



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos  
Programa de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Especialidad de Almacenamiento y Procesamiento de Granos

Cinética Oxidativa y Evaluación Sensorial de Frituras de Maíz  
Respecto a la Oxidación Lipídica

## TESIS

Que para obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presenta:

***Q.B. Zulema Morales Sesma***

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## DEL AUTOR

Este trabajo se presenta como uno de los requisitos parciales para la obtención del Grado de Maestro en Ciencias, Especialidad Almacenamiento y Procesamiento de Granos, de la Universidad de Sonora.

Se deposita en la biblioteca del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora, para ponerla a disposición de los interesados. Se puede tener autorización para reproducir y/o referirse a este escrito, en su totalidad o en parte, a través del Coordinador de Posgrado en Ciencias y Tecnología de Alimentos, cuando considere que dicha propuesta apoye al avance académico.

En cualquier otra situación se debe tener autorización directamente del autor.

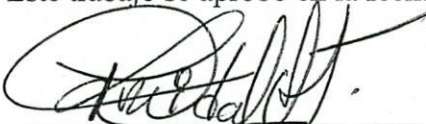
ATENTAMENTE

Zulema Morales S.

Q. B. Zulema Morales Sesma

Aprobación de Asesor

Este trabajo se aprobó en la fecha señalada:



Dra. Reyna Luz Vidal Quintanar

Septiembre 02/2010  
Fecha

## DEDICATORIA

A Dios, quien me dio la fe, la fortaleza necesaria para salir siempre adelante pese a las dificultades, por colocarme en el mejor camino, iluminando cada paso de mi vida, por darme salud para terminar este trabajo.

Con mucho cariño a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. A mi mamá por su paciencia, por creer en mí, por su comprensión, por su empeño, por su fuerza, por su amor, por ser tal y como es,... porque la quiero. A mi papá que no alcanzo a estar conmigo en esta etapa de mi vida, pues partió tempranamente, y aunque ya no este entre nosotros sigue vivo en mi pensamiento; fue su estímulo mi impulso para llegar al final, por eso te dedico mi esfuerzo donde te encuentres.

A mis hermanos, Bony, Martha, Evelia, Irene, Imelda, Bibiana y Luis, gracias porque me han hecho sentir como su hija. Gracias por consentirme tanto y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A mis Sobrinos, que se han convertido en una motivación, quisiera nombrarlos a cada uno de ustedes pero son muchos, especialmente a mis sobrinos-ahijados: Tito y Mayito. A todos los quiero mucho.

A mis amigos María Elena, Hilarío, Miroslava y Wilfrido que les puedo decir, muchas gracias por estos años de conocernos, y en los cuales hemos compartido tantas cosas. Gracias por todo el apoyo que me han dado para continuar.

A todos mis amigos: a los que han pasado y los que se han quedado, porque ustedes han sido parte de mi vida, han marcado mi vida de alguna forma y me han abierto los ojos al mundo, especialmente a Alejandra, Lupita, Rocío, Denisse, Nadia, Eber y Ramonciiiiiiiiiiiiiito.

Zulemyth®

## AGRADECIMIENTO

A la **Universidad de Sonora**, especialmente al **Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos** (DIPA) por darme la oportunidad de formar parte de ellos al realizar mis estudios de maestría, además por las facilidades brindadas para el desarrollo del presente trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para la realización de mis estudios en esta institución.

A los miembros del comité, **Dra. Reyna Luz Vidal Quintanar**, **Dra. Ofelia Rozound Sandez**, **Dra. María Isabel Silveira Gramount** y **Dr. Jose Luis Cárdenas** por las valiosas contribuciones que hicieron al trabajo final.

A todas aquellas grandes personas que hacen posible el conocimiento en los salones de clase, los excelentes profesores del programa de maestría. Al personal Administrativo, especialmente a la **Dra. Maribel Robles, Coty y Mary**, por su apoyo en los trámites realizados en la maestría.

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	4
General.....	4
Específicos.....	4
ANTECEDENTES.....	5
Proceso de Fritura.....	5
El aceite de Freído.....	7
Alteración de la Calidad en Frituras.....	9
Efecto del Calentamiento en Horno de Microonda.....	10
Autoxidación de Lípidos.....	12
Mecanismo de Autooxidación de Lípidos.....	12
Iniciación.....	13
Propagación.....	13
Terminación.....	15
Evaluación de la Autooxidación de Lípidos.....	16
Evaluación Química.....	17

<b>CONTENIDO (Cont.)</b>	<b>Página</b>
Índice de peróxidos.....	17
Valor <i>p</i> -anisidina.....	17
Conjugados dienólicos.....	17
Métodos cromatográficos.....	18
Nariz Electrónica.....	18
Evaluación Sensorial.....	20
Evaluación Sensorial con Panelistas Entrenados.....	21
Evaluación Sensorial con Consumidores.....	24
MATERIALES Y METODOS.....	30
Materias Primas.....	30
Caracterización Química de las Frituras de Maíz.....	30
Cinética Oxidativa de las Frituras de Maíz.....	31
Evaluación de los Parámetros Químicos.....	32
Nariz Electrónica: Olfatometría.....	33
Evaluación Sensorial.....	34
Evaluación Sensorial I: Perfil Sensorial.....	35
Evaluación Sensorial II: Consumidores.....	36
Análisis Estadístico.....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
Cinética Oxidativa de las Frituras de Maíz.....	40
Índice de Peróxidos.....	42

<b>CONTENIDO (Cont..)</b>	<b>Página</b>
Ácidos Dienólicos Conjugados.....	44
Valor <i>p</i> -anisidina.....	45
Cromatografía de Gases.....	47
Análisis de las Frituras de Maíz Mediante Nariz Electrónica.....	52
Evaluación Sensorial.....	57
Frituras de Maíz sin Iniciación en Microonda.....	58
Frituras de Maíz con Iniciación en Microonda.....	63
Relación entre Análisis Químicos, Olfatométrico y Sensorial I.....	69
Detección de Rancidez por los Consumidores.....	73
Diferencias en aceptación entre grupos de consumidores.....	76
CONCLUSIONES.....	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS.....	94



## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Factores que Influyen la Decisión de Compra del Consumidor.....	27
2. Análisis de Composición Química de las Frituras de Maíz.....	41
3. Concentración de Ácidos Grasos Durante la Oxidación de las Frituras de Maíz Almacenadas a 75°C y 55% HR sin Iniciación en Microonda y con Iniciación en Microonda.....	48
4. Variables Químicas Durante la Etapa de Iniciación (Nivel 1), Propagación (Nivel 2) y Pico Máximo (Nivel 3) de la Reacción de Oxidación de las Frituras de Maíz sin Iniciación en Microonda y con Iniciación en Microonda.....	51
5. Sensores de la Nariz Electrónica de las Frituras de Maíz Almacenadas a 75°C y 55% HR sin Iniciación en Microonda y con Iniciación en Microonda.....	55
6. Atributos Sensoriales en Frituras de Maíz Durante Almacenamiento a 75°C y 55%HR sin Iniciación en Microonda.....	59
7. Funciones Discriminantes Obtenidas con los Tres Niveles de Oxidación sin Iniciación en Microonda. Coeficientes Estandarizados de los Atributos, Varianza Explicada, Lamda de Wilks y Valor P.....	61
8. Atributos Sensoriales en Frituras de Maíz Durante Almacenamiento a 75°C y 55%HR con Iniciación en Microonda.....	64

## LISTA DE TABLAS (Cont..)

Página

9.	Funciones Discriminantes Obtenidas con los Tres Niveles de Oxidación con Iniciación en Microonda. Coeficientes Estandarizados, Varianza Explicada, Lambda de Wilks y Valor P.....	66
10.	Características de los Jueces Consumidores que Participaron en la Evaluación Sensorial de Frituras de Maíz.....	74
11.	Evaluación de Aceptación-Rechazo y Preferencia de Compra por los Consumidores en los Tres Niveles de Oxidación de Frituras de Maíz.....	75
12.	Evaluación Aceptación-Rechazo de los Tres Niveles de Oxidación en Frituras de Maíz según el Género (Mujer, Hombre).....	77

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Estructura de la Sección Transversal de un Alimento Frito.....	6
2.	Mecanismo General de la Autoxidación de Lípidos.....	14
3.	Ubicación de las Tiendas en el Mapa de la Ciudad de Hermosillo, Soriana Progreso (1), Super del Norte (2), Soriana Bachoco (3), Soriana Encinas (4) y Ley del Rio (5).....	37
4.	Cinética Oxidativa de las Frituras de Maíz bajo Almacenamiento Acelerado a 75°C y 55% de Humedad Relativa. (a): Índice de Peróxidos, (b): Ácidos Dienólicos Conjugados.....	43
5.	Índice <i>p</i> -Anisidina Durante la Reacción de Oxidación de las Frituras de Maíz bajo Almacenamiento Acelerado a 75°C y 55% de Humedad Relativa.....	46
6.	Desarrollo de la Reacción de Oxidación de Lípidos; N1=Nivel 1, N2=Nivel 2 y N3=Nivel 3.....	50
7.	Intensidad de Respuesta (0 a 1.5) de los 6 Sensores de la Nariz Electrónica de los Tres Niveles de Oxidación de las Frituras de Maíz sin Iniciación en Microonda.....	53
8.	Intensidad de Respuesta de los 6 Sensores de la Nariz Electrónica de los Tres Niveles de Oxidación de las Frituras de Maíz con Iniciación en Microonda a) Escala de 0-12 y (b) Escala de 0-1.....	54

## LISTA DE FIGURAS (Cont..)

Página

9.	Intensidad de Respuesta de los 12 Panelistas Sensoriales de los Tres Niveles de Oxidación de las Frituras de Maíz sin Iniciación en Microonda.....	60
10.	Análisis Discriminante de los Tres Niveles de Oxidación en las Frituras de Maíz sin Iniciación en Microonda.....	62
11.	Intensidad de Respuesta de los 12 Panelistas Sensoriales de los Tres Niveles de Oxidación de las Frituras de Maíz con Iniciación en Microonda.....	65
12.	Análisis Discriminante de los Tres Niveles de Oxidación en las Frituras de Maíz con Iniciación en Microonda.....	67
13.	Análisis de Regresión de las Variables Químicas, a) Índice de Peróxidos y b) Linoleico y la Intensidad de Olor a Rancio Evaluado por 12 Jueces entrenados en los Tres Niveles de Oxidación.....	70
14.	Análisis de regresión de los Sensores de la Nariz Electrónica, a) P30/2 y b) P30/1) y la Intensidad de Olor a Rancio Evaluado por 12 Jueces entrenados en los Tres Niveles de Oxidación.....	72

## RESUMEN

El alto consumo de alimentos susceptibles a la oxidación lipídica, como es el caso de frituras de maíz, tostadas, totopos, pollo, pescado, entre otros, constituyen un peligro para la salud del consumidor, principalmente si estos productos han desarrollado la reacción de oxidación. El objetivo de este trabajo fue conocer la perceptibilidad de los consumidores de la población de Hermosillo para identificar la presencia oxidación relativa a tres niveles de oxidación en frituras establecidos por métodos químicos. El diseño experimental se dividió en tres etapas. En la primera etapa se realizó una cinética oxidativa de las frituras de maíz sin iniciación en microonda y con iniciación en microonda para seleccionar tres niveles de oxidación mediante variables químicas. Para ello, las muestras se almacenaron en cámaras de almacenamiento a 75°C y 55% de humedad relativa. Las frituras de maíz presentaron las etapas de iniciación, propagación y terminación de la reacción de oxidación de lípidos. En la segunda etapa, se utilizó la nariz electrónica para evaluar los tres niveles de oxidación en las frituras de maíz. Los resultados de la nariz electrónica no mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el nivel 1 (iniciación) y nivel 2 (propagación). Sin embargo, el nivel 3 (valor máximo) para iniciación en microonda presentó diferencias significativa mayor ( $p < 0.05$ ) respecto al nivel 1 y 2. En la tercera etapa se desarrolló el perfil sensorial de olor de las frituras de maíz con 12 panelistas entrenados y la evaluación sensorial de las frituras con 300 consumidores. El olor rancio y pintura fueron los atributos que caracterizaron a las frituras de maíz con deterioro oxidativo. La aceptación y preferencia de consumidores por las frituras de maíz disminuyó conforme aumentó el nivel de oxidación, reflejando la habilidad de los consumidores para diferenciar entre intensidades de olor a rancio.

## INTRODUCCIÓN

La oxidación de lípidos es una de las causas principales del deterioro de los alimentos, causando pérdidas económicas en la industria alimentaria, principalmente, en productos fritos tal como papas, nachos o totopos, semillas, chicharrones, pollo, pescado, etc. La deterioración lipídica provoca la aparición de sabores y olores desagradables, reduciendo la aceptabilidad y preferencia del alimento (Frankel, 1991). Adicionalmente, la oxidación afecta la calidad nutritiva y organoléptica del alimento. Los productos de oxidación son potencialmente tóxicos a la salud (Nawar, 1996). La reacción de oxidación de lípidos forma, radicales libres, hidroperóxidos, y en la etapa de terminación de la reacción se producen; aldehídos, cetonas, alcoholes e hidrocarbonos. Estos productos secundarios de la oxidación son responsables de cambios en las propiedades del aroma y sabor causados en los alimentos (Frankel, 1991).

Los factores involucrados en la oxidación de lípidos son; luz, humedad y temperatura. El almacenamiento de productos grasos a temperaturas mayores a 40°C es un factor crítico que acelera la velocidad de oxidación (Labuza y Schmidt, 1985). El uso de microondas para el calentamiento de alimentos afecta la composición y calidad nutricional. Frecuentemente, se especula que el calentamiento directo por la exposición a microondas facilita la formación de radicales libres. Los radicales libres de los ácidos grasos causan daños a la salud del consumidor, iniciando desórdenes metabólicos, tales como mutagénesis, carcinogénesis, neurológicos y aterogénicos (Leaf y col., 2003; Jacobsen, 1999).

La cromatografía de gases (CG) cuantifica los compuestos volátiles producidos durante la fase de terminación de la oxidación de grasas. La CG puede cuantificar a varios productos de esta

reacción, como al hexanal, octanal, 2-pentenal, *t,c*-hepta-2,4-dienal, nonan-2-one, *c,c*-octa-3,5-dien-2-one, entre otros compuestos asociados con el desagradable olor a rancio (Kolanowski y col., 2007; Timm-Heinrich y col., 2004). Por otro lado, la olfatometría, llamada nariz electrónica (NE), también detecta cuantitativamente la mezcla de volátiles emitidos por los alimentos, responsables del olor que percibe el consumidor. La NE analiza y cuantifica los volátiles, concentrados en el espacio libre del recipiente y son introducidos en el sistema de sensores para su detección (García y Aparicio, 2002). Los sensores poseen diferente sensibilidad, estos se seleccionan dependiendo de las propiedades físico-químicas de los compuestos odoríficos de la mezcla problema. El sensor convierte el olor en una señal, que al ser procesada por técnicas quimiométricas, proporciona un gráfico o huella digital del aroma específico (Haugen y Undeland, 2003). La CG también utiliza un gráfico de elución que identifica y cuantifica a los compuestos eluidos. Los resultados generados por NE en una variedad de muestras, de café, cárnicos, bebidas y cereales; e incluso materiales de empaque, muestran correlación con evaluación sensorial; así la metodología de NE imita o correlaciona con la respuesta del sistema olfativo humano (Bartlett y col, 1997). La nariz electrónica fue capaz de predecir los cambios en el aceite de canola almacenado a 60°C y 25°C en la calidad sensorial. Los resultados de la NE mostraron correlaciones positivas con los obtenidos en evaluación sensorial en las muestras almacenadas a 60°C (0.989) y en las muestras almacenadas a 25°C (0.881) (Mildner y col., 2008). Otro estudio, al analizar por CG y NE la carne de cerdo almacenada a -20°C por 25 semanas, se observaron cambios significativos en los compuestos volátiles, productos de las reacciones finales de la oxidación. Estos se correlacionaron positivamente ( $r=0.9$ ) con los resultados de la evaluación sensorial (Olsen y col., 2005).

El análisis de resultados químicos, instrumentales y sensoriales predicen, diferencias en calidad de alimentos, basadas en presencia o ausencia de compuestos específicos. El problema es conocer si el consumidor de la Ciudad de Hermosillo conoce y distingue la oxidación lipídica. En este experimento; dada la cinética de oxidación de frituras de maíz, se seleccionaron tres niveles de oxidación, con variables respuestas químicas. El nivel 1 correspondió a la fase de iniciación, el segundo nivel le correspondió a la etapa de propagación y finalmente el tercer nivel correspondió a las frituras en el punto máximo de la oxidación. Conociendo el perfil sensorial de la cinética de oxidación, se realizó la evaluación sensorial II con consumidores. Este conocimiento nos permitió conocer el índice de exposición y adaptación a los productos oxidados prevaeciente en la población, además de la calidad demandada por el consumidor local.



## **OBJETIVO GENERAL**

Conocer la perceptibilidad de la población de Hermosillo para identificar la presencia de oxidación relativa a tres niveles de oxidación en frituras establecidos por métodos químicos.

### **Objetivos Específicos**

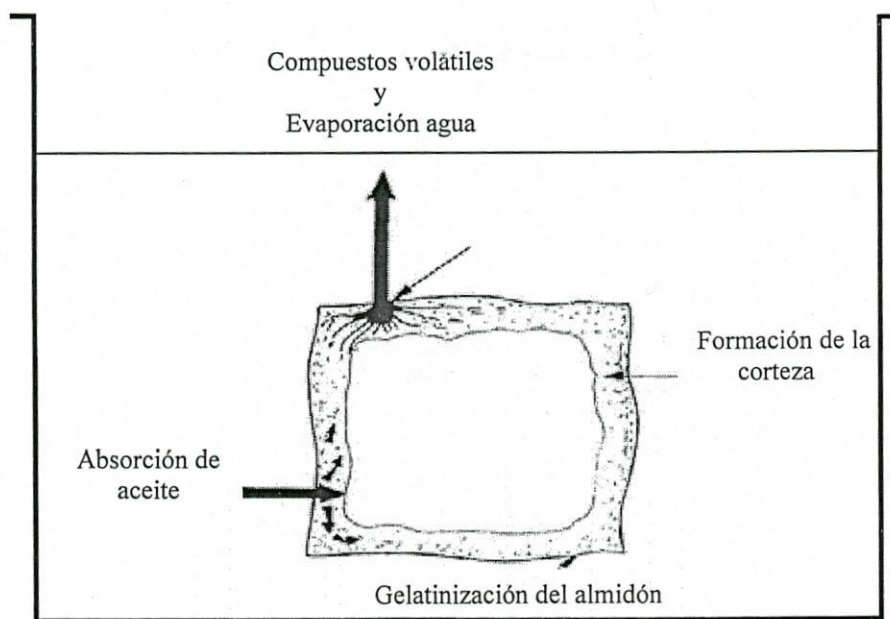
- Establecer la cinética de oxidación lipídica en frituras mediante las variables químicas bajo condiciones aceleradas para la selección de los tres niveles oxidativos a estudiar.
- Cuantificar por nariz electrónica la huella olfativa de la oxidación lipídica en frituras de maíz para los tratamientos sin y con iniciación en microondas.
- Establecer el perfil sensorial de los tres niveles de oxidación de las frituras de maíz mediante jueces entrenados.
- Conocer la habilidad de los consumidores para identificar, aceptar o rechazar la fritura de maíz en los tres niveles de oxidación.

## ANTECEDENTES

La fritura es uno de los procesos más antiguos y populares para la preparación de alimentos (Pavlista y Ojala, 1997). Prácticamente en todo el mundo se consume una amplia variedad de alimentos fritos (papas, nachos o totopos, semillas, chicharrones, pollo, pescado, etc). Actualmente, en la industria de los productos fritos se estima cerca de 83 billones de dólares en Estados Unidos de Norteamérica (EUA) y el doble de esta cantidad en el mundo (Pedreschi y col., 2005). Las frituras de maíz se encuentran tipificadas dentro la industria de las botanas. El negocio de botanas en el país ha tenido un crecimiento constante en éstos últimos años, el volumen estimado de producción de botanas en México, pasó de 234,726 Ton en el año 2000 a 343, 582 Ton en el 2004 (INEGI, 2004).

### Proceso de Fritura

El proceso de fritura consiste en introducir trozos de alimento a un medio graso sobrecalentado a una temperatura de 150-180°C, en presencia de aire, durante un determinado periodo de tiempo (Choe y Min, 2007). La fritura es un proceso de cocción, en donde; el almidón se gelatiniza, parte del agua en el tejido es reemplazado por aceite y hay una inactivación de enzimas (Moreira y col., 1999). La grasa y/o aceite es el medio de transferencia de calor, donde el súbito aumento de temperatura produce vapor de agua que al escapar causa agitación vigorosa del alimento (Figura 1). Las burbujas escapan primero de la superficie del alimento, y enseguida salen desde el interior por efecto de la presión interna que ocasiona la evaporación y expansión del vapor de agua (Lusas y Rooney, 2001). A medida que transcurre el proceso de freído, la cantidad de burbujas disminuye, a consecuencia de la reducción tanto de la humedad



**Figura 1. Estructura de la Sección Transversal de un Alimento Frito.**  
Fuente. Orthoefer y col., 1996.

superficial e interna, como la disminución de la presión al interior del producto (Choe y Min, 2007). La salida de agua del alimento provoca rupturas desde el interior hasta el exterior del mismo, dando lugar a la formación de grietas, poros y ampollas de diferentes tamaños. Esta red de túneles formados por el vapor de agua, junto con las irregularidades de la superficie, es el receptáculo de aceite (Lusas y Rooney, 2001). En la superficie del alimento, con la pérdida de humedad, se forma una corteza de color oscuro, misma que aporta al producto una textura crujiente (O'Brien, 2004).

Las condiciones del proceso, composición y tamaño del alimento, determinan el éxito y estabilidad del alimento. Las condiciones a controlar son: temperatura, tiempo, presencia de metales, luz, oxígeno, y grado de renovación de aceite durante el proceso de fritura (Lusas y Rooney, 2001). El producto frito absorbe una elevada cantidad de grasa y/o aceite que provocan la acumulación de una cierta proporción de compuestos de alteración que causan daños al organismo (O'Brien, 2004). Entre dichos daños se encuentran; irritación gástrica duodenal, diarreas, úlceras, daños hepáticos y alteración en la actividad enzimática (Lusas y Roney, 2001).

### **El Aceite de Freído**

El aceite utilizado en la fritura, es importante desde el punto de vista de calidad sensorial y nutricional. El aceite o grasa absorbido determina la aceptabilidad del producto (Saguy y Pinthus, 1995). El aceite absorbido o retenido tiende a acumularse en la superficie del alimento durante el freído, y se mueve al interior del alimento durante el enfriamiento (Moreira y col, 1997). La retención de aceite en los productos fritos varía, las papas fritas son

los alimentos que retienen más aceite (33-38%), seguido por frituras de maíz (30-38%), totopos (23-30%) buñuelos (20-25) y papas a la francesa (10-15%) (Moreira y col, 1999).

El tipo de aceite utilizado, producirá distintos sabores durante el freído debido a diferencias en calidad y cantidad de los ácidos grasos (Choe y Min, 2007). Los aceites vegetales como, el aceite de girasol, maíz y canola son deseables, ya que contienen 70% de ácido linoléico; mientras que, el aceite de algodón contiene 44-57% de ácido linoleico (Pangloli y col., 2002). El contenido de ácido linoleico, en aceites para fritura parece no ser un factor negativo en la estabilidad del aceite y en la evaluación sensorial de alimentos fritos (Xu y col., 1999). En general, la selección del aceite y grasa de fritura está determinada por su precio, disponibilidad, estabilidad y características tecnológicas (Gary y col., 1997; Amy y col., 2005). Los aceites más adecuados desde el punto de vista nutricional, son aquellos en los que predominan los ácidos grasos insaturados (Gary y col., 1997). Sin embargo, éstos presentan desventajas en base a su estabilidad, ya que los aceites con mayor grado de insaturación presentan menor estabilidad (Moreira y col., 1999). Esto explica porqué el aceite de maíz, con menos ácidos grasos insaturados, es el más recomendado para fritura, que los aceites de soya o canola con más ácidos grasos insaturados (Choe y Min, 2007). Las grasas animales o aceites hidrogenados como medio de fritura no son recomendables, debido al riesgo potencial para la salud, que significa el consumo de grasa saturada e isómeros *trans* (Dobarganes y col., 2002). El re-uso de los aceites de fritura puede producir componentes no deseados, que no sólo comprometen la calidad de los alimentos; si no también representan un peligro para la salud del consumidor. Así mismo, la reutilización del aceite conduce a reacciones de hidrólisis,

oxidación, y polimerización de la molécula del triglicérido, originando productos oxidados (Rossell, 2001). Los productos de descomposición formados son volátiles de cadena corta capaces de continuar su autodegradación (Choe y Min, 2007). Los compuestos volátiles afectan la estabilidad del sabor, calidad y textura de los productos fritos durante su almacenamiento (Min y Smouse, 1985). Mientras que, los compuestos no volátiles, cambian las propiedades físicas y químicas en el aceite y en el alimento. Estudios en aceites, altamente oxidados suministrados en animales de laboratorio muestran efectos negativos, que van desde la pérdida de peso, supresión del crecimiento, aumento en el peso del hígado y riñón, hasta daño celular en el hígado (Clark y Serbia, 1991).

### **Alteración de la Calidad en Frituras**

La aplicación de alta temperatura, la presencia de aire y la humedad provocan cambios físicos y químicos en el aceite que afecta la calidad nutritiva y sensorial de los productos fritos (Aladedunye y Przybylski, 2009). A pesar de ello, las frituras son de gran aceptación por parte del consumidor, debido a sus características sensoriales, derivadas de la presencia del material graso que mejora su textura y les confiere el sabor característico. Esto resulta, de la formación de productos de alteración de la grasa de fritura y del propio alimento (compuestos de oxidación lipídica) (Boskou y col., 2006).

La oxidación de lípidos es el principal problema presente en las frituras, inicia en la preparación y continúa en el almacenamiento (de semanas a meses), hasta el consumo del producto. El monitoreo de rancidez en los productos fritos facilita establecer condiciones de procesamiento y almacenamiento, y estima la vida de anaquel adecuada del producto (Robards y col., 1988). Los factores involucrados en la oxidación de lípidos son; luz, humedad y

temperatura. El almacenamiento de productos grasos a temperaturas mayores a 40°C acelera la velocidad de oxidación de lípidos (Labuza and Schmidt, 1985). En la actualidad, la seguridad alimentaria es el objetivo más importante en la ciencia de los alimentos. El calentamiento en horno de microonda es un método moderno y ampliamente usado para la preparación de alimentos. Estudios previos, demuestran la formación de radicales libres en grasas y aceites durante el calentamiento en horno de microonda (Yoshida y col., 1993; Dostalova y col., 2005; Conchillo y col., 2005).

### **Efecto del Calentamiento en Horno de Microonda**

El horno de microonda es una de las grandes invenciones del siglo 20. En la actualidad más del 95% de los hogares en Estados Unidos tiene al menos un horno de microonda (Sumnu, 2001). El calentamiento en horno de microonda es un método moderno y ampliamente usado para la preparación de alimentos en hogares y restaurantes. Las ventajas del uso del horno de microondas son: alta velocidad de transmisión de calor, ahorro de energía, rapidez y facilidad de operación (Lee y col., 2004). Estas ventajas, hacen que el horno de microondas sea uno de los métodos más utilizados para calentamiento de los alimentos.

El calor en un horno de microondas se transmite por conducción y convección térmica (Decareau, 1992). La banda de 2.4-2.4853 GHz es útil en el calentamiento por microonda en entornos domésticos, a estas frecuencias se consigue una eficiencia de calentamiento y homogeneidad del mismo (Miranda y col., 2002). El calentamiento por microonda, se produce por interacción de un campo electromagnético generado con los constituyentes químicos del alimento (Sumnu, 2001). Estas interacciones generan calor debido a la fricción y excitación

molecular (Datta y Hu., 1992). Durante el calentamiento, la energía del microonda provoca cambios en la polaridad del campo electromagnético, donde la dirección o sentido de excitación electrónica, cambia varios millones de veces por segundo (Sumnu, 2001). Esto causa un cambio en la energía interna de las moléculas que componen al alimento. Los componentes polares e ionizables intentan orientarse en el flujo del campo electromagnético, produciendo fricciones y choques entre las moléculas, ocasionando un aumento de la temperatura en el interior del alimento, generando calor (Miranda y col., 2002).

El calentamiento en microonda acelera las reacciones oxidativas a mayor velocidad comparado con el horno convencional y el proceso de fritura (Perkins y Printer, 1988). El calentamiento en microonda de aceites y grasas de diversa composición de ácidos grasos como; aceite de girasol, girasol alto en oleico, oliva y manteca de cerdo, se observó mayor deterioro oxidativo al que se presenta en un horno convencional (Alby y col., 1997). En otro estudio, en aceites de algodón y palma hidrógenado, se obtuvo un mayor grado de oxidación mediante calentamiento en microondas comparado con el proceso de freído (Farag y col., 1992). El grado de insaturación del aceite establece la estabilidad del aceite, el aceite de canola es más estable que soya o cártamo debido a su bajo contenido de ácidos insaturados (Yoshida, 1993). En un estudio en aceites de girasol, soya, cacahuete y una mezcla de aceite de soya y cacahuete, los ácidos insaturados disminuyeron con el tiempo de calentamiento en horno de microonda (Hassanein y col., 2003).

Hasta ahora, no existe suficiente información donde se evalúen los efectos del calentamiento por microonda, sobre la composición y calidad nutricional de los alimentos. Las investigaciones han enfocado su interés en la posible isomerización (formación de ácidos



grasos trans) de dobles enlaces de los ácidos grasos como consecuencia de la exposición a la energía del microonda (Albi y col., 1997). Además se especula sobre la facilidad de formación de radicales libres en los componentes grasos del alimento al exponerse a la energía del horno de microonda (Lie y Yan, 1988).

### **Autoxidación de Lípidos**

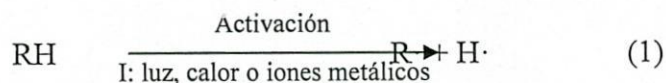
La oxidación lipídica es causa principal de la pérdida de calidad de los aceites, grasas y alimentos grasos (Nawar, 2000). El deterioro oxidativo, ocurre en todos los alimentos grasos, incluso en alimentos con bajo porcentaje de grasa (<1%) (Wasowicz y col., 2004). La oxidación se debe fundamentalmente a la reacción del oxígeno con los ácidos grasos insaturados (Frankel, 1985). Los cambios deteriorativos causados por la oxidación de lípidos, incluye no solamente el desarrollo de sabores desagradables en los alimentos, si no también pérdida de color, valor nutricional y la acumulación de compuestos que podrían afectar la salud del consumidor (Wasowicz y col., 2004). Estos compuestos promueven el desarrollo de aterosclerosis, cáncer y otras enfermedades degenerativas (Kubow, 1992).

### **Mecanismo de Autooxidación de Lípidos**

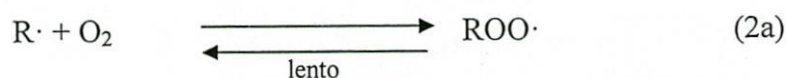
La autoxidación de lípidos se inicia con la relación de los ácidos grasos insaturados y el oxígeno para producir hidroperóxidos, típicamente en un mecanismo de radicales libres en cadena (Nawar, 2000). La formación de hidroperóxidos involucra la abstracción de un átomo de hidrógeno de un grupo alfa metileno en una molécula de lípido. Este radical alil formado es estable y contiene un electrón deslocalizado sobre tres o cinco átomos según el tipo de ácido

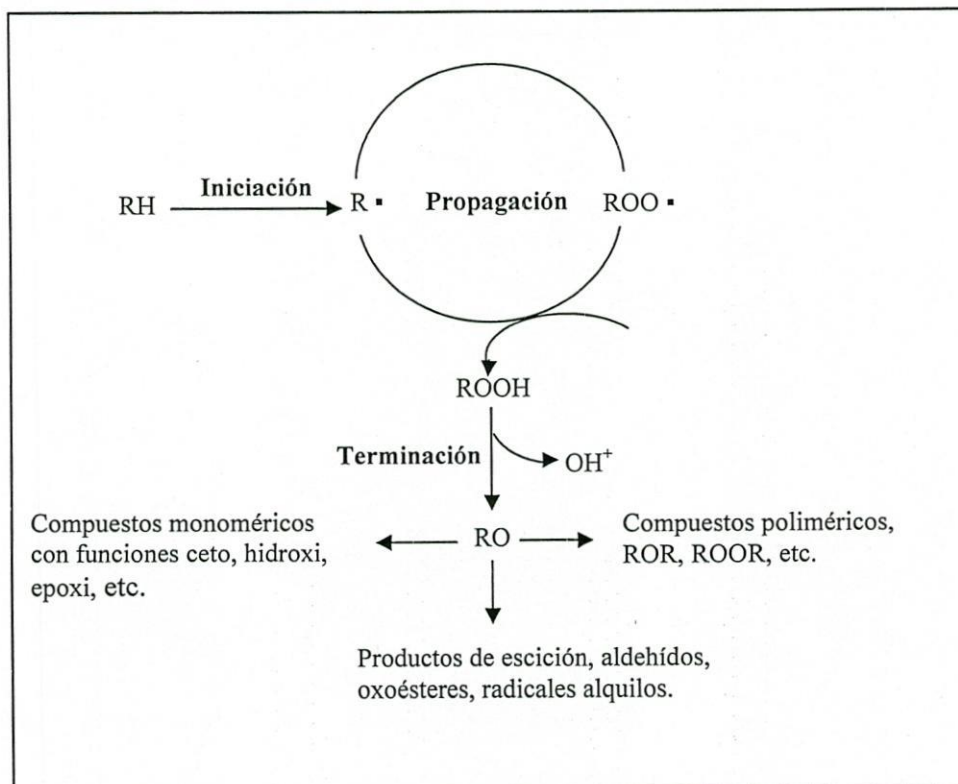
graso involucrado (Frankel, 1985). La autooxidación es un mecanismo que genera compuestos que a su vez mantienen y aceleran la reacción; entre los productos sintetizados se encuentran algunos de peso molecular bajo que le confieren el olor característico a las grasas oxidadas. El mecanismo de autooxidación es una reacción en cadena, vía radicales libres que contempla tres etapas: iniciación, propagación y terminación (Figura 2).

**Iniciación.** La iniciación es el resultado de la ruptura homolítica del enlace del carbono 3 del sistema 1,4-pentadieno (Nawar, 2000). Debido a la activación producida por un doble enlace vecinal, se produce la abstracción de un átomo de hidrogeno alfa-metileno en presencia de un iniciador (I) para formar un radical alquilo (1) (Wasowicz y col., 2004).



**Propagación.** La generación de los primeros radicales para comenzar la reacción de propagación ocurre mediante catálisis, por: descomposición de hidroperóxidos, catálisis del iniciador, donación electrónica metálica, fotones luminosos y energía térmica (Belitz y Grosch, 2009). En esta etapa, el radical alquilo libre ( $\text{R}\cdot$ ) reacciona con el oxígeno para formar un radical peroxilo ( $\text{ROO}\cdot$ ) según la reacción (2a). El peroxilo reacciona a su vez con un lípido insaturado para formar un hidroperóxido y un radical libre ( $\text{R}\cdot$ ) (2b) (Belitz y Grosch, 2009). La etapa de propagación es lenta (2b), la abstracción del hidrógeno de las grasas insaturadas es selectivo para la mayoría de los enlaces de hidrógeno débiles (Frankel, 1985).



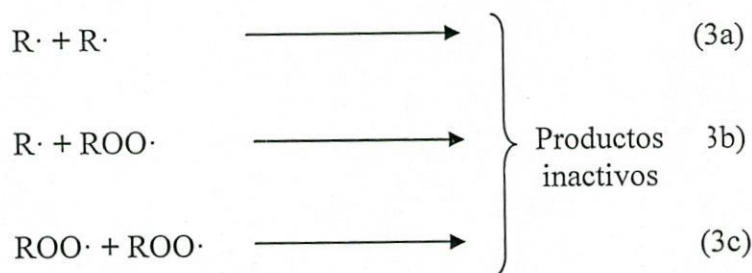


**Figura 2. Mecanismo General de la Autoxidación de Lípidos**  
Fuente. Graciani, 2006



Los hidroperóxidos, productos primarios de la oxidación no tienen olor. Los hidroperóxidos originan productos secundarios, entre ellos compuestos volátiles que tienen una actividad odorante de bajo umbral de olor (Gordon, 2001). Los aldehídos, generalmente, poseen mayor impacto en el olor de los productos oxidados. Por ejemplo, el olor del hexanal y 2,4 decadienal son productos de descomposición del ácido linoléico, que se describen como olor a zacate y grasoso. Además de los aldehídos, se generan otros compuestos químicos (alcanos, alcoholes, cetonas y alquil-furanos). Esta mezcla de compuestos volátiles de la oxidación de lípidos desarrollan olores y sabores desagradables en los productos grasos (Villiere y col., 2007).

**Terminación.** Los radicales (peroxilo, alcoxilo, acilo, hidroxilo e hidrógeno) reaccionan entre sí, eliminándose y dando lugar a la formación de productos inactivos (3a), (3b), (3c) (Belitz y Grosch, 2009). Entre ellos se encuentran compuestos monoméricos con funciones ceto, hidroxilo, epoxi, etc. Estos son percibidos por su sabor desagradable y como un aviso de que el alimento ya no es apto para su consumo (Frankel, 1985).



La autooxidación es bastante compleja e implica un gran número de reacciones relacionadas entre sí; por lo tanto, resulta difícil estudiarla en su totalidad. Para simplificar el número y tipo de reacciones se usan sistemas modelo de un solo ácido graso. Estos sistemas, revelan que la

velocidad de autooxidación es afectada principalmente por la composición de ácidos grasos, temperatura, luz y agua (Nawar, 2000).

### **Evaluación de la Autooxidación de Lípidos**

En sistemas de alimentos complejos, la evolución de los productos fluctúa en el tiempo, dificultando la medición cuantitativa de la oxidación. En la industria alimentaria la evaluación de la oxidación requiere múltiples pruebas para el control de calidad de los alimentos (Wasowicz, y col., 2004). Sin embargo, un análisis de correlación con las pruebas sensoriales es la base para determinar las pruebas químicas que son apropiadas para medir la oxidación de lípidos (Jacobsen, 1999). Se han desarrollado métodos químicos para medir la deterioración oxidativa con el objetivo de correlacionar los datos con las características sensoriales, obteniendo aceptabilidad de los resultados (O'Brien, 2004).

La medición de la rancidez por si misma se usa como control de calidad en los procesos, esta puede involucrar métodos químicos y físicos. Mientras que, la medición de la resistencia del material graso o del alimento a presentar la oxidación, generalmente se usa para determinar la vida de anaquel del producto (Labuza, 1979). La medición de la rancidez es compleja, el alimento se somete a un diseño de condiciones aceleradas y se programan análisis periódicos de oxidación.

En este diseño, el desarrollo completo de la rancidez en las frituras no se determinó, lo importante fue conocer el tiempo en que se manifiestan los signos de rancidez de las frituras para realizar las correspondientes evaluaciones sensoriales.

**Evaluación Química.** Los métodos químicos más comunes utilizados son; índice de peróxidos, ácidos dienólicos conjugados, *p*-anisidina, y ácido tiobarbitúrico. Partiendo, de que los primeros productos formados son los ácidos dienólicos conjugados y los peróxidos, el índice de peróxidos y la medición de los dienos conjugados formados son los análisis más utilizados en aceites y productos grasos.

**Índice de peróxidos (IP).** Es el método más común para evaluar la calidad de alimentos grasos. El valor peróxido mide la concentración de productos, en unidad de miliequivalentes de peróxido por 1000 gramos de grasa (Frankel, 1995). Los hidroperóxidos son inestables, no tienen olor ni sabor; sin embargo al romperse forman aldehídos, presentando un fuerte olor y sabor desagradable (O'Brien, 2004). Un índice de peróxido alto, se observa durante la fase logarítmica de la velocidad de reacción, generalmente alcanza el valor máximo y decae en el tiempo de la oxidación de la grasa (Frankel, 1985).

**Valor *p*-anisidina.** Este método se utiliza para medir los productos de descomposición de los hidroperóxidos responsables de olores desagradables, como alfa y beta aldehídos (Frankel, 1985). El valor *p*-anisidina se define como 100 veces la absorbancia a 350 nm de una solución que resulta de la reacción de 1 g de grasa en 100 mL de solvente. La *p*-anisidina en presencia de ácido acético reacciona con los compuestos aldehídicos del aceite, produciendo una coloración amarilla. La intensidad de color depende no solamente de la cantidad de aldehídos presentes si no también de su estructura (O'Brien, 2004).

**Conjugados dienólicos.** Estos compuestos absorben a 230-235 nm, debido al arreglo de dobles enlaces (AOCS, 1997). Debido al alto coeficiente de extinción molar de los

hidroperóxidos, las soluciones diluidas son adecuadas para las mediciones espectrofotométricas. La limitación de este método es que los valores obtenidos dependen de la composición de ácidos grasos de la muestra analizada; así como de la presencia de otros dienos conjugados, que no son hidroperóxidos (Dobarganes y Velasco, 2002).

**Métodos cromatográficos.** La cromatografía de gases determina el perfil de ácidos grasos, la termolabilidad de los hidróperóxidos y la concentración e identificación de los componentes volátiles de la oxidación de lípidos. La composición o el perfil de ácidos grasos en el aceite permite evaluar las propiedades químicas y la pureza del aceite. El perfil de ácidos grasos establece la autenticidad de los aceites (AOCS, 1997). El método requiere derivatización metílica previo a la determinación. El resultado se expresa como porcentaje en peso de la muestra inyectada en la columna del cromatógrafo (Grosch, 1987). Los métodos cromatográficos, proporcionan información de los productos específicos de la oxidación que influyen las propiedades sensoriales de los alimentos grasos (Nawar, 2000). La determinación por cromatografía de gases del ácido linoléico es importante, debido a que su oxidación genera compuestos volátiles, como *t,t*-2,4-decadienal. Este compuesto es uno de los responsables de olores desagradables que se originan en los productos grasos durante su almacenamiento (Pokorny, 1989).

### **Nariz Electrónica**

La nariz electrónica (NE) surgió a mediados de los años 80, como una necesidad de la industria de conseguir un sistema automatizado y rápido para el control de calidad de diferentes productos (Bartlett y col., 1997). La meta principal para la industria alimentaria ha

sido validar la metodología, para posteriormente, sustituir la evaluación sensorial durante el desarrollo de nuevos productos (Bartlett y col., 1997). Las principales aplicaciones de la NE en la industria alimentaria, incluyen la evaluación de calidad (Sinesio y col., 2000), el control de proceso de manufactura (Zondervan, 1999), el monitoreo de los cambios de aroma durante el almacenamiento (Mildner y col., 2008) y los estudios de materiales de empaque (Werlein, 2001).

El término nariz electrónica, se define como un instrumento dotado de sensores químicos y de un programa quimiométrico de reconocimiento de modelos, capaz de conocer y comparar olores individuales con respecto a grupos complejos de odorantes. Al igual que el sistema olfativo humano, su objetivo es relacionar el aroma que se percibe con un patrón, en este caso la memoria del equipo hace las funciones de modelo estándar para ulteriores análisis (Bartlett y col., 1997). Las ventajas de la NE son: rapidez del análisis (<5 min), poca cantidad de muestra (5 gr), no requiere calibración del equipo. Sin embargo, la principal desventaja radica en que no identifica los compuestos presentes, no define la complejidad del aroma, ni expresa la probable aceptación para la nariz humana (Muhi y col., 2000).

El equipo de NE consiste de; una zona para toma de muestra, un compartimento para el conjunto de sensores y un sistema de tratamiento de datos (García y Aparicio, 2002). Los sensores poseen alta sensibilidad, éstos se seleccionan dependiendo de las propiedades fisicoquímicas de los compuestos odoríficos del producto. La NE, analiza y cuantifica los volátiles concentrados en el espacio libre superior del recipiente contenedor de la muestra (García y Aparicio, 2002). La concentración de volátiles en el espacio libre superior, se basa en la generación de una fase de vapor en equilibrio con la muestra (Röck y col., 2008). Los



sensores convierten el olor en una señal, que al ser procesada por técnicas quimiométricas, proporciona un gráfico o huella digital del aroma específico (Deisingh y col., 2004).

Los estudios de la NE en la oxidación de lípidos muestran alta correlación con la evaluación sensorial. En un estudio en filetes de arenque (*Clupea harengus*) almacenado en hielo durante 15 días, se obtuvieron altos coeficientes de correlación entre los resultados de NE con análisis químicos ( $r^2=0.9$ ) y sensoriales ( $r^2=0.98$ ) (Haugen y Undeland, 2003). Olsen y col. (2005a), reportan una correlación de 0.9, en carne de cerdo almacenada a  $-20^{\circ}\text{C}$  por 25 semanas en la evaluación de los compuestos volátiles analizados por NE y evaluación sensorial. La NE fue capaz de predecir los cambios oxidativos en aceite de canola mostrando correlaciones positivas con la evaluación sensorial en las muestras almacenadas a  $60^{\circ}\text{C}$  ( $r^2=0.989$ ) y a  $25^{\circ}\text{C}$  ( $r^2=0.881$ ) (Mildner y col., 2008).

### **Evaluación Sensorial**

La evaluación sensorial es una disciplina científica, mediante la cual se evalúan las propiedades organolépticas de un producto a través de los sentidos humanos (Stone y Sidel, 1993). Una de las principales metas del análisis sensorial, es el desarrollo de una metodología objetiva, para la determinación de parámetros organolépticos en los alimentos (Moskowitz y col., 2006). Hasta la fecha, no se ha creado un instrumento que sustituya al análisis sensorial, por lo que es necesaria una valoración sensorial por panelistas, quienes expresan la apreciación sensorial y el grado de satisfacción al degustar el alimento.

La evaluación sensorial se utiliza para clasificar la materia prima y el producto terminado (Civille, 1999). Además, permite conocer la opinión del consumidor sobre un determinado

alimento, su aceptación o rechazo, así como su nivel de agrado. Estos criterios se toman en cuenta en la formulación y desarrollo de nuevos productos alimenticios (Clark y Costello, 2009). El análisis sensorial puede realizarse a través de diferentes pruebas, según la finalidad para la que estén diseñados. A grandes rasgos, la evaluación sensorial se divide en dos grupos: pruebas analíticas y afectivas (Murray y col., 2001). Dentro de las pruebas analíticas se encuentran las pruebas discriminativas y descriptivas. Las discriminativas, determinan diferencias en un producto, se utilizan panelistas entrenados o se le da previa orientación de la prueba (Civille, 1999). El análisis descriptivo se enfoca a las diferencias en el producto con respecto a una característica sensorial específica (Lawless y Heyman, 1997). Estas pruebas utilizan panelistas entrenados cuyas respuestas son tratadas como datos instrumentales y se conoce como análisis sensorial de tipo I (Chollet y Valentin, 2001; González y col., 2001). Las pruebas afectivas tiene como finalidad determinar el grado de aceptación, preferencia o nivel de agrado de un producto, generalmente se realiza con consumidores y se establece para análisis sensorial tipo II (Lawless y Heyman, 1997). El uso de pruebas que describen y definen los atributos de olor y sabor desagradables es importante para precisar la comunicación entre grupos de investigación y/o desarrollo de nuevos productos con el departamento de control de calidad en la industria alimentaria.

### **Evaluación Sensorial con Panelistas Entrenados**

La calidad de los productos influye directamente en el comportamiento de los consumidores. El sabor de los alimentos se somete a cambios indeseables durante el manejo de las materias primas, procesamiento o almacenamiento del producto (Wasowicz y col., 2004). El olor y sabor a rancio es uno de los cambios indeseables debido a la acumulación de compuestos

provenientes de las reacciones de oxidación lipídica ocasionando pérdidas de calidad en los productos grasos (Nawar, 2000). Coppin y Pike, (2001), determinaron el inicio de la rancidez por un análisis sensorial y la consideraron como prueba definitiva para calcular el periodo de inducción de la oxidación de lípidos. El periodo de inducción, se define como el tiempo requerido, para que el panel sensorial perciba el olor a rancio en un producto (Wasowicz y col., 2004).

La limitación central de la evaluación sensorial en la iniciación de la rancidez, es la formación de compuestos sin olor (peróxidos), por lo que existe un sesgo sensorial, ya que; al identificar el olor a rancio, la reacción generalmente ya se encuentra en etapas avanzadas (Min, 1998). Los compuestos derivados de la reacción de oxidación, que presentan bajo umbral de olor en los productos grasos, son; aldehídos, cetonas y cetoácidos, mientras que los hidrocarburos (alcanos y alquenos) tienen alto umbral (Min, 1998). Los compuestos con bajo umbral de olor, incluso a bajas concentraciones, afectan las propiedades sensoriales de los productos grasos (Wasowicz y col., 2004).

El análisis descriptivo permite desarrollar un perfil sensorial de los alimentos, mediante evaluación de la intensidad de los atributos presentes en el producto. El análisis descriptivo requiere técnicas descriptivas y un léxico adecuado para describir las propiedades sensoriales de los alimentos (Murray y col., 2001). El análisis descriptivo se utiliza en control de calidad, compara productos buscando comprender las respuestas de los consumidores en relación a los atributos sensoriales que caracterizan al alimento (Lawless y Heyman, 1997). Un grupo de 8 a 12 panelistas se utilizan en el análisis sensorial descriptivo (Kolanowski y col., 2007). La selección y entrenamiento del panel son determinantes en el análisis descriptivo; ya que, los

panelistas sensoriales son utilizados para varios propósitos; entre ellos, sirven como una herramienta de investigación o desarrollo, determinan la aceptación de los consumidores y evalúan la calidad del proceso (O'Brien, 2004).

El perfil sensorial al describir y cuantificar las propiedades sensoriales de un alimento permite conocer la evolución de los olores en la reacción de oxidación de los alimentos grasos (Risvika y col., 1994). Desde el punto de vista de calidad de los alimentos, es importante expresar el olor o sabor mediante descriptores sensoriales o atributos (Kolanowski y col., 2007). La asociación de los descriptores sensoriales a un compuesto específico provenientes del deterioro oxidativo, permite la identificación de la percepción y medición de los cambios oxidativos de lípidos. El resultado de estas investigaciones han llevado a mejorar significativamente el control de la calidad de los productos grasos (Pattee y col., 1999; Grosso and Resurreccion, 2002; Venkateshwarlu, y col., 2004; Jensen y col., 2005; Olsen y col., 2005 a y b; Villiere y col., 2007; Nepote, y col., 2009). Las descripciones sensoriales, varían en cada una de las etapas de la reacción de oxidación, las cuales dependen de la composición y procesamiento del alimento. En estudios con papas fritas y aceite de girasol, se observó en las primeras etapas de oxidación en las papas fritas, los atributos: mantecoso y oleoso, mientras que en aceite de girasol, se presentaron los atributos: grasoso, hongo y cartón. Sin embargo, el olor a zacate, rancio y pintura se presentaron en las últimas etapas de la reacción en ambos productos (Brewer y col., 1999; Villiere y col., 2007). En general, en aceites, carnes y leche, los atributos; rancio, metálico, cartón, zacate, y pintura se presentan en las últimas etapas de la reacción de oxidación (Olsen y col., 2005; Rhee y Myer, 2003; Villiere y col., 2007; Bryhni y col., 2002; Jacobsen, 1999). En semillas, como cacahuates, almendras, nueces, los atributos

presentes son; ácido, cartón, pintura y rancio (Grosso and Resurreccion, 2002; Nepote y col., 2009; Reed y col., 2002).

### **Evaluación Sensorial con Consumidores**

La percepción del consumidor es un aspecto importante que debe incluirse en la definición de calidad de un producto alimenticio (Muñoz y col., 1992). La evaluación sensorial con consumidores en la industria alimentaria, se utiliza para el desarrollo de nuevos productos y para estudiar los diferentes factores relacionados a la aceptación de los alimentos (Schutz, 1999). La aceptación intrínseca de un producto es la consecuencia de la reacción del consumidor ante las propiedades físicas, químicas y texturales del mismo, es decir su valoración sensorial (Moskowitz, 2006). Los consumidores son los que deciden si aceptan o rechazan un producto, mediante pruebas afectivas (Lawless y Heyman, 1997). El objetivo de las pruebas afectivas es conocer la preferencia, la aceptación o reacción ante determinado producto. En esta prueba se seleccionan de 100 a 500 personas como muestra de una población (Resurreccion, 1998; Moskowitz y col., 2006). En la medición de preferencia, se realiza una comparación de dos o más productos, registrando cuál de ellos es el preferido (Stone and Sidel, 1993). En la medición de aceptación, se intenta cuantificar la preferencia de los consumidores por un producto, midiendo cuánto les gusta o les disgusta, es decir, el grado de satisfacción (Moskowitz, 2006). La prueba de aceptación se realiza con una escala hedónica semiestructurada de puntos, que va desde me disgusta muchísimo hasta me gusta muchísimo, pasando por “ni me gusta ni me disgusta” (Civille, 1999).

Los consumidores, son elegidos al azar o seleccionados por aspectos como; edad, sexo, situación económica, preferencia de consumo, etc (Sancho, y col., 1999). El proceso de selección se inicia con una entrevista al consumidor, cuyo objetivo es descubrir sus hábitos alimenticios y posibles enfermedades limitantes que afecten la percepción sensorial (Pedrero y Pangborn, 1989). Las pruebas sensoriales con consumidores no deben ser extensas para evitar fatiga o rechazo al realizar la prueba, además deben ser fácil de responder (Resurreccion, 1998). Estas se realizan en supermercados, escuela o incluso en el hogar del consumidor. Los resultados se utilizan para predecir la actitud de consumo de una población; ya que, permite conocer la aceptación, rechazo o nivel de agrado de uno o varios productos. Por ello, es importante que las personas emitan respuestas reales (Civille, 1999). Las pruebas sensoriales con consumidores, siguen los mismos procedimientos que las pruebas con panelistas entrenados; que incluyen; el uso de códigos, la presentación aleatoria de las muestras, las evaluaciones individuales y el uso de escalas (Lawless y Heymann, 1998). Los panelistas entrenados tienen mayor rendimiento que los consumidores, debido a que los primeros están familiarizados con el procedimiento experimental, lo que permite discriminar mejor entre los estímulos en estudio (Civille, 1999). Sin embargo, Bende y Nordin, (1997) y Parr y col. (2002) en un estudio que se realizó en vino, demostraron que no hay diferencias en el umbral de detección olfativa entre los panelistas entrenados y no entrenados.

La elección de los alimentos, es el resultado de interacciones complejas entre el producto y el consumidor; donde sus características intrínsecas y extrínsecas del alimento se comparan con las características particulares del consumidor. Además, influyen las preferencias, conocimiento del producto y la experiencia previa del consumidor con dicho producto (Johansson y col., 1999). Los factores que influyen en la aceptación y selección de un

alimento se muestran en la Tabla 1. En la medida que ocurra una modificación de las propiedades sensoriales de un alimento, la selección del alimento será difícil de determinar, debido a que estas propiedades influyen en la decisión del consumidor (Costell, y col., 2009). La variación individual en la agudeza sensorial influye en la respuesta a nivel consumidor. Muchos consumidores no pueden detectar diferencias que son críticas para otros. Esto implica una reorganización drástica del procesamiento, publicidad y comercialización de los alimentos, basados en amplios estudios de habilidades olfativas del consumidor (Moskowitz, 2006). Los efectos nutricionales y toxicológicos de la oxidación de lípidos en los alimentos han sido de gran interés en los últimos años. Esto es debido a la posibilidad de consumo de productos oxidados, como aceites de pescado, alimentos fritos, precocidos congelados y refrigerados, alimentos en polvo, etc (Wasowicz y col., 2004). Hasta ahora, no hay una relación clara entre el consumo a largo plazo de productos de oxidación de lípidos y la salud en las personas. En general, se ha reconocido que el sobrecalentamiento de los aceites, indudablemente, contienen material oxidado, que si es consumido en gran cantidad podría representar un riesgo para la salud (Dobarganes y Marquez, 2003). Esto se ha demostrado en experimentos con animales de laboratorio. Los síntomas observados en animales durante la administración de aceites y grasas oxidadas son; peso elevado de hígado y riñón, daño celular en varios órganos, alteración en la composición de los ácidos grasos, lesión fibrótica cardiaca, y lesiones en el conducto biliar hepático (Sander, 1994).

**Tabla 1. Factores que Influyen la Decisión de Compra del Consumidor.**

<b>Características del Alimento</b>	<b>Características del Consumidor</b>
1. Disponibilidad	1. Preferencia regional
2. Utilidad	2. Nacionalidad
3. Conveniencia	3. Edad y sexo
4. Precio	4. Religión
5. Uniformidad y fiabilidad	5. Educación
6. Estabilidad	6. Motivación psicológica
7. Seguridad y valor nutricional	7. Hábitos
8. Propiedades sensoriales	8. Factores socioeconómicos
a. Apariencia	
b. Aroma y sabor	
c. Textura	

Fuentes: Shepherd, 1989; Shepherd y Sparks, 1994.



La extrapolación de tales efectos en humanos no puede ser evaluada por cuestiones de seguridad de las personas (Dorbaganes y Marquez, 2003). Además, el bajo umbral de los compuestos volátiles formados durante la oxidación, constituye un mecanismo de seguridad que se opone al consumo de productos rancios (Sanders, 1994).

La innovación de productos fritos en los últimos años ha venido a diversificar aun más los diferentes productos que se consumen en la actualidad, así mismo la publicidad que recibe los ha hecho más populares. Durante los últimos años el consumo de botanas en México ha crecido y de acuerdo con algunas estimaciones, este mercado creció 46.25% de 2002 a 2004 (INEGI, 2004). El consumo masivo de alimento con alto contenido de grasa, como es el caso de productos fritos, siendo, tostadas, totopos y tiras para sopa, las más comunes; constituyen un peligro potencial para la salud del consumidor, principalmente si éstos productos han desarrollado el proceso oxidativo.

Por ende, el propósito de esta investigación es conocer la adaptación a los productos de oxidación que poseen los consumidores en la población de Hermosillo. Para ello, los consumidores evaluaron frituras de maíz que difieren en rancidez. Con el fin de obtener diferentes grados de oxidación en las frituras de maíz, se realizó una cinética oxidativa de las frituras para seleccionar tres niveles de oxidación con las variables químicas. Para ello, las muestras se almacenaron en cámaras de almacenamiento a 75°C y 55% de humedad relativa. Para asegurar que las muestras difieren en rancidez y no en otras características sensoriales, se desarrolló el perfil sensorial de olor de las frituras de maíz con panelistas entrenados (evaluación sensorial I). Posteriormente, se realizó la evaluación sensorial con consumidores (evaluación sensorial II). Estos resultados permitirán conocer el índice de exposición y

adaptación a los productos con deterioro oxidativo, y con ello la probabilidad de convivir con radicales libres tan frecuente como sus hábitos de consumo lo permite.

## **MATERIALES Y METODOS**

La experimentación se dividió en tres etapas. La primera etapa correspondió a la cinética oxidativa para establecer los 3 niveles de oxidación en frituras. La segunda, contempló el análisis olfatométrico, y la tercera correspondió a la evaluación sensorial I (jueces entrenados) y evaluación sensorial II (consumidores).

### **Materias Primas**

Las frituras se obtuvieron de una “Fabrica de Frituras” de la localidad de Hermosillo. El proceso freído se realizó en una freidora marca “Keating”, a 180°C por 15 min. Éstas fueron elaboradas de maíz con aceite de maíz (Maceite), sin conservadores, empacadas en bolsas transparentes de 35 cm de largo por 20 de ancho. Los diferentes consumibles como café y vainilla (ambos usados como clarificantes de olores), agua, vasos y platos se adquirieron del mercado local.

### **Caracterización Química de las Frituras de Maíz**

La evaluación de la composición química de las frituras se determinó por la metodología oficial de la AACC (2000). Los análisis fueron: humedad por el método 40-40 (estufa al vacío; Modelo 5851, National Appliance Company, USA) a 110°C por 2 horas. Cenizas se analizó por el método 08-03, utilizando una mufla modelo 10500 (Termolyne Company, Debegye I.A.) a 550°C por 2 horas. El contenido de grasa se determinó por el método Soxhlet (30-20) usando hexano como solvente durante 5 horas de recirculación.

### **Cinética Oxidativa de las Frituras de Maíz**

La cinética de oxidación de las frituras, se evaluó bajo un experimento acelerado de alta temperatura. Las cámaras de almacenamiento (M-5S de Bryant Manufacturing Associates) se estabilizaron a 75°C con una humedad relativa de 55%. Las frituras de maíz (300g), se trocearon manualmente con un rodillo para tortillas, hasta obtener frituras de maíz de aproximadamente 0.5 cm. Posteriormente, se almacenaron en frasco de vidrio de 500 mL a 75°C a 55% de humedad relativa. La cinética oxidativa de las frituras se evaluó cada 12 horas, mediante las determinaciones químicas (índice de peróxidos, conjugados dienólicos y *p*-anisidina) en el aceite extraído de las muestras.

Utilizando la cinética oxidativa, se seleccionaron tres niveles oxidativos para los análisis cromatográficos, olfatométricos y sensoriales. Primero, se almacenaron las frituras correspondientes al 3<sup>er</sup> nivel (10.5 días de almacenamiento). Cinco días más tarde, se colocó la muestra para obtener el 2<sup>do</sup> nivel (7 días de almacenamiento). El primer nivel le correspondió a muestras control sin almacenamiento. El propósito fue obtener los 3 niveles de oxidación al mismo tiempo. Los análisis realizados al aceite extraído fueron químicos y cromatográficos. Mientras que, para los análisis olfatométricos y sensoriales, se utilizó la fritura (triturada). Además con el fin de comparar los cambios oxidativos con un tratamiento térmico, las frituras de maíz se sometieron a calentamiento en un horno de microonda, las condiciones y tiempos de almacenamiento fueron los mismos que se aplicaron en las frituras sin calentamiento en microonda.

Las muestras tratadas con microondas se analizaron mediante cromatografía de gases, nariz electrónica y sensorial I. El calentamiento en microonda se realizó antes de pasar a la cámara

de almacenamiento para iniciar la oxidación de lípidos. Se utilizó un horno de microondas doméstico (MS2047GR, LG Electronics, México D.F.), la muestra (3 a 4 cm de altura) se calentó en un recipiente (Corelle para microondas, N.Carolina, USA) de 26 cm de diámetro, a 90°C por 50 seg a la potencia No.9 equivalente a 2450 MHZ. Mientras que, las muestras sin tratamiento en microonda se analizaron mediante cromatografía de gases, nariz electrónica, sensorial I y sensorial II. La metodología de cada uno de los análisis se presenta a continuación.

### **Evaluación de los Parámetros Químicos**

Los análisis químicos fueron de varios tipos, titulométricos, como; índice de peróxidos (IP), espectrofotométricos; como, conjugados dienólicos (CD) y *p*-Anisidina (*p*-A), y la cuantificación de ácidos grasos mediante cromatografía de gases (CG). La extracción del aceite en las frituras, se realizó con hexano como solvente, durante 5 horas de recirculación, utilizando el equipo Soxhlet (Multi-Unit Extraction Heater; Lab-Line y Glas-Col; Combo Mantle). El aceite se purificó utilizando el sistema de evaporación de la unidad Soxhlet, hasta sequedad. Posteriormente, el aceite puro se utilizó para los análisis químicos. El índice de peróxidos es un método titulométrico, este se llevó a cabo por el método oficial Cd 8-53 (1997) de la AOCS. Los peróxidos oxidan el ioduro de potasio (KI) y producen yodo que se valora con una solución de tiosulfato de sodio 0.1 N usando almidón como indicador. Los peróxidos formados se expresan en términos miliequivalentes de peróxido por 1,000 gramos de muestra. Para la determinación de ácidos dienólicos conjugados se utilizó el método oficial Ti 1a-64 (AOCS, 1997). La técnica consistió en disolver 0.009-0.0130 gr de grasa, en 10 mL de iso-octano, la mezcla se midió a una absorbancia de 233 nm en un espectrofotómetro. Este

método determina la conjugación de dienos presentes, el valor se expresa como porcentaje de ácidos dienóicos conjugados. Mientras que, el índice de *p*-anisidina se determinó por el método oficial Cd 18-90 de la AOCS (1997). Este método determina la cantidad de aldehídos (principalmente 2-alquenal y 2, 4-dienal) en grasas y aceites, vegetal y animal. En presencia de ácido acético, la *p*-anisidina reacciona con los compuestos aldehídicos de grasas y aceites. La cantidad de 1 gramo de grasa se disolvió en 10 mL de iso-octano y se midió la absorbancia (A1) a 350 nm, después 5 mL de la solución grasa se mezcló con el reactivo *p*-anisidina. La reacción se mantuvo por 10 min y se midió la absorbancia (A2). La diferencia de absorbancia se reportó como mmol de *p*-anisidina.

Finalmente, se utilizó a la cromatografía de gases para cuantificar a los ácidos grasos. La cuantificación de los ácidos se realizó utilizando un cromatógrafo de gases (CP-3800 Gas Chromatograph Varian, Walnut Creek, CA), equipado con un detector de ionización de flama (FID). La separación y cuantificación de los metilésteres de los ácidos grasos se realizó siguiendo la técnica Ce 1-62 (AOCS, 1998). La columna capilar utilizada fue FAMEWAX, de 30m x 0.32mm con un grosor de película de 0.5  $\mu\text{m}$ , utilizando gas Helio como acarreador. Las temperaturas del inyector y del detector fueron de 240 y 250°C respectivamente. El estándar interno utilizado fue ácido heptadecanoico (C 17:0) (Fluka, 51610, Suiza).

### **Nariz Electrónica: Olfatometría**

La huella olfatométrica se realizó en la nariz electrónica con un equipo, Fox 4000 (Alpha M.O.S Francia), equipado con seis sensores de óxido metálico. La nariz electrónica está configurada por una unidad para la toma de muestra, un módulo para conjunto de sensores y el sistema de tratamiento de datos. El muestreo se realizó mediante un muestreador automático

(HS100). La fritura se molió en un molino marca Halmilton Beach, posteriormente, se pesaron 0.5 gr de cada muestra en viales de vidrio de 10 mL herméticamente cerrado con tapa perforable de silicón/teflón. La muestra se incubó en una cámara a 80°C por 400 seg con agitación constante, tiempo necesario para que las sustancias volátiles de la solución alcancen el equilibrio en el espacio de cabeza en el vial. Seguido, los volátiles presentes en el espacio libre superior del vial (2500  $\mu$ l), fueron transferidos a la nariz electrónica por el automuestreador del equipo. Todas las muestras se analizaron por triplicado. Los datos obtenidos por los sensores fueron procesados por el software del Alpha Soft 8.0, obteniéndose la huella sensorial correspondiente a la muestra.

### **Evaluación Sensorial**

La evaluación sensorial se llevó a cabo en dos etapas, evaluación sensorial I y II. En la evaluación sensorial I, con jueces entrenados, se obtuvo el perfil sensorial de los tres estados oxidativos de las frituras seleccionados en la cinética. Mientras que, la evaluación sensorial II con consumidores, se realizó la aceptación-rechazo y preferencia de las frituras. Las instrucciones del procedimiento de evaluación fueron a) destapar cada uno de los tubos con la muestra cerca de la nariz, mentalmente evaluar la intensidad de olor de cada atributo y emitir sus resultados, b) oler el frasco de muestra con clarificante cuantas veces sea necesario, c) destapar el segundo tubo de igual manera que en el inciso a, y d) repetir el procedimiento hasta evaluar todas las muestras.

La preparación de las muestras se realizó de la siguiente manera, se colocaron 5g de fritura en tubos de ensaye (23 mL, con tapón) de cada uno de los niveles oxidativos, los cuales fueron previamente codificados con 3 números al azar. Primero, se almacenaron las muestras para el

sensorial I con jueces entrenados. Dos semanas más tarde, se almacenó un nuevo grupo de muestras para el sensorial II con consumidores.

### **Evaluación Sensorial I: Perfil Sensorial**

La evaluación de los atributos del perfil sensorial se utilizó para describir la oxidación de lípidos. La evaluación se realizó con un grupo de 12 jueces entrenados, formados por estudiantes de Departamento de Investigación y Posgrado, y del área de Químico-Biológicas, conformado por 66.6% de mujeres y 33.3% de hombres. Los jueces fueron especializados en el análisis de perfil sensorial respecto a olor de los productos grasos. Los panelistas evaluaron 2 grupos de muestras por triplicado (3 días consecutivos). El primer grupo de muestras le correspondió a las frituras sin iniciación en horno de microonda con sus niveles de oxidación. En el segundo grupo, se evaluó las frituras con iniciación en microonda con sus niveles de oxidación.

La hoja de captura electrónica se compone de una identificación del juez, de una descripción del objetivo y de las instrucciones del análisis; incluye, la evaluación de los dos tratamientos (sin iniciación en microonda y con iniciación en microonda) con tres niveles de oxidación cada uno (Anexo I y II). Las frituras se etiquetaron con tres dígitos tomados de la tabla de números aleatorios ejecutada por el paquete Fizz-Sensory. El análisis utilizó una escala categórica de línea estructurada (10 cm de longitud) con etiquetas al inicio, medio y final. Los atributos evaluados en las frituras oxidadas fueron siete; oleoso, ácido, zacate, viejo/almacenado, metálico, pintura y rancio. La identificación y evaluación de estos atributos han sido reportados en alimentos con diferentes niveles de oxidación lipídica (Martínez, 2009). Los atributos del perfil para su evaluación, se agruparon en dos hojas de captura. El



juez seleccionó primero el atributo para activar la escala. Además si era necesario, sobre el nombre del atributo se colocaba el sensor para recordar la definición.

El juez indicó el orden de intensidad de olor de la oxidación, registrando su respuesta con un movimiento del cursor sobre la escala para cada una de las muestras. El juez tenía la facilidad de mover el cursor y modificar su evaluación. El valor registrado de la respuesta se almacenó en la base de datos asignada. Al registrar la captura de sus respuestas, la pantalla le pedía pasar a la hoja siguiente hasta terminar con dos grupos de muestras programadas. El juez gozó de plena libertad para indicar la intensidad de la oxidación, registrando su juicio con un movimiento del cursor y pasar a la siguiente muestra o atributo. Los clarificantes que se utilizaron en la evaluación fueron, café y vainilla. La colección de datos del perfil sensorial usó seis estaciones individuales computarizadas, en un ambiente controlado a 25°C. Los resultados fueron capturados electrónicamente desde paquete Fizz-Sensory versión 2.5.

### **Evaluación Sensorial II: Consumidores**

La Evaluación Sensorial II se llevó a cabo con consumidores en tres cadenas de supermercados. El atributo de olor a rancio fue evaluado en las frituras con tres niveles de oxidación. Un total de 300 personas participaron en la evaluación sensorial, conformado por 50% mujeres y 50% hombres, las cuales oscilaron en un rango de edad entre 18 y 60 años. Las tiendas de autoservicio donde se realizaron las evaluaciones fueron: Soriana Bachoco, Soriana Encinas, Ley del Río, Super de Norte y Soriana Progreso (Figura 3). Un total de 60 consumidores realizaron las evaluaciones en cada localidad. La logística fue: preguntar al consumidor si podrían hacer una evaluación sensorial de olor en frituras de maíz, llenar un

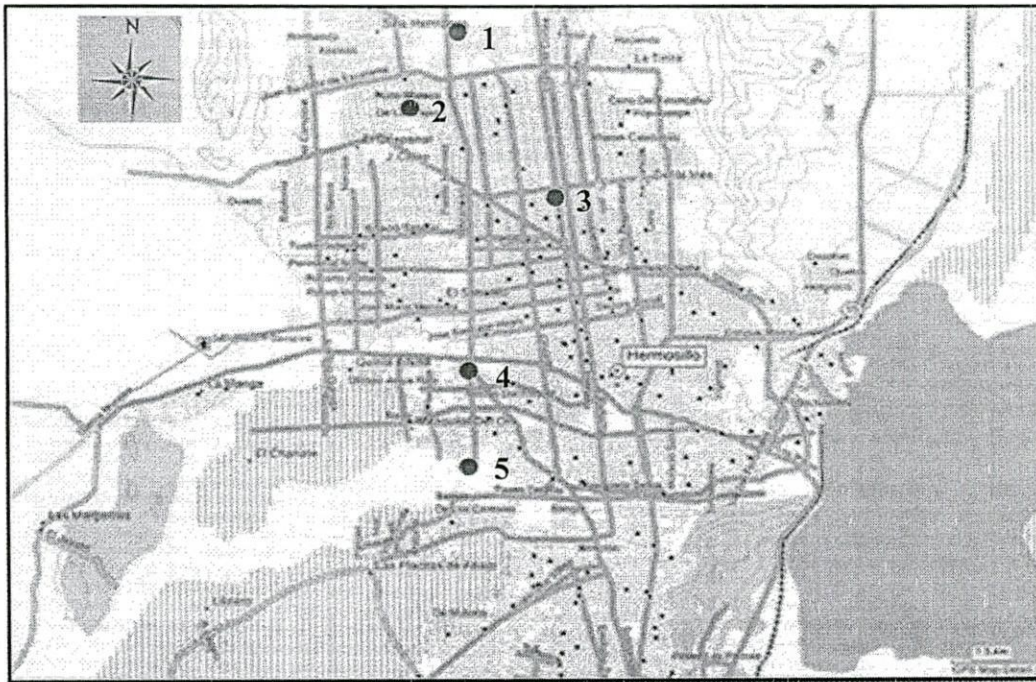


Figura 3. Ubicación de las Tiendas en el Mapa de la Ciudad de Hermosillo, Soriana Progreso (1), Super del Norte (2), Soriana Bachoco (3), Soriana Encinas (4) y Ley del Rio (5).

cuestionario y evaluar los tres niveles de oxidación en las frituras. En el cuestionario, se les pidió proporcionar información sobre; edad, sexo, nivel educativo y frecuencia de consumo de los productos fritos. El cuestionario permitió conocer las posibilidades de consumo de productos grasos, frecuencias de consumo y el nivel socioeconómico de cada persona (Anexo III). En la evaluación, primero; los consumidores emitieron una respuesta en base al nivel de aceptación en una escala hedónica de 7 puntos (1=disgusta extremadamente y 7=gusta extremadamente) en los tres niveles de oxidación en las frituras de maíz (Anexo IV). Finalmente, se realizó la prueba preferencia, se le pidió al consumidor que seleccionara una de las tres muestras como posibilidad de compra. Las muestras que se utilizaron como clarificantes fueron café y vainilla.

## Análisis Estadístico

Experimento I. El diseño de la primera etapa fue completamente al azar con tres repeticiones y duplicados de cada repetición. Las variables respuesta para establecer los 3 niveles de oxidación en frituras fueron índice de peróxidos, conjugados dienólicos, *p*-anisidina. Los resultados se mostraron en estadística descriptiva.

Experimento II. Una vez seleccionados los 3 niveles de oxidación (N1, N2 y N3) para ambos tratamientos, se analizaron por CG y NE. El diseño fue completamente al azar con dos tratamientos y sus niveles con tres repeticiones por duplicado. Los resultados se mostraron en estadística descriptiva.

Experimento III. El perfil sensorial con jueces entrenados utilizó un diseño de bloques al azar generalizado con dos tratamientos y sus niveles, donde los bloques correspondieron a los jueces, ejecutándose tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza y con el fin de conocer la asociación entre un atributo sensorial y el nivel de oxidación, se realizó un análisis discriminante multivariado, utilizando el nivel de oxidación como factor discriminante.

Experimento IV. La evaluación con consumidores utilizó un diseño de bloques al azar con tres tratamientos (tres niveles) y 300 bloques (consumidores). Se realizó un análisis de varianza.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de resultados de las frituras de maíz en almacenamiento acelerado a 75°C y 55% de humedad relativa se presenta a continuación. Primero, se describirá la cinética oxidativa de las frituras, evaluadas por métodos químicos (IP, *p*-A, CD y CG) para seleccionar los niveles de oxidación presentes en la fritura. Seguido, con los resultados del análisis olfatométrico (huella olfativa). Posteriormente, se discutirá la evaluación sensorial I (jueces entrenados) de los niveles oxidativos sin iniciación en microonda y con iniciación en microonda. Finalmente, se presenta la evaluación sensorial II (consumidores) de los niveles de oxidación sin iniciación en microonda.

### **Cinética Oxidativa de las Frituras de Maíz**

El análisis de composición química de las frituras de maíz estudiadas se muestra en la Tabla 2. La composición química de las frituras se encuentra dentro de los valores reportados en la literatura (Lusas y Rooney, 2001). El contenido graso en la fritura es de 35.25%, proveniente principalmente del aceite de freído.

La temperatura y exposición al oxígeno durante el proceso de freído generaron condiciones para conducir rápidamente de la etapa de iniciación hasta la de propagación de oxidación lipídica. Por otro lado, el almacenamiento controlado, a 75°C, redujo el tiempo de generación de los productos odoríficos de la oxidación, permitiendo cuantificar el impacto de la oxidación lipídica en evaluación sensorial. Ambos factores, almacenamiento y contenido de aceite de la fritura, hicieron posible demostrar lo adecuado del modelo para estudiar los efectos del calentamiento térmico en microonda de la reacción de oxidación de los alimentos grasos.

**Tabla 2. Análisis de Composición Química de las Frituras de Maíz**

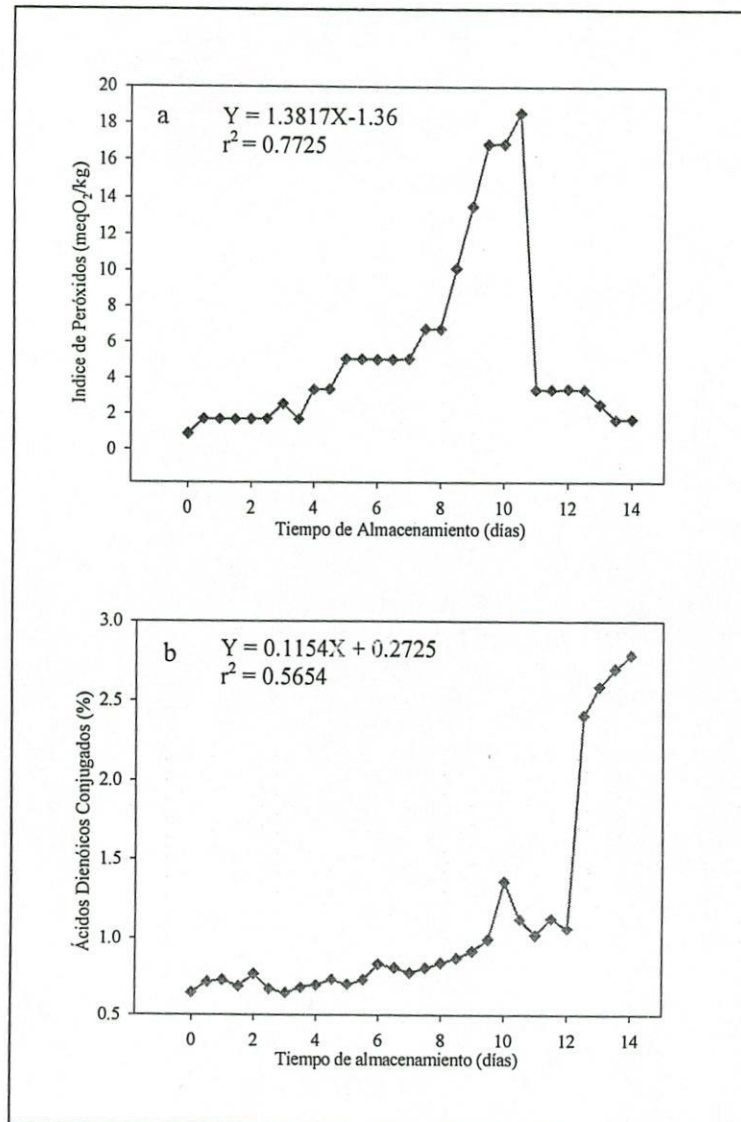
<b>Componente</b>	<b>Proporción (%)<sup>a</sup></b>
Humedad	2.23 ± 0.09
Grasa	32.45 ± 0.15
Ceniza	2.38 ± 0.97

<sup>a</sup>Valor medio de tres repeticiones

Esto, debido a que los ácidos grasos insaturados mostraron una disminución durante el tiempo de oxidación; observándose, un aumento en las variables químicas de IP, CD y *p*-A. El IP y CD aumentaron en el tiempo, en función de su velocidad de reacción con el oxígeno; manifestándose, en una rápida acumulación de productos volátiles finales, medidos por el valor de *p*-A. El desarrollo de la reacción de oxidación en el modelo fritura para cada variable respuesta, se describe a continuación.

### Índice de Peróxidos

La Figura 4a muestra que la velocidad de oxidación mantuvo una velocidad baja relativamente constante en la etapa de iniciación produciendo radicales alquilo  $R\cdot$  (Nawar 2000). Por lo que, el índice de hidroperóxidos (IP) en la iniciación fue de 1.7 meq  $O_2/k$  al primer día; progresivamente alcanzó 5.1 meq  $O_2/k$  a los 5 días; llegando a una plataforma de velocidad constante de hidroperóxidos por dos días, justo antes de entrar a la fase de propagación durante el séptimo día. La producción de radicales peroxilo  $ROO\cdot$  o propiamente hidroperóxidos, en la segunda etapa oxidativa llamada de propagación, la velocidad aumentó rápidamente de 5.1 meq  $O_2/k$  a 10.1 meq  $O_2/k$  en 8vo día. En poco tiempo, a los 10.5 días la concentración de hidroperóxidos alcanzó su valor máximo de 18.6 meq  $O_2/k$ . La producción de IP presentó un valor constante de velocidad de reacción de  $k_{IP} = 1.4 \text{ meq}O_2/k \text{ d}^{-1}$ . La velocidad de oxidación la pendiente de la representación gráfica en el tiempo de la producción de hidroperóxidos. Esto significa que la proliferación de radicales hidroperóxidos en la fritura, se produce aceleradamente en menos de 15 días, bajo dichas condiciones de almacenamiento controlado a temperatura alta ( $75^\circ\text{C}$ ). Este comportamiento ha sido demostrado para otros



**Figura 4. Cinética Oxidativa de las Frituras de Maíz bajo Almacenamiento Acelerado a 75°C y 55% de Humedad Relativa. (a): Índice de Peróxidos, (b): Ácidos Dienóicos Conjugados.**



alimentos donde la alta temperatura acelera la velocidad de reacción reduciendo las características sensoriales del producto (Vidal-Quintanar, y col., 2001).

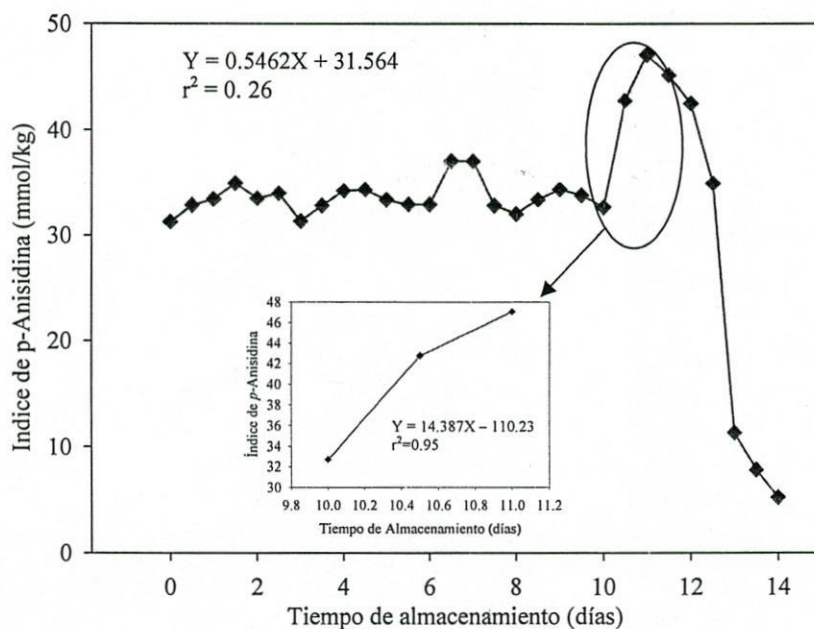
### **Ácidos Conjugados Dienólicos**

La producción de CD en el proceso de oxidación de lípidos ocurre de forma cíclica y controlada. La velocidad de formación de CD es baja en las primeras etapas, debido a la estabilización parcial del carbono 3 del sistema 1-4 pentadieno (Frankel, 1985). Esto se manifiesta en la representación gráfica del porcentaje de CD producidos en la fritura (Figura 4b), con una producción promedio de 0.80% relativamente constante en los primeros 9 días de almacenamiento. Sin embargo, la producción de 1.13% se alcanza en 10.5 días y en tan solo 2.5 días más llega a 2.41%. La pendiente obtenida al graficar la producción del %CD contra el tiempo, es la velocidad de producción de CD, que tuvo un valor de  $k_{CD} = 0.1154 \% d^{-1}$ . La rápida producción de ácidos conjugados dienólicos se atribuye a la concentración de poliinsaturados (58.7% linoléico) y a los efectos del calentamiento durante el proceso de fritura. La Figura 4b de CD muestra claramente una mayor velocidad en la etapa de propagación que en la de iniciación; donde, la isomerización de los conjugados dienólicos provino de linoléico, manteniendo activa la formación de hidroperóxidos mostrados en la Figura 4a.

### **Valor *p*-anisidina**

La alta proliferación de radicales hidroxilo mediante una serie de reacciones de hidrólisis, adición, polimerización y oxidación lleva a una acumulación de productos secundarios

volátiles. Los productos volátiles de la oxidación lipídica, pertenecen a varios grupos, como; cetonas, aldehídos, alcoholes, hidrocarburos y ácidos. La cuantificación de estos alquenos, extraídos en la fracción grasa de la fritura, se miden al reaccionar con el reactivo *p*-A. El desarrollo de la producción de volátiles en el tiempo de reacción se muestra en la Figura 5. El valor de *p*-Anisidina varió dentro de un margen cerrado, entre 31.4 y 37.1 mmol/k durante la iniciación de la oxidación. Sin embargo, los productos odoríficos volátiles, medidos por la reacción con la *p*-A, alcanzaron la concentración máxima de 47.05 mmol/k al día 11; horas después, de que el IP alcanza su valor máximo de 18.6 meq O<sub>2</sub>/k de aceite. Sin embargo, a los 12 días, la generación de volátiles disminuye en el tiempo, llegando a una concentración de *p*-A menores a 10 mmol/k a los 14 días. Considerando la generación de volátiles durante las etapas iniciación y propagación, podría decirse que a 75°C de almacenamiento la oxidación ocurre a baja velocidad con valor de  $k_{p-A} = 0.5462 \text{ mmol/k d}^{-1}$ . Sin embargo, durante el tiempo de propagación la velocidad presenta un valor mayor de 14.4 mmol/k d<sup>-1</sup>, como se observa en la gráfica interna de la Figura 5. Las Figuras 4a y 4b muestran una etapa inicial de estabilización parcial cíclica, sincronizada en el tiempo, a baja velocidad seguido de una propagación a alta velocidad e interdependiente para hidroperóxidos y ácidos conjugados para terminar en la generación de volátiles cuantificados por *p*-Anisidina. La baja acumulación de volátiles en la iniciación, mas tarde en la evaluación sensorial, limitará la separación e identificación de olores típicos entre producto fresco y almacenados en los primeros 8 días de almacenamiento. Mientras que, la alta velocidad de reacción de oxidación en la propagación facilitará una concentración de volátiles similares en las muestras evaluadas entre los 8 y 12 días. En consecuencia, después de los 12.5 días de almacenamiento, disminuye la velocidad de oxidación de los ácidos grasos insaturados imposibilitando recuperar o mantener la velocidad



**Figura 5. Índice *p*-Anisidina Durante la Reacción de Oxidación de las Frituras de Maíz**

**bajo Almacenamiento Acelerado a 75°C y 55% de Humedad Relativa.**

Recuadro: Velocidad de oxidación en la etapa de propagación.

de reacción de oxidación en la fritura; las limitaciones se asocian principalmente a disponibilidad de oxígeno a temperatura alta ( $>60^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo, los productos volátiles acumulados en el alimento emitirán olores y sabores correspondientes a la oxidación típica de lípidos; características que más tarde los jueces identificarían en la fritura, sin lugar a duda, como olores rancios.

### **Cromatografía de Gases**

El contenido de ácidos grasos de la fritura se muestra en la Tabla 3, estos valores son similares a los reportados para harinas y productos de maíz por Lopez-Duarte, 1998. La participación de los ácidos linoléico, palmítico y oleico en la oxidación de las frituras control (nivel 1) no presentaron diferencias significativas respecto a sin iniciación en microonda y con iniciación en microonda. Además, el ácido oleico no mostró participación activamente en la oxidación de la fritura. Por otro lado, el consumo durante la oxidación mostró ser significativamente mayor de linoléico lo que repercute en aumento ( $P<0.05$ ) de palmítico en las frituras con iniciación en microondas (Tabla 3). En la concentración del ácido linoléico en el nivel 2 (57.95%) y en el nivel 3 (62.35%) en las muestras sin iniciación en microonda, presentaron diferencias significativas menores ( $P<0.05$ ) con respecto a las muestras con iniciación en microonda, obteniéndose 56.80% y 53.30%, para el nivel 2 y 3, respectivamente. En las frituras con iniciación en microonda, el ácido linoléico disminuyó conforme aumentó el nivel de oxidación, observándose 61.3%, 56.80% y 53.30% para el nivel 1, 2 y 3, respectivamente. Resultados similares se obtuvieron por Caponio y col, (2003) y Anjum y col. (2006), quienes reportaron que el calentamiento de aceites vegetales en horno de microonda causa una disminución de ácidos grasos insaturados y acelera el proceso de oxidación lipídica.

**Tabla 3. Concentración de Ácidos Grasos Durante la Oxidación de las Frituras de Maíz Almacenadas a 75°C y 55% HR sin Iniciación en Microonda y con Iniciación en Microonda.**

Acido Graso	Niveles de Oxidación <sup>1</sup>	Tratamiento		
		S-M <sup>2</sup> *	C-M <sup>3</sup> *	Valor P
Linoléico	Nivel 1	62.55 a	61.63 a	0.185
	Nivel 2	57.95 a	56.80 b	0.009
	Nivel 3	62.35 a	53.30 b	0.0001
Palmítico	Nivel 1	11.63 a	11.63 a	1.000
	Nivel 2	14.93 b	16.45 a	0.040
	Nivel 3	11.90 b	19.63 a	0.0001
Oleico	Nivel 1	25.85 a	26.71 a	0.176
	Nivel 2	27.10 a	26.75 a	0.409
	Nivel 3	25.75 a	27.05 a	0.253

<sup>1</sup>Nivel de Oxidación: Nivel 1= fritura nueva, Nivel 2= Fase de propagación (7 días de almacenamiento) y Nivel 3=Valor máximo de la oxidación (10.5 días de almac.)

<sup>2</sup> Sin Iniciación en Microonda

<sup>3</sup> Con Iniciación en Microonda

\*Dentro de una misma fila, letras diferentes muestran diferencias significativas (P<0.05).

En este experimento el tiempo de almacenamiento no fue suficiente para observar diferencias significativas de los ácidos grasos en los niveles de oxidación, debido a que este se estableció con la finalidad de un estudio de evaluación sensorial de la oxidación de las frituras. La velocidad lenta de la etapa de iniciación, seguido de una propagación a mayor velocidad para el consumo oxidativo de los ácidos grasos insaturados llevo a describir las curvas de aumento de productos hidroperóxidos, ácidos conjugados y volátiles, evaluados en la fritura de maíz. Las inflexiones en la velocidad de los productos permitió establecer los niveles oxidativos de importancia para establecer los efectos del tratamiento térmico en la evaluación sensorial de la fritura, como alimento graso modelo. La representación gráfica, Figura 6, modela el comportamiento de los parámetros químicos en el tiempo, donde la fritura después con dos horas de enfriamiento será el nivel 1 (control). Mientras que, el nivel 2 correspondió al tiempo de transición de las fases de iniciación a propagación, correspondiente a 7 días de almacenamiento. Finalmente, el nivel 3 se obtuvo a 10.5 días, tiempo necesario para llegar a una nueva inflexión en la producción de productos oxidados, mostrando la terminación de la etapa de propagación. La Tabla 4 muestra los productos desarrollados por la oxidación en el tiempo de almacenamiento de la fritura a 75°C previamente establecidos para ambos tratamientos sin iniciación en microonda y con iniciación en microonda. Las frituras con iniciación en microonda mostraron mayor concentración de productos oxidados. Más adelante se observará que, bajo la consideración de mayor concentración de *p*-A en estas frituras tratadas, podrían ser identificadas con un mayor deterioro oxidativo, por la nariz electrónica y jueces sensoriales.

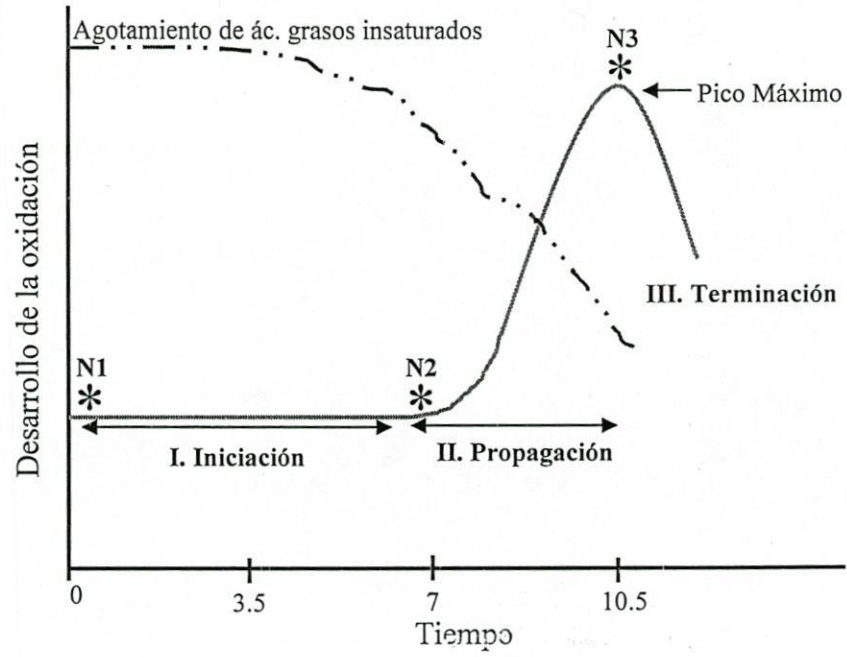


Figura 6. Desarrollo de la Reacción de Oxidación de Lípidos; N1=Nivel 1, N2= Nivel 2 y N3=Nivel 3.

**Tabla 4. Variables Químicas Durante la Etapa de Iniciación (Nivel 1), Propagación (Nivel 2) y Pico Máximo (Nivel 3) de la Reacción de Oxidación de las Frituras de Maíz sin Iniciación en Microonda y con Iniciación en Microonda.**

Variables Químicas	Niveles de Oxidación	Tratamiento	
		S-M <sup>1</sup>	C-M <sup>2</sup>
I. Peróxidos (meqO <sub>2</sub> /k)	Nivel 1	0.85	1.69
	Nivel 2	5.07	7.61
	Nivel 3	18.59	20.26
C. Dienólicos (%)	Nivel 1	0.64	0.76
	Nivel 2	0.77	1.01
	Nivel 3	1.12	1.46
<i>p</i> -Anisidina (mmol/k)	Nivel 1	31.28	32.75
	Nivel 2	37.07	38.18
	Nivel 3	42.76	47.84

<sup>1</sup> Sin iniciación en microonda

<sup>2</sup> Con Iniciación en microonda

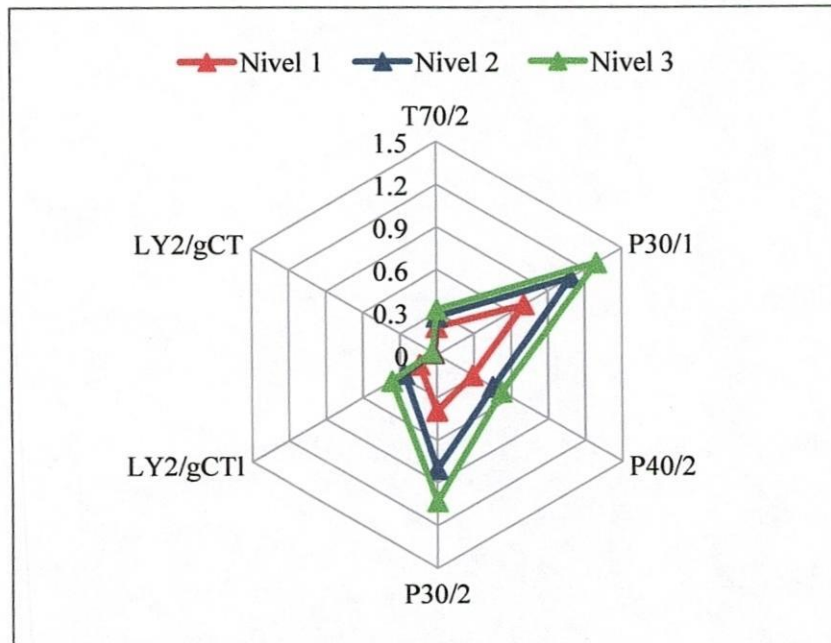


### Análisis de las Frituras de Maíz Mediante Nariz Electrónica

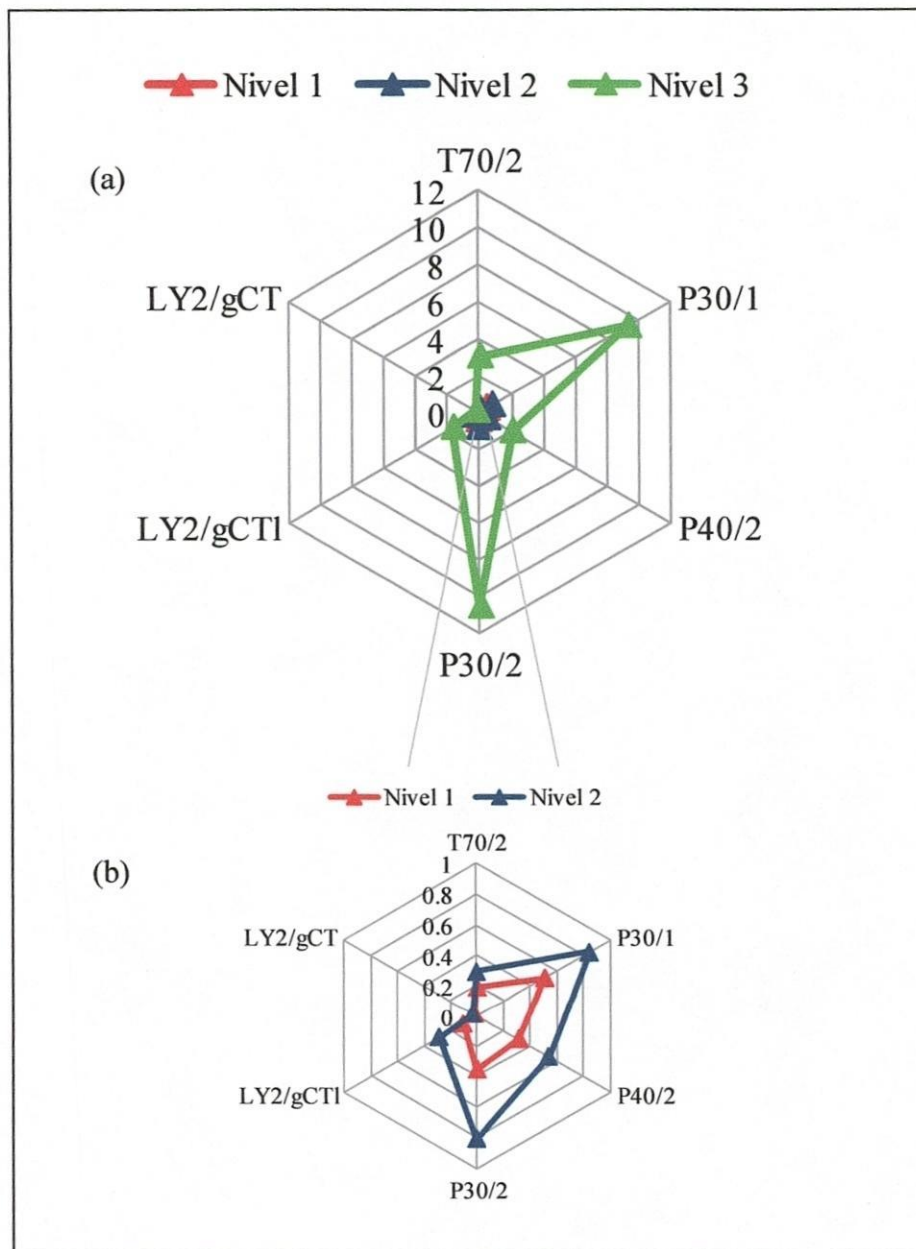
Los sensores de la nariz electrónica emitieron una respuesta en base a la intensidad de olor de los compuestos volátiles generados en las frituras en cada nivel de oxidación. Los sensores utilizados en este estudio fueron; sensor T70/2 se utiliza para detectar rancidez, P30/1 y P/30/2 (compuestos volátiles), P40/2 (empaques), mientras que los sensores LY2/gCTI y LY2/gCT son utilizados para detectar frescura en alimentos (Alpha M. O. S, 2002).

Los sensores P30/1 y P30/2 produjeron las mayores respuestas en las frituras en sus tres niveles de oxidación sin iniciación en microonda y con iniciación en microonda (Figura 7 y 8), donde la respuesta en ambos sensores fue proporcional al deterioro oxidativo de las frituras (Tabla 5). La respuesta de los sensores fue baja en las frituras control (nivel 1), ya que estas fueron analizadas con solo dos horas de preparación. La respuesta de los sensores en el nivel 2 (propagación) se debió a la intensidad de olor generada por los hidroperóxidos (bajo umbral de olor). Mientras que, en el nivel 3 (punto máximo de la oxidación), los sensores emitieron una respuesta mayor, ya que en este punto de la reacción hay generación de productos secundarios volátiles (aldehídos y cetonas) responsables de olores desagradables producidos en las últimas etapas de la reacción de oxidación de lípidos.

La Figura 8a, muestra que la iniciación en microonda aceleró la reacción de oxidación en las frituras, generando mayor cantidad de compuestos odoríficos. Esto se contempla en la alta respuesta de los sensores P30/1 (9.36) y P30/2 (10.57) (Tabla 5), en las frituras con valores significativamente mayores de deterioro oxidativo para el nivel 3 respecto al nivel 1 y 2.



**Figura 7. Intensidad de Respuesta (0 a 1.5) de los 6 Sensores de la Nariz Electrónica de los Tres Niveles de Oxidación de las Frituras de Maíz sin Iniciación en Microonda.**



**Figura 8. Intensidad de Respuesta de los 6 Sensores de la Nariz Electrónica de los Tres Niveles de Oxidación de las Frituras de Maíz con Iniciación en Microonda. (a) Escala de 0-12 y (b) Escala de 0-1.**

**Tabla 5. Sensores de la Nariz Electrónica de las Frituras de Maíz Almacenadas a 75°C y 55% HR sin Iniciación en Microonda y con Iniciación en Microonda.**

Sensor <sup>1</sup>	Nivel de Oxidación <sup>2</sup>	Tratamiento		
		S-M <sup>3</sup> *	C-M <sup>4</sup> *	Valor P
T70/2	Nivel 1	0.196 a	0.190 a	0.401
	Nivel 2	0.270 b	0.296 a	0.001
	Nivel 3	0.321 b	3.040 a	0.0001
P30/1	Nivel 1	0.706 a	0.503 b	0.001
	Nivel 2	1.085 a	0.846 b	0.001
	Nivel 3	1.296 b	9.360 a	0.0001
P40/2	Nivel 1	0.290 a	0.310 a	0.065
	Nivel 2	0.451 b	0.540 a	0.001
	Nivel 3	0.521 b	2.030 a	0.001
P30/2	Nivel 1	0.393 a	0.356 a	0.383
	Nivel 2	0.803 a	0.810 a	0.282
	Nivel 3	1.030 b	10.570 a	0.001
LY2/gCTI	Nivel 1	0.140 a	0.108 b	0.001
	Nivel 2	0.266 b	0.281 a	0.0002
	Nivel 3	0.366 b	1.690 a	0.001
LY2/gCT	Nivel 1	0.020 a	0.020 a	1.000
	Nivel 2	0.030 a	0.031 a	0.340
	Nivel 3	0.040 b	0.196 a	0.001

<sup>1</sup> Sensores de la nariz electrónica; T70/2 (Rancidez), P30/1 y P30/2 (volátiles), P40/2 (empaques), LY2/gCTI y LY2/gCT (frescura).

<sup>2</sup> Nivel de Oxidación: Nivel 1 = fritura control no oxidada (nueva), Nivel 2 = Fase de propagación (7 días de almac.) y Nivel 3 = Valor máximo (10.5 días de almac.)

<sup>3</sup> Sin iniciación en microonda

<sup>4</sup> Con iniciación en microonda

\* Dentro de una misma fila, letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos (P<0.05).

Existe diferencias, aunque en menor intensidad, entre el nivel 1 y 2, estas fueron similares a las observadas para las frituras sin iniciación en microondas, como se muestra en la Figura 8b. Donde, las respuestas mayores se observaron para los sensores P30/1 y P30/2. La sensibilidad de los demás sensores T70/2, P40/2, LY2/gCT y LY2/gCT1 fue baja. Probablemente, debido a que las respuestas entre niveles fueron bajas, con valores similares, como se observa claramente en las Figuras 7 y 8. Ello llevó a establecer, bajo las condiciones de análisis de este estudio, que las respuestas de estos sensores mostraron débil interacción entre dicha concentración de volátiles de la oxidación lipídica y los elementos metálicos que los componen. De ahí, la imposibilidad de dichos sensores para diferenciar los estados oxidativos en la fritura. Conduciendo a buscar en futuros trabajos, la relación entre el tipo y concentración de las moléculas volátiles presentes en cada nivel.

La comparación entre tratamientos (sin iniciación en microonda y con iniciación en microonda) en cada nivel de oxidación se muestra en la Tabla 5, en la cual se observa que la respuesta de todos los sensores incrementó a medida que aumentó el nivel de oxidación en las frituras. Las frituras en la etapa de iniciación (nivel 1) presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con los sensores P30/1 y LY2/gCT1. El nivel 2 con iniciación en microonda, presentó diferencia significativa mayor ( $P < 0.05$ ) que las muestras sin iniciación en microonda para los sensores T70/2, P40/2 y LY2/gCT1. Sin embargo, en el nivel 3, la respuesta de todos los sensores en las frituras con iniciación microonda, fue mayor ( $P < 0.05$ ) que las frituras sin iniciación en microonda.

El olor de los alimentos es el factor clave para la aceptación del consumidor para cualquier producto alimenticio procesado con componentes odoríficos. Las evaluaciones sensoriales

para establecer la calidad de procesamiento de un alimento graso representan un reto para el tecnólogo de alimentos. La complejidad, para obtener conclusiones significativas y relevantes para la industria, generalmente aumenta al considerar, la percepción personalizada del juez, la evolución en el tiempo de la reacción oxidativa en cadena, la concentración y tipo de volátiles; adicionalmente, al incluir a los factores técnicos en la evaluación sensorial. Por ello, es de gran utilidad el uso de técnicas instrumentales sofisticadas, como la NE, para intentar resolver los problemas relacionados al olor de un alimento. Previa investigación, han demostrado la capacidad de la NE para monitorear los cambios de olor durante la oxidación de lípidos en una variedad de alimentos; tal como, leche en polvo (Fenaille y col., 2003), carne de cerdo (Bryhni y col, 2002), aceites (Mildner y col., 2008; Shen y Col., 2001), entre otros. La huella electrónica en NE de frituras de maíz, posee sensibilidad de al menos dos sensores para diferenciar significativamente los niveles oxidativos entre los tratamientos, correlacionando positivamente con los valores obtenidos en las variables químicas.

### **Evaluación Sensorial**

El perfil sensorial de las frituras de maíz se formó con atributos que describen el olor de productos volátiles generados durante el deterioro oxidativo de los alimentos. La concentración y tipo de compuesto volátil se generan diferencialmente durante las etapas de la reacción oxidativa. Estos poseen una velocidad específica dependiente de las condiciones de reacción; permitiendo controlarla significativamente en favor de la calidad de los productos grasos. Los atributos seleccionados para evaluar la oxidación lipídica de las frituras fueron desarrolladas por Martínez-Valenzuela, 2009; entre ellos ácido, oleoso, pintura, viejo/almacenado, zacate, metálico y rancio. Algunos de estos atributos adicionalmente han

sido reportados en un estudio en aceite y frituras de maíz (Kolanowski y col., 2007). La presencia de ellos varía en concentración dependiendo de la etapa oxidativa de la muestra y de la severidad de los pre-tratamientos recibidos, como se muestra al utilizar a las microondas.

### **Frituras de Maíz sin Iniciación en Microonda**

La Tabla 6 y Figura 9 muestran los resultados de las frituras sin iniciación en microonda. Los jueces entrenados no percibieron diferencias significativas en la intensidad de los atributos, ácido, oleoso, pintura, viejo/almacenado, metálico y rancio entre los niveles 1 y 2 del desarrollo de la oxidación. Sin embargo, en el nivel 3 de oxidación, los 7 atributos fueron detectados con mayor intensidad con diferencias significativa mayor ( $P < 0.05$ ) con respecto al nivel 1 y 2. Una excepción es el atributo zacate que presentó interacción entre los tres niveles de oxidación.

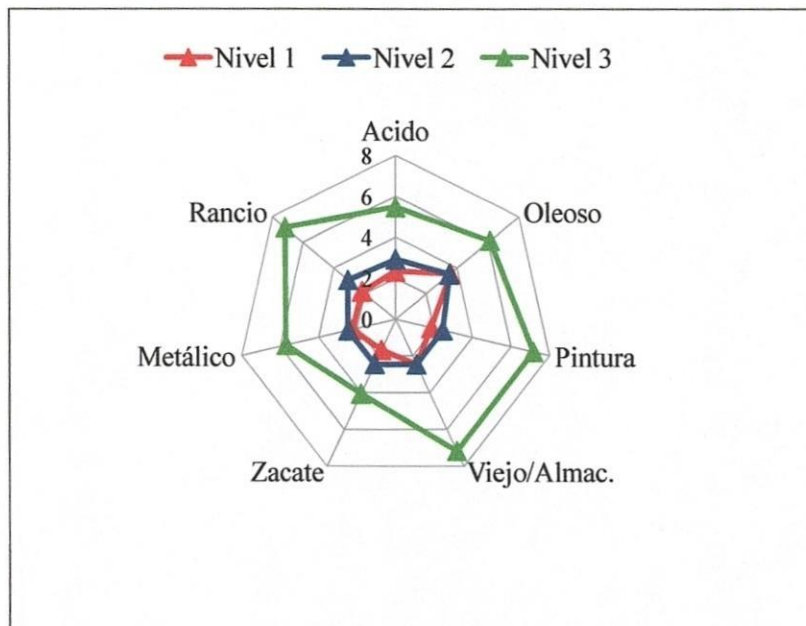
El análisis discriminante multivariado (ADM) de los 7 atributos sensoriales, ponderó las variaciones de olor respecto al nivel oxidativo, como lo muestran la Tabla 7 y Figura 10. La Tabla 7 presenta los resultados del ADM de las frituras sin iniciación en microonda, mostrando los coeficientes estandarizados de los 7 atributos representados por dos funciones discriminantes importantes (función discriminante 1 y 2), la varianza explicada, Lambda de Wilks y el valor P. La función discriminante 1 (FD1), explica el 98.02% del total de la varianza; mientras que, la función discriminante 2 (FD2) el 1.98% restante. El valor Lambda de Wilks de 0.1630 ( $P < 0.0001$ ), representa una alta capacidad discriminante en la FD1, permitiendo clasificar las muestras (100%) respecto a su nivel de oxidación. Un valor Lambda

**Tabla 6. Atributos Sensoriales en Frituras de Maíz durante Almacenamiento a 75°C y 55%HR sin Iniciación en Microonda.**

Atributos	Nivel de Oxidación			Valor P
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
Acido	2.34 b	2.92 b	5.46 a	0.0010
Oleoso	3.57 b	3.51 b	6.14 a	0.0034
Pintura	1.87 b	2.46 b	7.15 a	0.0001
Viejo/Almacenado	2.46 b	2.61 b	5.89 a	0.0001
Zacate	1.66 b	2.44 ab	4.06 a	0.0117
Metálico	2.23 b	2.46 b	5.70 a	0.0001
Rancio	2.17 b	3.07 b	8.06 a	0.0001

Los atributos sensoriales que mostraron diferencia significativa entre filas con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) están marcados con diferente letra.

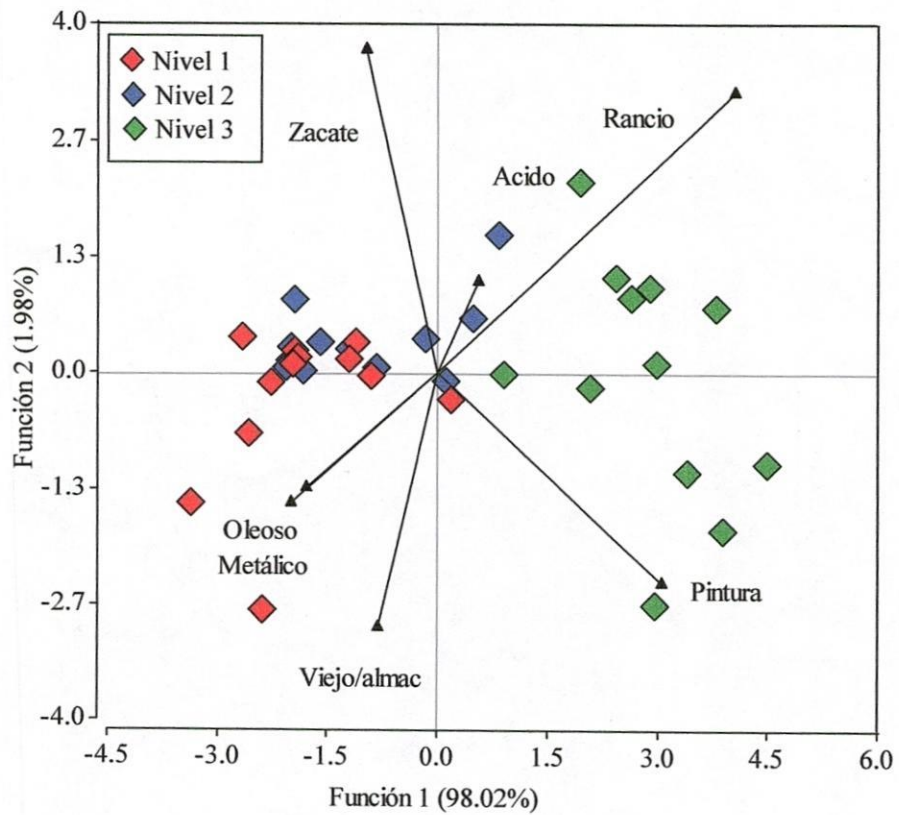




**Figura 9. Intensidad de Respuesta de los 12 Panelistas Sensoriales de los Tres Niveles de Oxidación de las Frituras de Maíz sin Iniciación en Microonda.**

**Tabla 7. Funciones Discriminantes de los Tres Niveles de Oxidación sin Iniciación en Microonda. Coeficientes Estandarizados de los Atributos, Varianza Explicada, Lamda de Wilks y Valor P.**

	<b>Función Discriminante 1</b>	<b>Función Discriminante 2</b>
% Varianza Explicada	98.02	1.98
Auto valor	4.60	0.09
Coeficientes Estandarizados		
Acido	0.08	0.15
Oleoso	-0.25	-0.19
Pintura	0.51	-0.41
Viejo/Almacenado	-0.12	-0.44
Zacate	-0.15	0.56
Metálico	-0.36	-0.27
Rancio	0.75	-0.60
Lambda de Wilks: 0.1630		
Valor P: <0.0001		



**Figura 10. Análisis Discriminante de los Tres Niveles de Oxidación en las Frituras de Maíz sin Iniciación en Microonda.**

de Wilks se presenta en un rango de 0 (discriminación perfecta) a 1 (no discriminación). Además, la FD1 mostró una fuerte correlación con los atributos rancio (0.75) y pintura (0.51). Por lo que, ambos atributos presentan poder discriminante entre los niveles oxidativos de las frituras de maíz. La representación gráfica de las funciones discriminantes se muestra en la Figura 10. La dirección de los vectores de los atributos rancio y pintura se observan en la misma dirección que las frituras en el nivel 3. Además, los atributos del nivel 1 y 2, presentaron valores que permite la sobreposición; esto probablemente, debido al corto tiempo de almacenamiento entre ellos. Por lo que, en los niveles 1 y 2, no se observaron diferencias significativas en la oxidación. De ahí que, la evaluación sensorial de los atributos rancio y pintura, representan mayor concentración de compuestos volátiles, característicos de la reacción de oxidación en la fritura sin iniciación en microonda.

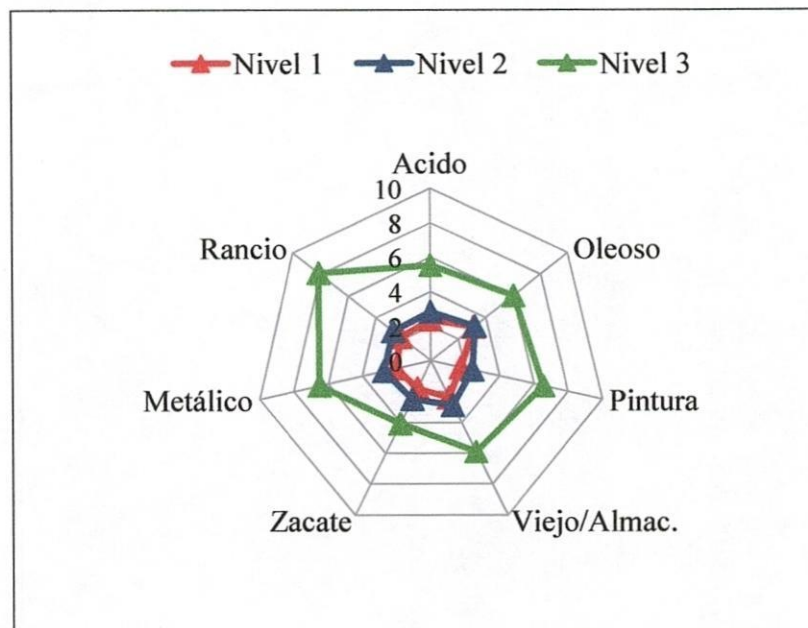
### **Frituras de Maíz con Iniciación en Microonda**

El nivel 1 y 2 muestran baja y similar ( $P < 0.05$ ) concentración de volátiles como lo muestra la Tabla 8 y Figura 11. Sin embargo, existen diferencias significativa ( $P < 0.05$ ) en los atributos de las frituras del nivel 3 respecto al nivel 1 y 2. Los atributos fueron identificados por los jueces debido a una mayor producción de volátiles típicos de lípidos oxidados en las muestras con nivel de oxidación 3. La Tabla 9, Figura 12 muestran las primeras dos funciones discriminantes del ADM, la cual explica el 100% de la varianza para función discriminante (FD) uno y dos. La FD1 explica el 99.34% de la varianza; mientras que, la FD2 explica tan solo el 0.66%. El valor Lambda de Wilks, 0.1417, fue significativamente diferente (0.0001),

**Tabla 8. Atributos Sensoriales en Frituras de Maíz durante Almacenamiento a 75°C y 55%HR con Iniciación en Microonda.**

Atributos	Nivel de Oxidación			Valor P
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
Acido	2.37 b	2.84 b	5.52 a	0.0023
Oleoso	3.14 b	3.22 b	6.04 a	0.0006
Pintura	1.75 b	2.42 b	6.54 a	0.0001
Viejo/Almacenado	2.36 b	2.86 b	5.88 a	0.0011
Zacate	1.76 a	2.47 a	3.82 a	0.0675
Metálico	2.05 b	2.74 b	6.50 a	0.0001
Rancio	2.19 b	2.74 b	8.14 a	0.0001

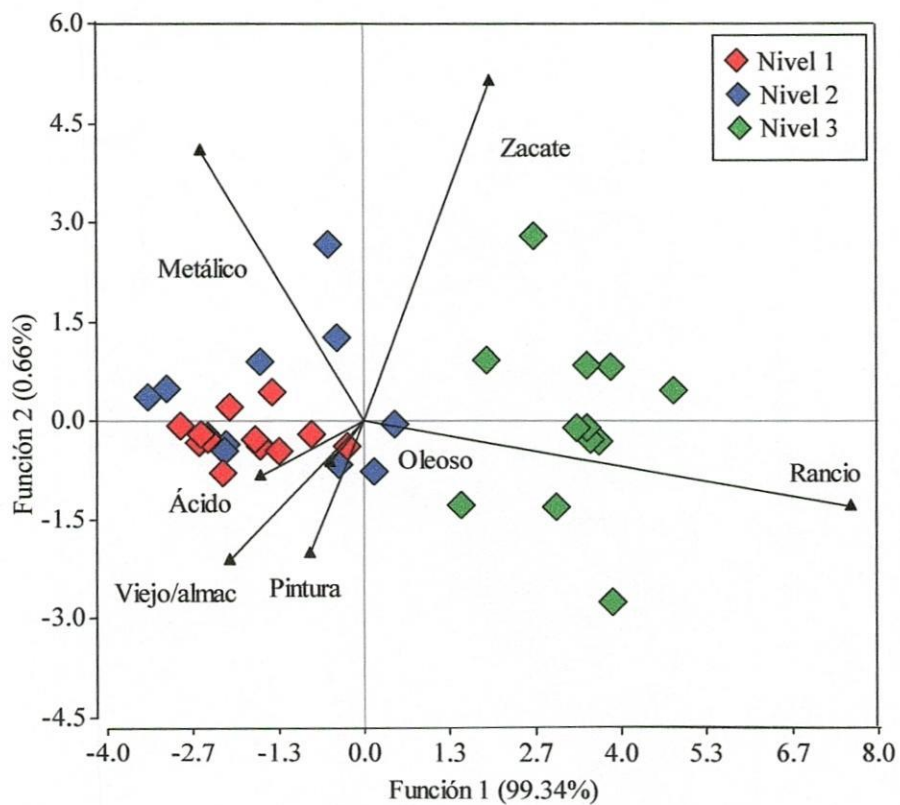
Los atributos sensoriales que mostraron diferencia significativa entre filas con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) están marcados con diferente letra.



**Figura 11. Intensidad de Respuesta de los 12 Panelistas Sensoriales de los Tres Niveles de Oxidación de las Frituras de Maíz con Iniciación en Microonda.**

**Tabla 9. Funciones Discriminantes Obtenidas con los tres Niveles de Oxidación con Iniciación en Microonda. Coeficientes Estandarizados, Varianza Explicada, Lambda de Wilks y Valor P.**

	<b>Función Discriminante 1</b>	<b>Función Discriminante 2</b>
% Varianza explicada	99.34	0.66
Autovalor	5.79	0.04
Coeficientes Estandarizados		
Acido	-0.20	-0.10
Oleoso	-0.08	-0.09
Pintura	-0.11	-0.27
Viejo/almacenado	-0.25	-0.26
Zacate	-0.25	0.66
Metálico	-0.44	0.70
Rancio	1.48	-0.25
Lambda de Wilks: 0.1417		
Valor P: <0.0001		



**Figura 12. Análisis Discriminante de los Tres Niveles de Oxidación en las Frituras de Maíz con Iniciación en Microonda.**



mostrando la bondad discriminativa de este análisis en los niveles de oxidación. La FD1, se relacionó con el olor a rancio (1.48). Además, gráficamente el atributo rancio se encuentra relacionado al nivel 3, como lo muestra la dirección de su vector (Figura 12). La distribución de los valores muestra un comportamiento similar al observado en las frituras sin tratamiento en microonda, observándose sobreposición de los valores en el nivel 1 y 2.

Las frituras de maíz, gracias a su alta composición grasa, permitió monitorear la oxidación durante la formación de radicales libres, hidroperóxidos y productos secundarios (aldehídos, cetonas, alcoholes, hidrocarburos). Los productos secundarios fueron los responsables de los cambios en las propiedades de olor. Dicho olor, se diferenció en atributos específicos dependientes de la velocidad de transformación de los ácidos grasos poliinsaturados, originando percepciones sensoriales indeseables. Las respuestas asociadas a la identificación sensorial de oxidación en la fritura afecta no solo la aceptación, sino también la salud del consumidor. Los atributos rancio y pintura son el resultado de la aparición de productos secundarios provenientes de las últimas etapas de la reacción de oxidación (Jensen y col, 2005). Esto coincide con reportes de otros estudios de almacenamiento de aceites y carnes, donde la presencia de olores a rancio y pintura en las últimas etapas determinó la calidad del alimento (Villiere y col, 2007, Olsen y col. 2005a y 2005b).

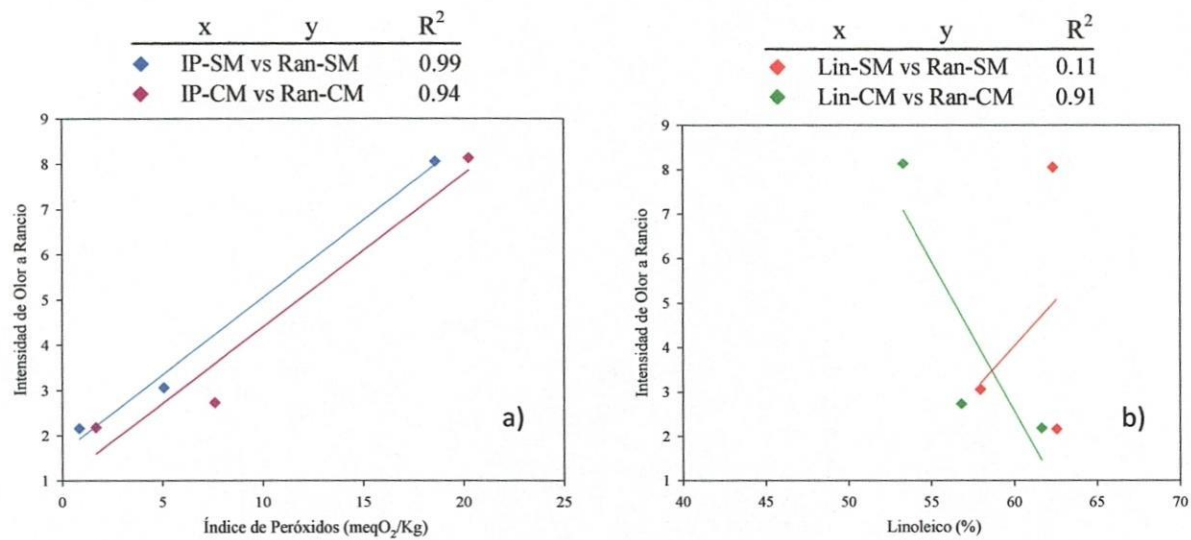
El análisis discriminante multivariado de los atributos evaluados en las frituras sin iniciación en microonda y con iniciación en microonda, mostraron al olor a rancio como al atributo de mayor poder discriminante del estado oxidativo en las frituras. Donde, las frituras con mayor deterioro oxidativo (nivel 3) se caracterizaron por su olor a rancio en ambos tratamientos (Figura 10 y 12). La evaluación de los atributos asociados al perfil de oxidación obtenido con

jueces entrenados, permitirá establecer el patrón de comparación para la identificación y preferencia de los consumidores de frituras en tres niveles oxidativos.

### **Relación entre Análisis Químicos, Olfatométricos y Sensoriales**

En el contexto práctico del análisis de calidad, la industria alimenticia optimiza tiempo y presupuesto al correlacionar resultados de metodologías químicas, sensoriales, e instrumentales para modelar el comportamiento de la calidad, seguridad y predicción de la estabilidad de los alimentos. La coeficiente de determinación del modelo de regresión ( $R^2$ ) estima la contribución de la regresión a la variación de Y. El análisis de regresión entre el olor a rancio y las variables químicas y olfatométricas, describen la magnitud de los cambios sensoriales en función de los cambios oxidativos que se producen durante el almacenamiento de las frituras de maíz. Además, la generación de los productos oxidados posee velocidades químicas independientes en cada una de las tres etapas de oxidación de características odoríficas diferentes, determinando el destino o preferencia, aceptación o rechazo del consumidor.

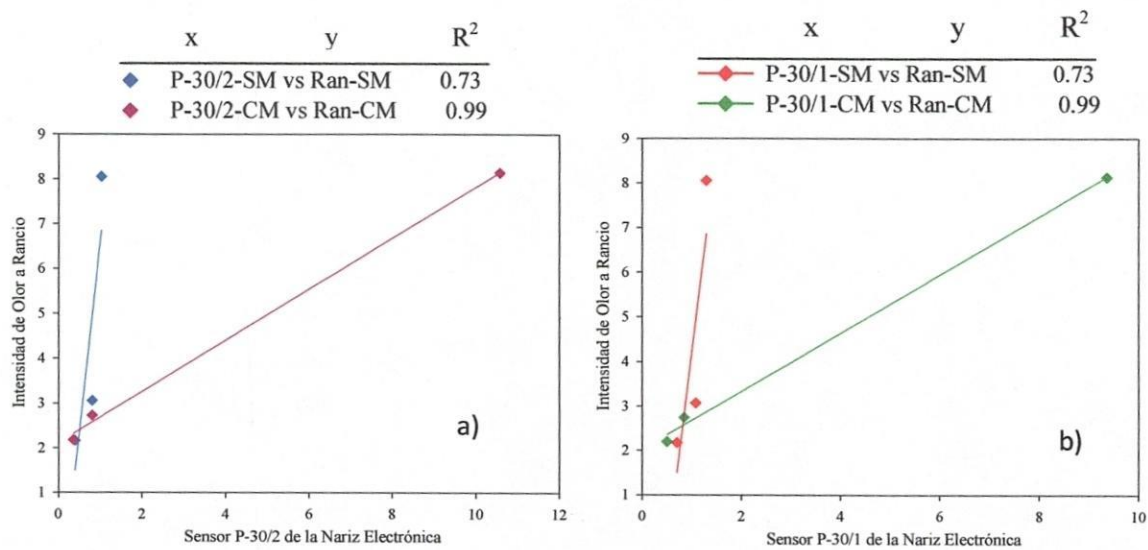
La Figura 13 muestra los coeficientes de determinación de las variables químicas y sensoriales para ambos tratamientos. El olor a rancio presentó alto coeficiente de determinación con el IP,  $R^2=0.99$ , para frituras sin iniciación en microonda y  $R^2=0.94$  en las frituras con iniciación en microonda (Figura 13a). Esto demuestra claramente que, los panelistas fueron capaces de detectar los cambios de olor correspondientes al IP durante la oxidación.



**Figura 13. Análisis de Regresión de las Variables Químicas, a) Índice de Peróxidos y b) Linoléico y la Intensidad de Olor a Rancio Evaluado por 12 Jueces Entrenados en los Tres Niveles de Oxidación.**

Sin embargo, y debido al corto tiempo para la transformación de la cadena lipídicas, el ácido linoléico obtuvo un bajo coeficiente de determinación con el atributo a rancio ( $R^2=0.11$ ) en las frituras sin iniciación en microonda (Figura 13b), esto fue debido a que no se observaron pérdidas de este ácido durante el corto tiempo de almacenamiento (14d). Las frituras con iniciación en microonda obtuvo una  $R^2=0.91$ . La aplicación de calentamiento en microonda aceleró la reacción de oxidación, provocando pérdidas de ácido linoléico a medida que aumentó el nivel de oxidación.

El olor rancio obtuvo un coeficiente de determinación alto,  $R^2=0.99$ , con los sensores P30/2 y P30/1 en las frituras con iniciación en microonda (Figura 14); y una  $R^2=0.73$  en las frituras sin iniciación en microonda, esto debido a la capacidad de detectar volátiles producidos durante la etapa final de oxidación (aldehídos, cetonas). La alta relación se debió a que ambos sensores de la NE y los jueces sensoriales mostraron sensibilidad similar para diferenciar el olor atribuidos a los tres niveles oxidativos en las frituras. La potencia de los compuestos odoríficos de la oxidación, emiten notas de olor claras e inconfundibles de oxidación lipídica independiente de complejidad de la matriz del producto de maíz freído. Estas características en la reacción de oxidación fueron similares a las reportadas por Mildner y col. (2008), Aparicio y col. (2000) y Shen y col. (2001), al estudiar la oxidación de aceites. Encontraron que al correlacionar olor a rancio y sensibilidad de sensores en NE los coeficientes de determinación fueron significativamente altos (0.76 a 0.99) y similares a los encontrados en nuestro estudio con frituras. Donde, la exposición de los alimentos a calentamiento adicional, solo aumenta la



**Figura 14. Análisis de regresión de los Sensores de la Nariz Electrónica, a) P30/2 y b) P30/1) y la Intensidad de Olor a Rancio Evaluado por 12 Jueces Entrenados en los Tres Niveles de Oxidación.**

concentración en relación a una mayor velocidad de producción de dichos compuestos finales volátiles de la oxidación. Una mayor velocidad de reacción dependiente de temperatura, también ya se ha reportado (López-Duarte y Vidal-Quintanar, 2009), y con frecuencia facilita la detección de la reacción de oxidación en alimentos.

### **Detección de Rancidez por los Consumidores**

La Tabla 10 muestra el resumen de los resultados del cuestionario de los consumidores. Los panelistas consumidores fueron 50% mujeres y 50% hombres. La edad se distribuyó en 38.33% jóvenes (18-30 años), 49% adultos (31-50 años) y tan solo 12.6% de adultos mayores. En la frecuencia de consumo de productos fritos, se obtuvo que el 34.60% los consumen 1 vez a la semana; mientras, el 12.16% consumen productos fritos 4 ó más veces a la semana. La reutilización del aceite, en un 16.33% vs 83.66% fue bajo a lo esperado, considerando que el 65.3% consumen productos fritos más de dos veces a la semana. La mayoría de las personas están consientes de los riesgos a la salud que ocasiona el reúso del aceite; además de los cambios indeseables en las propiedades organolépticas que ocurre durante la reutilización del aceite.

La aceptación de los tres niveles de oxidación en las frituras de maíz se muestra en la Tabla 11. Las frituras en el nivel 1, correspondientes a frituras con 2 horas de preparación mostraron diferencias significativas con respecto al nivel 2 y 3, obteniendo alta aceptación, con valor de 5.1, que indica me gusta moderadamente, sobre una escala hedónica de 7 puntos. El grado de aceptación de las frituras en el nivel 2 (etapa de propagación=formación de hidroperóxidos), bajo significativamente ( $P < 0.05$ ) a un valor 3.5 (me disgusta moderadamente) respecto a la

**Tabla 10. Características de los Jueces Consumidores que Participaron en la Evaluación Sensorial de las Frituras de Maíz**

<b>Variable</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Edad</b>	
Joven (18-30 años)	38.33
Adulto (31-50 años)	49.00
Adulto Mayor (51-65 años)	12.66
<b>Género</b>	
Mujer	50.00
Hombre	50.00
<b>Frecuencia de Consumo de Productos Fritos (Semana)</b>	
1 vez	34.60
2 veces	28.13
3 veces	25.09
4 ó mas	12.16
<b>Reúso de Aceite en Forma Sistemática</b>	
Si	16.33
No	83.66

N= 300 consumidores

**Tabla 11. Evaluación de Aceptación-Rechazo y Preferencia de Compra por los Consumidores en los tres Niveles de Oxidación de Frituras de Maíz.**

	Niveles de Oxidación			Valor P
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
<b>Aceptación<sup>1</sup></b>	5.13 a	3.49 b	2.25 c	0.0001
<b>Preferencia (%)<sup>2</sup></b>	83.30	11.66	5.00	

N=300 consumidores

<sup>1</sup> 1 = Me disgusta extremadamente a 7 = Me gusta extremadamente

<sup>2</sup> Basado en la pregunta: ¿Cuál de las tres muestras preferiría comprar para usted y su familia?

<sup>1</sup> Media con la misma letra en la fila son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).



fritura fresca. La aceptación de las frituras en el nivel 3 (punto máximo de la oxidación) fue significativamente ( $P < 0.05$ ) baja, el valor medio fue de 2.2 (me disgusta mucho). La distribución de aceptación de la fritura, en el universo muestreado, muestra que la aceptación de las frituras disminuyó conforme aumentó el nivel de oxidación en las frituras, reflejando la habilidad de los consumidores para diferenciar entre intensidades de olor a rancio.

La posibilidad de los consumidores por comprar las frituras de maíz varió en los tres niveles de oxidación como se muestra en la Tabla 11. La mayoría de los consumidores (83.30%) indicaron que podrían comprar las frituras control (nivel 1). Sin embargo, solo el 16.6% de los consumidores indicaron que podrían comprar frituras con deterioro oxidativo (nivel 2 y 3). Desde el punto de vista de salud comunitaria, el 16.66% de las personas muestreadas aumentaría su riesgo en salud respecto a consumo de alimentos no saludables. Sin embargo, un 5% de los participantes están dispuestos a comprar frituras en estado oxidativo avanzado. Las razones causales no fueron estudiadas; pero, podría atribuirse a que no detectaron el olor de los compuestos de oxidación, consumen frecuente y abundante productos con estado avanzado de oxidado, o gustos sesgados a olor fuertes en los alimentos. En este caso, el problema futuro para este grupo de consumidores sería el riesgo de reducir su calidad saludable al desarrollar una alta capacidad de adaptación a consumir alimentos rancios.

**Diferencias en aceptación entre grupos de consumidores.** La Tabla 12 muestra los resultados de aceptación-rechazo de los tres niveles de oxidación de las frituras. Las frituras en el nivel 1 y 2 no presentaron diferencias significativas en aceptación entre hombres y mujeres. Mientras que, las frituras en el nivel 3, se observó diferencias significativa mayor ( $P < 0.05$ )

**Tabla 12. Evaluación Aceptación-Rechazo de los tres Niveles de Oxidación en Frituras de Maíz según el Género (Mujer, Hombre).**

<b>Género</b>	<b>Niveles de Oxidación</b>		
	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>
<b>Mujer</b>	5.31 a	3.41 a	1.91 a
<b>Hombre</b>	4.96 a	3.57 a	2.59 b

<sup>1</sup>Media con la misma letra en la columna son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

para hombres con respecto a mujeres. Ambos géneros indicaron disgusto a las frituras con mayor deterioro oxidativo. Sin embargo, la calificación de aceptación de las frituras en el nivel 3, en hombres obtuvo un valor de 2.59 (me disgusta moderadamente) y en mujeres, 1.92 (me disgusta mucho). La evaluación de los tres niveles de oxidación de las frituras en base a la edad, no mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en las tres categorías; joven (18-30), adulto (31-50) y adulto mayor (51-65) (datos no mostrados). Aparentemente el género no es factor en la aceptación de la reacción de oxidación, resultados similares a los de Bryhni y col, 2002, para carne de cerdo. Aunque debe analizarse mejor la habilidad de detectar e identificar olores rancios de los adultos mayores. Quienes muestran preferencia por alimentos rápidos, sin embargo sus habilidades de diferenciación de olor y sabores disminuye con la edad. Por lo que la ingesta frecuente de productos oxidados sin duda llevaría a problemas de salud (Popper y Richar, 2003).

La calidad sensorial de un alimento es el conjunto de sensaciones experimentadas por los sentidos de las persona al ingerir alimentos. Estas poseen expectativa en la calidad sensorial, respecto a color, sabor, aroma y textura del alimento que al compararlo con su patrón mental deriva en aceptación o rechazo. Los atributos sensoriales influyen en forma independiente y combinada o adicionan efectos para ejercer la reacción de aceptación y rechazo del alimento. Así, las demandas de los consumidores plantean a la industria alimenticia, ofrecer productos de buena calidad y con características orientadas según las preferencias de la población. La aportación central de este trabajo indica que las personas de la Población de Hermosillo, a pesar del alto consumo de productos fritos no están adaptados al olor a rancio generado por la reacción de oxidación de las frituras. Las personas fueron capaces de diferenciar los tres niveles de oxidación mediante la intensidad de olor a rancio presente en cada nivel; indicando

disgusto por los niveles con deterioro oxidativo (nivel 2 y 3). Sin embargo, sería conveniente realizar un estudio similar en lugares donde el nivel socioeconómico sea bajo, utilizando otro tipo de producto; como semillas (cacahuates, almendras, nueces) ya que el olor propio de estos productos enmascaran el olor a rancio producido por la oxidación de lípidos. Además, en base a los resultados de este estudio que indica la fácil y rápida oxidación en las frituras, es importante recomendar condiciones adecuadas de temperatura desde se almacenamiento hasta su consumo.

## CONCLUSIONES

1. Los lípidos presentes en las frituras de maíz almacenadas presentan las etapas de iniciación, propagación y terminación, demostrado por los parámetros químicos y cromatográficos.
2. La iniciación aceleró la velocidad de oxidación, demostrado por las variables químicas olfatométricas y sensoriales, debido a que no se observaron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre niveles durante los primeros 5 días de aceleración oxidativa. De ahí que, las microondas pueden usarse previo al consumo de alimentos grasos.
3. El perfil sensorial y la huella electrónica establecen diferencias ( $p < 0.05$ ) en el olor a rancio y pintura entre tratamientos y niveles.
4. Los consumidores identificaron ( $p < 0.05$ ) tanto la presencia como la preferencia relativa al nivel 1 y nivel 2, en referencia a los estados oxidativos establecidos químicamente.
5. Las mujeres presentaron mayor sensibilidad para detectar el olor a rancio que los hombres, indicando mayor grado de disgusto para nivel 3 de deterioro oxidativo.
6. El 90% de los encuestados consumen frituras  $>3$  veces a la semana en promedio, donde el 83% prefirieron el N1 con bajo olor rancio, mostrando que el orden de la probabilidad de compra fue relativo al nivel oxidativo presente de  $N1 > N2 > N3$ .
7. El 16% de los consumidores encuestados prefieren frituras del N3 oxidativo (rancio  $\geq 6$ ), interpretándose como un factor probable de riesgo futuro en la salud.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aladedunye, F. and Przybylski, R. 2009. Protecting oil during frying: A comparative study. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 111, 893-901.
- Alby, T., Lanzon, A., Guinda, A., Leon, M. and Perez, C. 1997. Microwave and conventional heating effects on thermo-oxidative degradation of edible fats. *J. of Agric. and Food Chem.* 45(1):3795–3798.
- Alpha M.O.S. 2002. Introducción a la Olfatometría Electrónica. Notas Técnicas.
- Amy, R., Chakra, W. and Phil, S. 2005. Evaluation of Oxidative Stability of Canola Oils Headspace Analysis. 82(12):869-874.
- Anjum, F., Anwar, F., Jamil, A. and Iqbal, M. 2006. Microwave Roasting Effects on the Physico-chemical Composition and Oxidative Stability of Sunflower Seed Oil. *J. Am. Oil Cereal Chem.* 83(9):777-784
- AOCS, 1997. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist Society. Fifth Edition. USA.
- Aparicio, R, Rocha, S, I. Delgadillo, I. and Morales, G.. 2000. Detection of rancid defect in virgin olive oil by the electronic nose. *J. Agric Food Chem.* 2000.48:853–860.
- Bartlett, P. N., Elliott, J. and Gardner, J. 1997. Electronic Noses and Their Application in the Food Industry. *Food Technol.* 51(1):44-48.
- Bende, M. and Nordin, S. 1997. Perceptual learning in olfaction: professional wine tasters versus controls. *Physiology and Behavior.* 62, 1065–1070.

- Belitz, D. and Grosh, W. 2009. Lipids. In: Food Chemistry. Ed. Springer. Berlin Heidelberg. Pp.158-257.
- Brewer, M., Vega, J. and Perkins, E. 1999. Volatile compounds and sensory characteristics of frying fats. *Journal of Food Lipids*. 6(1):47-61.
- Boskou, G., Salta, F., Chiou, A., Troullidou, E. and Andrikopoulos, N. 2006. Content of trans,trans-2,4-decadienal in deep-fried and pan-fried potatoes. *Eur J. Lipid Sci. Technol.* 108(2):109–15.
- Bryhni, E., Hunt, H. and Ofstad, R. 2002. Consumer Discrimination of Rancidity in Pork Loin Chop and Pork Sausages. *J. of Food Sci.* 67(9):3469-3475.
- Caponio, F., Pasqualone, A. and Gomes, T. 2003. Changes in the fatty acid composition of vegetable oils in model doughs submitted to conventional or microwave heating. *Int J Food Sci Technol* 38:481-486.
- Choe, E. and Min, D. 2007. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. *J. of Food Sci.* 72(5):77-86.
- Chollet, S. and Valentin, D. 2001. Impact of training on beer flavor perception and description: are trained and untrained subjects really different? *Journal of Sensory Studies*, 16(6):601–618.
- Civille, M. C. 1999. *Sensory Evaluation Techniques*. 3<sup>rd</sup> ed. Ed. CRC PRESS. USA. Pp. 380.
- Clark, W. and Serbia, G. 1991. Safety aspects of frying fats and oils. *Food Technol.* 45(1):84-89, 94.
- Clark, S. and Costello, M. 2009. Dairy Products Evaluation Competitions. In: *The sensory Evaluation of Dairy Products*. 2 ed. Ed. Springer, New York. Pp. 1-13.

- Conchillo, A., Ansorena, D. and Astiasarán, I. 2005. Use of microwave in chicken breast and application of different storage condition: consequences on oxidation. *Eur Food Res Technol.* 221, 592-596.
- Coppin, E. and Pike, O. 2001. Oil stability index correlated with sensory determination of oxidative stability in light-exposed soybean oil. *J. American Oil Cereal Chem.* 78(1):13-17.
- Costell, E. Tarrega, A. and Bayarri. 2010. Food Acceptance: The Role of Consumer Perception and Attitudes. *Chem. Percept.* 3:42–50.
- Datta, A. and Hu, W. 1992. Optimization of quality in microwave heating. *Food Technol.* 46(1):53-56.
- Decareau, R. V. 1992. MICROWAVE FOODS: New Product Development. Ed. Food & Nutrition Press, Inc. USA. Pp. 212.
- Deisingh, A., Stone, D. and Thompson, M. 2004. Applications of electronic noses and tongues in food analysis. *International J. of Food Sci. and Tech.* 39(6):587-604.
- Dobarganes, M. and Velasco, J. 2002. Analysis of lipid hydroperoxides. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 104, 420-428.
- Dobarganes, C. and Marquez, G. 2003. Oxidized fats in Foods. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 6(2):157-163.
- Dostalova, J., Hanzlík, P., Réblová, Z. and Pokorný, J. 2005. Oxidative Changes of Vegetable during Microwave Heating. *Czech J. Food Sci.* 23(6):230-239.



- Farag, R., Hewedi, M., Aburaila, S., and El Barcty, G. 1992. Comparative study of the deterioration of oils by microwave and conventional heating. *Journal of Food Protection*. 55, 722–727.
- Fenaille, F., Visani, P., Fumeaux, R., Milo, C. and Guy, P. 2003. Comparison of Mass Spectrometry-Based Electronic Nose and Solid Phase MicroExtraction Gas Chromatography-Mass Spectrometry Technique to Assess Infant Formula Oxidation. *J. Agric. Food Chem.* 51(9):2790-2796.
- Frankel, E. N. 1985. Chemistry of Autoxidation: Mechanism, Products and Flavor Significance. In: *Flavor Chemistry of Fats and Oil*. Ed. American Oil Chemistry Society. USA. Pp. 1-37.
- Frankel, E. N. 1991. Review. Recent advances in lipid oxidation. *J. Sci. Food Agric.* 54. 491-511.
- García, G. and Aparicio, R. 2002. Sensors: From Biosensors to the Electronic Nose. *Grasas y Aceites*. 53(1):96-114.
- Gary, R., Gerhard H. and Lan T. 1997. Effect of Heating on the Characteristics and Chemical Composition of Selected Frying Oils and Fats. *J. Agric. Food Chem.* 45(8):3244-3249.
- Gonzalez, R., Benedito, J., Carcel, J. A., & Mulet, A. 2001. Cheese hardness assessment by experts and untrained judges. *Journal of Sensory Studies*. 16. 277–285.
- Gordon, M. 2001. The development of oxidative rancidity. In: *Antioxidant in Food – Practical Applications*. CRC Press. Washinton. Pp.7-22.

- Graciani, C. E. 2006. Los Aceites y Grasas: Composición y Propiedades. Ed. Mundi Prensa. Pp. 290.
- Grosch, W. 1987. Reaction of hidroperoxides of Low Molecular Weight. In Chan, H. W. S and Coxon, D. T. A series of monographs. Autoxidation of Unsaturated Lipids. Food Science and Technology. Ed. By H. W. S. Academic Press Inc. Orlando Florida. Pp. 51-83.
- Grosso, N. and Resurreccion. 2002. Predicting Consumer Acceptance Ratings of Cracker-coated and Roasted Peanuts from Descriptive Analysis and Hexanal Measurements. J. of Food Sci. 67(4):1530-1537.
- Hassanein, M. M., El-Shami, S. M., El-Mallah, M. H. 2003. Changes occurring in vegetable oils composition due to microwave heating. Grasas y Aceites. 54, 343-349.
- Haugen, J. and Undeland, I. 2003. Lipid Oxidation in Herring Fillets (*Clupea harengus*) during Ice Storage Measured by a Commercial Hybrid Gas-Sensor Array System. J. Agric. Food Chem. 51(3):752-759.
- INEGI, 2004. Producción, Consumo e Inversión. Actividad Económica. México.
- Jacobsen, C. 1999. Sensory impact of oxidation in complex food system. Fett/Lipid. 101(12):484-492.
- Jensen, P., Danielsen, B., Bertelsen, G., Skibsted, L. and Andersen, M. 2005. Storage stabilities of pork scratchings, peanuts, oatmeal and muesli: Comparison of ESR spectroscopy, headspace-GC and sensory evaluation for detection of oxidation in dry foods. Food Chemistry. 91(1):25-38

- Johansson, L., Haglund, A., Berglund, L., Lea, P. and Risvik, E. 1999. Preference for tomatoes, affected by sensory attributes and information about growth conditions. *Food Qual Pref.* 10(4-5):289-98.
- Kolanowski, W., Jaworska, D. and Weissbrodt, J. 2007. Importance of instrumental and sensory analysis in the assessment of oxidative deterioration of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid-rich foods. *Journal of the science of food and agriculture.* 87(2):181-191.
- Kubow, S. 1992. Routes of formation and toxic consequence of lipid oxidation products in foods. *Free Radical Biol. Med. Free Biol. Med.* 12(1):63-81.
- Labuza, T. P. 1979. A Theoretical Comparison of Losses in Foods Under Fluctuating Temperature Sequences. *J. of Food Science.* 44, 1167-1168.
- Labuza, T. P. and Schmidt, M. K. 1985. Accelerated shelf-life testing in foods. *Food Technology.* 39(9):57-64.
- Lawless, H. and Heymann, H. 1997. *Sensory evaluation of food: principles and practices.* Gaithersburg, Md, Chapman & Hall. Pp. 819.
- Lawless, H. and Heymann, H. 1998. *Sensory Evaluation of Food. Principles and Practices.* Chapman & Hall, New York. Pp. 83-115.
- Leaf, A., Xiao, Y. F., Kang, X. J. and Billman, G. E. 2003. *Pharmacol Therapeut.* 98:335-335-377.

- Lee, Y., Kim, I., Chang, J., Rhee, K., Oh, H., Park, H. 2004. Chemical compositions and oxidative stability of safflower oil prepared with expeller from safflower seeds roasted at different temperatures. *Journal of Food Science*. 69(1):33-38.
- Lie, K. and Yan, K. 1988. The use of a microwave oven in the chemical transformation of long chain fatty acid esters. *Lipids*. 23(4):367-369.
- Lusas, W. and Rooney L. 2001. *Snack Foods Processing*. Ed. Technomic Publishing Company, Inc. USA. Pp. 639.
- Lopez-Duarte. A. L. Cinética de Oxidación del ácido Linolénico en Harina de Maíz Nixtamalizada Almacenada a Diferentes Temperaturas. 1998. Tesis de Maestría.
- Martínez-Valenzuela N. R. 2009. Entrenamiento de Jueces para Perfil sensorial de Alimentos Expuestos a Oxidación Lipídica. Tesis de Licenciatura Químico en Alimentos.
- Mildner, S., Jelén, H. and Zawirska, R. 2008. The use of electronic and human nose for monitoring rapeseed oil autoxidation. *Eur. J. Lipid Sci. Technol*. 110(1):61-72.
- Min, D. B. 1998. Lipid Oxidation of Edible Oil. In: *Food Lipids, Chemistry, Nutrition and Biotechnology*. Eds. C. C. Akoh and D. B. Min, Marcel Dekker, Inc. New York. Pp. 283-296.
- Miranda, J., Sebastián, J. Sierra, M. and Margineda, J. 2002. *Ingeniería de Microondas. Técnicas experimentales*. Ed. Prentice Hall. España. Pp. 11-12.
- Moreira, R., Sun, X. and Chen. Y. 1997. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *J. Food Eng*. 31(4):485-498.

- Moreira, R., Castell, M., Barrufet, M. 1999. Fried product processing and characteristics. In: Deep-fat frying: fundamentals and applications. Gaithersburg, Md.: Chapman & Hall Food Science Book. Pp. 11–31.
- Moskowitz, H., Beckley, J. and Resurreccion, A. 2006. Sensory and Consumer Research in Food Product Design and Development. IFT PRESS. USA. Pp. 35
- Muhi, M., Demisch, H., Becker, F. and Kohl, C. 2000. Electronic nose for detecting the deterioration of frying-Comparative studies for a new quick test. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 102(8):581-585.
- Muñoz, A., Civille, G. and Carr, B. 1992. Sensory Evaluation in Quality Control. New York: Van Nostrand Reinhold. Pp. 1-235.
- Murray, J., Delahunty, C. and Baxter I. 2001. Descriptive sensory analysis: present and future. Food Res Int. 34(6):461-471.
- Nawar, W. 2000. Lípidos. In: Química de los Alimentos. Fennema, O. Ed. Acribia, S. A. 3ed. España. Pp. 270-376.
- Nepote, V., Olmedo, R., Mestralled, M. and Grosso, N. 2009. A Study of the Relationships among Consumer Acceptance, Oxidation Chemical Indicators, and Sensory Attributes in High-Oleic and Normal Peanuts. J. of Food Sci. 74(1):1-8.
- O'Brien, R. 2004. Fats and Oils. Formulating and Processing for Applications. Ed. CRC, PRESS. USA. Pp. 192-195.

- Olsen, E., Vogt, G., Ekeberg, D., Sandbakk, M., Pettersen, J. and Nilsson, A. 2005a. Analysis of the early stages of lipid oxidation in freeze-stored pork back fat and mechanically recovered poultrymeat. *J. Agric. Food Chem.* 53(5):338-348.
- Olsen, E., Vogt, G., Veberg, A., Ekeberg, D. and Nilsson, A. 2005b. Analysis of the early lipid oxidation in smoked, comminuted pork or poultry sausage with spices. *J. Agric. Food Chem.* 53(19):7448-7457.
- Orthoefer, T. F., Gurkin, S., and Liu. 1996. Dynamic of Frying. In: *Deep Frying. Chemistry, Nutrition, and Practical Applications.* E. G. Perkins and M. D. Erickson, eds. AOAC Press: Champaign, Illinois. USA. Pp. 223-243.
- Pangloli, P., Melton, S. L., Collins, J. L. Penfield, M. P. and Saxton, A. M. 2002. Flavor and storage stability of potato chips fried in cottonseed and sunflower oils and palm olein/blends *J. Food Science.* 67(1):97-103.
- Parr, W., Heatherbell, D. and White, K. 2002. Demystifying wine expertise: olfactory threshold, perceptual skill and semantic memory in expert and novice wine judges. *Chemical Senses.* 27, 747-755.
- Pattee, H., Giesbrecht, F. and Isleib, T. 1999. Sensory Attribute Variation in Low-Temperature-Stored Roasted Peanut Paste *J. Agric. Food Chem.* 47(6):2415-2420.
- Pavlista, A. and Ojala, J. 1997. Potatoes: chip and free. Fry processing, en: *Processing Vegetables. Science and Technology.* Ende Smith, D.S., J.N. Cash, W. Nip. Y Y.H. Hui., Technomic Publishing Company, Inc. USA. 237-284.

- Pedrero F. D. L. y Pangborn R. M. 1989. Evaluación sensorial de los alimentos: métodos analíticos. Ed. Azteca S.A. de C.V. México. Pp. 15, 37-40.
- Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K. and Granby, K. 2005. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Res Intl.* 38(1):1-9.
- Perkins, E. and Printer, S. 1988. Studies on the concentration of oxidized components of abused fats and the application of HPLC to their separation. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 65(5):783-787.
- Popper, R. and Kroll, B. 2003. Food Preference and Consumption Among the Elderly. *Food Tech.* 57(7):32-38.
- Pokorny, J. 1989. Flavor chemistry of deep fat frying in oil. In: Min DB , Smouse TH, editors. *Flavor chemistry of lipid foods.* Champaign, IL: American Oil Chemists Society. Pp. 113-155.
- Reed, K. A., Sims, C. A., Gorbet, D. W., and OKeefe, S. F. 2002. Storage water activity affects flavor fade in high and normal oleic peanuts. *Food Research International.* 35(8):769-774.
- Resurreccion, A. V. A. 1998. *Consumer Sensory Testing for Product Development.* Gaithersburg, M. D. Aspen Publisher. USA. Pp. 245.
- Rhee, S. and Myers, C. 2003. Sensory properties and lipid oxidation in aerobically refrigerated cooked ground goat meat. *Meat Science.* 66(1):189-194.

- Risvika, E., McEwan, J., Colwill, J., Rogersa, R. and Lyond, D. 1994. Projective Mapping: A Tool for Sensory Analysis and Consumer Research. *Food Quality and Preference*. 5(4):263-269
- Robards, K., Kerr, A. and Patsalides, E. 1988 Rancidity and its Measurement in Edible Oils and Snack Foods. *Analyst*. 113(1):213-223.
- Röck, F., Barsan, N. and Weimar, U. 2008. Electronic Nose: Current Status and Future Trends. *Chem Rev*. 108(2):705-725.
- Rossell, J. B. 2001. *Frying. Improving Quality*. Ed. CRC Press LLC. USA. Pp. 372.
- Saguy, I. and Pinthus, E. 1995. Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanisms. *Food Technol*. 49(4):142-145, 152.
- Sancho, J, Bota, E. and Castro, J. 1999. *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. Edicions.de la universitat de Barcelona. Barcelona. Pp 322.
- Sander, T. 1994. Nutritional aspects of rancidity In: *Rancidity in Foods* (eds. Allen, J. and Halmilton). Ed. AN ASPEN PUBLICATION. 3 ed. Great Britain. Pp. 128-139.
- Schutz, H.G. 1999. Consumer data - sense and nonsense. *Food Qual. Pref*. 10(4-5):245-251.
- Shepherd, R. 1989. Factors influencing food preferences and choice. In: *Handbook of the psychophysiology of human eating*. Wiley, Chichester Pp. 3-24.
- Shepherd, R. and Sparks, P. 1994. Modelling food choice. In: *Measurement of food preferences*. Blackie Academic & Professional, London. Pp. 202-223



- Sinesio, F., Di Natale, C., Quaglia, G. Bucarelli, F. Moneta, E., Macagnano, A., Paolesse, R. and D'Amico, A. 2000. Use of electronic nose and trained sensory panel in the evaluation of tomato quality. *J. Sci. Food Agric.* 80(1):63-71.
- Stone, H. and Sidel, J. 1993. *Sensory evaluation practices*. San Diego, Calif. Academic Press. Pp.338.
- Sumnu, G. 2001. A review on microwave baking of foods. *International Journal of Food Science and Technology.* 36(1):117-127.
- Timm-Heinrich, M., Xu, X., Nielsen, N. and Jacobsen, C. 2004. Oxidative stability of mayonnaise and milk drink produced with structured lipid based on fish oil and caprylic acid. *Eur. Food Res. Technol.* 219. 32-41.
- Venkateshwarlu, G., Let, M., Meyer, A. and Jacobsen, C. 2004. Modeling the Sensory Impact of Defined Combinations of Volatile Lipid Oxidation Products on Fishy and Metallic Off-Flavors. *J. Agric. Food Chem.* 52(6):1635-1641.
- Vidal-Quintanar, R. L, Love, J. and Johnson, L. A. 2001. Role of oil on physical properties of corn masa flours and sensory characteristics of corn tortillas. *JOURNAL OF FOOD PROCESSING AND PRESERVATION.* 25(1):1-14
- Villiere, A., Rousseau, F., Brossant, C. and Genot, C. 2007. Sensory evaluation of the odour of a sunflower oil emulsion throughout oxidation. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109(1):38-48.
- Wasowicz, E., Gramza, A., Hes, M., Jelem, H., Korczak, J. and Malecka, M. 2004. Oxidation of lipid in food. *Polish J. Food Nutr Sci.* 54(1):87-100.

- Werlein, H. D. 2001. Discrimination of chocolates and packaging materials by an electronic nose. *Eur. Food Res. Technol.* 212(4):529-533.
- Xu, X., Tran, V., Palmer, M., White, K. and Salisbury, P. 1999. Chemical and Physical Analyses and Sensory Evaluation of Six Deep-Frying Oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 76(9):1091-1099.
- Yoshida, H. 1993. Influence of fatty acids of different unsaturation in the oxidation of purified vegetable oils during microwave irradiation. *J. of Sci. of Food and Agric.* 62(1):41-47.
- Zondervan, C., Muresan, S., De Jonge, H., van Velzen, E., Wilkinson, C., Nijhuis, H. and Lehuijt, T. 1999. Controlling Maillard reactions in the heating process of block milk using an electronic nose. *J. Agric. Food Chem.* 47(11):4746-4749.

**ANEXOS**



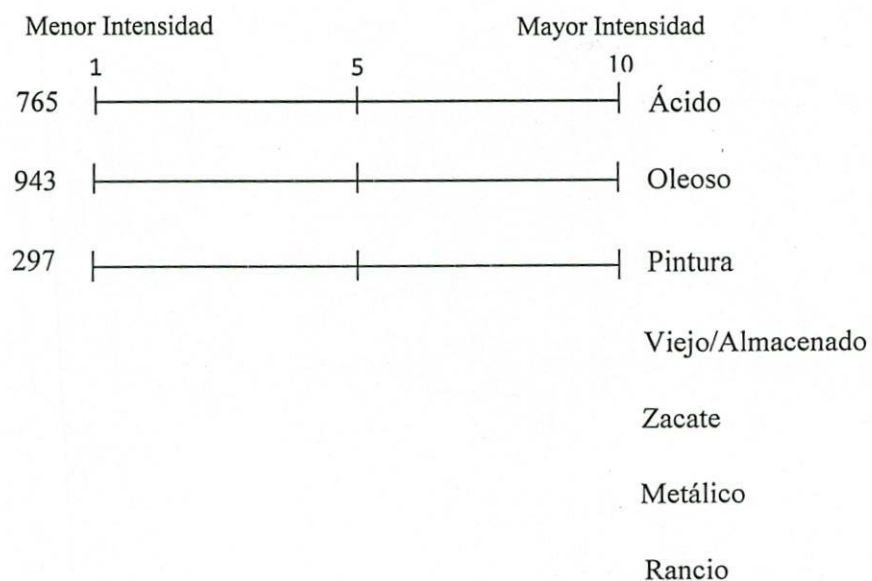
## ANEXO II

## PERFIL SENSORIAL DE FRITURAS DE MAÍZ

## Tratamiento con microonda

**Objetivo:** Evaluar la intensidad de los 7 atributos de las muestras oxidadas, utilizando una escala estructurada para cada atributo.

**Instrucciones:** Evalúe las siguientes muestras respecto a las percepción de olor a rancio, recuerde oler café o vainilla, para clarificar su nariz entre muestras.



## ANEXO III

## CUESTIONARIO. CONSUMIDORES

**PRODUCTOS:** Frituras de tortilla de maíz con aceite de maíz.

**Nombre:** \_\_\_\_\_

	PREGUNTAS	SI	NO	#	RESPUESTA
1	Sabe que los alimentos grasos se oxidan?				
2	Sabe como identificar la calidad del alimentos grasos?				
3	Educación, P, S, PP, C, PG				
4	Trabaja, DONDE				
5	Que puesto o profesión desempeña?				
6	En que colonia vive?				
7	Usa camión o carro para venir al supermercado?				
8	Para cuantas? personas prepara alimentos				
9	Cocina todos los días				
10	Usa Aceite, Manteca, Margarinas, Mantequillas, Grasa Animal (chicharrones). Cuáles?				
11	Prepara alimentos fritos en casa, Cuántas veces/sem?				
12	REUSA EL ACEITE o manteca de frituras, Cuantas veces? Y EN QUE LO REUSA?				
13	Compra o Prepara las frituras de maíz, Cuáles y frecuencia?				
14	Cuantas veces? a la semana consume frituras de maíz: tostadas, totopos, nachos, sopes, chilaquiles, enchiladas, entomatadas.				
15	Alguna vez a devuelto totopos, nachos, o tostadas porque ESTAN OXIDADAS? Cuántas?				

## ANEXO IV

<b>PERCEPCIÓN DE OLOR EN FRITURAS DE MAÍZ</b>			
Nombre/Sexo _____		Edad _____	
Las frituras tienen olor a productos de <b>RANCIDEZ</b> u oxidación de aceite que usaron en la fritura. Evalúe la aceptación y preferencia a continuación.			
Indique: que tanto le gusta o disgusta el olor de las frituras en el orden asignado.	668	279	520
1. Me disgusta extremadamente			
2. Me disgusta mucho			
3. Me disgusta moderadamente			
4. No me gusta ni me disgusta			
5. Me gusta moderadamente			
6. Me gusta mucho			
7. Me gusta extremadamente			
Cuál de ellas preferiría comprar PARA USTED Y SU FAMILIA	668	279	520