

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Análisis fisicoquímicos en aceite

#### 7.1.1 Contenido de peróxidos

En la figura 7.1 se observa el comportamiento del índice de peróxidos después de cinco ciclos de freído. El aumento en el índice de peróxidos en el aceite de soya fue más o menos constante, de 4 meq/kg en el aceite fresco hasta 6 meq/kg en el cuarto ciclo. Sin embargo, en el quinto ciclo el valor se duplicó. En el caso de la oleína de palma hubo un aumento de 2 meq/kg en el aceite fresco a 4 meq/kg en el primer ciclo, manteniéndose después constante. El valor final obtenido para el aceite de soya, de 12 meq/kg superó el límite permitido por el proyecto de norma PROY-NOM-187-SSA1-2000 de las especificaciones sanitarias para tortillas y tostadas que es de 10 meq/kg. El oxígeno actúa principalmente sobre los ácidos grasos poliinsaturados. Ya que el aceite de soya está compuesto en más del 60% por éstos (linoleico 53.7% y linolénico 7.6%, Badui, 2006) es más fácil que se produzcan los compuestos inestables llamados hidroperóxidos, radicales libres o peróxidos en presencia de luz y por esto el índice de peróxidos aumenta mucho más rápido en este aceite que en la oleína de palma.

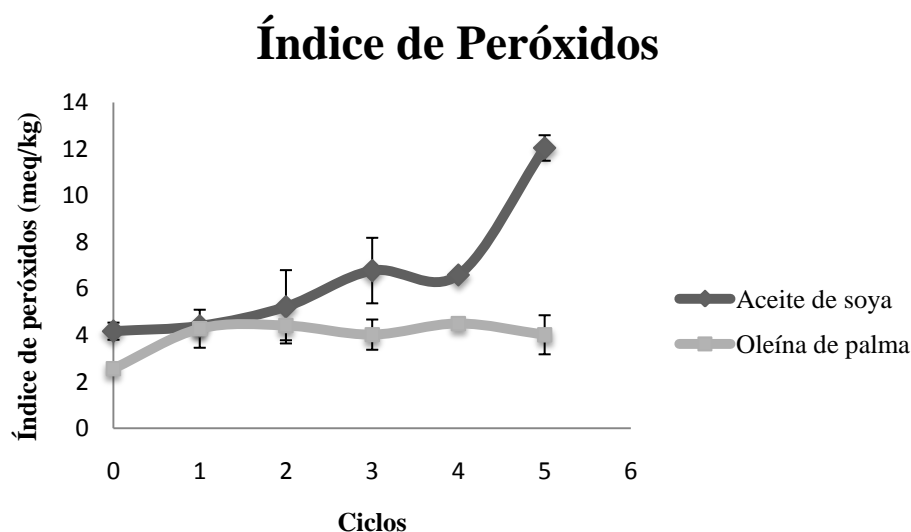


Figura 1 Índice de peróxidos para el aceite de soya y la oleína de palma frescos (0 ciclos) y después de cinco ciclos de freído

Según un artículo de la revista Mundo Alimentario (2009), el proceso de oxidación no puede evitarse totalmente, pues una vez que una molécula de grasa es atacada por un radical libre, pierde un átomo de hidrógeno, convirtiéndose en otro radical libre llamado peróxido que atacará a otra molécula de grasa, dando como resultado una reacción en cadena que generará la degradación del alimento. Esta degradación se observará como cambios en el olor y el color del producto, debido a la formación de aldehídos, alcoholes y cetonas ocasionadas por los hidroperóxidos y peróxidos. El proceso de iniciación de la oxidación, en el que se produce el primer radical libre, está favorecido por la presencia de moléculas con insaturaciones como en el caso del aceite de soya.

En el análisis estadístico realizado, se observó que el índice de peróxidos en el aceite de soya cambia significativamente ( $p < 0.05$ ) en el quinto ciclo, mientras que para la oleína de palma permanece constante durante todo el proceso sin diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). Se concluye que el tiempo de freído y el tipo de aceite afectaron significativamente ( $p < 0.05$ ) el nivel de peróxidos.

### **7.1.2 Porcentaje de ácidos grasos libres**

La fórmula utilizada para calcular el porcentaje de ácidos grasos libres mide a éstos en términos de ácido oleico para el aceite de soya y de ácido palmítico para la oleína de palma debido a que son los ácidos grasos presentes en mayor cantidad en cada caso. El porcentaje de ácidos grasos evalúa el grado de hidrólisis de los triacilglicerolos. Éste valor se muestra en la figura 7.2.

Se observó que, para los dos casos, el porcentaje de ácidos grasos libres fue aumentando con el tiempo de freído, sin embargo, fue mayor incluso desde el principio para la oleína de palma. Esto se debe a que el proceso de ruptura del enlace éster de los triglicéridos es más frecuente en aceites que contienen ácidos grasos de cadena corta o media, como es el caso de la oleína de palma (Yagüe, 2003).

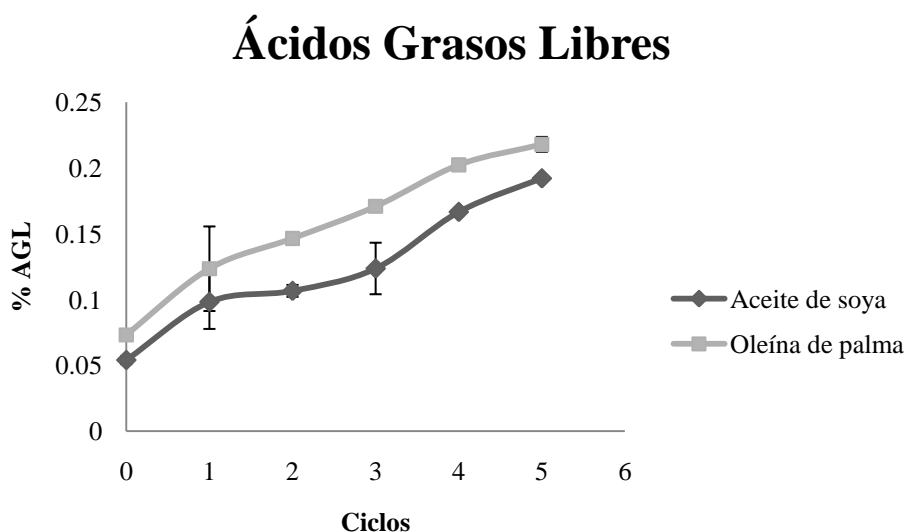


Figura 2 Porcentaje de AGL en el aceite de soya y oleína de palma frescos (0 ciclos) y después de cinco ciclos de freído.

Un estudio realizado por Anwar *et al.* (2007), sobre el deterioro del aceite de soya en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente (temperatura dentro de un cuarto oscuro) y a exposición de la luz solar, demostró que el porcentaje de ácidos grasos libres aumentó con el tiempo de almacenamiento. El valor medido por ellos en el aceite fresco fue de 0.02%; después de 15 días fue de 0.12 y 0.21% para el almacenamiento a temperatura ambiente y bajo la luz solar, respectivamente, y a 30 días de 0.23 y 0.41% para las dos situaciones analizadas. El valor obtenido en el aceite de soya fresco que se muestra en la tabla I es mayor al encontrado por Anwar *et al.* 2007, debido a que el aceite había estado almacenado en el laboratorio por más de una semana. Se puede observar que el valor alcanzado para este aceite en el ciclo cinco equivale a aproximadamente el calculado por Anwar *et al.* 2007, para el tiempo de almacenamiento

de 15 días bajo la luz del sol o un mes en condiciones de temperatura y oscuridad controladas.

En un estudio comparativo de freído realizado por Tiffany *et al.* (2009), en el que se utilizó oleína de palma para freír papas a la Francesa durante 8 h consecutivas por un periodo de 8 días, con adición de aceite para rellenar, se observó que el porcentaje de ácidos grasos libres aumentó con el tiempo de freído, desde 0.06% en el día cero a 0.19, 0.33, 0.42, 0.52, 0.67, 0.84, 1.10 y 1.30% para los días 1 a 8 respectivamente. El valor para la oleína de palma fresca, de 0.07%, es ligeramente mayor al encontrado por los autores, debido a que tenía un tiempo de almacenamiento en el laboratorio mayor a una semana y a que en nuestro caso, no hubo reposición de aceite. El valor obtenido después de cuatro ciclos, equivalentes a freír 36 lotes, fue 0.20%, igual al que los autores obtuvieron después de 8 h continuas de freído.

El análisis estadístico indicó que la diferencia entre los ciclos de freído sí es significativa ( $p < 0.05$ ) para los dos aceites estudiados. El análisis realizado para los aceites frescos y después de cinco ciclos de freído demostró que también existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre el tipo de aceite y el tiempo de uso del aceite.

### 7.1.3 Color

El color de los dos aceites fue cambiando con el tiempo de uso, volviéndose cada vez más opaco, como lo indica el parámetro L de la figura 7.3. Se realizó un promedio de los dos valores obtenidos para cada ciclo. El cambio neto de color se muestra en la tabla I.

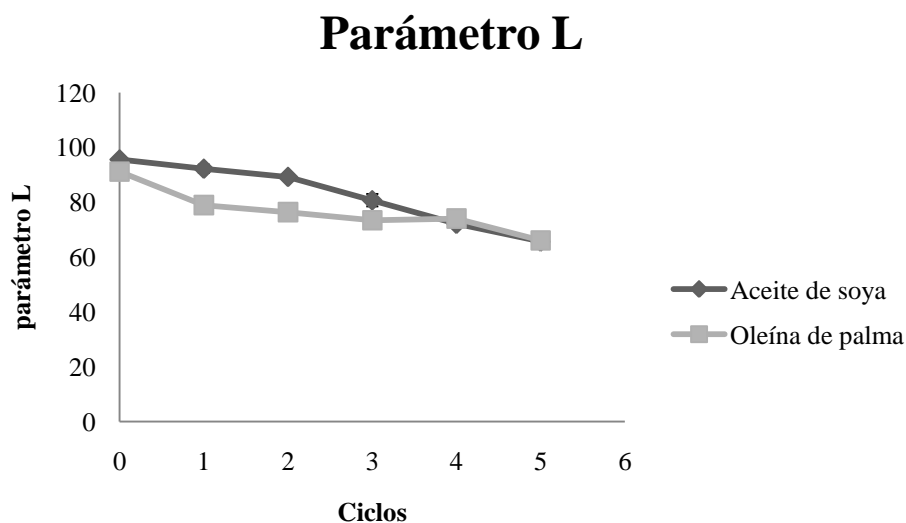


Figura 3 Cambios en el parámetro  $L$  de la escala de Hunter para el aceite de soya y la oleína de palma frescos (0 ciclos) y después de diferentes ciclos de freído.

El estudio realizado por Anwar *et al.* (2007), no demostró diferencias significativas en el color del aceite de soya almacenado en condiciones de temperatura ambiente y bajo la luz solar en los primeros días, pero al final de 180 días de almacenamiento hubo una disminución general de color, lo que demuestra que la

oxidación influye directamente sobre el color y ocurre mucho más rápido en condiciones de calentamiento y en presencia de oxígeno y humedad, sin embargo, no es un parámetro objetivo para medir la autooxidación de un aceite.

Tabla I Parámetros  $L$ ,  $a$  y  $b$  de Hunter para el aceite de soya y la oleína de palma frescos y después de varios ciclos de freído.

<b>SOYA</b>	$L$	$a$	$b$	$\Delta E$
<b>Ciclos</b>				
<b>0</b>	95.56	-2.23	6.865	
<b>1</b>	92.205	-4.425	14.24	8.394
<b>2</b>	89.22	-5.495	20.74	15.600
<b>3</b>	80.72	-4.23	23.785	22.595
<b>4</b>	72.145	-4.355	24.75	29.541
<b>5</b>	65.685	-3.39	26.58	35.813
<b>PALMA</b>				
<b>0</b>	91.2	-6.855	21.4	
<b>1</b>	78.96	-5.71	26.435	13.285
<b>2</b>	76.405	-4.54	26.905	15.955
<b>3</b>	73.44	-3.86	29.27	19.655
<b>4</b>	74.065	-4.215	31.625	20.128
<b>5</b>	66.065	-2.285	30.38	27.079

En el estudio realizado por Tiffany *et al.* (2009), se observó el cambio en el parámetro  $L$  del sistema Hunter de color para la oleína de palma y los valores obtenidos para el aceite fresco y después de 8 días de freído de papas a la francesa con adición de aceite fueron de 49.11, 40.09, 34.1, 32.2, 28.83, 27.2, 24, 21.37 y 19.63. Si bien los dos estudios siguen la misma tendencia se observa que en el realizado por Tiffany *et al.* (2009). los valores son mucho menores que los de la figura 7.3, debido a que ellos

repusieron aceite, es decir, agregaron una cantidad de aceite controlada para remplazar las muestras tomadas y mantener un mismo nivel.



Figura 4 Cambio en el color del aceite de soja después de cinco ciclos de freído.



Figura 5 Cambio en el color de la oleína de palma después de cinco ciclos de freído.

Los análisis estadísticos realizados demostraron que el color de los aceites estudiados cambió significativamente ( $p < 0.05$ ). Además, se observó que el tipo de aceite y el tiempo de freído sí influyen en el cambio en el parámetro  $L$  de forma significativa ( $p < 0.05$ ).



Las figuras 7.4 y 7.5 muestran el cambio de color de los dos aceites después de cinco ciclos de freído. En estas figuras, como en el valor del cambio neto de color,  $\Delta E$ , de la tabla I, es más notorio el oscurecimiento en el aceite de soya que en la oleína de palma, debido a la oxidación ocurrida en el aceite de soya por la mayor cantidad de insaturaciones que éste tiene y la migración de pigmentos del alimento al aceite.

#### **7.1.4 Viscosidad**

La viscosidad de los dos aceites aumentó al incrementarse el tiempo de freído, como se observa en la figura 7.6. Esto se debió a que los radicales libres formados durante la autoxidación de las grasas se combinan entre sí o con los ácidos grasos, formando polímeros lineales o cíclicos, sobre todo en presencia de enlaces dobles, como lo indica Yagüe (2003). Debido a que el aceite de soya tiene un mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados, se generan más fácilmente estos polímeros que tienen gran tamaño y alto peso molecular, por lo que aumentan la viscosidad del aceite y forman una película adherente al alimento que, al ser difícil de eliminar, se absorbe y aumenta el contenido de grasa en el mismo.

Un estudio realizado por Abdulkarim *et al.* (2008), sobre el deterioro de grasas de freído usando calorimetría diferencial de barrido, reveló que la viscosidad del aceite de soya fresco, medido usando un viscosímetro Brookfield DV II a 40°C fue de 46.7 cP,

mientras que para oleína de palma fresca fue de 53 cP. Después de un proceso de freído intermitente y continuo de trozos de plátano de 5 a 7 cm de longitud durante cinco horas, seis días consecutivos, la viscosidad de los dos aceites, medida a la misma temperatura, aumentó hasta 79.9 cP para el aceite de soya, y 87.4 cP para la oleína de palma.

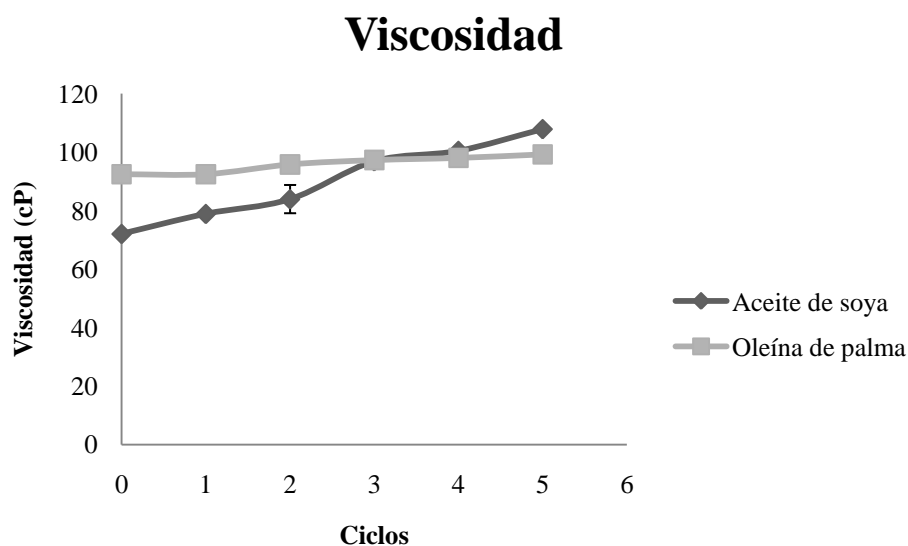


Figura 6 Aumento en la viscosidad del aceite de soya y la oleína de palma después de cinco ciclos de freído.

La viscosidad es menor para los dos aceites frescos que la encontrada por Abdulkarim *et al.* (2008), debido a que las mediciones realizadas en el laboratorio fueron a 20°C y se sabe que una mayor temperatura disminuye la viscosidad. El aumento en la viscosidad para los dos aceites no concuerda exactamente con el aumento sufrido en el proceso de freído de plátano realizado por los mismos autores, ya que en su

estudio la viscosidad de los dos aceites aumenta más o menos en la misma proporción. Esto puede deberse a la diferencia en el tipo de alimento, ya que, como indica Badui (2006), “la naturaleza no polar del aceite extrae los pigmentos y las vitaminas liposolubles de los alimentos freídos, al mismo tiempo que los hace más sensibles al calor y al oxígeno dando como resultado un aumento en la viscosidad del aceite de freído conforme se usa”.

El análisis estadístico realizado demostró que el tipo de aceite y el tiempo de freído afectan significativamente ( $p < 0.05$ ) la viscosidad del medio de freído.

#### **7.1.5 *p*-anisidina**

El valor de *p*-anisidina es importante, pues mide los compuestos secundarios de la oxidación. En la figura 7.7 se observa el cambio en este valor para el aceite de soya y la oleína de palma.

Para los dos casos el valor de *p*-anisidina aumentó conforme lo hizo el tiempo de freído, como encontraron Tompkins y Perkins (1999) en una evaluación de aceites de freído con el valor de *p*-anisidina. En el aceite de soya se logró un valor máximo en el ciclo tres para disminuir en los siguientes dos ciclos. Lo anterior puede deberse a que los compuestos medidos por el índice de *p*-anisidina (principalmente aldehídos: 2-alkenales

y 2,4-dienales), al igual que los compuestos primarios de la oxidación, se van degradando con el tiempo, produciendo nuevos compuestos.

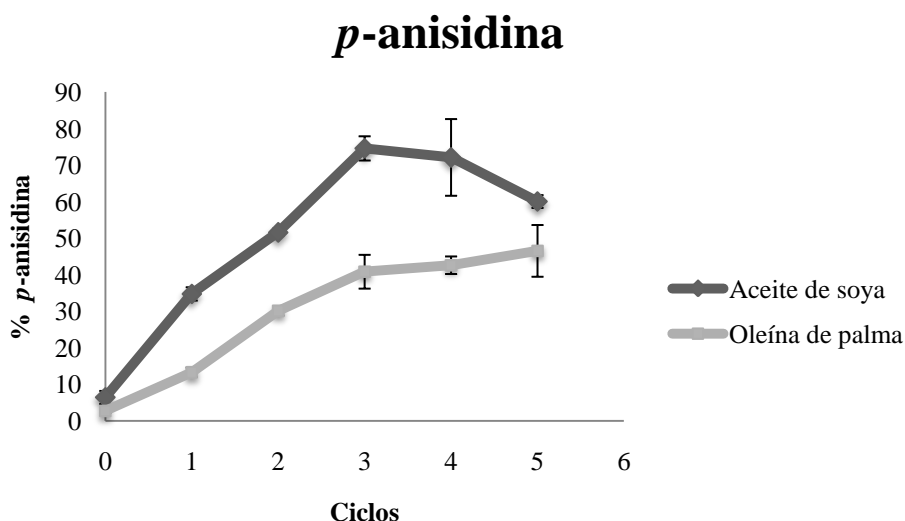


Figura 7 Cambio en el índice de *p*-anisidina con el tiempo de freído en aceite de soya y en oleína de palma.

Un estudio comparativo de freído de papas a la francesa realizado por Tiffany *et al.* (2009), midió el índice de *p*-anisidina para oleína de palma y una mezcla de oleína de palma – soya (65/35). Los resultados para la oleína de palma fresca dieron un valor de 10.18%, mientras que después de 8 días de freído durante 8 h consecutivas y adición de aceite para rellenar, los valores fueron de 24.98, 35.24, 36.78, 35.82, 33.88, 31.27, 30.26 y 29.02%, respectivamente. Los resultados para la mezcla oleína de palma –soya (65/35) fueron de 7.96, 30.11, 42.71, 46.81, 48.69, 45.56, 52.38, 50.38, 50.59 y 52.1% para la mezcla fresca y después de 8 días de freído, respectivamente.

La diferencia en los valores iniciales puede deberse a un mayor tiempo de almacenamiento de los aceites en el comparativo realizado por Tiffany *et al*, (2009). Sin embargo, los dos trabajos indican que hay un aumento en el índice de *p*-anisidina al incrementar el tiempo de uso del aceite y es además, menor el aumento en la oleína de palma sola que mezclada con aceite de soya, por lo que el aceite de soya influye de manera directa en la formación de los compuestos aldehídicos.

Se encontró que sí hay diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre cada ciclo de freído en el aceite de soya y en la oleína de palma. El análisis de los aceites frescos y después de cinco ciclos de freído demostró que la diferencia es significativa ( $p < 0.05$ ) entre el tipo de aceite y el tiempo de uso de los aceites en el valor de *p*-anisidina ( $p < 0.05$ ).

Los compuestos medidos por el índice de *p*-anisidina son de suma importancia, ya que es posible que entre ellos se encuentren aldehídos oxigenados tóxicos, conocidos por su actividad geno y citotóxica y probables causantes de enfermedades degenerativas, como se encontró en un estudio realizado en la Universidad del País Vasco (S/a, 2005).

#### **7.1.6 Valor de yodo**

El valor de yodo no varió significativamente ( $p > 0.5$ ) en la oleína de palma, sin embargo en el caso del aceite de soya la diferencia sí fue significativa ( $p < 0.05$ ) según un análisis estadístico y como se observa en la figura 7.8. En el caso del aceite de soya el valor

permaneció entre 105 y 112, mientras que para la oleína de palma los valores fueron casi constantes, de 63.8 a 70.1.

La norma mexicana NMX-F-252-SCFI-2005 para aceite comestible puro de soya indica que el índice de yodo para aceite fresco debe estar alrededor de 139. Badui (2006), establece que el valor para la oleína de palma mínimo debe ser de 56. Los valores diferentes en el caso del aceite de soya pueden deberse al tiempo de almacenamiento que sufrieron los aceites antes del proceso de freído y hasta el momento en que fueron analizados en la empresa AAK, que en suma fue un tiempo de aproximadamente dos meses.

En el estudio realizado por Abdulkarim *et al.*, (2008), el valor de índice de yodo para el aceite de soya fresco es de 128.5 y va disminuyendo a 125.9 después de 1 día de freído de trozos de plátano, a 125.5 después de dos días, a 122.9 después de tres días y es de 114.6 después de seis días, valor muy parecido a los obtenidos y mostrados en la figura 7.8. Lo anterior demuestra que los enlaces dobles de los ácidos grasos poliinsaturados se van rompiendo a medida que avanza el proceso de freído, aumentando la cantidad de ácidos grasos saturados.

Los mismos autores encontraron un índice de yodo para la oleína de palma fresca de 82.7, disminuyendo a 82.3 después de un día de freído, a 78.5 después de dos, a 76 después de tres y a 70.9 después de seis días de freído de trozos de plátano. Los valores de la figura 7.8 también difieren, probablemente debido al tiempo de almacenamiento.

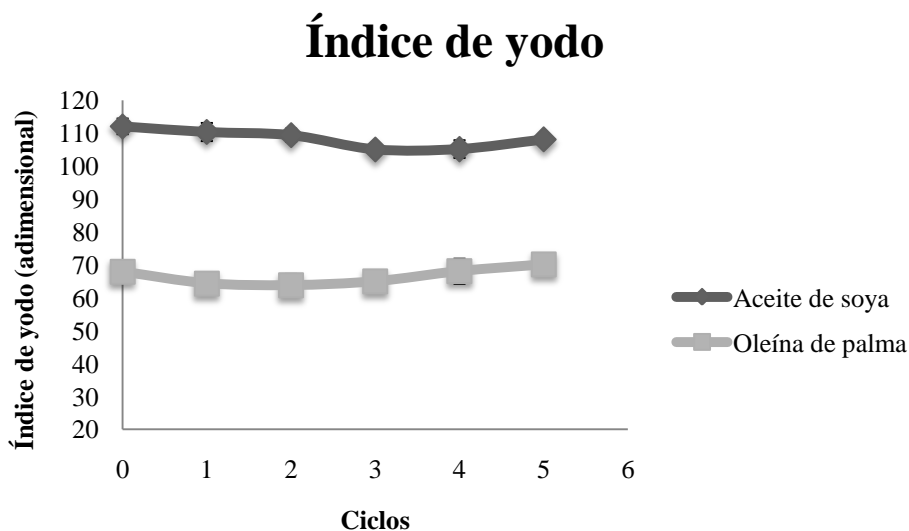


Figura 8 Índice de yodo para el aceite de soya y la oleína de palma frescos (0 ciclos) y después de cinco ciclos de freído.

Debido a que el índice de yodo evalúa la destrucción de ácidos grasos poliinsaturados, la diferencia en los valores de los dos aceites se debe a que el aceite de soya tiene un alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados: linoleico 53.7% y linolénico 7.6%, mientras que la oleína de palma es más alta en ácido oleico: 42.5% contra 11.2% de linoleico y 0.2% de linolénico. Un elevado índice de yodo indica que el aceite tiene una gran susceptibilidad a las reacciones de oxidación (Badui, 2006).

### 7.1.7 Compuestos Polares

De acuerdo a Bansal *et al.* (2010), los parámetros más importantes y aceptados, que deben ser usados para determinar la calidad de un aceite y saber cuándo debe ser descartado, son los Compuestos Polares Totales (TPC por sus siglas en inglés) y los triglicéridos poliméricos (PTG).

Se midió el contenido de compuestos polares con una prueba rápida usada en la industria (AAK, 2010). Se realizó sólo una medición debido a que la cantidad de muestra que requiere es elevada, además de que ésta se calienta hasta alcanzar una temperatura aproximada de freído, por lo que, al dejarla enfriar y calentarla nuevamente, podrían afectarse los valores obtenidos. Los valores para los dos aceites, así como la temperatura a la que se midieron, se muestran en la tabla II. En los dos casos el contenido de compuestos polares fue aumentando con el tiempo de freído.

Se puede observar que el aumento en el contenido de compuestos polares fue más rápido para el aceite de soya que para la oleína de palma, sin embargo, ninguno supera el límite permitido por muchos países, ubicado entre 24 y 25% (Bansal *et al.*, 2010 y Firestone *et al.*, 1991, en Bansal *et al.*, 2010).

Un estudio realizado por Bansal, *et al.*, (2010), para el freído de papas a la Francesa utilizando oleína de palma y diferentes aceites, con cartuchos Sep-Pak vac 6 cc/g sílica y un método descrito por Sebedio, Septier y Grandgirard (1986) mostró un valor de compuestos totales polares de 8.93% para oleína de palma fresca y de 13.95,



19.49, 21.58, 21.25, 19.95, 25.46, 26.67, 26.38 y 31.81% después de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 45 ciclos de freído, respectivamente, sin adición de aceite para rellenar, es decir que no se agregó aceite de remplazo para mantener el mismo nivel de aceite. Según Bansal *et al.* (2010), el alto valor encontrado en oleína de palma fresca se debió al alto contenido de diacilglicéridos contenidos inicialmente en el aceite utilizado.

En un estudio comparativo de freído de cubos de papa, realizado por Tiffany *et al.* (2009), se midieron los compuestos polares totales con el método de la A.O.C.S. cd 20-91. Los valores encontrados para el porcentaje de compuestos polares en oleína de palma fueron 7.30, 8.58, 9.95, 10.8 11.87, 12.56, 13.53, 15.18 y 16.20% para el aceite fresco y después de 1 a 8 días de freído durante 8 h continuas con adición de aceite para rellenar.

Los valores de Bansal *et al.* (2010) y de Tiffany *et al.* (2009), pueden variar a los encontrados en este estudio, debido a la técnica empleada, que en este caso fue utilizando un equipo manual para la industria que muestra los resultados al instante, o bien, a la temperatura a la que se realizaron las mediciones, que para este estudio fue de aproximadamente 160°C.

Tabla II Porcentaje de CP en aceite de soya y oleína de palma después de diferentes ciclos de freído.

Ciclo	% CP Aceite de Soya	Temperatura	% CP oleína de palma	Temperatura
-------	------------------------------	-------------	-------------------------------	-------------

Fresco	0.5	160.6	0	160.1
1 ciclo	0.5	160.0	0	160.0
2 ciclos	4	160.5	1	162.3
3 ciclos	5	160.0	1	160.1
4 ciclos	5.5	161.1	2	160.7
5 ciclos	7.5	160.9	2.5	160.4

En un estudio realizado por Abkulkarim *et al.* (2008), sobre la determinación del alcance del deterioro de grasas de freído utilizando calorimetría diferencial de barrido, se obtuvieron los porcentajes de compuestos polares de 4.7% para el aceite de soya fresco y de 3.3% para la oleína de palma fresca. Después de un proceso de freído intermitente y continuo de trozos de plátano de 5 a 7 cm de longitud durante cinco horas, seis días consecutivos, los valores para el aceite de soya aumentaron a 10.3, 16.6, 24.4, 28.5, 32.4 y 35.3% después de 1 a 6 días de freído, respectivamente, y para la oleína de palma, el porcentaje de compuestos polares aumentó a 6.1, 10.4, 14.5, 17.3, 19.3 y 20.5% para cada uno de los seis días de freído.

Se puede observar que, aunque los valores obtenidos por Abkulkarim *et al.* (2008) son mayores a los de este estudio, la tendencia de los dos aceites es igual, con un aumento más rápido para el aceite de soya que para la oleína de palma. Los valores ligeramente más altos, pueden deberse al método usado para cuantificar los compuestos polares totales, que en el caso de los autores mencionados fue uno estandarizado de la IUPAC, o a la temperatura a la que se midieron usando el equipo manual EBRO FOM 310.

Según Abdulkarim *et al.* (2008), la determinación de compuestos polares en aceites usados es un método muy aceptado debido a su exactitud y al hecho de que otorga los datos más confiables en cuanto a deterioro de las grasas o aceites. Los compuestos polares totales incluyen todos los productos de oxidación y descomposición formados en el proceso de calentamiento de los aceites y el tamaño de la fracción polar es un buen indicador del grado de deterioro (Tan y Che Man, 1999).

Al igual que en este estudio, los valores encontrados por Abdulkarim *et al.* (2008), demostraron que, de cinco aceites probados: maíz, soya, girasol, canola y oleína de palma, éste último resultó tener el menor porcentaje de compuestos polares totales durante el proceso de freído, por lo que se considera menos dañino para la salud.

#### **7.1.8 Composición de ácidos grasos**

Los principales ácidos grasos encontrados se observan en las tablas III y IV para el aceite de soya y la oleína de palma, respectivamente. La tabla V muestra los valores reportados para cada aceite en la bibliografía (Badui, 2006).

Se observa que los ácidos eláidico y linoeláidico no están entre los reportados por Badui, debido a que éstos son los ácidos grasos trans formados a partir del ácido

oleico y del linoleico, respectivamente, durante el proceso de freído. Los valores corresponden aproximadamente a los reportados por Badui (2006).

Según los datos reportados por Badui (2006), el ácido linolénico se transforma en linoleico y después en oleico, que va disminuyendo hasta desaparecer y se convierte en esteárico, el cual aumenta drásticamente al desaparecer el linoleico; el ácido elaídico, ácido *trans* formado a partir del ácido oleico, aumenta y luego disminuye.

Lo anterior corresponde perfectamente a lo ocurrido en este estudio: en el caso del aceite de soya el porcentaje de ácido linolénico va disminuyendo, ya que es el más insaturado (3 insaturaciones) y, por lo tanto, el más susceptible a la ruptura de sus enlaces, así como también lo hace el ácido linoleico, que le sigue en número de insaturaciones, con dos. Como consecuencia, el porcentaje de ácido oleico va aumentando, ya que la ruptura de ácidos grasos poliinsaturados da como resultado ácidos grasos monoinsaturados. El ácido esteárico, saturado, también va aumentando al romperse los enlaces de los ácidos insaturados. Se observa la presencia de ácidos grasos *trans*: elaídico y linoelaídico, que aumentan y luego disminuyen, como lo indica Badui (2006).

Tabla III % de ácidos grasos del aceite de soya obtenidos por cromatografía de gases.

	<b>Palmítico</b>	<b>Esteárico</b>	<b>Elaídico</b>	<b>Oleico</b>	<b>Linoelaídico</b>	<b>Linoleico</b>	<b>Araquídico</b>	<b>Linolénico</b>
<b>Soya fresco</b>	9.93	3.23	0.43	21.41	0.65	53.27	1.17	8.70

<b>Soya 3 ciclos</b>	10.02	3.34	1.83	24.30	0.74	50.50	1.04	7.58
<b>Soya 5 ciclos</b>	11.33	4.21	0.13	26.92	0.55	47.45	1.22	7.00

Tabla IV. % de ácidos grasos de la oleína de palma obtenidos por cromatografía de gases.

	<b>Láurico</b>	<b>Mirístico</b>	<b>Palmítico</b>	<b>Estearico</b>	<b>Elaídico</b>	<b>Oleico</b>	<b>Linoelaídico</b>	<b>Linoleico</b>
<b>Palma fresco</b>	2.83	1.47	32.50	4.48	0.33	45.96	0.18	10.41
<b>Palma 3 ciclos</b>	2.56	1.34	32.56	4.73	0.34	46.56	0.18	9.82
<b>Palma 5 ciclos</b>	2.40	1.29	31.63	4.91	0.42	46.73	0.19	10.33

En el caso de la oleína de palma los valores también corresponden a los reportados por Badui (2006), excepto el ácido láurico, que puede variar debido a un error en el tiempo de retención, o bien, a que es un ácido saturado y aumenta al romperse los enlaces dobles. El ácido linoleico, con dos insaturaciones, va disminuyendo y se convierte en ácido oleico, con una sola insaturación, por lo que éste aumenta. El ácido esteárico, saturado, aumenta al romperse los enlaces dobles.

En los dos casos hay ácidos grasos *trans*, sin embargo, el porcentaje es mucho mayor en el aceite de soya. Estos ácidos son importantes tanto en la industria como en la

salud, ya que, en el primer caso, “los *trans* son termodinámicamente más factibles y estables que los isómeros *cis*; sus cadenas lineales y rígidas tienen un menor ángulo de la doble ligadura lo que provoca una asociación y empaquetamiento molecular compacto (cristal) semejante a un saturado, lo cual hace que los *trans* presenten temperaturas de fusión mayores que los correspondientes *cis* para el mismo tamaño de molécula” (Badui, 2006).

Tabla V. Composición de los principales ácidos grasos en % del aceite de soya y la oleína de palma. Datos obtenidos de Badui (2006).

<b>Soya</b>	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Araquídico	Linolénico
	10.6	4	23.2	53.7	0.3	7.6
<b>Palma</b>	Láurico	Mirístico	Palmítico	Esteárico	Oleico Cis	Linoleico
	0.2	1	39.8	4.4	42.5	11.2

En la salud, los ácidos grasos *trans* pueden ser muy dañinos, ya que el cuerpo no los reconoce y, por lo tanto, no sabe si debe aprovecharla o desecharla. De este modo los almacena en el organismo, primero en el tejido adiposo, después en venas y arterias, bloqueándolas y finalmente en la pared celular. La célula se reproduce con material ajeno a ella causando tumores (Álvarez, 2009).

## **7.2 Análisis fisicoquímicos en papas a la Francesa**

### **7.2.1 Grasa**

Los resultados obtenidos del análisis de grasa se muestran en la figura 7.9. En ésta se observa claramente que el contenido de grasa va aumentando conforme lo hacen los ciclos de freído debido a que la viscosidad del aceite incrementa con el número de freídas, como encontraron Paul y Mittal (1997). En 1983, Ohlson encontró que la absorción de grasa en las papas se veía favorecida por un mayor porcentaje de ácidos grasos libres y que el contenido de grasa era mayor cuanto mayor era el tiempo de uso del aceite.

Yagüe (2003), en su “Estudio de utilización de aceites para fritura en establecimientos alimentarios de comidas preparadas”, encontró que la viscosidad del aceite aumenta debido a los compuestos que se producen e interactúan entre sí, formando una capa de consistencia plástica en la superficie del aceite, la cual se adhiere al alimento y difícilmente se puede eliminar, aumentando su contenido final de grasa.

Badui (2006), encontró que el aceite, al ser un disolvente no polar, absorbe los pigmentos y las vitaminas liposolubles de los alimentos aumentando la viscosidad del medio de freído. Debido a que la viscosidad del aceite de soya aumenta en mayor proporción que en el caso de la oleína de palma, y de acuerdo a lo explicado por Yagüe, el contenido de grasa en las papas freídas en aceite de soya es mayor.

Según un trabajo de Moreira *et al.* (1999), el contenido de aceite en papas a la Francesa oscila entre 10 y 15%. Las papas freídas con aceite de soya salen mucho del rango, mientras que aquéllas freídas con oleína de palma tienen un porcentaje menor, lo cual representa una ventaja para el consumidor.

El análisis estadístico demostró que, para el aceite de soya, sí existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre la grasa absorbida después de cada ciclo de freído, mientras que para la oleína de palma el tiempo de freído no afecta significativamente ( $p > 0.05$ ) el contenido de grasa, lo que indica que el aceite permanece estable en cuanto a sus características. Se encontró que el tipo de aceite utilizado tiene un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en el contenido de grasa de las papas.

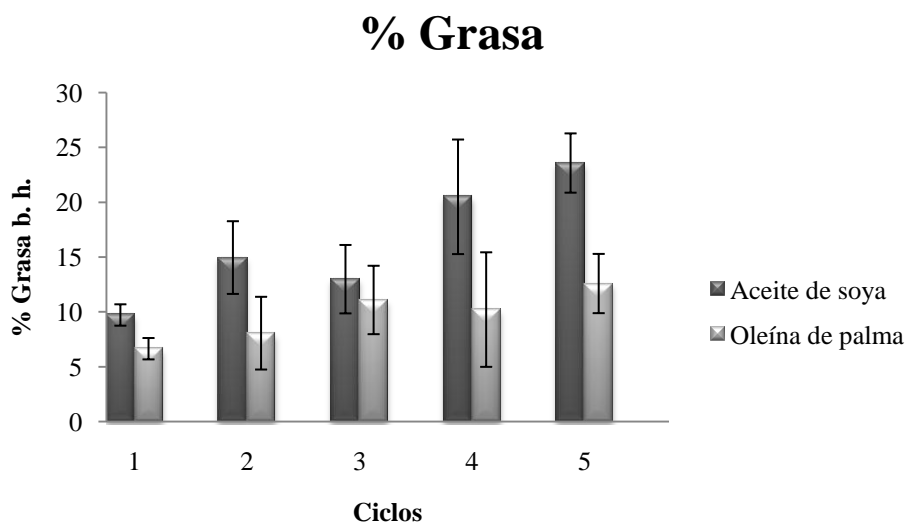


Figura 9 Contenido de grasa (base húmeda) en papas freídas con aceite de soya y con oleína de palma.



### 7.2.2 Humedad

La humedad de las papas freídas en aceite de soya y en oleína de palma fue disminuyendo conforme aumentó el número de ciclos de freído. Esto se observa en la figura 7.10.

El contenido de humedad en las papas freídas con oleína de palma es mayor que en las freídas con aceite de soya. Esto se debe a que, como indican Paul y Mittal (1997), el proceso de freído consta de varias fases: en la primera ocurre una transferencia de humedad; cuando el alimento entra en contacto con el aceite el calor fluye del medio de freído a la superficie del alimento ocasionando que el agua de la superficie del alimento se evapore y migre hacia el aceite. El agua del interior del alimento escapa a la superficie, dejando poros y capilares vacíos que son ocupados después por el aceite. La velocidad de entrada del aceite en el alimento depende de la viscosidad y de la tensión superficial del aceite utilizado.

Debido a que la viscosidad del aceite de soya aumenta con mayor rapidez que la de la oleína de palma, las papas freídas en el primero absorben más grasa, lo cual indica que la humedad debe disminuir para dejar el espacio libre al aceite.

Un estudio realizado por Moreno (s/a), sobre la calidad de la papa para usos industriales, indicó que entre los requerimientos de calidad que deben cumplir las papas a la Francesa se encuentra un contenido de materia seca igual o mayor a 20%, es decir,

un contenido de humedad menor a 80%. Los valores obtenidos en este estudio fueron incluso menores de 70%, lo que indica que su calidad es buena.

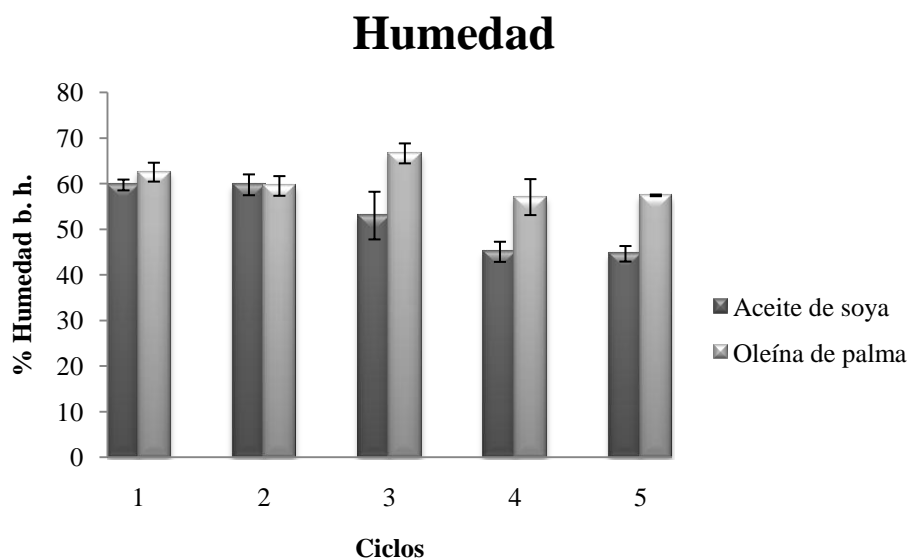


Figura 10 Porcentaje de humedad (base húmeda) en papas freídas con aceite de soya y oleína de palma después de cinco ciclos de freído.

El análisis estadístico realizado demostró que sí hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), tanto para el aceite de soya, como para la oleína de palma en el contenido de humedad durante los cinco ciclos de freído. En un análisis estadístico de dos vías, comparando los ciclos 1 y 5, se observó que el tipo de aceite, así como el ciclo influyen significativamente ( $p < 0.05$ ) en el contenido de humedad.

### 7.2.3 Color

El color de las papas, tanto las freídas con aceite de soya como con oleína de palma, no varió significativamente ( $p < 0.05$ ), según el análisis estadístico realizado por separado para cada aceite. El análisis estadístico de dos vías demostró que el tipo de aceite no influye significativamente ( $p > 0.05$ ) en el color final de las papas después del proceso de freído.

Los resultados del cambio neto de color se observan en la figura 7.11.

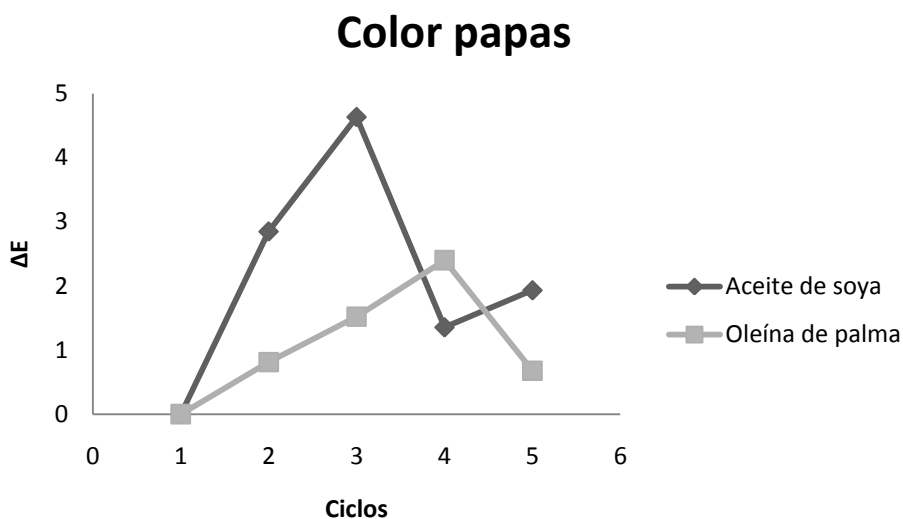


Figura 11 Cambio neto de color ( $\Delta E$ ) en las papas freídas con aceite de soya y oleína de palma después de cinco ciclos de freído.

### 7.2.4 Textura

Se tomaron diez muestras diferentes para medir la textura. Como se observa en la figura 7.11 las desviaciones estándar son amplias, con valores desde 0.72 N hasta 3.49 N. Lo anterior se puede deber a que los cortes son de diferentes partes de la papa.

La figura 7.11 muestra una tendencia de aumento en la textura. Esto se debe a que, al aumentar la viscosidad del aceite, el contenido de grasa es mayor en las papas y, como encontraron los autores Kozempel *et al.* (1991), existe una relación directa entre el contenido de grasa en las papas a la Francesa y la textura: al aumentar el contenido de grasa aumenta la textura de las papas.

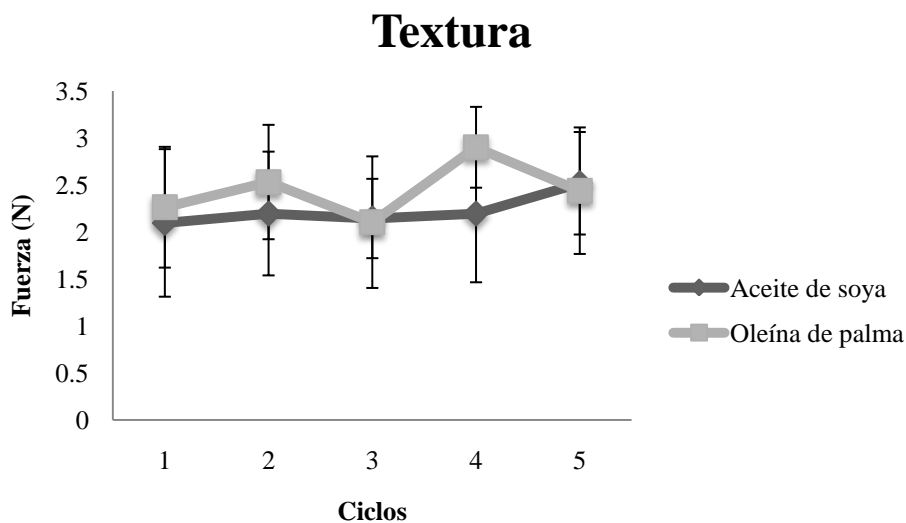


Figura 12 Textura (fuerza) de papas freídas con aceite de soya y con oleína de palma durante cinco ciclos.

El análisis estadístico realizado demostró que la textura de las papas freídas con aceite de soya cambia significativamente ( $p < 0.05$ ) con el tiempo de uso del aceite, mientras que la textura de las papas freídas con oleína de palma no varía significativamente ( $p > 0.05$ ). Un análisis estadístico mostró que la textura de las papas no difiere significativamente con el tipo de aceite y que el número de ciclos tampoco afecta al resultado.