferencia entre las muestras realizando una comparación con placa (CP) y sin ella (SP), usando una manzana verde semiácida para el enjuage. La ficha de cata se muestra en la figura 10. Las muestras se codificaron números de tres cifras aleatorias.

<p>Prueba triangular</p> <p>Fecha: _____ Edad: ____ Género _____</p> <p>Instrucciones: A continuación se le presentan tres muestras de botana. Dos de estas muestras son iguales y una es diferente. Coloque el código de las muestras de izquierda a derecha y encierre la muestra diferente.</p> <p>Código _____ _____ _____</p>
--

Figura 10. Ficha de prueba sensorial realizada en el análisis de botanas

5.3.4 Determinación de color

El color en el producto se determinó mediante la medición de los parámetros CIE-Lab con un colorímetro Hunter Lab (Mini Scan Hunter Lab XE Plus, modelo 45/0-L, Hunter Associates Laboratory, Inc., USA), para la medición de “L” (luminosidad), “a” (*redness*) y “b” (*yellowness*) previamente calibrado.

5.4 Análisis del aceite

5.4.1 Determinación de peróxidos

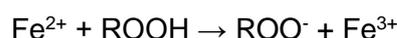
Esta determinación se realizó para medir los compuestos primarios de la oxidación de los lípidos. El método consiste en una medición espectrofotométrica a 470 nm del aceite que reacciona con el cloruro ferroso y el tiocianato para originar un complejo cromóforo. (Hornero *et al.*, 2001)

Para poder cuantificar la concentración de peróxidos del aceite fue necesario realizar una curva de calibración de 0-48 mg/L de Fe³⁺ diluido en HCl a 2 M haciéndolo reaccionar con 2 mL de tiocianato de potasio (2%) debido a las absorbancias obtenidas de la muestra a analizar.

Se pesaron 0.5 g de aceite en un tubo de ensayo de 15 mL, se adicionó 1 mL de una mezcla de cloroformo: ácido acético (2:3) y 100 µL de FeCl₂ (500 mg/L) posteriormente se agitó por 15 s y se dejó reposar en la oscuridad durante 10 min.

Pasado el tiempo, se añadieron 2 mL de agua desionizada y 4 mL de éter etílico. El tubo se colocó en baño María hasta evaporar el solvente. Se retiró del baño María, se tomó 1 mL de la parte inferior de la interfase y se añadieron 2 mL de tiocianato de potasio al 1%. Esta mezcla se dejó reposar en oscuridad por 10 min, para posteriormente medir la absorbancia a 470 nm.

El cálculo se realizó con la concentración obtenida por las ecuaciones de la recta de calibración y la estequiometría conforme a las siguientes reacciones:



5.4.2 Determinación de índice de *p*-anisidina

Esta prueba se basa en la determinación de aldehídos (principalmente 2-alquenales y 2,4- dienales) en aceites y grasas mediante la reacción con ácido acético y los componentes aldehídicos en la presencia de *p*-anisidina tornando a colores amarillos, con una medición espectrofotométrica a una absorbancia de 350 nm de acuerdo a la NMX-F-051-SCFI-2007.

Se pesó 0.1 g de aceite adicionando 5 mL de hexano y se agitó en vortex por 15 s. Posteriormente, se dividió la solución en dos tubos (tubo As y Ab). Al tubo As se le agregó 0.5 mL de una solución de *p*-anisidina (0.25% p/v en ácido acético), mientras que el tubo Ab se mantuvo en las condiciones iniciales. Los tubos se colocaron en oscuridad durante 10 min y se midieron las absorbancias tomó lectura en un espectrofotómetro UV/vis (Thermo scientific, Génesys™ modelo G10S, Thermo scientific, USA) en una celda de cuarzo de 1 cm de paso óptico a 350nm. Las unidades del índice de *p*-anisidina son meq de aldehídos y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de } p - \text{anisidina} = \frac{25 \times (1.2A_s - A_b)}{m}$$

Donde:

As: Medición del tubo con aceite-hexano con *p*-anisidina

Ab: medición de la solución (aceite-hexano)

m: masa g de la muestra

5.4.3 Determinación del índice de acidez

Esta prueba se basa en la neutralización de los ácidos grasos libres presentes en una muestra de aceite por medio de una valoración con hidróxido de sodio de acuerdo al método 940.28 de la AOAC (1995). Para la realización de la prueba, se pesó 5 g de oleína de palma en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se añadieron 4.9 mL de una mezcla de etanol/éter etílico (1:2 v/v) y se utilizó fenolftaleína como indicador (1%), posteriormente se valoró con hidróxido de sodio al 0.01 N hasta el vire. El índice de acidez se expresa en mg NaOH/g de oleína de palma y se determinó por el cálculo de la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de acidez} = \frac{(40 \times N \times V)}{m}$$

Donde:

40 es el peso molecular del NaOH

N: Normalidad del NaOH

V: volumen gastado en la titulación

m: masa en gramos de la muestra

5.4.4 Determinación de compuestos polares

Los compuestos polares están presentes cuando existe una degradación térmica en las grasas y aceites, los compuestos que se encuentran son los ácidos grasos libres, mono y diglicéridos, aldehídos y cetonas entre otros. Se determinaron los compuestos polares totales (%CPT) mediante una medición con el equipo TESTO 270® (Testo, Argentina), basado en la conductividad que se ve modificada por la presencia de polares.

Se calibró el equipo TESTO 270® con un aceite de referencia (4.1 % CPT \pm 0.5 %) a una temperatura de 50°C. Las muestras de aceite se calentaron a la misma temperatura y se realizó la medición con el equipo introduciendo el sensor en el aceite.

5.4.5 Medición de color

El Hunter Lab disponible en el AAQ (Área Académica de Química) no permite la medida de color en líquidos ya que estos absorben y desvían la luz dando mediciones erróneas. Es por ello, que se midió espectrofotométricamente mediante un barrido (380-700 nm), registrando medidas cada 5 nm, con un espectrofotómetro de barrido (Scan Lambda 40/ Perkin Elmer®, Canadá). Dado que había muestras con absorbancias muy elevadas en longitudes de onda bajas (zona del amarillo), se diluyeron las muestras con hexano (1:1).

A partir de los datos obtenidos del espectrofotómetro, se obtuvieron los parámetros CIELab con el programa CCC2010 proporcionado por la Universidad de la Rioja. Las muestras se midieron por triplicado.

5.5 Análisis estadístico

Para analizar los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.I, con el fin de determinar si existían diferencias entre los tiempos y tratamientos de cada una de las muestras. Así mismo se hizo un análisis de correlaciones con el mismo paquete estadístico. Para identificar las muestras significativamente diferentes se realizó una comparación de medias mediante la prueba Tukey HSD ($p < 0.05$).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Resultados del producto frito

6.1.1 Análisis de humedad y grasa

La papa frita tiene una textura crujiente gracias a la deshidratación provocada durante el proceso de fritura profunda al mismo tiempo de realizar una absorción de aceite. El aceite absorbido por las papas resulta de un intercambio con la humedad presente en la materia prima, esto es por el daño de la estructura celular del producto (Ramos *et al.*, 2012).

El tiempo de calentamiento y la presencia de placa afectaron significativamente ($P < 0.05$) al contenido de humedad y grasa de la papa frita. Los resultados de contenido de humedad y grasa de este producto se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de porcentaje de humedad y grasa cruda obtenida en la papa frita (desviación estándar en paréntesis; N=9)

Tiempo (min)	% Humedad		% Grasa cruda	
	CP	SP	CP	SP
0	4.92 ^{f,II} (0.08)	3.69 ^{d,I} (0.08)	38.68 ^{cd,I} (0.74)	39.87 ^{e,II} (0.34)
15	2.89 ^{d,II} (0.09)	2.08 ^{bc,I} (0.05)	39.70 ^{cd,II} (1.91)	31.05 ^{a,I} (0.91)
30	2.50 ^{c,II} (0.03)	2.10 ^{c,I} (0.06)	37.40 ^{bc,I} (1.30)	36.66 ^{d,I} (0.53)
45	2.66 ^{c,II} (0.05)	1.90 ^{a,I} (0.03)	39.49 ^{d,II} (0.50)	36.54 ^{cd,I} (0.89)
60	4.99 ^{f,II} (0.24)	4.34 ^{e,I} (0.16)	41.71 ^{e,II} (1.74)	36.07 ^{bcd,I} (0.65)
75	1.94 ^{a,I} (0.06)	1.95 ^{ab,I} (0.07)	32.15 ^{a,II} (0.92)	34.89 ^{b,I} (1.22)
90	3.12 ^{e,II} (0.13)	1.92 ^{a,I} (0.06)	31.69 ^{a,I} (0.66)	31.46 ^{a,I} (1.11)
105	3.26 ^{e,II} (0.14)	1.92 ^{a,I} (0.05)	36.75 ^{b,II} (1.16)	35.06 ^{bc,I} (0.76)
120	2.21 ^{b,II} (0.06)	1.99 ^{abc,I} (0.02)	37.52 ^{bc,II} (1.20)	36.38 ^{bcd,I} (1.75)
Media	3.18 ^{II} (1.04)	2.43 ^I (0.87)	37.12 ^{II} (3.30)	35.33 ^I (3.97)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

I, II diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

Los valores de humedad se encuentran en el intervalo de 1.94% - 4.94% para producto con placa mientras que sin placa los valores se encontraron entre 1.90% y 3.94%. Los resultados de grasa en papa frita se encontraron entre 31.69% - 41.71% para CP y para SP va entre 31.05% - 39.87%. Según *Debnath et al.*, (2003), la humedad del producto tiende a disminuir al ir absorbiendo la grasa ya que se va sustituyendo en la estructura de la botana, pero en el experimento no se presentó esta tendencia al disminuir la humedad ni aumento de grasa.

El análisis estadístico reveló que las papas fritas con placa presentaron un mayor contenido de grasa ($P < 0.05$). La presencia de placas no parece disminuir el contenido de grasa en este producto.

El comportamiento irregular de las muestras en cuanto a contenido de humedad parece estar más relacionado con la heterogeneidad de la materia prima que con el tiempo de calentamiento del aceite. Si bien, las papas utilizadas pertenecían al mismo lote no se puede asegurar que tuvieran las mismas características fisicoquímicas.

De acuerdo a *Singh* (2012), el aceite absorbido en las papas fritas puede rondar entre un 33-38%. Los contenidos de grasa de las papas pueden variar en función del contenido de humedad de la materia prima o por los tratamientos previos a los que se someten, como es mantenerlas en agua para retirar el almidón y azúcares, secarlas en horno o bien añadir a una solución de sal para realizar una deshidratación, entre otras.

En el caso de los *pellets*, el utilizar las placas durante el freído no tuvo efecto significativo ($P > 0.05$) sobre el contenido de grasa y humedad, mientras que si tuvo efecto el tiempo de calentamiento del aceite para ambos parámetros ($P < 0.05$). Aunque el producto en este caso es más homogéneo ya que es un extruido elaborado, las variaciones obtenidas en los resultados (tabla 4), se puede atribuir al escurrido manual después del freído. A pesar de ello, la presencia de las placas tampoco contribuyó a la disminución del contenido de grasa.

El *pellet* presenta un menor contenido de grasa, comparado con la papa frita, esto se debe a la uniformidad del producto, a la estructura compacta del *pellet*, al contenido de agua y a la absorción en cada materia prima (Fennema, 2000).

Tabla 4. Resultados de humedad y grasa en *pellet* tipo donita (desviación estándar en paréntesis; N=9).

Tiempo (min)	% Humedad		% Grasa Cruda	
	CP	SP	CP	SP
0	6.17 ^f (0.01)	4.70 ^e (0.10)	27.38 ^{ab} (0.79)	32.83 ^{ef} (1.46)
15	3.85 ^b (0.14)	4.40 ^{cd} (0.14)	28.69 ^c (0.37)	25.22 ^a (1.25)
30	4.77 ^d (0.15)	4.49 ^{cde} (0.09)	38.57 ^e (0.91)	34.17 ^f (0.66)
45	3.42 ^a (0.16)	3.41 ^a (0.07)	28.35 ^{bc} (0.85)	30.70 ^d (0.29)
60	5.27 ^e (0.08)	4.93 ^f (0.24)	30.83 ^d (1.12)	31.98 ^{de} (0.47)
75	3.59 ^a (0.02)	4.31 ^c (0.20)	30.13 ^d (1.09)	26.82 ^b (1.01)
90	4.23 ^c (0.16)	3.98 ^b (0.10)	26.86 ^a (0.98)	31.95 ^{de} (0.97)
105	3.84 ^b (0.16)	3.59 ^a (0.07)	28.84 ^c (0.49)	26.77 ^{cb} (0.29)
120	3.85 ^b (0.14)	4.60 ^{abc} (0.12)	28.01 ^{abc} (0.62)	28.26 (0.85)
Media	4.34 ^l (0.87)	4.29 ^l (0.53)	29.74 ^l (3.45)	29.86 ^l (3.11)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa (P< 0.05)

l, ll diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa (P< 0.05)

6.1.2 Análisis sensorial

A partir del producto frito, se realizó la prueba triangular con jueces que acostumbran a consumir las botanas, con el fin de determinar si se detectaban diferencias significativas desde el punto de vista sensorial entre los productos fritos con o sin placa de cerámica.

Los resultados obtenidos en la cata de papa frita en el tiempo 0 y 60 min se muestra en la figura 11 mientras que en la figura 12 se muestra los resultados obtenidos en los *pellets* tipo donita.



Figura 11. Relación de aciertos y errores obtenidos en la evaluación de sensorial de papa frita a diferentes tiempos



Figura 12. Comparación de aciertos y errores obtenidos en la evaluación sensorial de pellet tipo donita a diferentes tiempos.

En ambas pruebas sensoriales no se encontró diferencia significativa al utilizar las placas o en el tiempo de calentamiento que tuvo la botana ($P > 0.05$) ya que el número de aciertos no superó el valor de 11 (valor crítico para una prueba triangular con 12-20 catadores), (UNE- EN ISO 4120:2008; Espinosa, 2007).

En los *pellets* se encontró mayor grado de error ya que los jueces mencionaban que las características (color y sabor) eran idénticas. En el caso de las papas fritas, los panelistas describieron algunas diferencias en el color o en la textura del producto, posiblemente más relacionado con las diferencias en la materia prima anteriormente indicadas (Jonnalagadda *et al.*, 2001; Moreira *et al.*, 2009).

6.1.3 Análisis de color

La presencia de placa afectó significativamente ($P < 0.05$) los parámetros de color “a” y “b”. Las papas fritas con placa presentaron mayor valor de “b” (31.98) que el control (31.37). En el caso del parámetro verde-rojo las papas CP presentaron un valor promedio inferior a las otras. Sin embargo, son cambios muy pequeños que de nuevo podrían estar relacionados con las características de la materia prima.

La presencia de placa en la fritura provocó que la papa presentara mayores valores de luminosidad y el color amarillo que las SP. El valor de “a” tiende a ser menos rojo, lo que provoca que el color amarillo se vea menos afectado y el producto no presente un color café. Los resultados de color en papa frita se muestran en la tabla 5.

El color está íntimamente relacionado con la reacción de Maillard, que depende del tiempo de calentamiento de fritura y el tipo de aceite utilizado, así como del contenido de azúcares, proteínas de la materia prima y la temperatura de fritura principalmente. Cuando esta reacción se lleva a cabo, el producto tiende a oscurecerse, perdiendo luminosidad y el color característico de la botana provocando un deterioro del producto puesto que daña la calidad y puede generar compuestos tóxicos como la acrilamida (Krokida *et al.*, 2000; Masson *et al.*, 2007, Mendoza *et al.*, 2007; Hasbún *et al.*, 2009; Kitchenpro, 2010).

Tabla 5. Resultados de Color presentes en papa frita elaborada a los distintos tratamientos (entre paréntesis la desviación estándar; N=9)

Tiempo (min)	L		a		b	
	CP	SP	CP	SP	CP	SP
0	39.63 ^a (0.22)	46.61 ^{bc} (1.51)	5.62 ^{a,II} (0.14)	7.42 ^{b,I} (0.07)	24.88 ^{a,I} (0.82)	26.07 ^{a,I} (1.01)
15	52.93 ^e (0.77)	48.74 ^d (0.62)	9.19 ^{ef,II} (0.14)	9.61 ^{d,I} (0.13)	36.82 ^{e,II} (1.11)	32.36 ^{cd,I} (1.61)
30	50.67 ^{cd} (2.19)	53.1 ^e (1.94)	9.54 ^{f,II} (0.12)	10.23 ^{e,I} (0.04)	33.96 ^{c,II} (1.21)	32.22 ^{cd,I} (1.42)
45	54.03 ^e (2.08)	55.09 ^f (1.85)	6.63 ^{bc,II} (0.27)	8.27 ^{c,I} (0.25)	33.11 ^{c,I} (0.74)	33.92 ^{d,I} (1.41)
60	45.59 ^b (1.62)	45.24 ^{ab} (0.42)	9.07 ^{e,II} (0.37)	11.08 ^{f,I} (0.50)	33.38 ^{c,II} (1.17)	31.96 ^{c,I} (1.55)
75	49.79 ^c (0.16)	50.04 ^d (1.69)	8.05 ^{d,II} (0.24)	6.25 ^{a,I} (0.20)	33.63 ^{c,I} (1.13)	33.35 ^{cd,I} (1.28)
90	52.05 ^{de} (2.31)	43.52 ^a (1.85)	6.34 ^{b,II} (0.21)	15.57 ^{g,I} (0.66)	30.45 ^{b,II} (0.57)	33.18 ^{cd,I} (1.33)
105	52.83 ^{de} (2.62)	53.98 ^{ef} (0.69)	6.92 ^{c,II} (0.32)	10.26 ^{e,I} (0.50)	26.08 ^{a,II} (0.64)	29.38 ^{b,I} (1.34)
120	52.62 ^{de} (0.93)	48.38 ^{cd} (0.29)	11.32 ^{g,II} (0.53)	9.41 ^{d,I} (0.35)	35.52 ^{d,II} (0.72)	29.9 ^{b,I} (0.49)
Media	50.02 ^I (4.61.)	49.42 ^I (3.98)	8.08 ^I (1.77)	9.79 ^{II} (2.53)	31.98 ^{II} (3.95)	31.37 ^I (2.61)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa (P< 0.05)

I, II diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa (P< 0.05)

Otro factor importante que influye en el color de la papa frita es la madurez del producto, esto es porque el contenido de azúcares es alto y produce un producto café y de sabor amargo, por ello la papa fresca no debe exceder el 0.2-0.3 % de azúcares totales (Valdunciel, 2000; Haverkort *et al.*, 2002).

En el caso de los *pellets*, el uso de las placas y el tiempo de calentamiento del aceite no afectó (P>0.05) al color del producto. Como se puede observar en la tabla 6, el color se mantuvo constante en el transcurso del tiempo en todos los parámetros, al igual que en el caso de los diferentes tratamientos (CP y SP) al que fue sometido el producto. Esto puede ser por los tiempos tan cortos en los que el producto está en contacto con el aceite, al

igual a que es un producto más homogéneo. También pudo deberse que al absorber menos grasa que las papas fritas, el pellet no se vea afectado por la coloración del aceite (Krokida *et al.*, 2000; Mendoza *et al.*, 2007; Thanatuksorn *et al.*, 2009).

Tabla 6. Resultados de color presentes en *pellet* tipo donita elaborado a los distintos tratamientos (desviación estándar en paréntesis; N=9)

Tiempo (min)	L		a		b	
	CP	SP	CP	SP	CP	SP
0	60.07 (0.56)	58.74 (2.81)	17.50 (0.34)	17.65 (0.65)	35.94 (0.36)	34.65 (0.44)
15	57.38 (2.54)	57.59 (0.94)	17.04 (0.08)	17.13 (0.16)	34.69 (0.52)	34.84 (0.48)
30	58.39 (1.17)	58.86 (0.52)	17.53 (0.86)	17.73 (0.68)	35.46 (0.41)	35.73 (1.56)
45	59.07 (0.92)	57.16 (0.80)	17.22 (0.58)	16.94 (0.66)	35.23 (1.38)	34.27 (0.83)
60	57.18 (2.52)	58.64 (1.36)	17.01 (0.01)	17.05 (0.31)	35.20 (0.55)	34.97 (1.12)
75	58.27 (1.11)	59.24 (1.20)	17.11 (0.63)	17.15 (0.38)	34.85 (1.10)	35.01 (0.51)
90	58.25 (1.55)	57.65 (2.19)	17.04 (0.69)	17.03 (0.55)	34.39 (1.73)	34.58 (0.81)
105	58.93 (0.69)	57.42 (2.16)	17.56 (0.19)	16.92 (0.22)	35.07 (0.20)	35.14 (0.98)
120	56.87 (1.97)	59.05 (0.41)	16.83 (0.42)	16.92 (0.15)	34.44 (0.31)	34.42 (0.41)
Media	58.27 ^l (1.93)	58.26 ^l (1.86)	17.21 ^l (0.64)	17.17 ^l (0.64)	35.04 ^l (1.22)	34.85 ^l (1.17)

No existió efecto significativo en tiempo de calentamiento del aceite y presencia de placa

6.2 Resultados de aceite**6.2.1 Análisis de índice de acidez libre**

La presencia de las placas no tuvo efecto en el análisis del índice de acidez libre, pero si se presentó efecto tiempo ($P < 0.05$). En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos para el índice de acidez de la papa frita.

Tabla 7. Resultados de Índice de Acidez (mg de NaOH/g oleína de palma) del Aceite utilizado en papa frita (desviación estándar en paréntesis; N=9)

Tiempo (min)	CP	SP
Frío	0.1634 ^c (0.004)	0.1634 ^{ef} (0.004)
0	0.1330 ^a (0.003)	0.1702 ^{fg} (0.005)
15	0.1337 ^a (0.003)	0.1051 ^a (0.003)
30	0.1327 ^a (0.003)	0.1603 ^e (0.006)
45	0.1303 ^a (0.003)	0.1748 ^g (0.004)
60	0.1321 ^a (0.006)	0.1176 ^b (0.004)
75	0.1373 ^a (0.007)	0.1306 ^d (0.003)
90	0.1542 ^c (0.002)	0.1287 ^{cd} (0.006)
105	0.1467 ^b (0.005)	0.1227 ^{bc} (0.003)
120	0.1559 ^c (0.004)	0.1324 ^d (0.004)
Media	0.1395 ^l (0.010)	0.1380 ^l (0.023)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

l, ll diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

Como se puede observar en la tabla 7, no hubo diferencias entre los valores de acidez en el tratamiento utilizado. Para el caso del tiempo, los valores se mantuvieron constantes (0.13 - 0.16 mg de NaOH/g oleína de palma) para CP y (0.12 - 0.17 mg de NaOH/g oleína de palma) para SP. Esto se puede deber a las propiedades antioxidantes que presentan las placas de cerámica, así de esta forma se retrasa la formación de radicales libres debido al calentamiento del aceite y al intercambio de agua que se generó al freír el producto (Barreiro y Sandoval, 2006; KitchenPro, 2010;).

La presencia de la placa no tuvo efecto en el índice de acidez para los *pellets*, pero si existió efecto tiempo ($P < 0.05$) de fritura. En ambos caso se observa un ligero incremento en el parámetro. En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos de la medición de acidez del *pellet*.

Tabla 8. Resultados de Índice de Acidez (mg de NaOH/g oleína de palma) del Aceite utilizado en *pellet* (desviación estándar en paréntesis; N=9)

Tiempo (min)	CP	SP
Frío	0.0800 ^{cd} (0.001)	0.0800 ^{cd} (0.001)
0	0.0640 ^a (0.001)	0.0560 ^a (0.001)
15	0.0720 ^b (0.001)	0.0640 ^b (0.001)
30	0.0800 ^c (0.001)	0.0720 ^c (0.001)
45	0.1013 ^d (0.005)	0.0880 ^d (0.001)
60	0.1066 ^e (0.003)	0.1066 ^e (0.001)
75	0.1057 ^f (0.004)	0.1164 ^f (0.004)
90	0.1377 ^g (0.006)	0.1306 ^g (0.003)
105	0.1483 ^h (0.003)	0.1955 ^h (0.006)
120	0.1608 ⁱ (0.002)	0.1715 ⁱ (0.006)
Media	0.1085 ^l (0.033)	0.1112 ^l (0.046)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

l, ll diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

Como se puede observar ambos tratamientos (CP y SP) presenta un aumento progresivo con respecto al tiempo, mostrando valores de 0.0640 - 0.1608 mg de NaOH/g oleína de palma para CP y 0.0560 - 0.1955 mg de NaOH/g oleína de palma para SP. Este comportamiento similar en ambos casos se debe a la homogeneidad de la muestra, y los valores superiores en SP se debieron al calentamiento que sufre el aceite (Barreiro y Sandoval, 2006; KitchenPro, 2010).

Los valores promedios obtenidos en el índice de acidez de las papas fritas (CP: 0.1395 y SP: 0.1480 mg NaOH/g aceite) y *pellets* (CP: 0.1085 y SP: 0.1112 mg NaOH/g aceite) comparado con lo que se reporta en literatura (0.05-0.52 mg NaOH/g aceite) se observa que ambos tratamientos (CP y SP) están por debajo del rango máximo encontrado en literatura (0.52 mg NaOH/g aceite) por lo que el aceite aún podría ser utilizado para más ciclos de fritura antes de ser remplazado (Jaswir *et al.*, 2000; Al-Khusaibi *et al.*, 2012).

El comportamiento irregular del índice de acidez libre en la papa frita se debe a la presencia de agua ($V_{exp} = 82.37$ % humedad de papa cruda), la cual favorece la liberación de ácidos grasos debido a la hidrólisis causada por la alta temperatura (180°C). Además, de que la heterogeneidad de la materia prima también afectó este parámetro.

6.2.2 Análisis del índice de peróxidos

Cuando se analizaron las muestras de aceite para peróxidos no hubo detección en los valores de absorbancia. Los peróxidos son compuestos primarios inestables en el proceso de oxidación pero siguen reaccionando para producir otros compuestos más estables como aldehídos y cetonas. El proceso de congelación a -80°C no impidió que los peróxidos continuaran reaccionando por lo que no se detectaron. Posiblemente se degradaron con el oxígeno presente en el espacio de cabeza del recipiente de almacenamiento (Shahidi y Zhong, 2005; Barreiro y Sandoval, 2006).

6.2.3 Análisis de índice de p-anisidina

La utilización de las placas y el tiempo de calentamiento del aceite tuvieron efecto significativo ($P < 0.05$) en el índice de p-anisidina para papa a partir del minuto 75. Los resultados obtenidos para este parámetro se muestran en la tabla 9, observando valores menores para CP que SP. Para una mejor observación de los datos se realizó un gráfico (figura 9).

Tabla 9. Resultados de Índice de p-anisidina (meq de aldehídos/g aceite) del Aceite utilizado en papa frita (desviación estándar en paréntesis; N=9)

Tiempo (min)	CP	SP
Frío	10.12 ^{a,I} (0.29)	10.12 ^{a,I} (0.29)
0	16.49 ^{b,II} (0.48)	24.36 ^{b,I} (0.61)
15	37.37 ^{c,II} (1.71)	33.14 ^{c,I} (1.22)
30	52.69 ^{d,I} (0.80)	46.50 ^{d,I} (1.48)
45	70.22 ^{e,II} (3.05)	66.24 ^{e,I} (1.96)
60	80.92 ^{f,I} (1.83)	82.36 ^{f,I} (2.38)
75	91.08 ^{g,I} (4.23)	107.52 ^{g,II} (2.51)
90	101.93 ^{h,I} (0.07)	133.11 ^{h,II} (6.12)
105	109.10 ^{i,I} (2.97)	144.34 ^{i,II} (5.46)
120	122.81 ^{j,I} (0.35)	160.98 ^{j,II} (6.52)
Media	75.87 ^I (33.29)	88.73 ^{II} (47.77)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa (P < 0.05)

I, II diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa (P < 0.05)

Como se observa en la figura 13, el índice de p-anisidina se mantiene en aumento durante el proceso, con valores similares a SP hasta el minuto 75. A partir de ese punto los valores de p-anisidina de las muestras de aceite CP fueron significativamente más bajos que SP. La presencia de la placa hizo que la reacción de oxidación fuera más lenta al paso del tiempo manteniendo baja la formación de aldehídos.

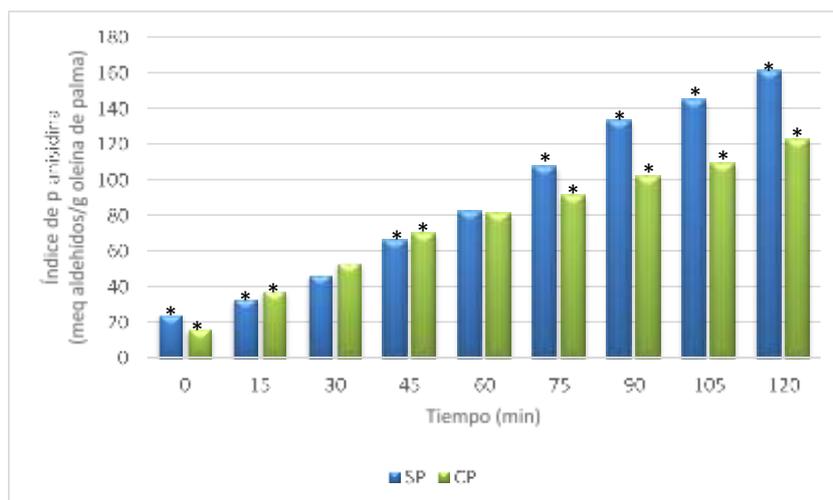


Figura 13. Relación del índice de *p*-anisidina obtenido en oleína de palma utilizada para realizar fritura de papa. (* Indica diferencia significativa ($P<0.05$) en la muestra).

El valor máximo recomendable para el índice de *p*-anisidina para la utilización de oleína de palma es de 156 meq de aldehídos/ g de oleína de palma. A partir de 120 min (SP) se tiene un índice de 160 meq aldehídos/ g aceite tiene un nivel superior del referenciado (Rojas y Narváez, 2011) por lo que se encuentra en el límite recomendado para el uso del aceite.

En el caso del *pellet*, los resultados obtenidos mostraron que existe efecto placa y tiempo de calentamiento ($P<0.05$) sobre el índice de *p*-anisidina si bien el efecto fue menos marcado que en papa. Los resultados obtenidos se presentan en tabla 10 y en la figura 14 para una mejor explicación de ellos.

Tabla 10. Resultados de Índice de *p*-anisidina (meq de aldehídos/g aceite) del Aceite utilizado en *pellet* tipo (desviación estándar en paréntesis; N=9)

Tiempo (min)	CP	SP
Frío	12.10 ^a (0.46)	12.10 ^{ab} (0.46)
0	18.31 ^{ab,II} (0.41)	10.66 ^{a,I} (0.25)
15	19.52 ^{b,II} (0.94)	13.55 ^{b,I} (0.38)
30	29.89 ^{c,I} (1.49)	31.31 ^{c,II} (0.84)
45	32.78 ^{c,I} (1.33)	41.71 ^{d,II} (0.91)
60	74.21 ^{d,II} (3.67)	57.26 ^{e,II} (1.20)
75	83.27 ^{e,II} (1.83)	79.15 ^{f,I} (0.96)
90	91.85 ^{f,I} (0.99)	96.34 ^{g,II} (0.93)
105	106.38 ^{g,I} (4.23)	103.05 ^{h,I} (1.26)
120	118.55 ^{h,I} (5.66)	122.03 ^{i,I} (1.40)
Media	63.86 ^{II} (37.20)	61.67 ^I (38.43)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa (P< 0.05)

I, II diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa (P< 0.05)

Como se puede observar, el índice de *p*-anisidina se ve afectado significativamente (P<0.05) por el diferente tipo de tratamiento, pero las diferencias son mínimas y en ocasiones las muestras SP presentan menores valores de *p*-anisidina. El tiempo también influye debido a que la oxidación y la formación de compuestos secundarios se ven favorecidos por las altas temperaturas, presentando un aumento progresivo con respecto al tiempo en el tratamiento sin placa (10.66 meq de aldehídos/g aceite -122.03 meq de aldehídos/g aceite) y con ella (18.311 meq de aldehídos/g aceite -118.55 meq de aldehídos/g aceite).

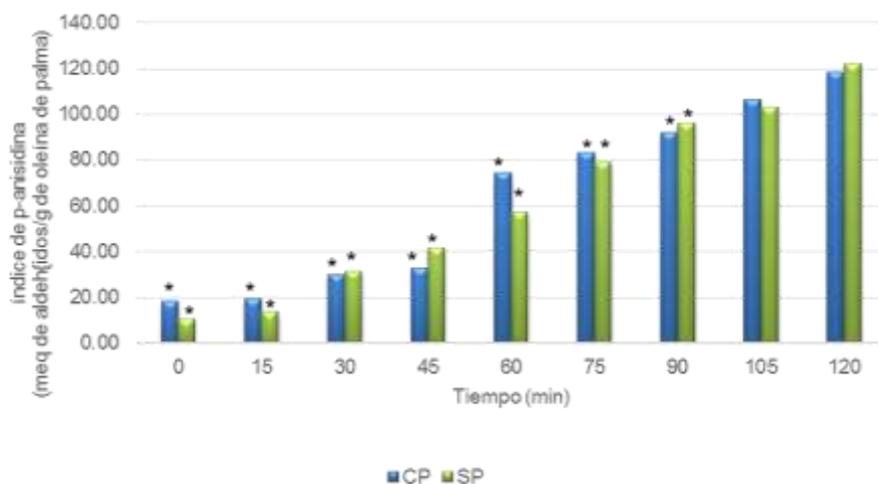


Figura 14. Comportamiento del Índice de p-anisidina del Aceite utilizado en *pellet* tipo donita (* Índica diferencia significativa ($P < 0.05$) en la muestra).

En comparación del aceite utilizado con papas fritas, el aceite de los *pellets* presentan valores menores y un comportamiento más estable en todo el proceso de fritura en ambos tratamientos, debido principalmente a las características de la materia prima, ya que el *pellet* tiene un menor contenido de agua y mayor homogeneidad por lo que se ve retrasada la oxidación del aceite (Rojas y Narváez, 2011) y no se evidencia efecto de las placas.

6.2.4 Análisis de compuestos polares totales

El contenido de compuestos polares totales en el aceite usado para freír papa fue afectado significativamente ($P < 0.05$) por la presencia de placas y el tiempo de calentamiento de fritura. Los resultados de los compuestos polares totales del aceite usado para la fritura de papa se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados de %CPT presentes en el aceite de *papa frita* (desviación estándar entre paréntesis; N=9)

Tiempo (min)	CP	SP
Frío	9.83 ^{ef,l} (0.29)	9.83 ^{cd,l} (0.29)
0	8.72 ^{a,II} (0.25)	8.50 ^{a,l} (0.01)
15	8.67 ^{a,l} (0.29)	8.61 ^{a,l} (0.19)
30	8.78 ^{ab,l} (0.25)	8.72 ^{a,l} (0.19)
45	8.89 ^{ab,l} (0.19)	9.00 ^{b,l} (0.01)
60	9.11 ^{bc,l} (0.19)	9.17 ^{b,l} (0.17)
75	9.33 ^{cd,l} (0.17)	9.50 ^{c,l} (0.01)
90	9.50 ^{de,l} (0.01)	9.56 ^{c,l} (0.10)
105	9.78 ^{ef,l} (0.25)	10.00 ^{d,II} (0.01)
120	10.06 ^{f,l} (0.10)	10.39 ^{e,II} (0.10)
Media	9.20 ^l (0.52)	9.27 ^{II} (0.63)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

I, II diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

El porcentaje de compuestos polares totales del aceite inicial es de 9.83, similar al referenciado por Al-Khusaibi *et al.* (2012) (9.1g/100g de oleína de palma).

Los compuestos polares son productos de oxidación que son afectados por las características de la materia prima que se utilice para el proceso de fritura, entre algunos de los factores que afectan es la cantidad de agua, los antioxidantes presentes en la materia prima, la temperatura y el tiempo de calentamiento de la fritura entre otros (Lemos y Sivaramareddy, 2013). Por ello, el incremento de %CPT es significativo en papa frita a través del tiempo, por la presencia de humedad alta en la materia prima y la baja concentración de antioxidantes de ésta.

En CP, el porcentaje de compuestos polares fue menor significativamente ($P < 0.05$) en los puntos 105 y 120 min. En los demás puntos son valores comparables.

En la tabla 12 se muestra los resultados de las mediciones de compuestos polares totales obtenidos del aceite usado para freír *pellet* tipo donita.

Tabla 12. Resultados de %CPT presentes en el aceite de *pellet tipo donita* (desviación estándar entre paréntesis; N=9)

Tiempo (min)	CP	SP
Frío	9.00 ^{ab} (0.01)	9.00 ^{abc} (0.01)
0	8.89 ^a (0.22)	8.83 ^a (0.25)
15	9.00 ^{ab} (0.43)	8.94 ^{ab} (0.30)
30	8.83 ^a (0.25)	9.22 ^{bcd} (0.36)
45	9.28 ^{abc} (0.44)	9.17 ^{abcd} (0.25)
60	9.39 ^{bcd} (0.33)	9.44 ^{cde} (0.17)
75	9.39 ^{bcd} (0.22)	9.50 ^{de} (0.01)
90	9.72 ^{cde} (0.26)	9.72 ^{ef} (0.26)
105	9.83 ^{de} (0.35)	10.06 ^f (0.17)
120	10.00 ^e (0.25)	10.00 ^f (0.01)
Media	9.37 ^l (0.49)	9.43 ^l (0.47)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa (P< 0.05)

I, II diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa (P< 0.05)

Las placas no afectaron significativamente el %CPT del aceite usado en los *pellet*, aunque en CP fue menor el contenido de compuestos polares a comparación de SP, ya que las placas tienen una propiedad antioxidante por lo cual la oxidación se lleva a cabo de una manera más lenta (KitchenPro, 2010).

En cuestión al tiempo de calentamiento, tampoco hubo efecto en este parámetro, a diferencia que el aceite usado en papa frita, esto se atribuye a la ausencia de humedad y la homogeneidad de la materia prima.

Los límites máximos reportado en literatura para el porcentaje de compuestos polares totales son de 25-28 g/100g de aceite, observando en el experimento en ambas frituras no exceden el valor, por lo que los aceites podrían seguir siendo utilizados si es que en otro parámetro no sobrepasan la oxidación (Navas, 2005; Al-Khusaibi *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2013).

El %CPT en ambas frituras no tienen un incremento mayor 11 %, esto es porque los componentes polares necesitan tiempo muy prolongado (aproximadamente 48 h) o condiciones extremas de temperatura para que los niveles sean superiores a 30% (Hampikyan *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2013).

6.2.5 Análisis de color

Los resultados obtenidos en el color del aceite utilizado en la elaboración de papa frita se encuentran en la tabla 13.

El color resultó afectado por el tiempo de calentamiento de la fritura pero la presencia de placa sólo afectó significativamente ($P < 0.05$) a los parámetros “a” y “b”.

El cambio de color del aceite puede atribuirse al tiempo de calentamiento ya que el calor provoca la oxidación del aceite, al igual que la humedad que presenta la papa fresca. La luminosidad se pierde conforme este calentamiento va progresando (Frío: 98.87; CP: 94.16 y SP: 97.54).

Los parámetros “a” y “b” se ven afectados también por estos factores y adicionalmente el de la presencia de placa, haciendo más oscuro el aceite por el aumento del color en “a” (Frío: -3.26; CP: -2.77 y SP: -3.39). Según Rojas y Narváez (2011), los valores de rojos de aceite en un freído discontinuo puede llegar hasta un valor de 2.2 mientras que “b” llega a valores de 24 sin afectar el color del producto. Además, la presencia de las placas aumenta el color rojo ya que éstas tienen la propiedad de distribuir el calor de manera más uniforme pero afectando al color del aceite.

Tabla 13. Relación de resultados de Color en aceite diluido presentes en el aceite de papa frita (Desviación estándar entre paréntesis; N=9)

Tiempo	L		a		b	
	CP	SP	CP	SP	CP	SP
Frío	98.87 ^I (0.40)	98.87 ^I (0.40)	-3.26 ^{a,I} (0.07)	-3.26 ^{bcd,I} (0.07)	11.10 ^{a,I} (0.49)	11.10 ^{a,I} (0.49)
0	95.86 ^I (3.09)	96.86 ^I (2.87)	-3.17 ^{a,I} (0.26)	-3.45 ^{abc,I} (0.16)	12.73 ^{bcd,I} (0.43)	13.54 ^{bc,I} (0.29)
15	94.63 ^I (3.47)	98.04 ^{II} (1.20)	-2.73 ^{b,II} (0.10)	-3.50 ^{ab,I} (0.13)	12.70 ^{bc,I} (0.63)	12.99 ^{b,I} (0.29)
30	94.24 ^I (3.34)	97.60 ^I (2.02)	-2.77 ^{b,I} (0.10)	-3.35 ^{bcd,I} (0.07)	12.88 ^{bcd,I} (0.24)	13.69 ^{c,I} (0.61)
45	94.18 ^I (3.43)	97.46 ^I (1.24)	-2.69 ^{b,II} (0.13)	-3.17 ^{d,I} (0.10)	12.56 ^{b,I} (0.19)	13.00 ^{b,II} (0.38)
60	94.30 ^I (4.27)	98.09 ^I (1.75)	-2.68 ^{b,II} (0.07)	-3.52 ^{ab,I} (0.03)	12.64 ^{b,I} (0.33)	13.85 ^{cd,II} (0.14)
75	94.07 ^I (4.37)	98.03 ^I (1.75)	-2.62 ^{b,II} (0.07)	-3.62 ^{a,I} (0.17)	12.64 ^{b,I} (0.46)	13.70 ^{c,II} (0.42)
90	92.96 ^I (2.33)	97.61 ^I (1.36)	-2.75 ^{b,II} (0.01)	-3.51 ^{ab,I} (0.17)	13.25 ^{cde,I} (0.07)	13.52 ^{bc,I} (0.25)
105	93.59 ^I (3.03)	97.12 ^{II} (2.05)	-2.90 ^{ab,I} (0.05)	-3.22 ^{cd,II} (0.15)	13.27 ^{de,1} (0.13)	14.43 ^{de,II} (0.27)
120	93.61 ^I (3.60)	97.01 ^I (1.87)	-2.66 ^{b,II} (0.09)	-3.24 ^{cd,I} (0.10)	13.48 ^{e,I} (0.34)	14.95 ^{e,II} (0.30)
Media	94.16 ^I (2.99)	97.54 ^I (1.74)	-2.77 ^{II} (0.24)	-3.44 ^I (0.22)	12.90 ^I (0.47)	13.74 ^{II} (0.70)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa (P < 0.05)

I, II diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa (P < 0.05)

El color del aceite usado para elaborar el *pellet* tipo donita fue afectado significativamente (P < 0.05) por el uso de las placas y el tiempo de calentamiento pero son diferencias muy pequeñas. Los resultados obtenidos en el experimento se encuentran en la tabla 14.

La luminosidad del aceite utilizado para freír *pellet* aumentó en comparación con el aceite frío (Frío: 86.10; CP: 96.57 y SP: 95.30) favoreciendo el brillo del aceite, esto pudo deberse a que este tipo de producto seco y homogéneo lo cual reduce un factor de oxidación. Los parámetros “a” y “b” fueron afectados por la presencia de la placa, disminuyendo los valores en ambos casos. Las placas provocaron que el aceite cambiara en los colores rojos disminuyendo el oscurecimiento y manteniendo colores amarillos.

Los tres parámetros de color del aceite usado para el *pellet* también fueron afectados por el tiempo de calentamiento de fritura. Los resultados fueron heterogéneos ya que a cada 15 min se freía un producto nuevo, lo cual afectaba la estabilidad del aceite.

Tabla 14. Resultados de color presentes en el aceite de *pellet* tipo donita diluido (desviación estándar entre paréntesis; N=9)

Tiempo	L		A		b	
	CP	SP	CP	SP	CP	SP
Frío	86.10 ^{a,l} (1.78)	86.10 ^{a,l} (1.78)	-3.37 ^{e,l} (0.11)	-3.37 ^{de,l} (0.11)	15.07 ^{cd,l} (0.82)	15.07 ^{cde,l} (0.82)
0	93.99 ^{b,l} (2.80)	96.10 ^{c,l} (1.26)	-4.06 ^{bc,l} (0.02)	-3.46 ^{d,ll} (0.13)	15.03 ^{d,ll} (0.73)	14.08 ^{abc,l} (0.63)
15	97.97 ^{bc,ll} (3.32)	95.02 ^{bc,l} (1.88)	-3.98 ^{cd,l} (0.15)	-3.14 ^{e,ll} (0.06)	13.41 ^{a,l} (0.49)	13.69 ^{abc,l} (0.60)
30	97.53 ^{bc,ll} (2.02)	95.76 ^{b,l} (2.70)	-4.35 ^{a,l} (0.12)	-3.66 ^{c,ll} (0.04)	14.70 ^{cd,ll} (0.41)	13.65 ^{ab,l} (0.48)
45	96.88 ^{bc,l} (4.07)	94.54 ^{bc,l} (3.07)	-3.48 ^{e,l} (0.14)	-3.40 ^{d,l} (0.09)	14.29 ^{bcd,ll} (0.35)	13.47 ^{a,l} (0.50)
60	95.37 ^{bc,l} (2.43)	95.44 ^{bc,l} (1.90)	-3.56 ^{e,l} (0.19)	-3.47 ^{d,l} (0.13)	13.34 ^{a,l} (0.37)	14.37 ^{bcd,ll} (0.64)
75	96.81 ^{bc,l} (2.78)	96.50 ^{c,l} (1.39)	-3.73 ^{de,ll} (0.10)	-4.06 ^{a,l} (0.08)	13.22 ^{a,l} (0.43)	15.05 ^{de,ll} (0.26)
90	98.86 ^{c,ll} (0.91)	96.34 ^{c,l} (1.84)	-4.27 ^{ab,l} (0.20)	-3.87 ^{b,ll} (0.04)	14.82 ^{cd,l} (0.68)	15.43 ^{e,ll} (0.25)
105	96.17 ^{bc,l} (3.00)	96.44 ^{c,l} (2.07)	-3.61 ^{e,l} (0.13)	-3.50 ^{cd,ll} (0.11)	13.99 ^{abc,l} (0.59)	15.85 ^{e,ll} (0.78)
120	95.57 ^{bc,l} (2.79)	94.58 ^{bc,l} (2.53)	-3.93 ^{cd,l} (0.21)	-3.37 ^{d,ll} (0.19)	13.86 ^{ab,l} (0.59)	15.29 ^{e,ll} (0.54)
Media	96.57 ^{ll} (3.01)	95.30 ^l (2.35)	-3.88 ^l (0.34)	-3.54 ^{ll} (0.29)	14.07 ^l (1.67)	14.57 ^{ll} (0.96)

a-f diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa (P < 0.05)

I, II diferentes letras en la misma fila para cada parámetro indican diferencia significativa (P < 0.05)

En comparación del aceite usado en papa frita, el aceite del *pellet* tipo donita pudo favorecerse por la presencia de placa porque la degradación del color fue mínima, manteniendo color característico del aceite (Rojas y Narváez, 2011). Otro factor que favoreció a que el aceite del *pellet* no sufriera una oxidación como el aceite usado en papa es por el tipo de materia prima, ya que la papa al contener humedad favorece a las reacciones de oxidación (Jaswir *et al.*, 2000).

6.3 Correlación entre las variables de oxidación

En la tabla 15, se observan las correlaciones de las mediciones efectuadas en la evaluación oxidativa del aceite usado para freír papa.

Tabla 15. Coeficientes de correlación entre parámetros de oxidación en muestras de aceite utilizado para fritura de papa.

	L	A	B	Índice de acidez	Índice de <i>p</i> -anisidina
A	-0.5612*	1	-	-	-
B	0.1803*	-0.3872*	1	-	-
Índice de Acidez	-0.1585*	0.1431*	0.0193*	1	-
Índice de <i>p</i> -anisidina	-0.0274*	0.0219*	0.5515**	-0.1226*	1
%CPT	-0.0984*	0.0544*	0.5518**	-0.0415*	0.8990***

(*), (**), (***) Correlación significativa (P< 0.05; P< 0.01; P< 0.001 respectivamente) 162 datos analizados.

El %CPT tuvo una correlación alta con respecto al índice de *p*-anisidina con un coeficiente de correlación $r=0.8990$ ($P<0.001$) y el parámetro “b” presentó correlaciones altas para el índice de *p*-anisidina y %CPT ($r= 0.5515$ y 0.5518 ($P<0.01$) respectivamente). En la figura 15, se presenta la correlación de estos tres parámetros.

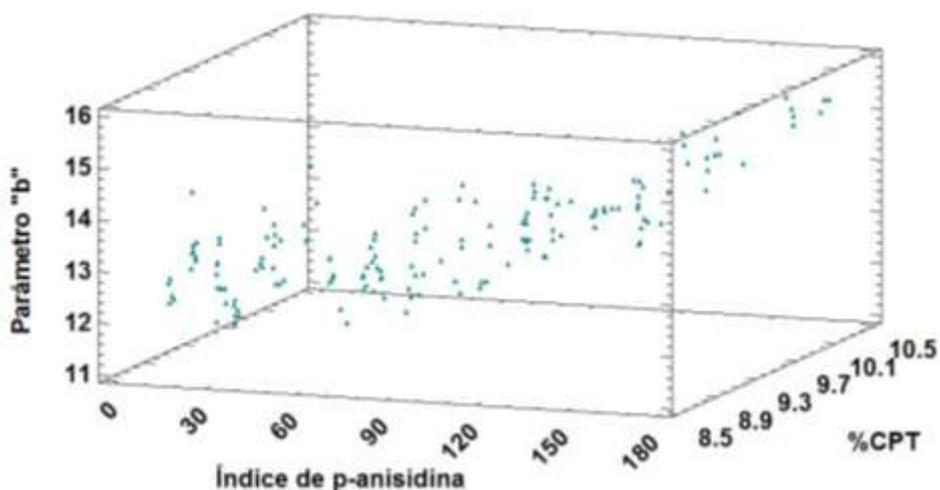


Figura 15. Relación entre el parámetro b, índice de *p*-anisidina y % CPT

En la figura 16 se muestra la relación entre el índice de *p*-anisidina y compuestos polares totales, observando una tendencia en aumento de ambas medidas. A partir del tiempo 75 min, se nota mayor relación para los parámetros, dado que ambas mediciones determinan compuestos finales y estables de oxidación como son aldehídos, cetonas, di-glicéridos entre otros (Choe y Min, 2007; Castillo, 2007). El porcentaje de compuestos polares totales entre el tiempo 0-60 min fue afectado por la reacción de hidrólisis ya que los compuestos que son detectados por esta prueba (di-glicéridos y mono-glicéridos) están presentes en concentraciones bajas.

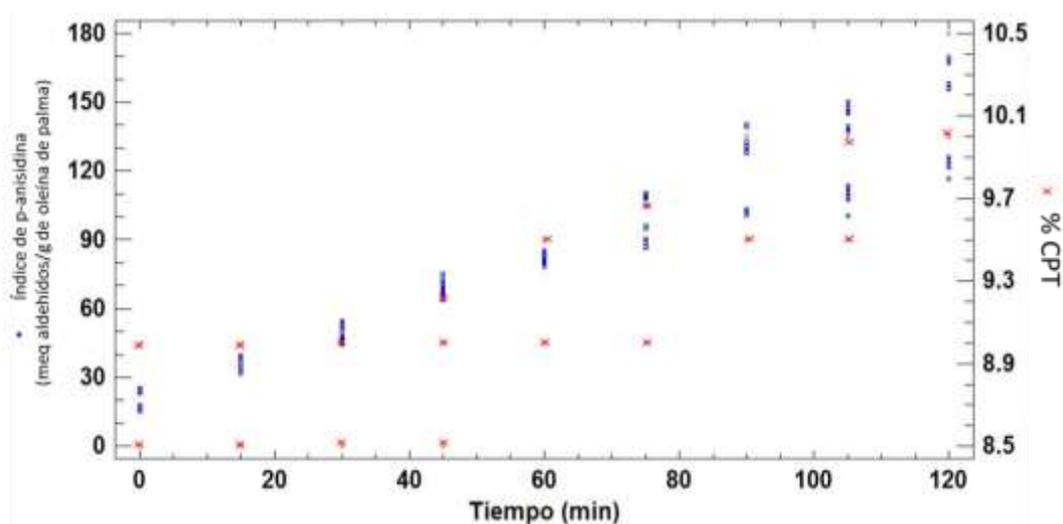


Figura 16. Correlación de índice de *p*-anisidina y %CPT de oleína de palma usada para el proceso de fritura de papa

En el caso del aceite usado en *pellet*, las correlaciones se observan en la tabla 16. En los parámetros de índice de acidez, *p*-anisidina y %CPT se percibe una correlación alta teniendo valores de $r > 0.800$ ($P < 0.001$).

Tabla 16. Coeficientes de correlación entre parámetros de oxidación en muestras de aceite utilizado para fritura de *pellet*.

	L	A	b	Índice de acidez	Índice de p-anisidina
A	-0.2780*	1	-	-	-
B	0.1432*	-0.1724*	1	-	-
Índice de acidez	0.0899*	0.0185*	0.4131*	1	-
Índice de p-anisidina	-0.0527*	0.0582*	0.2959*	0.8015***	1
%CPT	0.0735*	0.0569*	0.2796*	0.9446***	0.8032***

(*), (***) Correlación significativa ($P < 0.05$; $P < 0.001$ respectivamente) 162 datos analizados.

En la figura 17, se observa un aumento en progresivo en los tres parámetros.

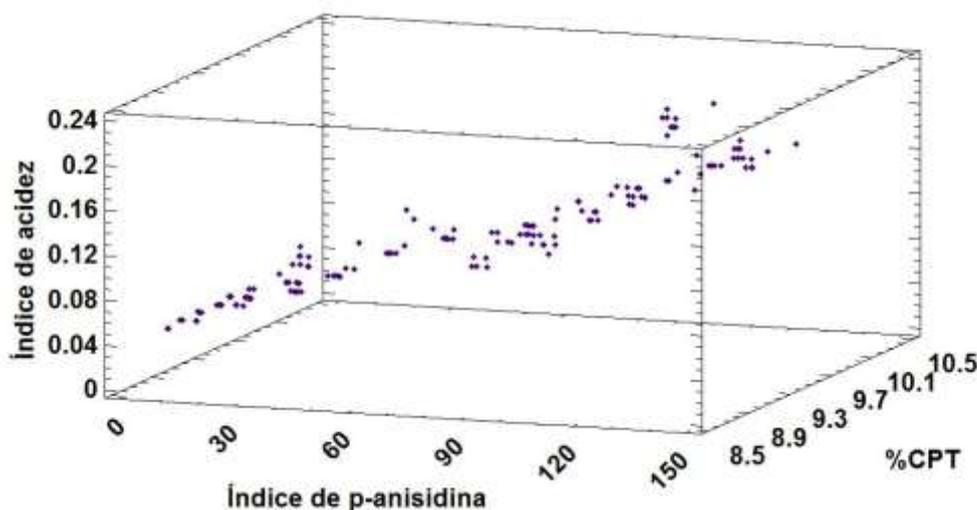


Figura 17. Relación entre el índice de acidez, índice de p-anisidina y % CPT del aceite usado para *pellet*

El % CPT y el índice de acidez están relacionados en el aceite usado en el *pellet*, ya que ambos están involucrados en la reacción hidrolítica. Los productos (ácidos grasos libres y di glicéridos) de la reacción son medidos por estos métodos. En la figura 18, se muestra una interacción continua en todo el proceso, indicando valores menores de polares al inicio y altos al final debido a que conforme avanza la reacción de hidrólisis, los compuestos polares van en

aumento mientras que los ácidos grasos libres aumentan al inicio pero conforme avanza la reacción el valor se va haciendo constante (Choe y Min, 2007).

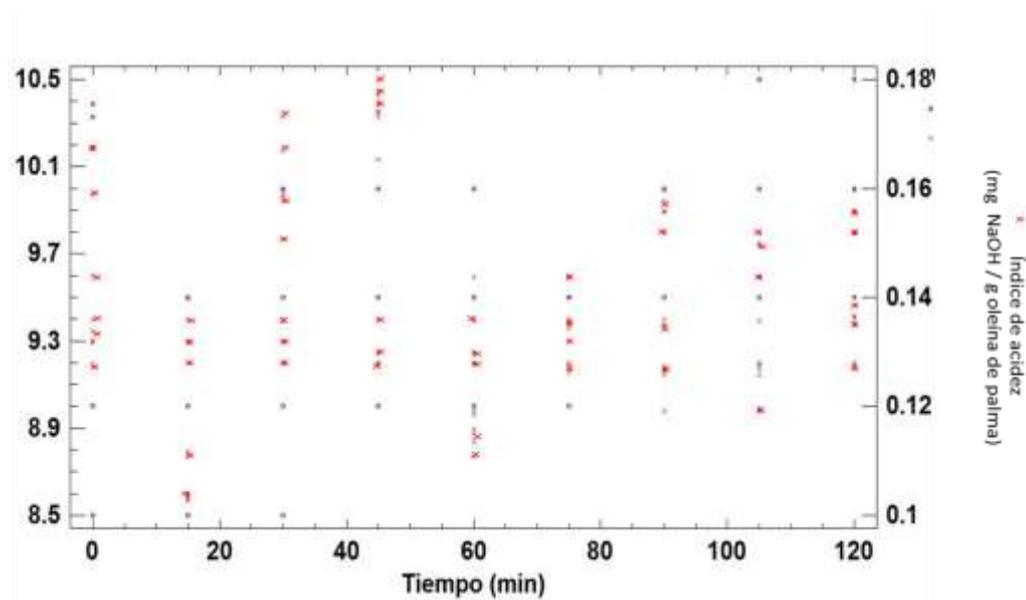


Figura 18. Correlación de índice de % CPT e índice de acidez en oleína de palma usada para el proceso de fritura de pellet tipo donita.

En las figura 19 se muestra la correlación de los parámetros de oxidación en el aceite del *pellet* por medio de gráficos dispersión X-Y.

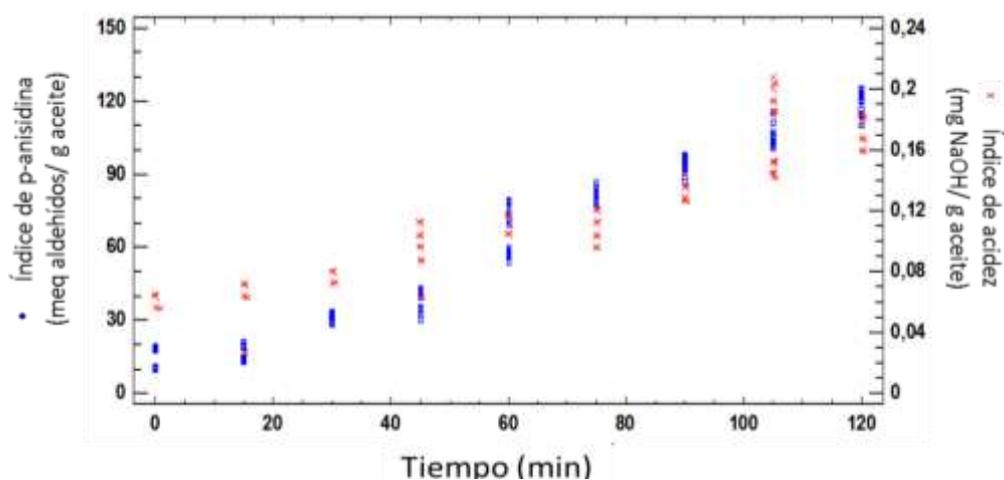


Figura 19 Correlación de índice de *p*-anisidina y acidez libre de oleína de palma usada para el proceso de fritura de *pellet* tipo donita.

En el índice de acidez y *p*-anisidina presenta una correlación a partir del tiempo 60 como se observa en la figura 20. El enranciamiento de los aceites es producido por dos reacciones, hidrolítica y oxidativa, las cuales van aumentando conforme pasa el tiempo, por ello estos dos parámetros se relacionan en el *pellet*, mientras que en la papa el índice de acidez pudo ser modificado por la cantidad de agua de la materia prima, la cual carece el *pellet* y la composición química de la papa (Castillo, 2007).

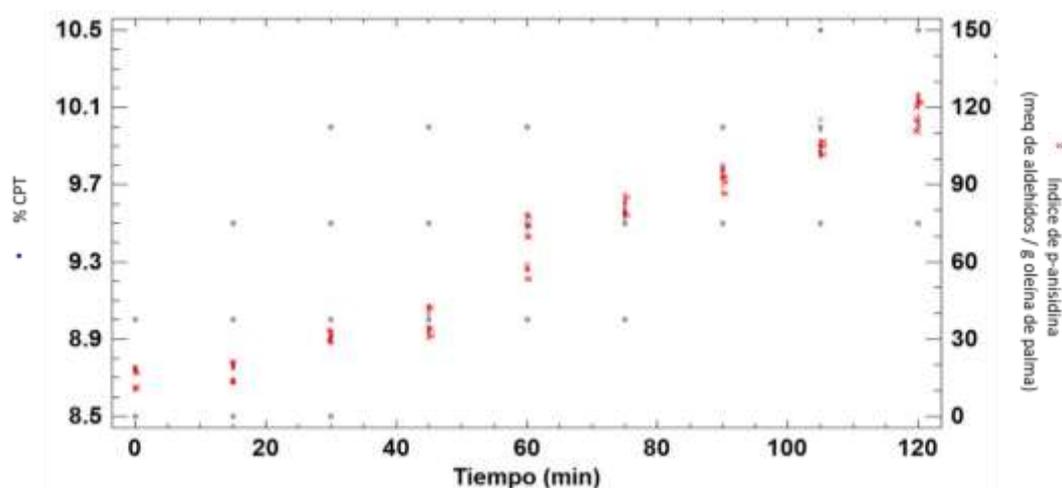


Figura 20. Correlación de índice de % CPT e índice de *p*-anisidina en oleína de palma usada para el proceso de fritura de *pellet* tipo donita.

Los compuestos de oxidación secundarios, al inicio de calentamiento del aceite, tienen una concentración casi nula porque primero se generan los peróxidos, mientras que la reacción oxidativa va en progreso constante. Por ello, en la figura 16 se observa valores superiores de %CPT al inicio del proceso (Gupta, 2005). Posteriormente, la correlación de los resultados en estos parámetros es notoria.

En el *pellet*, se presentó mayor correlación entre variables dada la naturaleza de la materia prima más homogénea, teniendo un comportamiento más uniforme que en papa frita.

La papa frita al contener una alta humedad y azúcares afectó a los resultados, presentando mayor variabilidad (Brown, 2005).

7. CONCLUSIONES

- Tanto en papa como en *pellet*, el uso de las placas de cerámica no afecta sensorialmente al producto de fritura final ni al contenido de grasa.
- La presencia de las placas de cerámica disminuyó los valores de oxidación del aceite de fritura de papa (*p*-anisidina y compuestos polares) en comparación con las muestras SP en especial a partir del minuto 75. Sin embargo, la presencia de las placas no supuso una mejora evidente en los niveles de oxidación del aceite de fritura del *pellet*.
- En cuanto al color del producto y del aceite, aunque hubo cambios significativos no se observó una tendencia acusada, en especial en el caso del *pellet*, por lo que el color no podría ser utilizado como medida de control de calidad de oxidación en el proceso de fritura.
- Existió una correlación en los parámetros de oxidación del aceite usado en papa frita, principalmente en índice de *p*-anisidina y %CPT e índice de acidez.
- Existió una correlación en los parámetros de oxidación del aceite usado en el *pellet*, principalmente en índice de *p*-anisidina, %CPT e índice de acidez.

8. REFERENCIAS

- Al-Khusaibi, M., Gordon, M. H., Lovegrove, J. A. y Niranjani, K. (2012). "Frying of potato chips in a blend of canola oil and palm olein: changes in levels of individual fatty acids and tocopherols". *Journal of Food Science and Technology*, 47, 1701–1709.
- AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International* (16 Th ed., Vol.II). (P. Cunniff, ed.)
- Barreiro, M.J y Sandoval, B.A. (2006) (1ra. Ed.). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Venezuela: Equinoccio. 21-25
- Bou, R., Navas, J.A., Tres, A., Codony, R. y Guardiola, F. (2012). "Quality assessment of frying fats and fried snacks during continuous deep-fat frying at different large-scale producers". *Food Control* 27, 254-267.
- Brown, C.R. (2005). "Antioxidants in potato". *Amer J of Potato Research*, 82, 163-172.
- Canacintra. (2010, Noviembre 8). "Crece 70% el consumo de botanas en el país". México". Énfasis Packaginy. Extraída el 12/VI/ 2015 desde <http://www.packaging.enfasis.com/notas/17978-crece-70-el-consumo-botanas-el-pais->
- Castillo, J. A. C. (2007). *Evaluación de la Estabilidad Oxidativa de Grasas Interesterificadas Enzimáticamente* [Tesis para obtener el título en Licenciatura de Química]. México; Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias.
- Cedi, F. L.N., Cadena, A. Y. y Sosa, M. M. E. (2010). "Deterioro de aceite de soya y oleína de palma durante el freído de papas a la francesa". Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Guanajuato. OT34.

- Chen, W. A., Chiu, C.P., Cheng, W. C, Hsu, C. K. y Kuo, M.I. (2013). "Total Polar Compounds and Acid Values of Repeatedly Used Frying Oils Measured by Standard and Rapid Methods". *Journal of Food and Drug Analysis*, 1, 58-61.
- Choe, E. y Min, D. B. (2007). "Chemistry of Deep-fat Frying Oils". *Journal of food science*, R1-R10.
- Crosa, M. J., Elichalt, M., Skerl, V., Cadenazzi, M., Olazabal, L., Silva, R., Suburú, G., Torres, M. y Vilaro, F. (2014). "Potatoes chips, vacuum frying and health profits". *INNOTECH*, 9, 70-74.
- Debnath, S., Bhat, K. K. y Rastogi, N. K. (2003). "Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food". *Food Science & Technology*, 36, 91-98.
- Dobarganes, M. C. (2009). *Formation of New Compounds during Frying- General Observations. Frying Oils*. USA: Board. Extraída el 2/XI/2015 desde <http://lipidlibrary.aocs.org/OilsFats/content.cfm?ItemNumber=39209>
- Espinosa M. J. (2007) (Primera ed.) *Evaluación Sensorial de Alimentos*. La Habana, Cuba: Editorial Universitaria. p.p 45, 113.
- FAO (2014) Alimentos sanos y seguros. Recuperado el 03 de agosto del 2014.
- FAO, (2013). Daños sufridos por los productos frescos después de la cosecha. Recuperado el 03 de agosto del 2014.
- Fennema, O. R. (2000). *Química de los Alimentos*. (Segunda Ed.). España: Acribia
- "FRYLOW®". (2015). Extraída el 4/XI/2015 desde <http://frylow.com/>
- Gupta, M. K. (2005). "Frying oils". "*Bailey's Industrial Oil and fat Products*". (Sexta Ed.) Vol. 6. Canada: Wiley & Sons.

- Hampikyan, H., Colak, H., Akhan, M. y Turgay, I. (2011) "Determination of total polar compound (TPC) levels in frying oils". *Journal of Food, Agriculture y Environment*, 2, 142-144.
- Hasbún, J., Esquivel, P., Brenes, A. y Alfaro, I. (2009). "Propiedades físico-químicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa". *Agronomía Cisarriense*, 33, 77-89.
- Haverkort, A. J., Van, C. D. L., Van, E. P., Baarveld, H. R., Campobello, E. W. A., Liefink, S. R. y Peeten, H. M. G. (2002). *En el Camino de la elaboración de la patata*. Holanda: NIVAA.
- Hornero, D. M; Pérez, A.G. y Mínguez, M.I.M (2001) "A Rapid Spectrophotometric Method for the Determination of Peroxide Value in Food Lipids with High Carotenoid Content". Vol. 78. *JAOCs*, 11, 1151-1155.
- Jaswir, I., Che Man, Y.B. y Kitts, D. D. (1999). "Use of natural antioxidant in refined palm olein during repeated deep-fat frying". *Food Research International*, 33, 501-508.
- Jonnalagadda, P.R., Bhat, R. V., Sudershan, R. V. y Nadamuni, A. N. (2001) "Suitability of chemical parameters in setting quality standards for deep-fried snacks" *Food Quality and Preference*, 12, 223-228.
- Kirk R.S., Sawyer R. y Egan H. (1996). *Composición y análisis de alimentos*. (Segunda ed.). México: Grupo Editorial Patria. pp. 199-241.
- "KitchenPro". (2010). Productos. Extraída el 17/IX/2015 desde <http://www.kitchenpro.com.co/services.htm>
- Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B. y Marinos-Kouris, D. (2001) "Colour changes during Deep fat frying." *Journal of Food Engineering*, 48, 219-225.
- Lemos, M.A. y Sivaramareddy, A. (2013). Effect of oil quality on the levels of total phenolics, total anthocyanins and antioxidants activity of French fries. InsideFood Symposium, DD1:9-12.

- Limón, B. C. y León, M. A. F. (2014). Mitos y Realidades de las Botanas en México. México. Énfasis/ Canacintra, Rama 106: Fabricante de Botanas. Extraído el 13/VI/2014 desde http://www.enfasis.com/Presentaciones/FTSMX/2014/Gratis/Snacks_BLimonALEon.pdf
- Masson, L., Muñoz, J. R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. (2007). "Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada". *Universidad de Chile*, 233: 1-9.
- Masson, L., Robert, P., Dobarganes, M.C., Urra, C., Romero, N., Ortiz, J. y Goicoechea, E. (2002). "Stability of potato chips fried in vegetable oils with different degree of unsaturation. Effect of ascorbyl palmitate during storage". *Grasas y Aceites*. Vol. 53. Frasc. 2.1 90-198.
- Matsuura-Endo, C., Ohara-Takada, A., Chuda, Y., Ono, H., Yada, H., Yoshida, M., Kobayashi, A., Tsuda, S., Takigawa, S., Noda, T., Yamauchi, H. y Mori, M. (2006). "Effects of Storage Temperature on the Contents of Sugars and Free Amino Acids in Tubers from Different Potato Cultivars and Acrylamide in Chips". *Journal of Biotechnology*, 70 (5), 1173-1180.
- Mba, O.I., Dumont, M. J. y Ngadi, M. (2015). "Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry – A review". *Food Bioscience*, 10, 26-41.
- Mendoza, F., Dejmek, P. y Aguilera, J.M. (2007). "Colour and image texture analysis in classification of comercial potato chips." *Food Research International*, 40, 1146-1154.
- Minica-Dukic, N., Simin, N., Svircev, E., Orcic, D., Beara, I., Lesjak, M y Bezin, B. (2012). *The effect of Plant Secondary Metabolites on Lipid Peroxidation and Eicosaboid Pathwa*. Republica Serbia: INTECH.
- Moreira, R. G., Da Silva, F. P y Gomes, C. (2009). "The effect of a de-oiling mechanism on the production of high quality vacuum fried potato chips". *Journal of Food Engineering*, 92, 297-304.

- Nath, A y Chattopadhyay, P.K. (2007). "Quality attributes of high temperature short time air puffed ready-to-eat potato snacks". *International Journal of Food Properties*, 10, 113-125.
- Navas, S. J. A. (2005). *Optimización y control de la calidad y estabilidad de aceites y productos de fritura* [Título para obtener el grado de doctor]. España: Universidad de Barcelona, Ciencias de la Salud.
- Norma Mexicanas NMX-F-051-SCFI-2007. "Alimentos- Aceites y Grasas Vegetales o Animales- Determinación del índice de Anisidina- Métodos de prueba". Secretaria de Economía. Diario Oficial de la federación. México, 2007.
- Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002. "Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba". Norma Oficial Mexicana. *Secretaria de Salud*. Diario Oficial de la Federación. México, 07 de mayo del 2002.
- Panreac (2000). Aceites y Grasas: Analíticos en Alimentaria (Métodos Oficiales de Análisis). Unión Europea: Lin lab Rioja.
- Qualifrit, (2002). "The Frylow Photocatalytic System". Extraído el 17/IX/2015 desde <http://www.qualifrit.com/en/photocatalyst-frylow/>
- Ramos V. P., Valdivia, B. U. y Montañez, J. C. S. (2012). "Alternativas para reducir la absorción de aceite en papas fritas". *Acta Química Mexicana, Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. Vol. 4 No. 7, 1-10.
- Rodríguez, J. G., Morcuende, D. y Estévez, M. (2011). "Partial Replacement of Pork Back-Fat by Vegetable Oils in Burger Patties: Effect on Oxidative Stability and Texture and Color Changes during Cooking and Chilled Storage". *Journal of Food Science*, 76, C1025-C1031.
- Rojas, E. H. U. y Narváez, P. C. R. (2011). "Analysing a method for small and medium sized companies to rate oil quality during immersion frying" *Ingeniería e Investigación*, 31, 83-92.

- Rossi, J. P. (2007). "La combinación de los azúcares con las biomoléculas desde la cocina al organismo". *Medicina* (Buenos Aires), 67, 161-166.
- Ruiz, B. R. (2009). *Propiedades Antioxidantes de los Productos de la Reacción de Maillard y su Influencia en la Absorción de Hierro y Cobre. Relación con la Capacidad Quelante de Metales* [Tesis para obtener el Título Doctoral de Farmacia]. España: Universidad de Granada.
- Sara, I. F. S., Martins, M. y Van, A. J. S. B. (2005). "A kinetic model for the glucose/glycine Maillard reaction pathways". *Food Chemistry*, 90, 257-269.
- Shahidi, F y Zhong Y. (2005). "*Lipid oxidation*". "*Bailey's Industrial Oil and fat Products*". (Sexta Ed.) Vol. 6. Canada: Wiley & Sons.
- Singh, R.P. (2012). "Food Frying". *Food Engineering*, 3, 3-5.
- Suaterna, A. C. H. (2008). "La fritura de los alimentos: pérdida y ganancia de nutrientes en los alimentos fritos." *Perspectiva en la nutrición humana*, Vol. X, Capítulo 1, 77-88.
- Suaterna, A. C. H. (2009). "La fritura de los alimentos: el aceite de fritura." *Perspectiva en la nutrición humana*, Vol. XI, Capítulo 1, 39-53.
- Tarrago, M. T. T.; Phillips, K.M.; Lemar, L. E. y Holden, J. M. (2006). "New and Existing Oils and Fats Used in Products with Reduced Trans-Fatty Acid Content". *Journal of the American Dietetic Association*, 106, 867-880.
- Tatt, W.W., Saad, B. y Peng B. L. (2009). "Determination of TOTOX value in palm oleins using a FI-potenciometric analyzer". *Food Chemistry*, 113, 285-290.
- Testo. (2010). "El medidor de aceites de cocinar testo 265/270". Extraído el 4/XI/2015 desde: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/el-medidor-de-aceite-de-cocinar-testo-265-270>.
- Thanatuksorn, P., Kajiwara, K. y Suzuki, T. (2009). "Characteristics and oil absorption in deep-fat fried batter prepared from ball-milled wheat flour". Society of Chemical Industry. 13-20.

- The Nielsen Company. (2014). *Snack Attack*. (Primera Ed.). USA: Nielsen Global Snacking Survey.
- UNE-EN ISO 4120:2008. "Análisis sensorial. Metodología. Prueba triangular (ISO 4120: 2005)". *Agencia Española de Normalización*. España. 22 de octubre del 2008.
- Valdunciel, J.M. P. (2000). *Calidad de patatas. Instituto de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria*. España: Universidad de la Rioja.
- Valenzuela, R.B y Ronco, M.A.M. (2007). "Acrylamide in food". *Revista Chilena de Nutrición*. Vol. 34,1. Extraído el 17/IX/2015 desde http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182007000100001
- Zamora, R., Hidalgo, F.J. y Alaiz, M. (1991). "Alteraciones bioquímicas de los lípidos en los alimentos vegetales". *Grasas y aceites*, 42, 230-238.
- Zyzak, D.V., Sanders, A.R., Stojanovic, M., Tallmadge, D.H., Eberhart, B.L., Ewald, D. K., Gruber, D.C., Morsch, T. R., Strothers, M. A., Rizzi, G. P. y Villagran M. D. (2003). "Acrylamide Formation Mechanism in Heated Foods". *Agricultural and Food Chemistry*, 51, 4782-4787.