

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Departamento de Agroindustria Alimentaria**  
**Ingeniería en Agroindustria Alimentaria**



Proyecto Especial de Graduación

**Evaluación de la calidad fisicoquímica del aceite de fritura en dos  
centros de servicios alimentarios en la Escuela Agrícola Panamericana  
Zamorano**

Estudiante

Nicol Mari Pinales Arias

Asesores

Luis F. Maldonado, PhD

Jorge A. Cardona, PhD

Honduras, Julio 2021

**Autoridades**

**TANYA MÜLLER GARCÍA**

Rectora

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**ADELA M. ACOSTA MARCHETTI**

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

**HUGO ZAVALA MEMBREÑO**

Secretario General

### **Agradecimientos**

Agradezco al Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología (MESCyT) del Gobierno de la República Dominicana, por brindarme una beca de estudios completa, en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, para cursar mi ingeniería en Agroindustria Alimentaria.

## Contenido

Agradecimientos .....	3
Índice de Cuadros.....	6
Índice de Figuras .....	8
Índice de Anexos .....	9
Resumen .....	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
Materiales y Métodos.....	15
Localización del Estudio .....	15
Materiales para Freído.....	15
Recolección de Muestras.....	15
Análisis Físicos.....	16
Análisis de Color.....	16
Análisis de Viscosidad .....	17
Análisis Químicos .....	20
Ácidos Grasos Libres .....	20
Ácido Tiobarbitúrico (TBA).....	21
Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) .....	23
Humedad al Vacío .....	23
Índice de Peróxidos.....	24
Índice de Yodo.....	27
Análisis de Tocoferoles .....	28
Compuestos Polares Totales.....	30
Análisis de Dienos Conjugados .....	32

Perfil de Ácidos Grasos .....	33
.....	35
Diseño Experimental .....	35
Análisis Estadístico .....	36
Resultados y Discusión.....	37
Análisis Físicos.....	37
Análisis de Color.....	37
Análisis de Viscosidad .....	38
Análisis Químicos .....	47
Análisis de Índice de Acidez y Ácidos Grasos Libres .....	47
Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) .....	49
Índice de Peróxidos.....	50
Índice de Yodo.....	52
Análisis de Tocoferoles .....	53
Análisis de Compuestos Polares Totales.....	55
Análisis de Dienos y Trienos Conjugados.....	56
Análisis de Ácido Tiobarbitúrico.....	58
Análisis de Perfil de Ácidos Grasos .....	59
Conclusiones .....	62
Recomendaciones.....	63
Referencias.....	64
Anexos.....	72

### Índice de Cuadros

Cuadro 1 Condiciones del cromatógrafo de gases para el análisis de perfil de ácidos grasos.....	34
Cuadro 2 Descripción de los tratamientos en función de los centros de alimentación evaluados. ....	36
Cuadro 3 Resultados del análisis de color en la escala L a b del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	38
Cuadro 4 Lecturas de viscosidad dinámica (mPa.s) del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	40
Cuadro 5 Valores de esfuerzo para los diferentes modelos reológicos para el tratamiento control...	41
Cuadro 6 Valores de esfuerzo para los diferentes modelos reológicos para el tratamiento con 3 horas de uso.....	41
Cuadro 7 Valores de esfuerzo para los diferentes modelos reológicos para el tratamiento con 6 horas de uso.....	42
Cuadro 8 Valores de esfuerzo para los diferentes modelos reológicos para el tratamiento con cuatro horas de uso.....	42
Cuadro 9 Valores de esfuerzo para los diferentes modelos reológicos para el tratamiento con 24 horas de uso.....	43
Cuadro 10 Promedios absolutos del error porcentual. ....	43
Cuadro 11 Desviaciones estándar del promedios absoluto del error porcentual. ....	44
Cuadro 12 Resultados del análisis de acidez y ácidos grasos libres del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	48
Cuadro 13 Resultados del análisis de índice de estabilidad oxidativa del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	50
Cuadro 14 Resultados del análisis de índice de peróxidos del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	51

Cuadro 15 Resultados del análisis de índice de yodo del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	53
Cuadro 16 Resultados del análisis de tocoferoles totales del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	55
Cuadro 17 Resultados del análisis de compuestos polares totales del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	56
Cuadro 18 Resultados del análisis de dienos y trienos conjugados del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	58
Cuadro 19 Resultados del análisis de ácido tiobarbitúrico (TBA) del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	59
Cuadro 20 Resultados del análisis de perfil de ácidos grasos del aceite de fritura (g/100 g de aceite) evaluado en los centros de alimentación. ....	61

## Índice de Figuras

Figura 1 Tratamientos recolectados para el estudio.....	16
Figura 2 Muestras de aceite de acuerdo con los distintos tratamientos.....	17
Figura 3 Cambios en la coloración de la muestra antes (A) y después de la reacción de TBA (B) con productos de la oxidación secundaria.....	22
Figura 4 Curva estándar de calibración de Fe(III).....	25
Figura 5 Muestras del análisis de peróxidos donde se muestra la oxidación Fe(II) a Fe(III). .....	27
Figura 6 Curva estándar de Calibración de DL $\alpha$ - Tocopherol.....	28
Figura 7 Cromatograma de tocoferoles con estándar interno. ....	29
Figura 8 Set de columnas fraccionadas para la determinación de compuestos polares totales.	30
Figura 9 Cromatograma de Perfil de ácidos grasos del tratamiento control.....	35
Figura 10 Viscosidades de los tratamientos evaluados a 40 °C. ....	44
Figura 11 Reograma de Hershel Buckley para los cinco tratamientos evaluados. ....	45
Figura 12 Reograma de Power Law para los cinco tratamientos evaluados. ....	45
Figura 13 Reograma de Casson para los cinco tratamientos evaluados.....	46
Figura 14 Promedio absoluto del error porcentual (EAAP) de los modelos reológicos.....	46
Figura 15 Desviación estándar del error porcentual promedio (SD-EAAP) de los modelos reológicos. ....	47
Figura 16 Procesos de descomposición que sufren los aceites. ....	52



## Índice de Anexos

Anexo A Muestras de aceite empleadas para el análisis de Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI).....	72
Anexo B Muestras de aceite antes (A) y después (B) de ser sometidas al horno al vacío para la determinación de humedad. ....	73
Anexo C Resultados del análisis de humedad del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	74
Anexo D Muestras de aceite empleadas para perfil de ácidos grasos. ....	75
Anexo E Resultados del análisis de correlación de los análisis químicos del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación. ....	76
Anexo F Gráficas del modelo reológico de Power Law de los cinco tratamientos evaluados.....	77
Anexo G Gráficas de Hershel Buckley de los cinco tratamientos evaluados. ....	78
Anexo H Gráficas del modelo reológico de Casson de los cinco tratamientos evaluados.....	79
Anexo I Muestran de aceite antes (A) y después (B) de la determinación de acidez y ácidos grasos libres.....	80
Anexo J Gráficas del OSI de los cinco tratamientos evaluados.....	81

## Resumen

En la industria alimentaria, catering y comida rápida, el aceite se utiliza varias veces antes de ser descartado; esta práctica puede tener un efecto negativo sobre sus propiedades fisicoquímicas. En el presente estudio se evaluó la calidad fisicoquímica del aceite de fritura usado en dos centros de servicios de alimentación en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, donde se usó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con cinco tratamientos, en función al tiempo y uso de fritura del aceite con tres repeticiones. Se determinó la calidad del aceite en los centros alimentarios por medio de la cuantificación de los ácidos grasos libres, composición de ácidos grasos, tocoferoles totales, el cambio en viscosidad, estabilidad oxidativa, índice de peróxidos y compuestos polares totales. Se encontró que la calidad del aceite fue menor en el Kellogg Café, donde se encontró que los ácidos grasos libres excedieron en 30% el límite permitido, además, aumentaron los ácidos grasos trans y disminuyó el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, tocoferoles totales y la estabilidad oxidativa con un tiempo de inducción de 5.68 h. La viscosidad incrementó debido a la presencia de compuestos poliméricos en el aceite y tuvo un comportamiento no Newtoniano ajustándose a un modelo reológico de Casson. Los peróxidos no excedieron el límite de 5 Meq O<sub>2</sub>/kg de muestra, establecido por el Reglamento Técnico Centroamericano, y los compuestos polares totales incrementaron con el tiempo de fritura y uso del aceite, donde el tratamiento con 24 horas de uso superó el máximo permitido en 26.95%.

*Palabras clave:* Ácidos grasos libres, compuestos polares totales, estabilidad oxidativa, peróxidos, viscosidad.

### Abstract

In the food catering and fast-food industry, the oil is used several times before being discarded; this practice can have a negative effect on their physicochemical properties. In the present study, the physicochemical quality of the frying oil used in two food service centers at the Pan American Agricultural School, Zamorano, was evaluated, where a Randomized Complete Block (RCB) design was used with five treatments, depending on the time and use of oil frying with three repetitions. The quality of the oil in the food centers was determined by quantifying free fatty acids, fatty acid composition, total tocopherols, the change in viscosity, oxidative stability, peroxide index, and total polar compounds. It was found that the quality of the oil was lower in the Kellogg Café, where it was found that the free fatty acids exceeded by 30% the allowed limit, in addition, trans fatty acids increased and the content of polyunsaturated fatty acids, total tocopherols and oxidative stability decreased with an induction time of 5.68 h. The viscosity increased due to the presence of polymeric compounds in the oil and had a non-Newtonian behavior, adjusting to a Casson rheological model. The peroxides did not exceed the limit of 5 Meq O<sub>2</sub> / kg of the sample, established by the RTCA, and the total polar compounds increased with the time of frying and use of the oil, where the treatment with 24 of use exceeded the maximum allowed by 26.95%.

*Keywords:* Free fatty acids, oxidative stability, peroxides, total polar compounds, viscosity.

## Introducción

Desde la antigüedad, los aceites de origen vegetal son consumidos por los seres humanos con fines muy diversos, que van desde la alimentación hasta la cosmetología (Pons 2015). Sin embargo, en los últimos años, la producción y el consumo de aceites vegetales ha aumentado considerablemente, tanto para su uso en crudo como en procesos de cocción; siendo el caso de la fritura (Lázaro Vela 2018).

Los aceites son grasas líquidas a temperatura ambiente, y provienen de plantas oleaginosas diferentes y de algunos pescados. Entre los aceites más consumidos se encuentran el aceite de cártamo, canola, maíz, oliva, maní, palma, girasol y soya (FDA 2020). Siendo este último, uno de los cultivos más importantes de la región latinoamericana, y es uno de los cultivos de mayor valor en el mundo, por sus usos agroindustriales como la producción de aceite, que presenta un avance significativo en Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay (Meira et al. 2019).

El aceite de soja se utiliza en la mayoría (94%) de los puestos de frituras y su vida útil es de 6 horas (60%) o un día de trabajo (Freire et al. 2013). Los aceites vegetales son ampliamente comercializados en el mercado internacional; representando uno de los porcentajes comerciales más altos (42%) de producción de todos los productos agrícolas básicos (OCDE y FAO 2017). Por lo cual, una gran parte de la producción mundial es destinada al uso de frituras (Baca Ruiz 2019).

La fritura de los alimentos es definida como la cocción en aceite o grasa caliente a temperaturas elevadas (175-185 °C), donde el aceite actúa como transmisor del calor produciendo un calentamiento rápido y uniforme en el alimento (Arango Parrado 2011). La fritura, incluida la fritura profunda, es uno de los métodos más favorables y populares de preparación de alimentos en el hogar y en las industrias (Ghobadi et al. 2018).

Durante el proceso de fritura, los alimentos sufren cambios en sus características físicas, químicas y sensoriales debido a que el aceite pasa a ser un ingrediente más de éstos, actuando como medio de transmisión de calor (Rivera et al. 2014). Los aceites vegetales de contenido oleico son

excepcionalmente adecuados para aplicaciones de fritura; sin embargo, durante las condiciones de fritura, se producen simultáneamente una multitud de reacciones químicas complejas. Estas incluyen hidrólisis, oxidación, polimerización, descomposición de lípidos y otras reacciones térmicas que dan como resultado la formación de numerosos compuestos indeseables (Senanayake 2018).

Los alimentos fritos son muy populares para los consumidores debido a la rapidez de su preparación y la fascinación por el color, el sabor, la textura y el gusto. Por lo que, el proceso de fritura profunda aumenta la degradación de los ácidos grasos insaturados, el color, la viscosidad, el desarrollo de espuma, el contenido de ácidos grasos libres, los compuestos polares totales y los compuestos poliméricos (Sajjadi et al. 2019).

La calidad de los alimentos fritos está muy determinada por la calidad del aceite y los tipos de alimentos que se fríen. En la industria alimentaria, catering y comida rápida, los alimentos se fríen repetidamente en el mismo aceite durante varios días; por consiguiente, durante este período, el aceite o la grasa se degradan significativamente, provocando efectos nocivos para la salud humana (Kalogianni et al. 2017). Comúnmente, un aceite se utiliza varias veces antes de ser descartado; hasta 22 veces en los servicios de alimentación y hasta 30 en restaurantes, en este número de frituras se pueden presentar cambios importantes en la composición del aceite (Gómez Ramírez et al. 2014).

La oferta de alimentos sometidos a fritura profunda en los servicios de alimentación es amplia, con pocos controles en el proceso y en las grasas o aceites usados. Por consiguiente, el aceite de freír usado puede contener más de 400 diferentes productos de reacciones inducidas por calor, donde la mayoría de las cuales se absorben en los alimentos fritos (Sebastian et al. 2014). El monitoreo de la calidad del aceite en el servicio de alimentos utiliza indicadores de calidad basados en atributos como hora de uso, evolución de humo, y cambio de color original en conjunto de la medición en porcentaje de ácidos grasos libres, índice de peróxido, niveles de p-anisidina, Compuestos Polares Totales (CPT) y temperatura (Freire et al. 2013). De tal manera, que los principales factores que influyen en la calidad y estabilidad del aceite durante la fritura son el tipo de aceite o grasa utilizada, temperatura,

tiempo y números de ciclos de fritura, exposición al aire (Oxígeno), humedad, vapor y prooxidantes, la presencia o ausencia de antioxidantes, y eliminación y reposición de aceite durante la fritura (Öğütcü et al. 2012; Senanayake 2018).

La temperatura relativamente alta de fritura (150-180 °C) y al calentamiento repetido; dan como resultado otras transformaciones en las propiedades fisicoquímicas del aceite de fritura (Esfarjani et al. 2019). Se ha informado, que tales tratamientos térmicos, en el proceso de fritura, producen diversas cantidades de grasas trans en función de los aceites utilizados. Además, se ha demostrado que la formación de ácidos grasos trans está estrechamente relacionada con la temperatura y el tiempo del proceso, afectando la calidad de los alimentos en términos de vida útil, nutrición y calidad alimentaria (Rani et al. 2010). En consecuencia, se producen diversos subproductos, como ésteres, aldehídos, cetonas y peróxidos que pueden ser absorbidos por los alimentos (Esfarjani et al. 2019).

Por tanto, el propósito de este estudio radicó en determinar la calidad y rancidez de los aceites residuales de los procesos de fritura de los centros de servicios de alimentación, el Comedor Estudiantil Doris Stone y el Kellogg Café, de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.

Los objetivos de la presente investigación fueron:

Determinar la calidad de los aceites de fritura del Comedor Estudiantil Doris Stone y el restaurante Kellogg Café.

Identificar el contenido de ácidos grasos libres, composición de ácidos grasos y tocoferoles totales de los aceites de fritura.

Evaluar la viscosidad y estabilidad oxidativa de las muestras de aceites de fritura.

Determinar el índice de peróxidos y los compuestos polares totales.

## **Materiales y Métodos**

### **Localización del Estudio**

El estudio se llevó a cabo, desde octubre del 2020 hasta mayo del 2021. Las muestras se obtuvieron del Comedor Estudiantil Doris Stone y el Restaurante Kellogg Café y fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ), ubicado en el Departamento de Agroindustria Alimentaria. Dichas instalaciones se encuentran localizadas en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano a 30 km al este de Tegucigalpa, carretera a Danlí, Valle del Yeguaré, San Antonio de Oriente, Departamento Francisco Morazán, República de Honduras.

### **Materiales para Freído**

Se utilizaron freidoras industriales (Imperial, Fritermia, USA) de acero inoxidable con dos canastas y una capacidad de 23 – 25 kg de aceite, programadas mediante un termostato a 177°C, además, se emplearon varios estilos de papas comerciales, previamente congeladas y crudas, de acuerdo con el tipo de menú de que éstas eran complemento. Fueron sometidas a un proceso de fritura con aceite de soya refinado comercial (FL, EUA) en contenedores de 15.88 Kg, el cual pasó por un proceso de fritura a diferentes usos y tiempos; donde además contenía agentes antioxidantes y antiespumantes artificiales añadidos.

### **Recolección de Muestras**

Las muestras de aceite se obtuvieron en botes de plástico recubiertos en papel aluminio (Figura 1) con el fin de minimizar su exposición a factores ambientales; en volúmenes de 1.25-3 L de producto, del Comedor Estudiantil Doris Stone, al día siguiente del proceso de fritura a las 5:00 am, después de que los aceites estuvieran a temperatura ambiente y fueron drenados y colados de la freidora, tras un proceso de un solo uso con tres horas de fritura continua y después de un segundo uso con total de seis horas de fritura continua. De la misma manera, en el restaurante Kellogg Café, se recolectaron las muestras al día siguiente a las 10:30 am y 7:30 pm al transcurrir un lapso de cuatro horas de fritura continua y después de tres días de uso con ocho horas de fritura continua-intermitente.

**Figura 1**

*Tratamientos recolectados para el estudio*



Se evaluó el color a los cinco tratamientos con tres repeticiones, usando el colorímetro ColorFlex Hunter; mediante el método AN 1018.00. (Hunter Associates 2012) utilizando las coordenadas L a b. En la cual, el eje “L” representó la luminosidad que presentaron los aceites tras pasar diferentes tiempos de fritura; la escala de “L” se expresó en un rango de 0 -100, donde 0 fue negro y 100 fue blanco. El eje “a” representó el matiz que presentaron los aceites de fritura, en un rango de -60 a +60, donde -60 fue verde y +60 fue rojo. Por último, el eje “b” representó la intensidad que presentaron los aceites de fritura, y estuvieron en un rango de -60 a +60, donde -60 fue azul y +60 fue amarillo.

Se calibró el equipo con los estándares de referencia, para ello, se colocó el plato de color negro primero, luego el estándar blanco, y se realizó la lectura de estos. Se corroboró que la lectura estuviera dentro de los márgenes establecidos. Una vez el equipo fue calibrado se procedió a analizar las 15 unidades experimentales, provistas en la Figura 2.

Se tomó la tasa del ColorFlex y se vertió aproximadamente cinco gramos de muestra, y se recubrió con una tapadera blanca. Se colocó la tasa junto a la muestra en el ColorFlex y se recubrió



con un tapadera negra. Se procedió a la lectura de todas las muestras y se anotó el cuadro de resultados brindado por el equipo y se calculó el diferencial del color utilizando la Ecuación 1:

$$\Delta E_{\text{Lab}} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad [1]$$

Donde.:

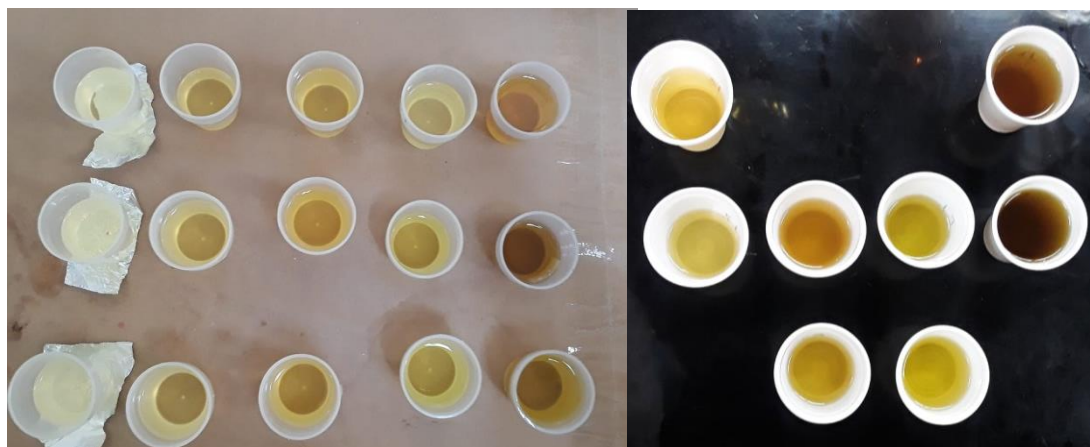
L.: Luminosidad.

a.: Matiz.

b.: Intensidad.

### Figura 2

*Muestras de aceite de acuerdo con los distintos tratamientos.*



### **Análisis de Viscosidad**

Se determinó la viscosidad dinámica de los tratamientos evaluados, donde se empleó el viscosímetro Brookfield (DV-III ULTRA, Brookfield Engineering Laboratories Inc., Middleboro, MA, EE.UU.) (ISO 2011). A los cinco tratamientos por tres repeticiones. Para el análisis, se depositó 600 mL de cada aceite en un vaso de precipitado y se colocó en un baño maría para mantener la temperatura constante a 40 °C. De igual forma, se aplicaron 10 tasas de cizallamiento, desde 30 a 130 RPM, en incrementos de 10 RPM; tomando mediciones cada dos minutos entre las tasas de cizalla, donde se usó un Spindle RV #1 para la medición.

Se evaluó el comportamiento reológico, siguiendo la metodología propuesta por Folayan et al. (2017) donde se describió el comportamiento de fluidos no newtonianos, mediante la aplicación de tres modelos matemáticos, los cuales fueron.

1) Modelo reológico de Power Law, expresado según la Ecuación 2:

$$\tau = k\gamma^n \quad [2]$$

Donde.:

$k$ .: Coeficiente de consistencia.

$n$ .: Índice del comportamiento del fluido.

$\gamma$ .: Gradiente de velocidad (tasa de cizalla).

$\tau$ .: Esfuerzo cortante.

Los parámetros  $k$  y  $n$  se determinaron a partir de una gráfica de  $\log(\tau)$  versus  $\log(\gamma)$ , donde  $K$  es el intercepto y  $n$  la pendiente de la línea recta resultante, de la Ecuación 3.

$$\log(\tau) = \log(k) + n\log(\gamma) \quad [3]$$

2) Modelo reológico de Hershel-Buckley, expresado según a Ecuación 4:

$$\tau = \tau_{0H} + K_H \gamma^{n_H} \quad [4]$$

Donde:

$\tau_{0H}$ .: Límite de fluencia.

$k_H$ .: Coeficiente de consistencia de Hershel-Buckley.

$n_H$ .: Índice del comportamiento del fluido de Hershel-Buckley.

$\gamma$ .: Gradiente de velocidad (tasa de cizalla).

$\tau$ .: Esfuerzo cortante.

Los parámetros  $k$  y  $n$  se determinaron a partir de la función de Solver en Microsoft Excel, para obtener un valor de esfuerzo cortante práctico con la Ecuación 2, al cual se le restaron los valores de viscosidad dados por el reómetro y se elevó al cuadrado (Esfuerzo cortante práctico), donde se realizó una gráfica de  $\log(\tau - \tau_{0H})$  versus  $\log(\gamma)$ , en la cual, el  $\log(\tau - \tau_{0H})$  se obtuvo mediante la Ecuación 5.

$$\log(\tau - \tau_{0H}) = \log(k) + n \log(\gamma) \quad [5]$$

3) Modelo reológico de Casson, expresado según a Ecuación 6:

$$\tau^{\frac{1}{2}} = k_{oc}^{\frac{1}{2}} + k_c^{\frac{1}{2}} \gamma^{\frac{1}{2}} \quad [6]$$

Donde.:

$k_{oc}^{\frac{1}{2}}$ .: Límite elástico de Casson.

$k_c^{\frac{1}{2}}$ .: Viscosidad plástica de Casson.

$\gamma$ .: Gradiente de velocidad (tasa de cizalla).

$\tau$ .: Esfuerzo cortante.

Los parámetros  $k_{oc}$  y  $k_c$  se determinaron a partir de una gráfica de  $\log(\tau^{0.5})$  versus  $\log(\gamma^{0.5})$ , donde  $k_{oc}$  es el intercepto y  $k_c$  la pendiente de la línea recta resultante, de la Ecuación 7.

$$\tau^{0.5} = (k_{oc}^2) + (k_c^2) \gamma^{0.5} \quad [7]$$

Se calculó el promedio absoluto del error porcentual y la desviación estándar el error porcentual promedio a través de las Ecuaciones 8 y 9.

$$EAAP = \frac{1}{N} \left[ \sum \left| \frac{\tau_{medido} - \tau_{calculado}}{\tau_{medido}} \right| \right] \times 100 \quad [8]$$

$$SD_{EAAP} = \sqrt{\frac{\sum f (\text{e\% error} - EAAP)^2}{\sum f}} \quad [9]$$

## **Análisis Químicos**

### **Ácidos Grasos Libres**

Se evaluó el contenido de ácidos grasos libres mediante el método acidez titulable convertido a porcentaje de ácido oleico, en cada tratamiento por tres repeticiones siguiendo el método de la AOCS 3d-63 (AOCS 2017a).

Para el análisis se usó una solución blanco por cada muestra de aceite, la solución se llevó a cabo utilizando el 50% del volumen total de Tolueno e Isopropanol, en un volumen total de 125 mL; se empleó fenolftaleína como tinte indicador y se neutralizó utilizando hidróxido de potasio metanólico (KOH) al 0.1M. Se preparó la solución en constante agitación usando 62.5 mL de Tolueno e Isopropanol, se le añadió 2 mL de fenolftaleína al 2M y KOH metanólico al 0.1M, donde se anotó el volumen gastado. Se usaron dos Erlenmeyer de 300 mL por cada unidad experimental, donde el primero contuvo los 20 g de muestra y el segundo la solución blanco-neutralizada.

Se transfirió la solución neutralizada a la muestra y se tituló con KOH metanólico hasta llegar a un color rosa- violeta pálido, y se anotó nuevamente el volumen gastado y se determinó el valor de acidez convertido a ácido oleico, usando la Ecuación 10:

$$\%FFA = \frac{(A-B) \times 0.1 \times 56.11}{W} \quad [10]$$

Donde:

A: Volumen de KOH de la muestra.

B: Volumen de KOH de la solución blanco.

W: Es el peso de la muestra (g).

0.1: Es la molaridad del KOH.

56.11: Es el peso molecular del KOH.

FFA: Ácidos libres expresados como ácido oleico.

2.81: Es el factor de conversión de acuerdo con el método AOCS 3d-63 para convertir los valores de acidez a porcentaje de ácido oleico.

### **Ácido Tiobarbitúrico (TBA)**

Se evaluó el valor de ácido tiobarbitúrico (TBA); a cada tratamiento por tres repeticiones, mediante el método de la AOCS Cd 19-90 (AOCS 2017e).

Se preparó una solución madre pesando 200 mg de ácido tiobarbitúrico, la cual se disolvió en 100 mL de 1- butanol en un matraz volumétrico de 250 mL. La misma se agitó con ayuda de un vortex (Thermo Fisher Scientific, MA, EUA) por cinco minutos luego se colocó en un baño por ultrasonido durante 20 minutos, por último, se transfirió 25 mL a los cuatro tubos de ensayo de centrifugación de 50 mL, donde se centrifugó a 6000 RPM durante seis minutos para disolver y remover todas las partículas en suspensión.

Se prepararon las muestras pesando 100 mg de cada aceite en matraces de 25 mL, luego se añadió 10 mL de 1-butanol en una probeta para disolver la muestra y se aforó a hasta los 25 mL, después se agitaron en un vortex durante 30 segundos a 2500 RPM. Se emplearon 15 tubos de ensayo de cristal donde se les transfirió 5 mL de la solución madre y se les agregó 5 mL de cada muestra de aceite disuelta en 1-butanol, y se agitó en un vortex durante 30 segundos a 2500 RPM.

Posteriormente, se colocaron los tubos de ensayo en baño maría durante dos horas a 95 °C, para que ocurriera la reacción de los compuestos secundarios de la oxidación; luego se removieron y se dejaron enfriar 10 minutos para detener la reacción; la misma se pudo apreciar mediante un cambio de coloración de amarillo traslúcido a anaranjado amarillento, como se observa en la Figura 3.

### Figura 3

*Cambios en la coloración de la muestra antes (A) y después de la reacción de TBA (B) con productos de la oxidación secundaria.*



Se agitaron los tubos de ensayo en un vortex durante 30 segundos; después se midió la absorbancia **A** a 530 nm usando el espectrofotómetro de UV- visible (Agilent Technologies Cary 8454, Vic, Au) transfiriendo 2 mL de agua destilada como blanco y 2 mL de la solución madre utilizando una cubeta de cuarzo, por consiguiente, se leyó la absorbancia a 530 nm de cada muestra usando la solución madre como blanco y se calculó el valor de TBA con la siguiente Ecuación 11:

$$TBA = \frac{50 \times (A-B)}{w} \quad [11]$$

Donde:

A: Es la absorbancia de la muestra.

B: Es la absorbancia del blanco (solución madre).

W: Es el peso de la muestra (mg).

50: Es un factor válido de acuerdo con el método AOCS Cd 19-90.

### ***Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI)***

Se determinó el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) por Rancimat siguiendo el método AOCS Cd 12b-92, a todos los tratamientos por tres repeticiones (AOCS 2017b). Se utilizó el equipo Metrohm, modelo 073 Biodiesel Rancimat. Con el objetivo de conocer el tiempo de inducción en que los aceites pueden oxidarse y vida anaquel de éstos.

Previo al análisis se realizó el lavado de la cristalería y respectivos accesorios, tapaderas, mangueras, roscas, según lo establecido por el método, donde se empleó Alconox al 1% como solución detergente, la misma se preparó pesando 20 g de alconox y se disolvió en 2000 mL de agua desionizada.

Luego se procedió a lavar cada material con la solución de alconox en frío, se enjuagó cuatro veces con agua potable directamente del grifo y cuatro veces con agua desionizada, después de realizó el mismo procedimiento de lavado y enjuague con la solución de alconox caliente; posteriormente, se añadió nuevamente solución alconox caliente y se colocó la cristalería junto a los demás componentes a hervir durante una hora en una mini cubeta de aluminio.

Después de transcurrir el tiempo establecido, se realizó el mismo procedimiento de lavado y enjuague, luego los tubos y tasas se colocaron en un horno de convección a 105 °C durante 30 minutos para el secado y los componentes restantes se colocaron en cestas de plástico con papel toalla para su respectivo secado a temperatura ambiente, debido al material del cual están elaborados.

Se pesó 3 g de muestra en cada tubo (Anexo A) en una balanza OHAUS (Adventurer AX224/E, EUA) y se añadió 60 mL de agua desionizada con una probeta a cada tasa. Luego se procedió a realizar el análisis una vez el equipo alcanzó los 110 °C establecido por el método y se configuró la posición de cada muestra; donde se armó y posicionó la cristalería en el lugar previamente configurado; se corrió el análisis y se esperó que la conductividad presentará valores  $\leq 5 \mu\text{S}/\text{cm}$ ; esto fue indicativo de que se realizó una limpieza correcta de cada material.

### ***Humedad al Vacío***

Se realizó el análisis de humedad empleando un horno al vacío (Napco Vacuum Oven Model 5831, MA, EUA) de 60-100 °C a todos los tratamientos mediante el método AOAC 927.05 (AOAC 2005). Se determinó el porcentaje de humedad de las muestras de aceite durante cinco horas consecutivas. Se utilizaron tasas de aluminio (Anexo B), donde se identificaron y anotó su peso inicial, luego se les adicionó 5 g de cada muestra y se sometieron al horno una vez éste alcanzó rangos de temperatura de 50-70 °C, durante una hora a 27 in Hg de presión.

Una hora después, se sacaron las muestras del horno y se colocaron en un desecador para que se enfriaran a temperatura ambiente durante 20 minutos, luego se pesó y anotó el peso cada muestra y se colocaron nuevamente en el horno durante dos horas sin interrupción y se repitió el mismo procedimiento. Al transcurrir tres horas, las muestras se sometieron durante la cuarta y quinta hora más al horno, donde se corroboró si su peso disminuía, aumentaba o se mantuvo estable. Se calculó el porcentaje de humedad (Anexo C) usando la Ecuación 12:

$$\% \text{Humedad} = \frac{(T+MH)-(T+MS)}{w} \times 100 \quad [12]$$

Donde:

T+MH: Es el peso de la tasa más la muestra húmeda (g).

T+MS: Es el peso de la tasa más la muestra seca (g).

W: Es el peso de la muestra húmeda (g).

### ***Índice de Peróxidos***

Se realizó el análisis a todos los tratamientos por tres repeticiones, mediante una adaptación del método empleado por Hornero-Méndez et al. (2001). Donde se determinaron los miliequivalentes de peróxidos presentes en las muestras de aceites.

Previo al análisis se realizó una curva estándar, donde se preparó una solución madre de Fe(III), como se muestra en la Figura 4. La curva se preparó a una concentración de 12,000 µg/mL;



donde se pesó 600 mg de  $\text{FeCl}_3$  al 97% en un Erlenmeyer de 125 mL, y se disolvió en 50 mL de una solución 2:3 cloroformo/ácido acético (20 mL de cloroformo y 30 mL de ácido acético).

Las lecturas de la curva se midieron en concentraciones de 0  $\mu\text{g/mL}$  hasta 12,000  $\mu\text{g/mL}$ , en incrementos de 1000  $\mu\text{g/mL}$ , donde se calculó el volumen inicial de la solución de  $\text{FeCl}_3$  y los volúmenes de la solución 2:3 de cloroformo/ácido acético utilizando la Ecuación 13:

$$V1 = \frac{V2 \times C2}{C1} \quad [13]$$

Donde:

V1: Volumen inicial.

C1: Concentración inicial.

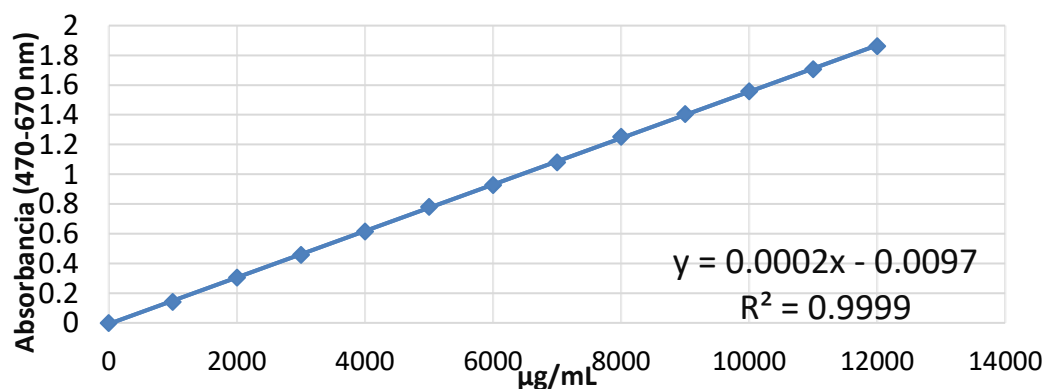
V2: Volumen final.

C2: Concentración final

Se mezclaron ambas soluciones y se agitaron durante 15 segundos en un vortex (Thermo Fisher Scientific, MA, EUA) y se leyó su absorbancia a 470 nm y 670 nm; usando el espectrofotómetro de UV- visible (Agilent Technologies Cary 8454, Vic, Au) transfiriendo 2 mL de cloroformo/ácido acético para limpiar la cubeta de cuarzo y nuevamente 2 mL de cloroformo/ácido acético como blanco, por consiguiente, se leyó la absorbancia a 470 nm y 670 nm de cada concentración y se graficó la curva estándar que se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**

*Curva estándar de calibración de Fe(III).*



Para la determinación los  $\mu\text{g/mL}$  de Fe(III), en cada una de las muestras de aceite; se pesó en tubos de centrifugación,  $0.05 \pm 0.005$  g de cada aceite, luego se les añadió 1 mL de la solución 2:3 de cloroformo/ácido acético y se les adicionó 100  $\mu\text{L}$  de Fe(II). Después se agitaron los tubos en un vórtex durante 15 segundos y se sometieron 10 minutos a oscuridad.

Posteriormente, al transcurrir los 10 minutos, a las muestras se les agregó 2 mL de agua desionizada, 4 mL de Diétil éter y de igual forma se agitaron en un vórtex durante 15 segundos y seguidamente se centrifugó a 3000 RPM por cinco minutos, en la cual se descartó la fase orgánica.

Luego, se les incorporó 100  $\mu\text{L}$  de tiocianato de potasio, el cual oxidó la muestra de Fe(II) a Fe(III); presentando una coloración rojiza, como se observa en la Figura 5. Se agitó en un vortex por 15 segundos y se dejó descansar la muestra 10 minutos. Se leyó su absorbancia a 470 nm y 670 nm; transfiriendo 2 mL de agua desionizada como blanco y posteriormente se transfirió 1 mL de la solución para limpiar la cubeta de cuarzo y nuevamente 2 mL de la solución donde se midió la absorbancia, y se determinó la concentración de Fe (III) usando la ecuación 14:

$$\mu\text{g/mL de Fe (III)} = \frac{\{(A_{470} - A_{670}) \times \text{FD}\} - A_{\text{bl}}}{M} - I \quad [14]$$

Donde:

$A_{470} - A_{670}$ : Resta de los valores de absorbancia a 470nm y 670nm.

FD: Factor de dilución.

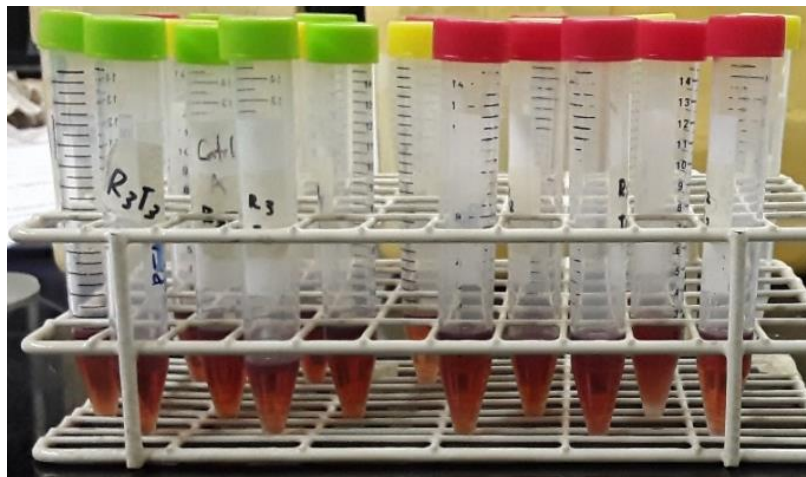
$A_{\text{bl}}$ : Valor de absorbancia del blanco.

I: Intercepto de la curva estándar.

M: Pendiente de la curva estándar.

**Figura 5**

Muestras del análisis de peróxidos donde se muestra la oxidación Fe(II) a Fe(III).



Seguido, se determinaron los miliequivalentes de O<sub>2</sub>/kg de muestra de cada aceite, utilizando la Ecuación 15:

$$\text{Miliequivalentes de O}_2/\text{kg de muestra} = \frac{\mu\text{g/mL Fe (III)}}{W \times 55.84 \times 2} \quad [15]$$

Donde:

$\mu\text{g/mL Fe III}/1000$ : concentración de Fe(III) en las muestras en miliequivalentes

W: Peso de la muestra en gramos.

Abl: Valor de absorbancia del blanco.

55.84: Peso molecular del Fe.

2: Es el factor de conversión de miliequivalentes de Fe en miliequivalentes de peróxido.

### **Índice de Yodo**

Se realizó el análisis de índice de yodo a todos los tratamientos por repeticiones mediante el método recalculado de la AOCS Cd 1c-85 (AOCS 2017d). Se determinó a partir del perfil de ácidos grasos encontrados en cada una de las muestras presentes, y se empleó el porcentaje de aquellos

ácidos que representan los ácidos grasos libres que están presentes en las muestras de aceite, de acuerdo con Pétursson (2002), a través de la Ecuación 16.

$$\text{IV-FFA} = (\% \text{ de ácido hexadecanoico} \times 0,9976) + (\% \text{ ácido octadecanoico} \times 0,8986) + (\% \text{ ácido octadecadienoico} \times 1,810) + (\% \text{ ácido octadecatrienoico} \times 2,735) + (\% \text{ ácido eicosenoico} \times 0,8175) + (\% \text{ ácido docosenoico} \times 0,7497) \quad [16]$$

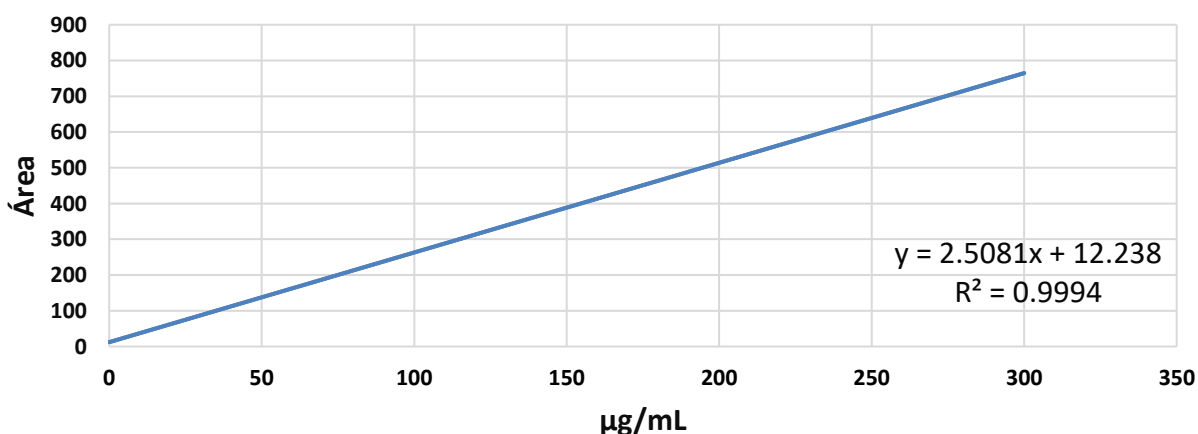
### **Análisis de Tocoferoles**

Se determinó el contenido de vitamina E, a cada uno de los tratamientos siguiendo el método empleado por Gimeno et al. (2000) con algunas modificaciones; mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés, Agilent Technologies 1100 Infinity, CA, EUA). Donde se empleó un detector DAD (Diode-Array Detection) a 292 nm, una columna de fase reversa Eclipse XDB-C18 5 $\mu$ m 150  $\times$  4.6 mm a 45 °C y se usó una relación 96:4 de metanol para cromatografía líquida y agua desionizada como fase móvil a 50  $\mu$ L como volumen inicial a un flujo de 2 mL/min bajo luz roja especial.

Previo al análisis se realizó una curva estándar, donde se preparó una solución madre de DL  $\alpha$ -Tocopherol ( $R^2= 0.9994$ ), como se muestra en la Figura 6. La curva se preparó a una concentración de 300  $\mu$ g/mL; donde se pesó 3 mg de DL  $\alpha$ -Tocopherol en un matraz volumétrico de 25 mL, y se disolvió en 10 mL de etanol al 95% y se recubrió con papel aluminio para protegerla de la luz.

**Figura 6**

*Curva estándar de Calibración de DL  $\alpha$ -Tocopherol.*



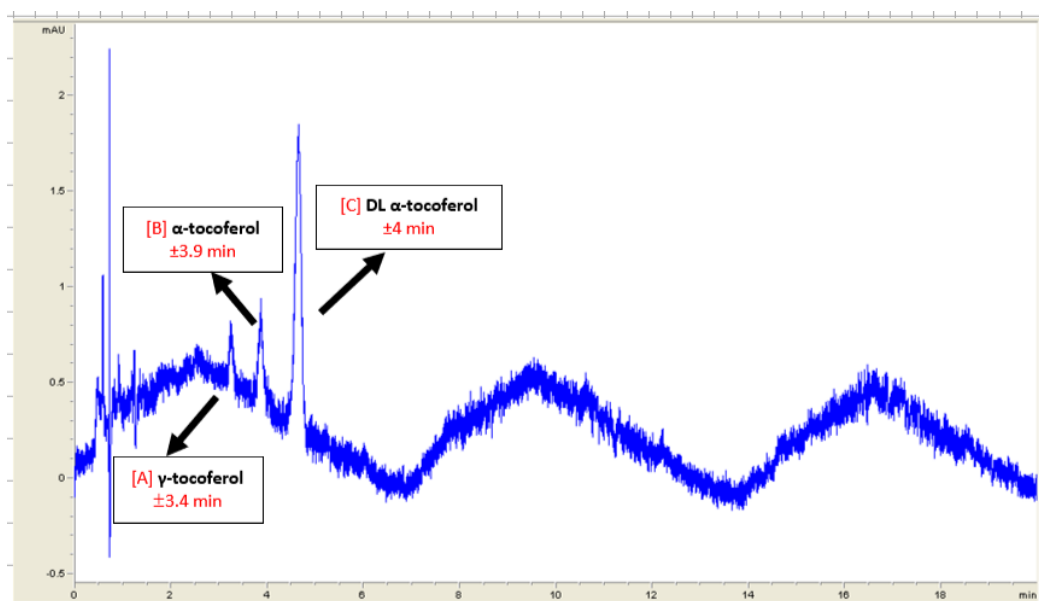
Para la determinación de tocoferoles, se preparó una solución de 1:10, donde se pesó 1 mL de cada muestra de aceite en tubos de centrifugación de 15 mL, y se disolvió en 9 mL de hexano, los cuales se cubrieron con papel aluminio dado la fotosensibilidad de la vitamina E y se agitaron en un vortex (Thermo Fisher Scientific, MA, EUA) durante un minuto a 3000 RPM.

Posteriormente, se preparó una solución como estándar interno a 300 µg/mL de DL-Alpha tocopherol (SUPELCO, PA EUA); pesando 3 mg del estándar de referencia y se diluyó en 10 mL de etanol al 95%. De la cual, se transfirió 400 µL del estándar, 600 µL de metanol y 400 µL de la muestra en tubos de centrifugación de 15 mL recubiertos de papel aluminio, donde se les agitó en un vortex durante 30 segundos y se centrifugó a 3000 RPM durante cinco minutos, después se filtró cada una de las muestras con filtros de Nylon de 0.45 µm y se transfirió a viales de color ámbar de 1.5 mL, donde se usó metanol como blanco y solvente para lavados entre cada muestra.

La identificación de los isómeros de tocoferoles se confirmó mediante el tiempo de retención del análisis de las soluciones estándar DL-α tocopherol y tocopherol (Figuras 7 y 8). Los isómeros en las muestras se calcularon como equivalente de DL-α tocopherol utilizando un estándar interno a través de una curva estándar. Los tocoferoles totales se reportaron como la suma de los isómeros: alfa-tocopherol y gamma-tocopherol.

**Figura 7**

*Cromatograma de tocoferoles con estándar interno.*



### **Compuestos Polares Totales**

Se analizó el contenido de compuestos polares totales mediante la adaptación del método de Schulte (2004), a todos los tratamientos mediante tres repeticiones de acuerdo con los tratamientos evaluados.

Previo al análisis se preparó sílica gel, donde se pesó 200 g de sílica gel, y se secó durante 14 h a 160 °C en un horno de convección de aire forzado (Fisher Scientific 750F, MA EUA). Posteriormente, se molió la sílica con mortero de cerámica, donde se redujo su tamaño de partícula y se mezcló con 10 mL de agua desionizada, donde se obtuvo una proporción de 95 partes de sílica y cinco partes de agua y se homogenizó manualmente durante cuatro minutos hasta que no quedaran restos de gránulos y nuevamente se sometió a un secado a 160 °C durante 14 h. Después se volvió a moler la sílica gel en un mortero en pequeñas fracciones, y se tamizó para obtener un tamaño de partícula menor a 425 µm.

Del mismo modo, se preparó un set de fraccionamiento con cinco columnas con jeringas de cristal (CloverTG) de 10 mL, provistas en la Figura 8, las cuales se lavaron con una solución caliente de Alconox al 1% tras su posterior remojo de 48 h; luego se secaron un con horno de convección de aire forzado a 105 °C (Fisher Scientific 750F, MA EUA) durante 24 h.

### **Figura 8**

*Set de columnas fraccionadas para la determinación de compuestos polares totales.*



La preparación de las columnas se llevó a cabo, pesando 10 g de algodón, el cual se desgrasó sumergiéndolo en 100 mL de Diétil éter, durante 30 minutos. Con el algodón seco y desgrasado se formaron tres bolas, las cuales fueron comprimidas dentro de las jeringas, la primera cerca de la zona de descarga, para asegurar que solo pase el solvente y la muestra, la segunda bola de algodón contuvo  $1 \pm 0.05$  g de sílica gel, la cual actúa como filtro y la tercera de recubrimiento. De la misma manera, se contó con tasas de aluminio ( $5.4 \times 1.4$  mm) donde se recolectó la muestra; las cuales previamente fueron lavadas conalconox al 1% donde se removió cualquier suciedad o resto de muestra y secadas por 20 minutos en el horno de convección a  $105$  °C luego se anotó el peso de la tasa vacía al transcurrir 15 minutos de enfriamiento.

Para el análisis se pesó 1 g de muestra en un matraz volumétrico de 10 mL y se disolvió con 8 mL de Tolueno y se aforó el matraz, luego se agitó en un vortex (Thermo Fisher Scientific, MA, EUA) a 3000 RPM durante 30 segundos. En cada jeringa se pipeteó 2 mL de la muestra, luego se humedeció la columna con 1 mL de la solución eluyente 80:20 de Hexano-Diétil éter y por consiguiente se lavó la columna con 7 mL de la misma solución y se dejó 15 minutos donde se terminó de drenar la solución eluyente y se le añadió 500  $\mu$ L de tolueno para lavar la punta de la jeringa.

Luego las tasas de colocaron en un desecador plástico con sílica gel, y se llevaron a un horno al vacío a  $50-65$  °C sin aplicación del vacío, donde se terminó de evaporar el solvente y secar la tasa durante 15 minutos, después se colocaron en el desecador, durante 15 minutos para su enfriamiento y se pesó la tasa con los componentes no polares, calculados usando la Ecuación 17 y los componentes polares se determinaron empleando la Ecuación 18.

$$Cp = \frac{Ws - Wn}{Ws} \times 100 \quad [17]$$

$$TPC = Wt - Cp \quad [18]$$

Donde:

*Ws*: Peso de la muestra en gramos.

*Wn*: Peso de los componentes no polares [(tasa + muestra) – (tasa vacía)].

*Cp*: Porcentaje de compuestos polares.

*Wt*: Contenido total (100).

*TPC*: Componentes polares totales.

### **Análisis de Dienos Conjugados**

Como productos de la oxidación primaria se determinó los dienos conjugados en todos los tratamientos mediante tres repeticiones, siguiendo el método empleado por Koh y Surh (2015).

Para el análisis se emplearon matraces volumétricos de 25 mL, donde se pesó  $0.010 \pm 0.0050$  g; luego con una probeta de 10 mL se midió isooctano para cromatografía de gases con un 99.5% de pureza (Merck KGaA, Germany) para disolver la muestra y limpiar la pared del matraz y luego se volvió a agregar 10 mL y se aforó hasta los 25 mL con una micropipeta de 1 mL.

Se agitó la solución en un vortex (Thermo Fisher Scientific, MA, EUA) durante 30 segundos a 3000 RPM y se leyó su absorbancia a 233 nm mediante un espectrofotómetro UV-Visible (Agilent Technologies Cary 8454, Vic, Au); a cada tratamiento por sus tres repeticiones depositando 2 mL de la solución en la cubeta y se usó isooctano como blanco, este último se empleó para limpiar la cubeta entre las lecturas de cada tratamiento, por consiguiente, se calculó los dienos conjugados usando la Ecuación 19:

$$E_{cm}^{1\%} = \frac{A\lambda}{CL \times l} \quad [19]$$

Donde:

$E_{cm}^{1\%}$ : Es el valor de extinción.

$A\lambda$ : Es la absorbancia medida a 233 nm.

CL: Es la concentración de la muestra

l: Es la longitud de la cubeta en cm.



### **Análisis de Trienos Conjugados**

Como productos de la oxidación primaria se determinó los trienos conjugados en todos los tratamientos mediante tres repeticiones, siguiendo el método empleado por Koh y Surh (2015).

Para el análisis se emplearon matraces volumétricos de 25 mL, donde se pesó  $0.010 \pm 0.0050$  g; luego con una probeta de 10 mL se midió isooctano para cromatografía de gases (Merck KGaA, Germany) para disolver la muestra y limpiar la pared del matraz y luego se volvió a agregar 10 mL y se aforó hasta los 25 mL con una micropipeta de 1 mL.

Se agitó la solución en un vortex (Thermo Fisher Scientific, MA, EUA) durante 30 segundos a 3000 RPM y se leyó su absorbancia a 268 nm mediante un espectrofotómetro UV-Visible (Agilent Technologies Cary 8454, Vic, Au); cada tratamiento por sus tres repeticiones depositando 2 mL de la solución en la cubeta y se usó isooctano como blanco, este último se empleó para limpiar la cubeta entre las lecturas de cada tratamiento, por consiguiente, se calculó los trienos conjugados usando la Ecuación 20:

$$E_{cm}^{1\%} = \frac{A\lambda}{CL \times l} \quad [20]$$

Donde:

$E_{cm}^{1\%}$ : Es el valor de extinción.

$A\lambda$ : Es la absorbancia medida a 268nm.

CL: Es la concentración de la muestra.

l: Es la longitud de la cubeta en cm.

### **Perfil de Ácidos Grasos**

Se evaluó el contenido de ácidos grasos siguiendo el método establecido por la AOCS Ce 2b-11, (AOCS 2017c). Donde se determinó la composición de los ácidos grasos de los aceites de fritura, a todos los tratamientos por tres repeticiones. Para el análisis se emplearon 30 tubos de ensayo de

cristal (Anexo D), de los cuales a los primeros 15 tubos se les agregó 12 gotas de cada muestra de aceite, correspondiente a cada tratamiento, luego se añadieron 1.6 mL de isooctano para cromatografía de gases y 0.5 mL de hidróxido de potasio metanólico (KOH) al 2M. Posteriormente se agitó en un vortex (Thermo Fisher Scientific, MA, EUA) durante ocho minutos y se dejaron reposar las muestras 10 minutos, para la separación de fases.

Al transcurrir los 10 minutos, se tomó 0.3 mL de la fase orgánica (fase superior) de cada tubo de ensayo y se transfirió a los 15 tubos de ensayo restantes, a los mismos se les adicionó un gramo de sulfato de sodio en conjunto con 4 mL de isooctano, de la misma manera se volvieron a agitar los tubos de ensayo durante ocho minutos y se les dejó 10 minutos en reposo.

Después, se tomó 1 mL de cada tubo de ensayo y se transfirió a un vial color ámbar y se procedió al análisis, donde se empleó el cromatógrafo de gases (Cuadro 1) de la marca Agilent Technologies modelo 7890A system.

### Cuadro 1

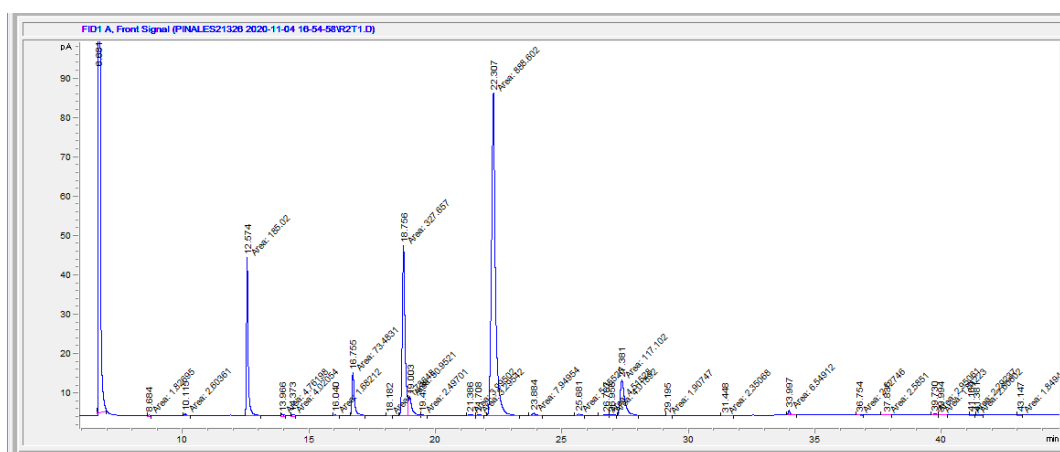
*Condiciones del cromatógrafo de gases para el análisis de perfil de ácidos grasos.*

Partes	Parámetros
Gases	Hidrógeno
Columna	SP – 2560 250°C 100 m × 250 µm × 0.25 µm
Horno	Temperatura inicial 180 °C, tiempo 32 min Temperatura final 250 °C, tiempo 31 min Velocidad de calentamiento 20 °C/min
Detector (FID)	Temperatura 325 °C Presión de aire 450 mL/min Presión de hidrógeno 40.0 mL/min Gas make up (Nitrógeno): 46 mL/min
Inyector (Split)	Temperatura 235 °C Split radio 1:100.0 Velocidad lineal 39 cm/seg
Duración del método	65 min
Volumen de inyección	1.0 µL

La identificación de los ácidos grasos se confirmó mediante el tiempo de retención del análisis de cada muestra (Figura 9), y apoyándose en los tiempos de retención de un estándar de referencia GLC 463 (Nu-Chek Prep, EUA). Para la cuantificación de cada ácido graso se usó una plantilla facilitada por el laboratorio de análisis de alimentos de Zamorano (LAAZ), la cual contiene los 53 ácidos grasos identificados en el estándar de referencia, donde se reportaron los ácidos grasos individuales como la sumatoria de ácidos saturados, monoinsaturados, polinsaturados y trans en gramos por cada cien gramos de aceite.

**Figura 9**

*Cromatograma de Perfil de ácidos grasos del tratamiento control.*



## Diseño Experimental

Se empleó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA); el estudio contó con cinco tratamientos y tres repeticiones, para un total de 15 unidades experimentales, como se describe en el Cuadro 2. Los tratamientos evaluados fueron: (control) aceite de soya sin usar, los tratamientos con tres y seis horas de uso se obtuvieron del Comedor Estudiantil Doris Stone, el tratamiento con tres horas de uso fue el aceite recolectado después de tres horas de fritura continua y un solo uso, mientras que el tratamiento con seis horas de fritura fue el aceite recolectado luego de un segundo uso.

El tratamiento con cuatro horas de uso se obtuvo después de cuatro horas de fritura continua y un uso y el tratamiento con 24 horas de fritura se recolectó luego de tres días de uso durante ocho

horas de fritura; dichos tratamientos se recolectaron del Kellogg Café. Los aceites se adquirieron del proceso de fritura de papas comerciales en distintos estilos.

### Análisis Estadístico

Los datos obtenidos se analizaron en el programa SAS® (Statistical Analysis System, por sus siglas en inglés), Versión 9.4, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), una separación de medias DUNCAN y un análisis de correlación (Anexo E). Se determinó el efecto del tiempo de fritura en la calidad y rancidez de los aceites descartados de los centros alimentarios, y se trabajó con un nivel de significancia de 95%.

### Cuadro 2

*Descripción de los tratamientos en función de los centros de alimentación evaluados.*

*Tratamiento	Tiempo total de Fritura (h)	Días de uso	*Lugar	≈ Kg. de papas
Control	0	0	Ambo	0
DS-3h	3	1	D.S	109
DS-6h	6	2	D.S	109
KC-4h	4	1	K.C	23
KC-24h	24	3	K.C	136

*Nota.* D.S.: Comedor estudiantil Doris Stone; K.C.: Restaurante Kellogg Café; ≈ Kilogramos de papas a freír de cada lugar.

Control: Aceite de soya refinado nuevo sin pasar procesos de fritura.

DS-3h: Aceite de soya refinado con un uso y tres horas de fritura continua.

DS-6h: Aceite de soya refinado con un doble uso y seis horas de fritura continua.

KC-4h: Aceite de soya refinado con un uso y cuatro horas de fritura continua.

KC-24h: Aceite de soya refinado con tres días de uso y 24 horas de fritura continua.

## Resultados y Discusión

### Análisis Físicos

#### *Análisis de Color*

Generalmente los aceites vegetales son transparentes y tienen un color amarillento o verdoso debido a la presencia de carotenoides y pigmentos de la clorofila (Endo 2018). No obstante, los aceites cambian rápidamente de un color amarillo a un marrón, como resultado combinado de la oxidación, polimerización y otros cambios químicos que también resultan en un aceite de freír (Sharoba y Ramadan 2012).

Los cambios en el color se lograron observar desde la recolección de las muestras (Figura 2), donde se evidenció el efecto de los procesos de fritura, a medida que éstos se tornaron más oscuros. En el Cuadro 3, se muestra que los resultados obtenidos presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), en la cual el valor de la escala L decreció con el uso y el tiempo de fritura en relación con el control para ambos centros de alimentación evaluados. En general, el oscurecimiento del color en el aceite se produce cuando los pigmentos desarrollados durante la oxidación y la descomposición térmica de los ácidos grasos se difunden en el aceite durante la fritura; también puede deberse a los residuos del alimento con acrilamida que se quedan en el aceite, acelerando la reducción del valor L de este (Ahmad et al. 2013). Además Przybylski et al. (2013) establecieron que el oscurecimiento de los aceites durante la fritura se atribuye principalmente a la formación de compuestos de pardeamiento no enzimático, como resultado de la reacción de Maillard y/o caramelización que ocurre en el alimento. Sin embargo, cabe señalar que el oscurecimiento de los aceites también se ve influido por la degradación de los pigmentos traza, tocoferoles y carotenoides que al reaccionar con algunos metales en combinación de altas temperaturas, lo cual afecta el color de los aceites de fritura. La disminución en los valores de L en este estudio, concuerdan con los resultados encontrados por Chamorro Ojeda (2016), quienes a evaluar las propiedades de freído durante 14 días en aceite de soya y canola durante

13 días, observaron que mientras más tiempo se reutilizaba el aceite, mayor era la tasa de oscurecimiento.

En cambio, los valores a y b, aumentaron proporcionalmente con el tiempo y uso repetido del aceite en relación con el tratamiento control, los valores de a y b oscilaron desde  $-6.0 \pm 0.1$  a  $7.2 \pm 0.8$  y  $21.8 \pm 0.2$  a  $67.4 \pm 1.1$ , respectivamente, lo que indicó que mientras más tiempo de fritura y uso del aceite, éste se tornó más rojizo en la escala a y más amarillento en la escala b. Esto concuerda con los datos reportados por Turan et al. (2021) quienes encontraron un incremento en los valores de a y b atribuidos a la oxidación del aceite de girasol y reacción de Maillard y caramelización de papas fritas cocidas en temperaturas desde 160 - 200 °C durante 1-5 minutos.

### Cuadro 3

*Resultados del análisis de color en la escala L a b del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

Tratamiento	L Media $\pm$ DE	a Media $\pm$ DE	b Media $\pm$ DE	$\Delta E$ Media $\pm$ DE
Control	$81.5 \pm 0.1^A$	$-6.0 \pm 0.1^D$	$21.8 \pm 0.2^E$	N/A
DS-3h	$72.3 \pm 1.6^C$	$-5.0 \pm 0.1^C$	$33.0 \pm 1.3^C$	$14.6 \pm 1.0^C$
DS-6h	$70.4 \pm 3.2^C$	$-4.2 \pm 0.4^B$	$35.6 \pm 1.4^B$	$18.1 \pm 1.2^B$
KC-4h	$77.8 \pm 1.9^B$	$-6.0 \pm 0.4^D$	$31.2 \pm 0.6^D$	$10.2 \pm 1.1^D$
KC-24h	$57.8 \pm 3.3^D$	$7.2 \pm 0.8^A$	$67.4 \pm 1.1^A$	$53.1 \pm 1.0^A$
% CV	2.98	0.63	0.94	4.96

Nota DE.: Desviación Estándar; CV.: Coeficiente de Variación; A-E.: diferentes letras en cada columna indica diferencia significativa ( $P < 0.05$ );

N/A.: No Aplica; L.: negro a blanco (0-100); a.: verde a rojo (-60, +60); b.: Azul a amarillo (-60, +60); Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

### **Análisis de Viscosidad**

La viscosidad incrementó con el uso repetido del aceite y el tiempo de fritura (Cuadro 3), pero disminuyó a medida se aplicaron diversas tasas de cizallamiento, lo que indicó que las muestras de aceite evaluado presentaron un comportamiento no newtoniano (Figura 10).

El incremento en la viscosidad del aceite tras el proceso de fritura, indica deterioración de este por oxidación, hidrólisis, isomerización y polimerización; siendo los polímeros el producto principal responsable de este incremento debido a que son compuesto de alto peso molecular, espesando el aceite y tornándolo más viscoso, reduciendo así su tasa de transferencia de calor (Hassanien y Sharoba 2014).

Además, se encontró que las muestras evaluadas presentaron un comportamiento no newtoniano (Cuadro 4), es decir, a medida se incrementó las tasas de cizallamiento disminuyó la viscosidad (Figura 10), por lo cual se evaluaron los modelos reológicos matemáticos de Power Law, Hershel Buckley y Casson (Figuras 11 - 13), para cada una de las muestras de aceite recolectado de ambos centros de alimentación.

En relación con el comportamiento reológico, se encontró que el modelo de Power Law, se obtuvieron los parámetros  $K$  y  $n$  del análisis de regresión de la Ecuación 3, donde se graficó para cada tratamiento (Anexo F), y se calculó el esfuerzo expresado a través de la Ecuación 21.

$$\tau = 10^k \times \gamma^n \quad [21]$$

Los resultados de esfuerzo para los cinco tratamientos evaluados con el modelo de Power Law (Cuadros 5 - 9) muestran que el tratamiento con 6 y 24 horas de uso fueron los que más aumentaron (Figura 12).

Para el modelo de Hershel-Buckley, se obtuvieron los parámetros  $K$  y  $n$  del análisis de regresión de la Ecuación 5, donde se graficó para cada tratamiento (Anexo G), y se calculó el esfuerzo expresado a través de la Ecuación 22.

$$\tau = \tau_0 + 10^k \times \gamma^n \quad [22]$$

Los resultados de esfuerzo para los cinco tratamientos evaluados con el modelo de Hershel-Buckley (Cuadros 5 - 9) muestran que el tratamiento tres y cinco fueron los que más aumentaron (Figura 11). Para el modelo de Casson, se obtuvieron los parámetros  $K$  y  $n$  del análisis de regresión de

la Ecuación 7, donde se graficó para cada tratamiento (Anexo H), y se calculó el esfuerzo expresado a través de la Ecuación 23.

$$\tau = \sqrt{k_{oc} + k_c \gamma^{0.5}} \quad [23]$$

Los resultados de esfuerzo para los cinco tratamientos evaluados con el modelo de Casson (Cuadros 5 - 9) se observa que los valores aumentaron ligeramente en relación con el control (Figura 13). Los resultados obtenidos (Cuadros 5, 6, 7, 8 y 9) fueron analizados a través de las Ecuaciones 8-9 y Cuadro 10; donde se encontró que los datos se ajustaron a un modelo matemático reológico de Casson (Cuadro 11), ya que fue el presentó menor grado de desviación respecto al esfuerzo (Figura 14-15).

#### Cuadro 4

*Lecturas de viscosidad dinámica (mPa.s) del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

Tasa de cizalla (Seg <sup>-1</sup> )	Control	DS-3h	DS-6h	KC-4h	KC-24h
30	23.63	24.71	25.01	24.00	25.41
40	17.72	18.36	18.75	18.00	19.06
50	14.18	14.69	15.00	14.40	15.25
60	11.82	12.24	12.50	12.00	12.71
70	10.13	10.49	10.72	10.29	10.89
80	8.86	9.18	9.38	9.00	9.53
90	7.88	8.16	8.33	8.00	8.47
100	7.09	7.34	7.50	7.20	7.62
110	6.45	6.68	6.82	6.54	6.93
120	5.91	6.12	6.25	6.00	6.35
130	5.45	5.65	5.77	5.54	5.86

*Nota.* Control: Aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone;

KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.



**Cuadro 5**

*Valores de esfuerzo para los diferentes modelos reológicos para el tratamiento control.*

Tasa de cizalla (Seg <sup>-1</sup> )	Viscosidad (mPa.s)	MRHB (mPa)	MRPL (mPa)	MRC (mPa)
130	23.6	68.3	16.6	2.05
120	17.7	61.5	15.4	2.01
110	14.2	55.0	14.2	1.97
100	11.8	48.8	13.0	1.92
90	10.1	42.8	11.8	1.87
80	8.9	37.0	10.6	1.81
70	7.9	31.6	9.4	1.75
60	7.1	26.5	8.1	1.68
50	6.4	21.7	6.9	1.60
40	5.9	17.3	5.6	1.51
30	5.5	13.3	4.3	1.40

*Nota.* MRHB.: Modelo Reológico de Hershel-Buckley; MRPL.: Modelo Reológico de Power Law; MRC.: Modelo Reológico de Casson.

**Cuadro 6**

*Valores de esfuerzo para los diferentes modelos reológicos para el tratamiento con 3 horas de uso.*

Tasa de cizalla (Seg <sup>-1</sup> )	Viscosidad (mPa.s)	MRHB (mPa)	MRPL (mPa)	MRC (mPa)
130	24.7	68.9	17.2	2.07
120	18.4	62.2	16.0	2.03
110	14.7	55.6	14.7	1.98
100	12.2	49.3	13.5	1.94
90	10.5	43.3	12.2	1.88
80	9.2	37.5	11.0	1.83
70	8.2	32.0	9.7	1.76
60	7.3	26.8	8.4	1.69
50	6.7	22.0	7.1	1.61
40	6.1	17.6	5.8	1.52
30	5.6	13.6	4.4	1.41

*Nota.* MRHB.: Modelo Reológico de Hershel Buckley; MRPL.: Modelo Reológico de Power Law; MRC.: Modelo Reológico de Casson.

**Cuadro 7**

*Valores de esfuerzo para los diferentes modelos reológicos para el tratamiento con 6 horas de uso.*

Tasa de cizalla (Seg <sup>-1</sup> )	Viscosidad (mPa.s)	MRHB (mPa)	MRPL (mPa)	MRC (mPa)
130	25.0	71.5	17.5	2.08
120	18.8	64.5	16.3	2.04
110	15.0	57.7	15.0	1.99
100	12.5	51.1	13.8	1.94
90	10.7	44.8	12.5	1.89
80	9.4	38.8	11.2	1.84
70	8.3	33.2	9.9	1.77
60	7.5	27.8	8.6	1.70
50	6.8	22.8	7.3	1.62
40	6.3	18.2	5.9	1.53
30	5.8	14.0	4.5	1.42

*Nota.* MRHB.: Modelo Reológico de Hershel Buckley; MRPL.: Modelo Reológico de Power Law; MRC.: Modelo Reológico de Casson.

**Cuadro 8**

*Valores de esfuerzo para los diferentes modelos reológicos para el tratamiento con cuatro horas de uso.*

Tasa de cizalla (Seg <sup>-1</sup> )	Viscosidad (mPa.s)	MRHB (mPa)	MRPL (mPa)	MRC (mPa)
130	24.0	71.3	16.6	2.06
120	18.0	64.3	15.4	2.02
110	14.4	57.5	14.2	1.97
100	12.0	50.9	13.0	1.93
90	10.3	44.6	11.8	1.87
80	9.0	38.6	10.6	1.82
70	8.0	32.9	9.4	1.75
60	7.2	27.6	8.1	1.69
50	6.5	22.5	6.9	1.61
40	6.0	17.9	5.6	1.51
30	5.5	13.8	4.3	1.40

*Nota.* MRHB.: Modelo Reológico de Hershel Buckley; MRPL.: Modelo Reológico de Power Law; MRC.: Modelo Reológico de Casson.

**Cuadro 9**

*Valores de esfuerzo para los diferentes modelos reológicos para el tratamiento con 24 horas de uso.*

Tasa de cizalla (Seg <sup>-1</sup> )	Viscosidad (mPa.s)	MRHB (mPa)	MRPL (mPa)	MRC (mPa)
130	25.4	71.9	17.8	2.09
120	19.1	64.8	16.6	2.05
110	15.3	58.0	15.3	2.00
100	12.7	51.4	14.0	1.95
90	10.9	45.1	12.7	1.90
80	9.5	39.1	11.4	1.84
70	8.5	33.4	10.1	1.78
60	7.6	28.0	8.7	1.71
50	6.9	22.9	7.4	1.63
40	6.4	18.3	6.0	1.54
30	5.9	14.2	4.6	1.42

*Nota.* MRHB.: Modelo Reológico de Hershel Buckley; MRPL.: Modelo Reológico de Power Law; MRC.: Modelo Reológico de Casson

**Cuadro 10**

*Promedios absolutos del error porcentual de los cinco tratamientos evaluados.*

Tratamientos	MRHB	MRPL	MRC
Control	256.9326	14.18045	80.83785
DS-3h	248.6514	14.28749	81.34273
DS-6h	253.7856	14.17972	81.63369
KC-4h	266.0713	13.79361	81.05644
KC-24h	250.4062	14.18470	81.85137

*Nota.* MRHB.: Modelo Reológico de Hershel Buckley; MRPL.: Modelo Reológico de Power Law; MRC.: Modelo Reológico de Casson; Control:

aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

**Cuadro 11**

*Desviaciones estándar del promedio absoluto del error porcentual.*

Tratamientos	MRHB	MRPL	MRC
Control	57.40605	7.988448	5.668087
DS-3h	55.87275	8.067356	5.530132
DS-6h	56.71269	7.991036	5.432573
KC-4h	59.41330	8.048178	5.605368
KC-24h	55.89665	7.985513	5.371841

*Nota.* MRHB.: Modelo Reológico de Hershel Buckley; MRPL.: Modelo Reológico de Power Law; MRC.: Modelo Reológico de Casson; Control:

aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

**Figura 10**

*Viscosidades de los tratamientos evaluados a 40 °C.*

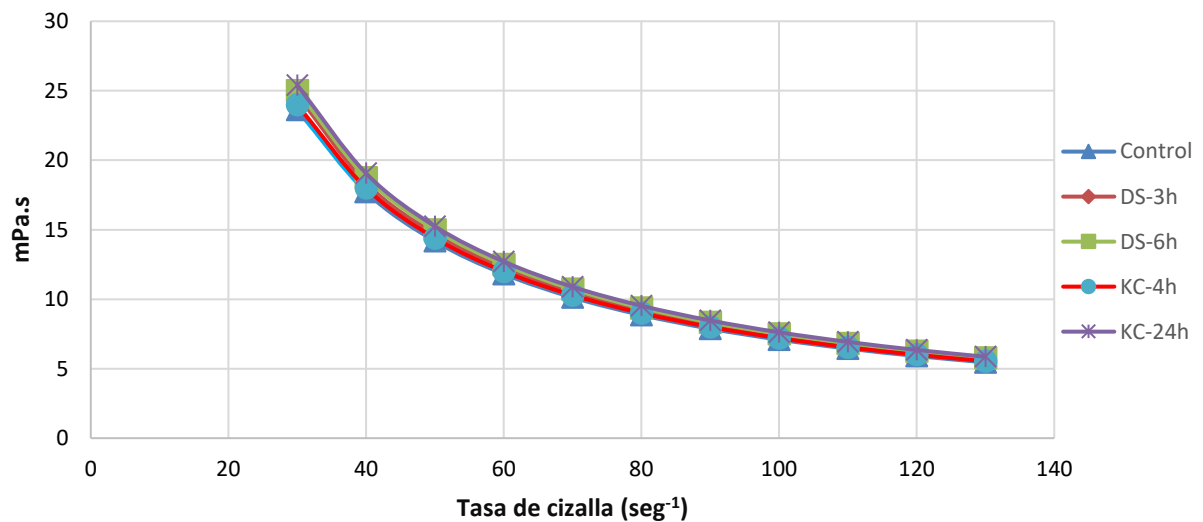


Figura 11

Reograma de Hershel Buckley para los cinco tratamientos evaluados.

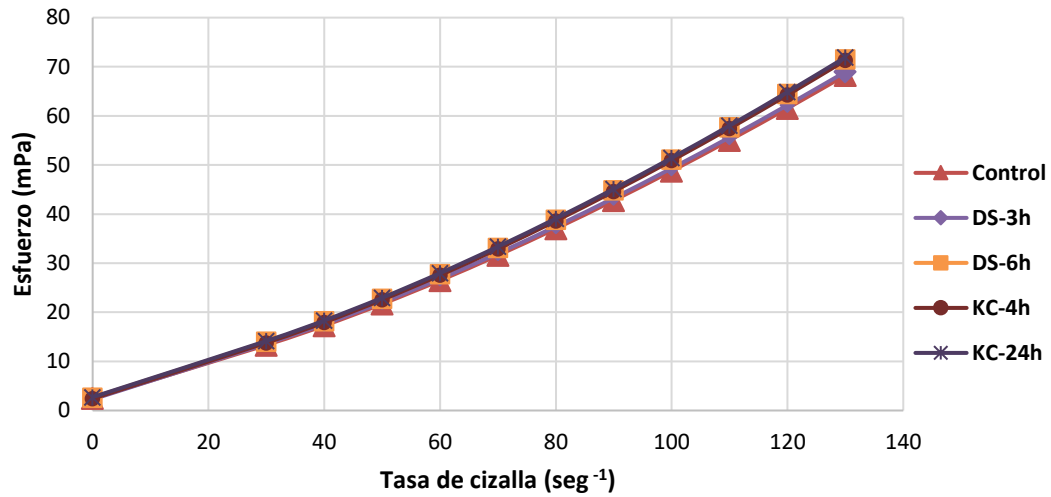


Figura 12

Reograma de Power Law para los cinco tratamientos evaluados.

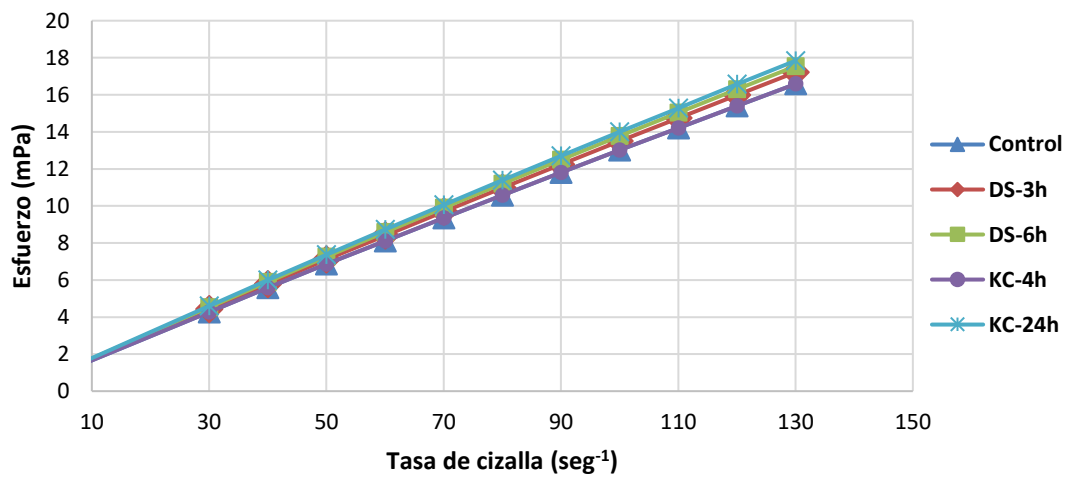


Figura 13

Reograma de Casson para los cinco tratamientos evaluados.

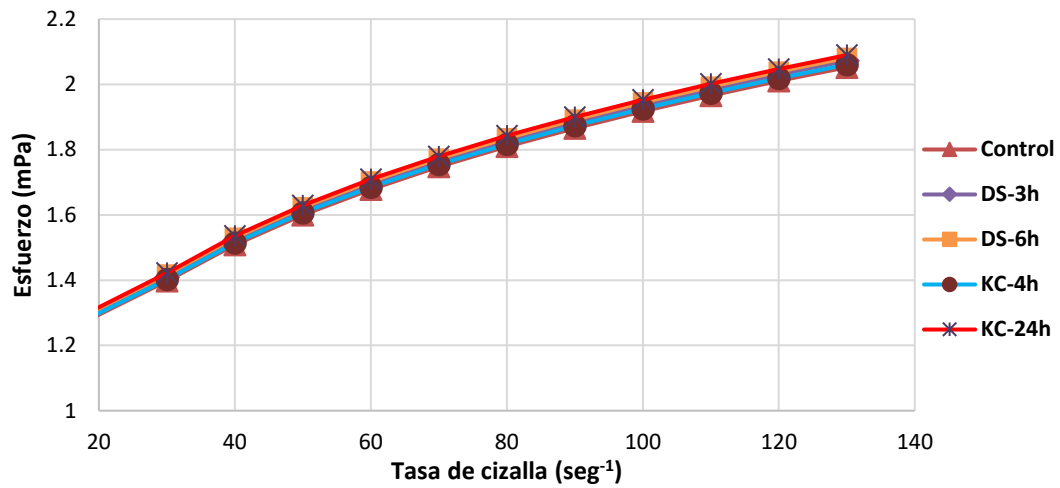
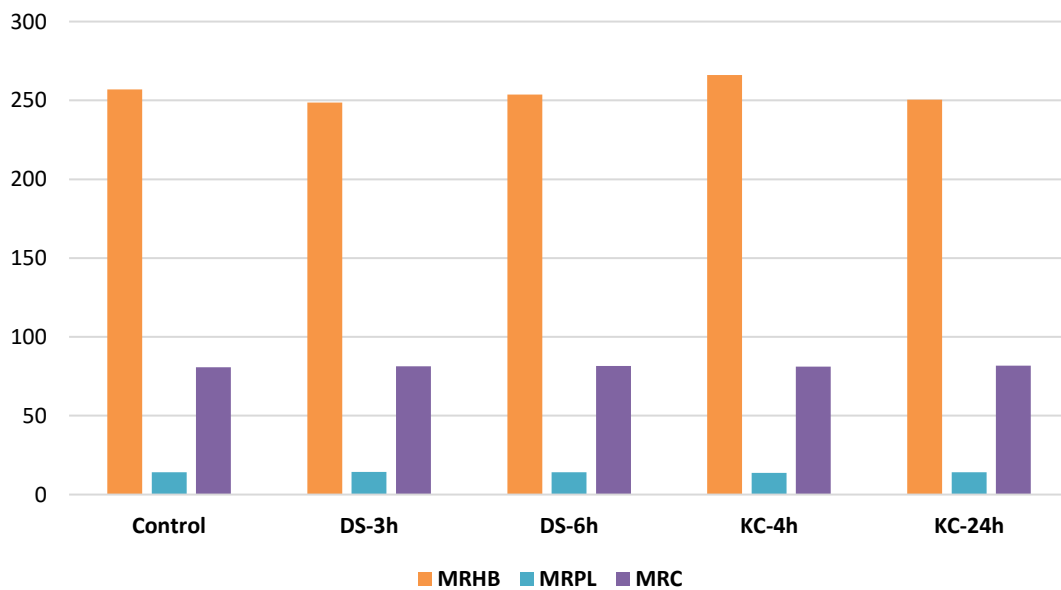


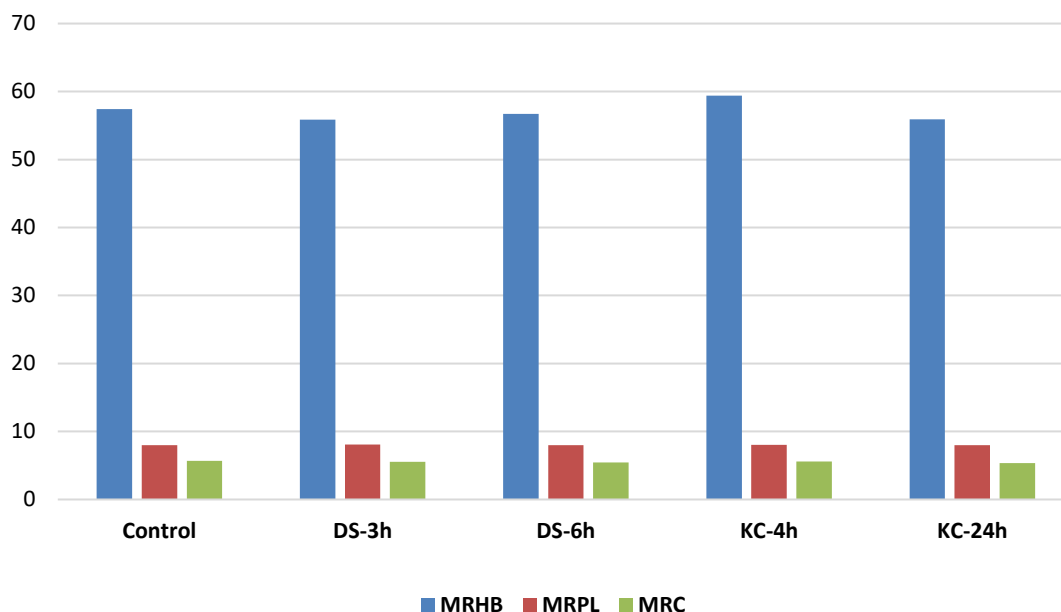
Figura 14

Promedio absoluto del error porcentual (EAAP) de los modelos reológicos.



**Figura 15**

*Desviación estándar del error porcentual promedio (SD-EAAP) de los modelos reológicos.*



## **Análisis Químicos**

### ***Análisis de Índice de Acidez y Ácidos Grasos Libres***

La acidez es uno de los principales parámetros de calidad para determinar el contenido de ácidos grasos libres, presentes en una muestra de aceite (Yu et al. 2018). De acuerdo con Miller (2012), la acidez (Anexo I) mide cuántos ácidos grasos se separan de los triglicéridos en la descomposición de éstos. En el Cuadro 12, se observa que los resultados obtenidos presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), entre los tratamientos a excepción del tratamiento con cuatro horas de uso y el control. Se evidenció que a medida incrementa el uso y el tiempo de fritura, hay mayor acidez y por ende mayor contenido de ácidos grasos libres liberados. Esto se debe, según Juárez y Sammán (2007), a que cuando se fríe un alimento en aceite a altas temperaturas, el vapor de agua proveniente de éste reacciona con los triglicéridos produciendo su hidrólisis, liberando ácidos grasos, monoglicéridos, diglicéridos y glicerol.

Se encontró que el valor de acidez aumentó a medida se incrementó uso y el tiempo de fritura, donde el valor mínimo fue de 0.0600 mg KOH/g de aceite en el tratamiento control a 0.4000 mg KOH/g de aceite en el tratamiento con 24 horas de uso. Estos resultados no exceden el límite permitido de 0.6 mg KOH/g de aceite, según la normativa para aceites y grasas del Codex Alimentarius (2019).

De igual forma, los resultados obtenidos presentaron la misma tendencia que los resultados encontrados por Shen et al. (2014) el cual reportó que, todos los aceites para freír recolectados de los vendedores ambulantes de Shanghái contenían de 0.07–1.78 mg KOH/ g de aceite; de la misma manera, convergen con los datos encontrados por (Al-Degs et al. 2011), el cual evaluó 16 tiempos se fritura en aceite de soya recolectado de 25 restaurantes, donde encontró niveles de acidez desde 0.07-1.91 mg KOH/ g de aceite.

## Cuadro 12

*Resultados del análisis de acidez y ácidos grasos libres del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

Tratamiento	Acidez (mg KOH/g)	% Ácido Oleico
	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE
Control	0.0600 $\pm$ 0.00 <sup>D</sup>	0.020 $\pm$ 0.00 <sup>D</sup>
DS-3h	0.1100 $\pm$ 0.00 <sup>C</sup>	0.040 $\pm$ 0.00 <sup>C</sup>
DS-6h	0.2067 $\pm$ 0.02 <sup>B</sup>	0.073 $\pm$ 0.01 <sup>B</sup>
KC-4h	0.0800 $\pm$ 0.00 <sup>D</sup>	0.030 $\pm$ 0.00 <sup>DC</sup>
KC-24h	0.4000 $\pm$ 0.03 <sup>A</sup>	0.143 $\pm$ 0.01 <sup>A</sup>
% CV	3.19	3.19

*Nota.* DE.: Desviación Estándar. CV.: Coeficiente de Variación. A-D.: diferentes letras en cada columna indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ); Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

Por consiguiente, se encontró que el contenido de Ácidos Grasos Libres (AGL) presentes en el tratamiento con cuatro horas de uso y el control, coinciden con el rango estipulado de 0.020 - 0.030% de AGL, para un aceite de soya refinado según Erickson (2007). Lo que indica la buena calidad de estos; por otro lado, los demás tratamientos evaluados aumentaron en relación con el control. Esto concuerda con Baltacıoğlu (2017) quien evaluó dos temperaturas y métodos de freído, reutilizando el



aceite tres veces, donde encontró, que en el aceite de canola y el aceite comercial aumentaban el contenido de ácidos grasos libres.

Sin embargo, en este estudio, se encontró que los ácidos grasos libres presentes en el tratamiento con 24 horas de uso presentaron un valor de 0.143% de ácido oleico; lo cual sobrepasó en un 30% el límite permitido de 0.10% de AGL, según lo establecido por la normativa de especificaciones de grasas y aceites en el Reglamento Técnico Centroamericano, y según lo estipulado en el protocolo de calidad para el aceite de soya del MAGyP (2015) y MINECO et al. (2017).

### ***Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI)***

La oxidación es uno de los cambios de deterioro más importantes que se producen en los aceites para freír (Gerde 2006), por lo cual, uno de los parámetros más usados en la calidad de los aceites de fritura, es el índice de estabilidad oxidativa, el cual determina la resistencia a la oxidación en condiciones aceleradas (Dunn 2005). En el Cuadro 13, se logra observar que hubo diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados, y que el valor de OSI se redujo de 6.62 a 5.68; lo que evidencia que a medida el aceite era reutilizado éste se fue degradando. De acuerdo con la normativa Mexicana para aceite de soya NMX-F-252-SCFI-2011 de la Secretaría de Economía (2011), se encontró que el tratamiento con cuatro horas de uso y el control (Anexo J) cumplen con lo mínimo requerido para de 6 horas de OSI, a 110 °C, lo que indica que el tratamiento con cuatro horas de uso en comparación con el control, y los demás tratamientos, fue el que mejor calidad preservó. Esto es debido a que es el tratamiento con menos cantidad de alimento utilizado.

**Cuadro 13**

*Resultados del análisis de índice de estabilidad oxidativa del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

Tratamiento	OSI (h <sup>1</sup> ) Media ± DE	Tiempo Estándar (h*) Media ± DE
Control	6.6267 ± 0.29 <sup>A</sup>	3378.6 ± 145.62 <sup>A</sup>
DS-3h	5.9533 ± 0.30 <sup>BC</sup>	3047.5 ± 149.89 <sup>BC</sup>
DS-6h	5.7533 ± 0.18 <sup>C</sup>	2935.3 ± 94.68 <sup>C</sup>
KC-4h	6.4033 ± 0.45 <sup>BA</sup>	3276.7 ± 231.81 <sup>BA</sup>
KC-24h	5.6833 ± 0.14 <sup>C</sup>	2910.3 ± 70.99 <sup>C</sup>
% CV	4.7833	4.8371

*Nota.* DE.: Desviación Estándar. CV.: Coeficiente de Variación. A-C.: diferentes letras en cada columna indican diferencia significativa (P < 0.05). OSI.: Índice de estabilidad oxidativa. h<sup>1</sup>.: horas de inducción @ 110°C. h\*.: horas reales de vida anaquel; Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

**Índice de Peróxidos**

Los peróxidos son uno de los principales productos de la oxidación primaria, éstos se producen a medida se oxidan los ácidos grasos insaturados. De tal manera, que son indicadores de calidad, estabilidad y descomposición en el aceite o grasa (Zahir et al. 2017; Rincón Vija 2018); dado que éstos se pueden producir en condiciones de almacenamiento gracias a la autooxidación.

En el Cuadro 14, se observa que los resultados obtenidos en este estudio presentaron diferencia significativa, (P ≤ 0.05) donde se encontró que el nivel de peróxidos aumenta gradualmente con el tiempo de fritura y el uso repetido del aceite. Esto se atribuye a la temperatura alta que se usó en los centros de alimentación (350 °F) y al calentamiento repetitivo del aceite, lo cual generó más ácidos grasos libres que reaccionaron con el oxígeno y formaron estos compuestos.

Los resultados encontrados muestran un incremento de 69.06 al 71.46% para el tratamiento con seis horas de fritura en el Doris Stone y 24 horas para el Kellogg Café, respectivamente, en relación con el control y a los lugares evaluados en el estudio. Sin embargo, tales valores no exceden el límite permitido por el RTCA, el cual estipula un máximo de 5 Meq O<sub>2</sub> /kg de muestra. En cambio, los

resultados en este estudio fueron superiores en un 84.35% para el tratamiento con 24 horas de uso, en relación con los reportados por Danowska-Oziewicz y Karpinska-Tymoszczy (2005), quienes encontraron niveles de peróxidos desde 0.09-0.23 Meq O<sub>2</sub>/ kg de muestra, en aceite de soya durante 24 horas.

Por consiguiente, si se comparan los resultados del presente estudio con los resultados de Rivera et al. (2014), quienes encontraron niveles de peróxidos en aceite de oleína de palma desde 0.75 a 8.84 Meq O<sub>2</sub>/kg de muestra, en siete establecimientos en Libertador, Mérida, se observa que éstos son superiores a los del estudio y eso es debido al alto contenido de ácidos grasos saturados que están presentes en el aceite de oleína de palma, la cual presenta una mayor estabilidad oxidativa que el aceite de soya. Sin embargo, el aceite de soya empleado para el estudio contuvo antioxidantes añadidos, los cuales pudieron frenar esta reacción. Dado a que los peróxidos son compuestos de la oxidación primaria y se descomponen rápidamente en compuestos secundarios de oxidación, como se ilustra en la Figura 8. se atribuyó que los resultados encontrados no exceden el límite permitido debido a que éstos compuestos se convirtieron a productos de la oxidación secundaria.

#### Cuadro 14

*Resultados del análisis de índice de peróxidos del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

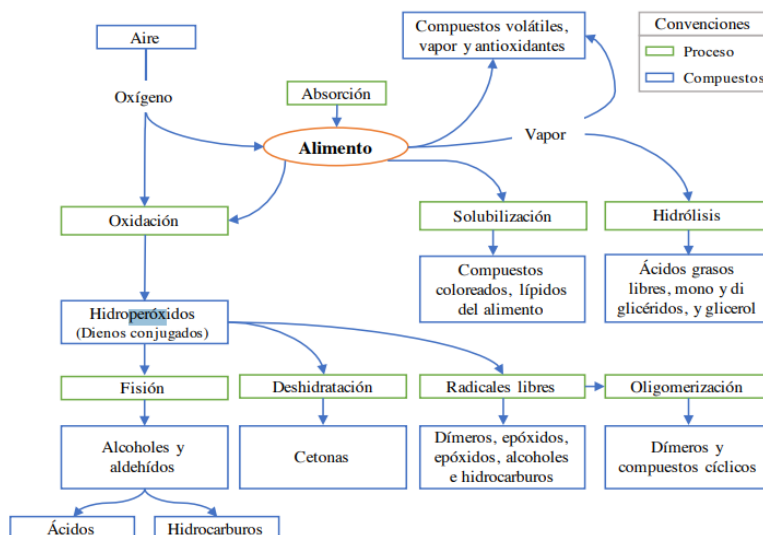
Tratamiento	Meq O <sub>2</sub> /kg de muestra Media ± DE
Control	0.4200 ± 0.0020 <sup>E</sup>
DS-3h	0.9833 ± 0.0101 <sup>D</sup>
DS-6h	1.3033 ± 0.1079 <sup>B</sup>
KC-4h	1.1667 ± 0.0483 <sup>C</sup>
KC-24h	1.4733 ± 0.0776 <sup>A</sup>
% CV	5.97

*Nota.* DE.: Desviación Estándar. CV.: Coeficiente de Variación. A-E.: diferentes letras indican diferencia significativa (P < 0.05). Meq O<sub>2</sub>.:

Miliequivalentes de oxígeno activo; Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

Figura 16

Procesos de descomposición que sufren los aceites.



### Índice de Yodo

El índice de yodo es la medición del grado de insaturación que caracteriza a las grasas y aceites, donde la reducción de este valor indicó la disminución de los dobles enlaces como producto de la degradación de los ácidos grasos a medida que un aceite o grasa sufre procesos de oxidación, escisión y polimerización (Alireza et al. 2010). En el Cuadro 15, se muestran los resultados obtenidos de índice de yodo, donde se encontró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) y se evidenció que los tratamientos evaluados, a excepción del control, no cumplen con lo mínimo requerido de 118 g I<sub>2</sub>/100 g, el cual establece la norma Mexicana NMX-F-252-SCFI-2005 (Secretaría de Economía 2005) y el World Food Programme (WFP 2020).

Además, se encontró que el valor de yodo decreció conforme aumentaba el uso y tiempo de fritura, donde el tratamiento con 24 horas de fritura tuvo una disminución del 12% en comparación del tratamiento control, esto no solo es debido al uso repetido del aceite y la temperatura alta de los procesos de fritura, sino también al proceso continuo o intermitente del mismo, puesto que, el proceso intermitente de fritura de acuerdo con Das et al. (2013) promueve una pronunciada tasa de

descomposición de los ácidos grasos insaturados y por ende una mayor disminución en los niveles de yodo.

Estos resultados coinciden con los datos encontrados por Chebet et al. (2016), quienes al evaluar el cambio en los niveles de yodo en cinco aceites aplicando tres condiciones de fritura, evidenció que, en el aceite de soya, el índice de yodo decayó de 129 a 107 g I<sub>2</sub>/100 g a raíz de los reúsos del aceite. La misma tendencia de disminución en los niveles de yodo se observó en los resultados de Choudhary et al. (2015), el cual encontró que los niveles de yodo decrecieron desde 115 a 108 g I<sub>2</sub>/100 g tras sufrir tres procesos de fritura continua en una mezcla 80:20 de aceite de salvado de arroz conjunto con aceite de soya.

### Cuadro 15

*Resultados del análisis de índice de yodo del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

Tratamiento	Gramos de I <sub>2</sub> /100 g de aceite Media ± DE
Control	120.537 ± 6.71 <sup>A</sup>
DS-3h	111.360 ± 2.84 <sup>BA</sup>
DS-6h	111.147 ± 3.42 <sup>BA</sup>
KC-4h	113.900 ± 3.10 <sup>BA</sup>
KC-24h	106.077 ± 4.07 <sup>B</sup>
% CV	4.2225

*Nota.* I<sub>2</sub>: Yodo. DE.: Desviación Estándar. CV.: Coeficiente de Variación A-B.: diferentes letras indican diferencia significativa (P < 0.05);

Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

### **Análisis de Tocoferoles**

Los tocoferoles son importantes inhibidores de la oxidación de lípidos, especialmente de los ácidos grasos insaturados (Ergönül y Köseoğlu 2014). Es decir, éstos reprimen la peroxidación de lípidos eliminando las especies de oxígeno activo y los radicales a partir de los peróxidos, por lo tanto, evitando su reacción con los lípidos (Medic et al. 2014).

Se identificó la presencia de alfa y gamma tocoferol (Figuras 9 y 10). En el Cuadro 16, se observa que la presencia de alfa y gamma tocoferol estuvieron en rangos de 15.31 a 35.46 ppm y

18.73 a 19.76 ppm, respectivamente. Los resultados presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) y se evidenció que los tiempos y usos de fritura tuvieron un efecto contraproducente en estos compuestos, ya que decrecieron en un 57% para alfa tocoferol y 5% en gamma tocoferol. Aunque, la disminución del contenido de tocoferoles totales, no solo se atribuye al efecto de los procesos de fritura sobre éstos, sino que también a los factores ambientales como la exposición a luz en conjunto con metales como el hierro, al interactuar con oxígeno, el cual provoca que estos compuestos se desestabilicen y se oxiden.

Por lo cual, al comparar los resultados de este estudio con los de Aladedunye y Przybylski (2014), se observa que sus resultados fueron superiores a los del estudio, pero concuerdan en que el contenido de tocoferoles se vio afectado principalmente por los procesos de fritura intermitente y que disminuyeron rápidamente en un 37% para el aceite de soya bajo en ácido linoleico. En cambio, el aceite de soya empleado en el estudio contenía más del 52% de ácido linoleico (Cuadro 13) y era un aceite refinado, por lo cual el proceso de fritura tuvo un mayor efecto sobre este.

De acuerdo con Wen et al. (2020) el contenido total de tocoferoles en relación con alfa y gamma tocoferol fue de 792.8 ppm que en comparación con este estudio se encontró, muy bajo el contenido de tocoferoles en el tratamiento control. Esto puede ser atribuido al proceso de refinado de este ya que, Grilo et al. (2014) mencionan que el propósito del refinado de los aceites es eliminar todas las impurezas para obtener un aceite de buena calidad. Sin embargo, la volatilidad de los tocoferoles es menor que la de los ácidos grasos libres y mayor que la de los triacilglicerol, por ende, durante el proceso de refinación, los tocoferoles se pierden parcialmente durante la desodorización.

Lo cual se confirma con los resultados de Ergönül y Köseoğlu (2014), quienes encontraron 1156 ppm de tocoferoles totales en aceite de soya crudo en relación con el contenido de alfa y gamma tocoferol, y tras refinar este aceite, dicho contenido disminuyó a 631.6 ppm después del desodorizado.

No obstante, la exposición a la luz es otro factor clave en la reducción de los tocoferoles, gracias a que éstos son altamente fotosensibles, que de acuerdo con Zaunshirm et al. (2018), al evaluar cinco aceites comerciales, el contenido para alfa tocoferol fue de 215 ppm y disminuyó a 55.9 ppm y el mismo efecto para gamma tocoferol desde 649 ppm hasta 208 ppm en aceite de soya, tras estar expuestos 12 horas luz y oscuridad durante 56 días.

Por consiguiente, se puede atribuir que los resultados en el presente estudio fueron muy bajos, no solo por el proceso de refinado y fritura como se mencionó anteriormente, sino también a la exposición de luz, destacando que al momento del análisis el aceite empleado tenía más 300 días desde su elaboración. Estos resultados concuerdan con los de Khan S et al. (2015) quienes reportaron la disminución de 40 a 38 ppm de tocoferoles totales en aceite de soya al evaluarlos durante un año.

#### **Cuadro 16**

*Resultados del análisis de tocoferoles totales del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

Tratamiento	Alfa Tocoferol (mg/100 g)	Gamma Tocoferol (mg/100 g)	Tocoferoles Totales (mg/100 g)
	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
Control	3.5463 ± 0.0050 <sup>A</sup>	1.9757 ± 0.0045 <sup>A</sup>	5.5217 ± 0.0079 <sup>A</sup>
DS-3h	2.0331 ± 0.0019 <sup>C</sup>	1.9067 ± 0.0046 <sup>B</sup>	3.9367 ± 0.0064 <sup>C</sup>
DS-6h	1.7596 ± 0.0082 <sup>D</sup>	1.8847 ± 0.0045 <sup>C</sup>	3.6407 ± 0.0040 <sup>D</sup>
KC-4h	2.1264 ± 0.0198 <sup>B</sup>	1.9083 ± 0.0127 <sup>B</sup>	4.0350 ± 0.0078 <sup>B</sup>
KC-24h	1.5311 ± 0.0014 <sup>E</sup>	1.8733 ± 0.0062 <sup>C</sup>	3.4060 ± 0.0049 <sup>E</sup>
% CV	0.48	0.43	4.10

*Nota.* DE.: Desviación Estándar. CV.: Coeficiente de Variación A-E.: diferentes letras en cada columna indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ); Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

#### **Análisis de Compuestos Polares Totales**

Según Suaterna (2009), los compuestos polares son aquellos subproductos que se forman cuando un triglicérido es alterado por procesos de fritura continua y discontinua. De acuerdo con Weisshaar (2014) los TPC, es el parámetro más común para verificar la calidad de los aceites de fritura, el cual resulta en la suma de los cambios químicos que conduce a cambios significativos en las

características fisicoquímicas de los aceites durante el proceso de fritura. En el Cuadro 17 se muestra que los resultados encontrados presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), en un rango de 7.60 a 26.95% Compuestos Polares Totales (TPC, por sus siglas en inglés).

Los compuestos polares totales incrementaron con el tiempo de fritura y el uso repetido del aceite, donde el tratamiento con 24 horas de fritura sobrepasó los límites permitidos de 20 -24% (Feng et al. 2016), lo cual indicó que los aceites ya estaban deteriorados debido a los productos de la oxidación primaria y secundaria (Karakaya y Şimşek 2011) y necesitan ser reemplazados por cuestiones de calidad de los alimentos y de riesgos potenciales para la salud.

Los resultados en este estudio coinciden con Li et al. (2016), quienes encontraron niveles de 7.56 a 25.16% de TPC, al evaluar dos métodos para la determinación de estos compuestos. De la misma forma, los resultados del estudio convergen y se encuentran dentro de los resultados reportados por An K-J et al. (2017) y Ravelli et al. (2010), quienes evaluaron el contenido de compuestos polares totales en aceite de soya a 170 y 190 °C durante 5 y 32 horas y encontraron niveles desde 7.62 a 19.83% y 0.77 a 27.11 % de compuestos polares totales, respectivamente

### Cuadro 17

*Resultados del análisis de compuestos polares totales del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

Tratamiento	%TPC
	Media $\pm$ DE
Control	7.6095 $\pm$ 0.29 <sup>D</sup>
DS-3h	17.4917 $\pm$ 0.75 <sup>C</sup>
DS-6h	18.2806 $\pm$ 0.71 <sup>B</sup>
KC-4h	17.4623 $\pm$ 0.45 <sup>C</sup>
KC-24h	26.9492 $\pm$ 0.71 <sup>A</sup>
% CV	3.4332

*Nota.* DE.: Desviación Estándar. CV.: Coeficiente de Variación A-D.: diferentes letras indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ). %TPC.:

Porcentaje de compuestos polares totales; Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

### **Análisis de Dienos y Trienos Conjugados**



Los dienos y los trienos conjugados, en conjunto a los peróxidos son compuestos de la oxidación primaria, los cuales se forman durante la oxidación de ácidos grasos insaturados que contienen dos o más dobles enlaces para lograr un radical más estable (Martínez-Pineda et al. 2011; Sayyad 2017). Por consiguiente, son un buen indicador de la oxidación lipídica provocado por una alteración estructural en la posición y conformación de los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados tras el aceite estar expuesto a altas temperaturas (Santos et al. 2019). Los lípidos que contienen dienos o trienos interrumpidos por metileno muestran un cambio en su posición de doble o triple enlace durante la oxidación, producto de una mayor absorción de UV a 234 – 270 nm; la cual aumenta con la absorción de oxígeno (Farhoosh et al. 2012).

En el Cuadro 18 se observa que los resultados encontrados muestran diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) donde los dienos y los trienos conjugados aumentaron a medida que aumentó el uso y el tiempo de fritura; se encontró que los dienos conjugados tuvieron un mayor incremento que los trienos conjugados, que de acuerdo con Zribi et al. (2014) establecen que la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados va acompañada del aumento de la absorción de ultravioleta (UV) a 228 nm; la cual aumenta con la absorción de UV en 232 y 270 nm con la formación de los dienos y trienos conjugados, lo que significa que a medida aumentan estos compuestos disminuyen los ácidos grasos poliinsaturados.

Por otro lado, los resultados del presente estudio fueron similares a los de Zeb y Nisar (2017) donde observaron que los niveles de Dienos y Trienos aumentaron a medida freían repetidamente hojas de espinacas.

Los resultados de este estudio fueron superiores a los encontrados por Srivastava y Semwal (2015) quienes encontraron niveles desde 0.04 a 0.79 para dienos conjugados y 0.03 a 0.31 para trienos conjugados en aceite de coco virgen (VCO) que pasó por un proceso de fritura de 180 °C durante ocho horas. Esto fue debido al bajo contenido de ácidos poliinsaturados en el VCO; que, en comparación con el aceite del estudio, el contenido de ácidos poliinsaturados es de un 60% (Cuadro

11), por lo cual el aceite del presente estudio fue más propenso a la oxidación, por ende, mayores serán los niveles de dienos y trienos conjugados que se forman durante la fritura.

La misma tendencia se ve reflejada en los resultados encontrados por Turan y Yalcuk (2013) quienes encontraron niveles de dienos conjugados de 0.46-2.29 en aceite de soya fresco y usado por 30 horas a 190 °C. De igual manera, Debnath et al. (2012) reportan que la degradación de los aceites durante la fritura se observó con el incremento de los dienos (0.16 –2.39%) y para trienos conjugados (0.07 –0.7%) a 233 and 266 nm, siendo estos resultados similares pero menores en comparación con los reportados en el estudio.

### Cuadro 18

*Resultados del análisis de dienos y trienos conjugados del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

Tratamiento	Dienos Conjugados ( $E_{cm}^{1\%}$ ) Media $\pm$ DE	Trienos Conjugados ( $E_{cm}^{1\%}$ ) Media $\pm$ DE
Control	1.01133 $\pm$ 0.03 <sup>E</sup>	0.32633 $\pm$ 0.01 <sup>D</sup>
DS-3h	1.20533 $\pm$ 0.08 <sup>D</sup>	0.50867 $\pm$ 0.02 <sup>C</sup>
DS-6h	2.10067 $\pm$ 0.07 <sup>B</sup>	0.55267 $\pm$ 0.01 <sup>B</sup>
KC-4h	1.64667 $\pm$ 0.09 <sup>C</sup>	0.49533 $\pm$ 0.02 <sup>C</sup>
KC-24h	3.11933 $\pm$ 0.11 <sup>A</sup>	0.98033 $\pm$ 0.05 <sup>A</sup>
% CV	4.4659	4.0337

*Nota.* DE.: Desviación Estándar. CV.: Coeficiente de Variación. A-E.: diferentes letras en cada columna indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).  $E_{cm}^{1\%}$ : Coeficiente de extinción; Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

### **Análisis de Ácido Tiobarbitúrico**

El valor ácido tiobarbitúrico, es uno de los métodos más empleados para la determinación de compuestos presentes en la oxidación secundaria y raíz de la oxidación de los productos primarios, en los cuales se generan una gran cantidad de aldehídos, los cuales son los responsables principales del olor y sabor a rancio en los alimentos (Zeb y Ullah 2016). El Cuadro 19, se observa que los resultados presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), donde se encontró que el valor de ácido tiobarbitúrico aumentó proporcional al tiempo de fritura y uso del aceite.

Al comparar los resultados de este estudio, se encontró que son inferiores a los de Karimi et al. (2017), esto debido a que ellos en su estudio usaron aceite recolectado de vendedores ambulantes en Nairobi, Kenia, recolectado en intervalos de seis días, donde encontraron que niveles de TBA aumentaron de 0.06 a 0.89 en el aceite fresco, usado y descartado a medida se reutilizada el mismo.

De igual manera, El-Naggar (2019) reportó que los valores de TBA aumentaron en un 60% al evaluar durante cinco días durante ocho horas el aceite de girasol en fritura de papas, lo que fue superior al estudio en un 28% donde estas diferencias se deben a que en este estudio se empleó un aceite distinto con menos reuso y menor cantidad de tiempo de fritura.

Los resultados encontrados indican que, si hay compuestos de la oxidación secundaria, presentes en la muestra de aceite, sin embargo, no se conocen las concentraciones de malondialdehído en la que se encuentran estos compuestos, debido a que en este estudio al momento del análisis no se contaba con dicho compuesto para elaborar una curva de calibración y cuantificarlo.

### Cuadro 19

*Resultados del análisis de ácido tiobarbitúrico (TBA) del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

Tratamiento	Valor TBA Media $\pm$ DE
Control	0.0910 $\pm$ 0.005 <sup>C</sup>
DS-3h	0.1150 $\pm$ 0.004 <sup>B</sup>
DS-6h	0.1297 $\pm$ 0.009 <sup>A</sup>
KC-4h	0.0980 $\pm$ 0.005 <sup>C</sup>
KC-24h	0.1343 $\pm$ 0.007 <sup>A</sup>
% CV	5.6239

*Nota.* DE.: Desviación Estándar. CV.: Coeficiente de Variación. A-C.: diferentes letras indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ); Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

### **Análisis de Perfil de Ácidos Grasos**

En el Cuadro 20 se observan los resultados del perfil de los ácidos grasos más contundentes en el aceite de soya. Se encontró que los resultados obtenidos presentaron diferencia significativa ( $P$

$\leq 0.05$ ). Se encontró valores totales iniciales de 16.20, 22.90 y 60.81% para ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, respectivamente.

Estos resultados son consistentes con los resultados de Kim N et al. (2018) quienes encontraron las mismas proporciones de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados en su estudio.

Sin embargo, se evidenció que los ácidos grasos saturados e insaturados incrementaron a medida que aumentó el uso y tiempo de fritura, de igual manera se encontró que los ácidos grasos poliinsaturados decrecieron conforme se reutilizaba el aceite, lo cual fue indicativo de la degradación de estos, y esto se evidenció con la formación de ácidos grasos trans.

Se observó un decrecimiento de 18.45% en el contenido de ácido linoleico en el tratamiento con 24 horas de fritura a comparación con el control; lo cual coincide con los resultados encontrados por Yeo et al. (2020), quien encontró que el ácido linoleico disminuyó de 46.3 a 43.1 en aceite soya, tras pasar 80 ciclos de frituras en cuatro horas a 180 °C.

Se evidenció la presencia del ácido elaídico (C18:1n9t) como único graso trans en el tratamiento control, con 0.0767 g/100 g, el cual no es reportado en el etiquetado nutricional del producto, dado que no excede los 0.5 /14g de aceite como se estipula en el RTCA.

La presencia de este ácido graso pudo ser ocasionado por el método de extracción y refinación del aceite; lo cual concuerda con Hou et al. (2012) quienes encontraron 0.04/ 100g de ácido elaídico en un aceite de soya prensado. Además, se encontró que la formación de ácidos grasos trans, aumentó con el uso repetido del aceite donde se evidenció la presencia de ácidos grasos palmitelaídico, elaídico y transvaccénico (C16:1n9t, C18:1n9t, C18:1n11t).

Por otro lado, se contempló que la relación de monoinsaturados y poliinsaturados, aumentó acorde al uso del aceite y el tiempo de fritura. Según Aşkın y Kaya (2020) es debido a la disminución que se produce en los ácidos grasos poliinsaturados gracias a los procesos de oxidación primaria y secundaria.

**Cuadro 20**

Resultados del análisis de perfil de ácidos grasos del aceite de fritura (g/100 g de aceite) evaluado en los centros de alimentación.

PGA	Control Media ± DE	DS-3h Media ± DE	DS-6h Media ± DE	KC-4h Media ± DE	KC-24h Media ± DE
C8:0	ND	0.0733 ± 0.01 <sup>B</sup>	0.0833 ± 0.00 <sup>A</sup>	0.0733 ± 0.01 <sup>B</sup>	0.0833 ± 0.01 <sup>A</sup>
C14:0	0.1200 ± 0.01 <sup>C</sup>	0.1400 ± 0.00 <sup>B</sup>	0.1633 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.1633 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.1667 ± 0.01 <sup>A</sup>
C16:0	10.3200 ± 0.60 <sup>C</sup>	13.060 ± 0.08 <sup>A</sup>	13.1367 ± 0.13 <sup>A</sup>	11.4800 ± 0.66 <sup>B</sup>	12.0200 ± 0.06 <sup>B</sup>
C18:0	4.3100 ± 0.06 <sup>D</sup>	5.5300 ± 0.03 <sup>A</sup>	5.5300 ± 0.02 <sup>A</sup>	4.4700 ± 0.10 <sup>C</sup>	5.1633 ± 0.01 <sup>B</sup>
C20:0	0.4367 ± 0.01 <sup>C</sup>	0.4700 ± 0.01 <sup>C</sup>	0.5133 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.4467 ± 0.03 <sup>CB</sup>	0.5233 ± 0.03 <sup>A</sup>
C16:1	0.1533 ± 0.02 <sup>B</sup>	0.1667 ± 0.02 <sup>BA</sup>	0.1833 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.1900 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.1933 ± 0.01 <sup>A</sup>
C18:1n9 cis-9	18.8430 ± 0.75 <sup>C</sup>	20.4400 ± 1.85 <sup>CB</sup>	22.4330 ± 1.48 <sup>B</sup>	20.2300 ± 1.32 <sup>CB</sup>	25.4400 ± 1.33 <sup>A</sup>
C18:1n11 cis-11	2.6833 ± 0.33 <sup>C</sup>	3.2333 ± 0.27 <sup>BA</sup>	3.4600 ± 0.23 <sup>A</sup>	2.9400 ± 0.10 <sup>BC</sup>	3.5000 ± 0.04 <sup>A</sup>
C18:2n6 cis-9,12	52.6833 ± 1.32 <sup>A</sup>	48.9833 ± 0.77 <sup>CB</sup>	47.8633 ± 1.22 <sup>C</sup>	50.3233 ± 1.80 <sup>B</sup>	42.9633 ± 1.60 <sup>D</sup>
C18:3n6 cis-6,9,12	0.3000 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.2633 ± 0.02 <sup>BC</sup>	0.2300 ± 0.01 <sup>C</sup>	0.2800 ± 0.03 <sup>BA</sup>	0.2367 ± 0.02 <sup>C</sup>
C18:3n9 cis-9,12,15	7.1867 ± 0.66 <sup>A</sup>	6.8033 ± 0.64 <sup>A</sup>	6.0700 ± 0.50 <sup>BA</sup>	6.7100 ± 0.75 <sup>A</sup>	4.9300 ± 0.38 <sup>B</sup>
C16:1n9t trans-9	0.0000 ± 0.00 <sup>C</sup>	0.0767 ± 0.01 <sup>B</sup>	0.0933 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.0900 ± 0.00 <sup>A</sup>	0.0900 ± 0.01 <sup>A</sup>
C18:1n9t trans-9	0.0776 ± 0.01 <sup>C</sup>	0.3300 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.3300 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.1767 ± 0.01 <sup>B</sup>	0.3233 ± 0.01 <sup>A</sup>
C18:1n11t trans-11	ND	0.1533 ± 0.01 <sup>B</sup>	0.1600 ± 0.01 <sup>B</sup>	ND	0.1867 ± 0.01 <sup>A</sup>
C18:2n6t trans-9,12	ND	ND	ND	ND	ND
∑SAFA	16.2030 ± 0.61 <sup>B</sup>	18.5630 ± 2.49 <sup>BA</sup>	19.7670 ± 0.19 <sup>A</sup>	17.2900 ± 0.77 <sup>BA</sup>	17.7470 ± 0.15 <sup>BA</sup>
∑MUFA	22.9030 ± 0.97 <sup>C</sup>	25.0270 ± 2.23 <sup>CB</sup>	26.6070 ± 0.95 <sup>B</sup>	24.7130 ± 1.13 <sup>CB</sup>	32.0600 ± 1.48 <sup>A</sup>
∑PUFA	60.8133 ± 1.46 <sup>A</sup>	57.500 ± 1.81 <sup>B</sup>	55.3600 ± 1.00 <sup>C</sup>	58.3733 ± 1.14 <sup>B</sup>	49.6900 ± 0.97 <sup>D</sup>
∑TFA	0.0767 ± 0.01 <sup>D</sup>	0.5667 ± 0.03 <sup>B</sup>	0.5933 ± 0.04 <sup>B</sup>	0.2700 ± 0.01 <sup>C</sup>	0.6367 ± 0.01 <sup>A</sup>
MUFA/PUFA	0.3767 ± 0.02 <sup>D</sup>	0.4367 ± 0.04 <sup>CB</sup>	0.4800 ± 0.01 <sup>B</sup>	0.4267 ± 0.03 <sup>CD</sup>	0.6467 ± 0.02 <sup>A</sup>
% CV	4.66	5.78	4.05	4.44	3.56

Nota. DE.: Desviación Estándar. CV.: Coeficiente de Variación. A-D.: Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ). ND.: No detectado PGA.: Perfil de Ácidos Grasos SAFA.: Ácidos grasos saturados

(por sus siglas en inglés). MUFA.: Ácidos grasos monoinsaturados (por sus siglas en inglés). PUFA.: Ácidos grasos poliinsaturados (por sus siglas en inglés). TFA.: Ácidos grasos trans. MUFA/PUFA.: Relación de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados; Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

### Conclusiones

Se determinó que la calidad del aceite de fritura de ambos centros disminuyó a medida que incrementó el uso y el tiempo de fritura, siendo el tratamiento con 24 horas de fritura el aceite más degradado de acuerdo con la mayoría de los parámetros evaluados, siendo el Kellogg Café el centro con menor calidad.

Se identificó que a mayor uso y tiempo de fritura aumentó el contenido de ácidos grasos libres, siendo el tratamiento con 24 horas de fritura el que sobrepasó el límite permitido por el RTCA en un 30%. De la misma manera, este tratamiento fue el que presentó un mayor contenido de ácidos grasos trans y ácidos grasos monoinsaturados y menor contenido de ácidos grasos poliinsaturados en relación con el tratamiento control, y menos presencia de alfa y gamma tocoferol.

Se obtuvo que, a mayor uso y tiempo de fritura, menor fue la estabilidad oxidativa en las muestras de aceite, donde los tratamientos tres y cinco fueron los que presentaron menor tiempo de inducción con 5.75 y 5.68 horas, respectivamente. En relación con la viscosidad, se encontró que ésta aumentó, lo que indicó la presencia de compuestos poliméricos en el aceite y se encontró que los tratamientos evaluados se ajustaron a un modelo reológico de Casson.

Se determinó que los niveles de peróxidos en las muestras de aceites evaluados no excedieron el límite permitido establecido por el RTCA, sin embargo, en el contenido de compuestos polares totales, el tratamiento con 24 horas de fritura estuvo sobre los límites permitidos con 26.95%.

### **Recomendaciones**

Replicar el estudio con distintos tipos de aceite y/o materias primas.

Realizar mediciones del índice de peróxido a las 8, 12, 16 y 20 horas.

Realizar un análisis de P-anisidina y cuantificación de malondialdehído como productos principales de la oxidación secundaria.

Los centros de alimentación evaluados deberían de adquirir de un Testo, para monitorear los compuestos polares totales y así definir cuándo hay que descartar el aceite.

Realizar una optimización de los tratamientos más degradados (T3 y 5) mediante la elaboración de biodiesel.

## Referencias

- Ahmad T, Azmil H, Niranjana K, Gordon M. 2013. Physico-chemical changes occurring in oil when atmospheric frying is combined with post-frying vacuum application. *Food Chem.* 136(2):902–908. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2012.08.001.
- Aladedunye F, Przybylski R. 2014. Performance of palm olein and modified rapeseed, sunflower, and soybean oils in intermittent deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology.* 116(2):144–152. doi:10.1002/ejlt.201300284.
- Al-Degs YS, Al-Ghouti M, Salem N. 2011. Determination of Frying Quality of Vegetable Oils used for Preparing Falafel using Infrared Spectroscopy and Multivariate Calibration. *Food Analytical Methods.* 4(4):540–549. doi:10.1007/s12161-011-9201-9.
- Alireza S, Tan CP, Hamed M, Che Man YB. 2010. Effect of frying process on fatty acid composition and iodine value of selected vegetable oils and their blends. *International Food Research Journal*; [consultado el 11 de jul. de 2021]. 17:295–302. [http://ifrj.upm.edu.my/17%20\(02\)%202010/IFRJ-2010-295-302\\_Tan\\_Malaysia\\_OK%5B1%5D.pdf](http://ifrj.upm.edu.my/17%20(02)%202010/IFRJ-2010-295-302_Tan_Malaysia_OK%5B1%5D.pdf).
- An K-J, Liu Y-L, Liu H-L. 2017. Relationship between total polar components and polycyclic aromatic hydrocarbons in fried edible oil. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 34(9):1596–1605. eng. doi:10.1080/19440049.2017.1338835.
- AOAC. 2005. Moisture in Dried Milk. AOAC International. Estados Unidos: [sin editorial]; [consultado el 27 de jun. de 2021]. <http://www.eoma.aoc.org/methods/info.asp?ID=23914>.
- AOCS. 2017a. AOCS, American Oil Chemists 'Society. Official Method 3d-63: Acid Value. Boulder,Urbana, Illinois, USA: AOCS; [consultado el 4 de oct. de 2020]. <https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=111480>.
- AOCS. 2017b. AOCS, American Oil Chemists 'Society. Official Method Cd 12b-92: Oil Stability Index. Boulder,Urbana, Illinois, USA: AOCS; [consultado el 4 de oct. de 2020]. <https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=111524>.
- AOCS. 2017c. AOCS, American Oil Chemists 'Society. Official Method Ce 2b-11: Direct methylation of lipids in foods by alkali hydrolysis. Boulder,Urbana, Illinois, USA: AOCS; [consultado el 4 de oct. de 2020]. <https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details/productId/112493>.
- AOCS. 2017d. AOCS, American Oil Chemists 'Society. Recommended Practice Cd 1c-85: Calculated Iodine Value. Boulder,Urbana, Illinois, USA: AOCS; [consultado el 4 de oct. de 2020]. <https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=111532>.
- AOCS. 2017e. AOCS, American Oil Chemists 'Society. Official Method Cd 19-90: TBA Value. Boulder,Urbana, Illinois, USA: AOCS; [consultado el 4 de oct. de 2020]. <https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=111547>.



- Arango Parrado N. 2011. Análisis de la Calidad del Aceite de Mezclas Vegetales Utilizado en doce Frituras Sucesivas empleado para ferir Papa Sabanera tipo francesa [Tesis]. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana; [consultado el 11 de sep. de 2020]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8794>.
- Aşkın B, Kaya Y. 2020. Effect of deep frying process on the quality of the refined oleic/linoleic sunflower seed oil and olive oil. *Journal of Food Science and Technology*. 57(12):4716–4725. eng. doi:10.1007/s13197-020-04655-4.
- Baca Ruiz AM. 2019. Determinación de las características fisicoquímicas del aeite residual de fritura de los establecimientos de comida del mercado municipal de Huamachuco [Tesis]. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo; [consultado el 11 de sep. de 2020]. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13350>.
- Baltacıoğlu C. 2017. Effect of Different Frying Methods on the Total trans Fatty Acid Content and Oxidative Stability of Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 94(7):923–934. doi:10.1007/s11746-017-2998-7.
- Chamorro Ojeda OD. 2016. Evaluación de las propiedades comerciales de freído de aceite de canola y aceite de soya alto en ácido oleico [Tesis de pregrado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 18 de sep. de 2020]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5759>.
- Chebet J, Kinyanjui T, Cheplogoi P. 2016. Impact of frying on iodine value of vegetable oils before and after deep frying in different types of food in Kenya. *Journal of Scientific and Innovative Research*; [consultado el 11 de may. de 2021]. 5(5):193–196. [http://www.jsirjournal.com/Vol5\\_Issue5\\_08.pdf](http://www.jsirjournal.com/Vol5_Issue5_08.pdf).
- Choudhary M, Grover K, Javed M. 2015. Effect of Deep-Fat Frying on Fatty Acid Composition and Iodine Value of Rice Bran Oil Blends. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 85(1):211–218. doi:10.1007/s40011-014-0324-9.
- Codex Alimentarius. 2019. Norma para aceites vegetales especificados: CXS 210-1999. Italia: [sin editorial]. 2019; [actualizado 2019; consultado el 13 de sep. de 2020]. [http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B210-1999%252FCXS\\_210s.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B210-1999%252FCXS_210s.pdf).
- Danowska-Oziewicz M, Karpinska-Tymoszczy M. 2005. Quality chanches in selectec frying fats during heating in a model system. *Journal of Food Lipids*. 12(2):159–168. doi:10.1111/j.1745-4522.2005.00014.x.
- Das AK, Babylatha R, Pavithra AS, Khatoon S. 2013. Thermal degradation of groundnut oil during continuous and intermittent frying. *Journal of Food Science and Technology*. 50(6):1186–1192. eng. doi:10.1007/s13197-011-0452-7.

- Debnath S, Prakash M, Lokesh BR. 2012. Lipase-Mediated Interesterification of Oils for Improving Rheological, Heat Transfer Properties and Stability During Deep-Fat Frying. *Food and Bioprocess Technology*. 5(5):1630–1641. doi:10.1007/s11947-010-0485-3.
- Dunn RO. 2005. Oxidative stability of soybean oil fatty acid methyl esters by oil stability index (OSI). *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 82(5):381–387. doi:10.1007/s11746-005-1081-6.
- El-Naggar E. 2019. The evaluation of deep frying oil quality with the spectrophotometric method for the rapid assessment of total polar compounds. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 46(5):1489–1502. doi:10.21608/zjar.2019.48165.
- Endo Y. 2018. Analytical Methods to Evaluate the Quality of Edible Fats and Oils: The JOCS Standard Methods for Analysis of Fats, Oils and Related Materials (2013) and Advanced Methods. *J Oleo Sci*. 67(1):1–10. eng. doi:10.5650/jos.ess17130.
- Ergönül PG, Köseoğlu O. 2014. Changes in  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - and  $\delta$ -tocopherol contents of mostly consumed vegetable oils during refining process. *Journal of Food Science*. 12(2):199–202. doi:10.1080/19476337.2013.821672.
- Erickson DR. 2007. Production and Composition of Frying Fats. En: Erickson MD, editor. *Deep Frying*. Vol. 1. 2<sup>a</sup> ed. United States: Academic Press and AOCS Press. p. 3–24.
- Esfarjani F, Khoshtinat K, Zargaraan A, Mohammadi-Nasrabadi F, Salmani Y, Saghafi Z, Hosseini H, Bahmaei M. 2019. Evaluating the rancidity and quality of discarded oils in fast food restaurants. *Food Sci Nutr*. 7(7):2302–2311. eng. doi:10.1002/fsn3.1072.
- Farhoosh R, Khodaparast MHH, Sharif A, Rafiee SA. 2012. Olive oil oxidation: Rejection points in terms of polar, conjugated diene, and carbonyl values. *Food Chem*. 131(4):1385–1390. doi:10.1016/j.foodchem.2011.10.004.
- [FDA] Food and Drugs Administration. 2020. Etiqueta de información nutricional interactiva: Glosario. United States: Food and Drugs Administration; [actualizado 2020; consultado el 16 de sep. de 2020]. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/InteractiveNutritionFactsLabel/es-nutrition-glossary.cfm>.
- Feng H-X, Sam R, Jiang L-Z, Li Y, Cao W-M. 2016. High-performance size-exclusion chromatography studies on the formation and distribution of polar compounds in camellia seed oil during heating. *J Zhejiang Univ Sci B*. 17(11):882–891. eng. doi:10.1631/jzus.B1600173.
- Folayan JA, Anawe PAL, Abioye PO, Elehinfafe FB. 2017. Selecting the Most Appropriate Model for Rheological Characterization of Synthetic Based Drilling Mud. *International Journal of Applied Engineering Research*; [consultado el 10 de abr. de 2021]. 12(18):7614–7649. en. <http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/9826/>.
- Freire PCM, Lobo LCB, Freitas GdS, Ferreira TAPdC. 2013. Quality of deep frying oils and fats used in street-fairs in Goiânia, Brazil. *Food Science and Technology*. 33(3):569–576. doi:10.1590/S0101-20612013005000078.

- Gerde JA. 2006. Frying performance of soybean oils with reduced linolenate content and methods to monitor deteriorative changes [Tesis de maestría]. United States: Iowa State University.
- Ghobadi S, Akhlaghi M, Shams S, Mazloomi SM. 2018. Acid and Peroxide Values and Total Polar Compounds of Frying Oils in Fast Food Restaurants of Shiraz, Southern Iran. *International Journal of Nutrition Sciences*; [consultado el 16 de sep. de 2020]. 3(1):25–30. [https://login.research4life.org/tacsgr1doaj\\_org/article/18d38072dde741f29d2662dc82486b24](https://login.research4life.org/tacsgr1doaj_org/article/18d38072dde741f29d2662dc82486b24).
- Gimeno E, Castellote AI, Lamuela-Raventós RM, La Torre MC de, López-Sabater MC. 2000. Rapid determination of vitamin E in vegetable oils by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*. 881(1-2):251–254. doi:10.1016/s0021-9673(00)00219-3.
- Gómez Ramírez BD, Martínez Galán JP, Cardona Zuleta LM. 2014. Composición de ácidos grasos en algunos alimentos fritos y aceites de fritura y factores relacionados, en un sector universitario de Medellín-Colombia. *Perspectivas en Nutrición Humana*. 16(2):159–174. doi:10.17533/udea.penh.v16n2a04.
- Grilo EC, Costa PN, Gurgel CSS, Beserra AFdL, Almeida FNds, Dimenstein R. 2014. Alpha-tocopherol and gamma-tocopherol concentration in vegetable oils. *Food Science and Technology*. 34(2):379–385. doi:10.1590/S0101-20612014005000031.
- Hassanien MFR, Sharoba AM. 2014. Rheological characteristics of vegetable oils as affected by deep frying of French fries. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 8(3):171–179. doi:10.1007/s11694-014-9178-3.
- Hornero-Méndez D, Pérez-Gálvez A, Mínguez-Mosquera MI. 2001. A rapid spectrophotometric method for the determination of peroxide value in food lipids with high carotenoid content. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 78(11):1151–1155. doi:10.1007/s11746-001-0404-y.
- Hou J-C, Jiang L-Z, Zhang C-W. 2012. Effects of frying on the trans-fatty acid formation in soybean oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 114(3):287–293. doi:10.1002/ejlt.201100103.
- Hunter Associates. 2012. AN 1018.00 using-hitch-standardization-on-a-series-of-color-measuring-instruments. USA: [sin editorial]; [consultado el 6 de jul. de 2021]. 6 p. <https://hunterlabdotcom.files.wordpress.com/2012/07/an-1018-using-hitch-standardization-on-a-series-of-color-measuring-instruments.pdf>.
- ISO. 2011. ISO 1652:2011: Determination of apparent viscosity by the Brookfield test method. Ginebra, Suiza: ISO; [consultado el 4 de oct. de 2020]. <https://www.iso.org/standard/57378.html>.
- Júarez MD, Sammán N. 2007. El deterioro de los aceites durante la fritura. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*; [consultado el 12 de dic. de 2020]. 13(2):82–94. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2676828>.

- Kalogianni EP, Georgiou D, Romaidi M, Exarhopoulos S, Petridis D, Karastogiannidou C, Dimitreli G, Karakosta P. 2017. Rapid Methods for Frying Oil Quality Determination: Evaluation with Respect to Legislation Criteria. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 94(1):19–36. <https://hunterlabdotcom.files.wordpress.com/2012/07/an-1018-using-hitch-standardization-on-a-series-of-color-measuring-instruments.pdf>. doi:10.1007/s11746-016-2919-1.
- Karakaya S, Şimşek Ş. 2011. Changes in Total Polar Compounds, Peroxide Value, Total Phenols and Antioxidant Activity of Various Oils Used in Deep Fat Frying. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 88(9):1361–1366. doi:10.1007/s11746-011-1788-x.
- Karimi S, Wawire M, Mathooko FM. 2017. Impact of frying practices and frying conditions on the quality and safety of frying oils used by street vendors and restaurants in Nairobi, Kenya. *Journal of Food Composition and Analysis*. 62(3):239–244. doi:10.1016/j.jfca.2017.07.004.
- Khan S, Sharim AL, Obaid M, Chowdhury K. 2015. Tocopherol content of vegetable oils/ fats and their oxidative deterioration during storage. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*; [consultado el 6 de jul. de 2021]. 4(04):1537–1538. <https://cutt.ly/UQH9YD9>.
- Kim N, Yu KS, Kim J, Lim T, Hwang KT. 2018. Chemical characteristics of potato chips fried in repeatedly used oils. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 12(3):1863–1871. doi:10.1007/s11694-018-9800-x.
- Koh E, Surh J. 2015. Food types and frying frequency affect the lipid oxidation of deep frying oil for the preparation of school meals in Korea. *Food Chem*. 174:467–472. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2014.11.087.
- Lázaro Vela M. 2018. Alteraciones de los Aceites Vegetales durante la Fritura [Tesis de pregrado]. Sevilla, España: UNIVERSIDAD DE SEVILLA; [consultado el 16 de sep. de 2020]. <https://cutt.ly/hQH9YVks>.
- Li J, Cai W, Sun D, Liu Y. 2016. A Quick Method for Determining Total Polar Compounds of Frying Oils Using Electric Conductivity. *Food Analytical Methods*. 9(5):1444–1450. doi:10.1007/s12161-015-0324-2.
- [MAGyP] Ministerio de Agroindustria Ganadería y Pesca. 2015. Protocolo de Calidad para Aceite de Soya. Argentina: [sin editorial]. 2015; [actualizado 2015; consultado el 24 de sep. de 2020]. [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Sello/sistema\\_protocolos/Protocolo%20Aceite%20de%20Soja.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Sello/sistema_protocolos/Protocolo%20Aceite%20de%20Soja.pdf).
- Martínez-Pineda M, Ferrer-Mairal A, Vercet A, Yagüe C. 2011. Physicochemical characterization of changes in different vegetable oils (olive and sunflower) under several frying conditions. Caracterización fisicoquímica de los cambios en diferentes aceites vegetales (oliva y girasol) bajo varias condiciones de fritura. *Journal of Food*. 9(4):301–306. doi:10.1080/19476337.2011.601817.
- Medic J, Atkinson C, Hurburgh CR. 2014. Current Knowledge in Soybean Composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 91(3):363–384. doi:10.1007/s11746-013-2407-9.

- Meira S, Rodríguez Baide JM, Confalone A, Fatecha Fois DA, Fernandes JM, Pérez Gonzalez O, van den Berg M. 2019. Modelación del cultivo de soja en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización. Luxembourg: European Union.
- Miller M. 2012. Oxidation of food grade oils. New Zeland: Plant & Food Research; [consultado el 5 de jul. de 2021]. <https://www.oilsfats.org.nz/documents/Oxidation%20101.pdf>.
- [OCDE] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2017. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026: Semillas oleaginosas y sus productos. París, Francia: Editions OCDE. 1 online resource. ISBN: 9789264280779.
- Ögütcü M, Aydeniz B, Büyükcan MB, Yılmaz E. 2012. Determining Frying Oil Degradation by Near Infrared Spectroscopy Using Chemometric Techniques. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89(10):1823–1830. doi:10.1007/s11746-012-2087-x.
- Pétursson S. 2002. Clarification and expansion of formulas in AOCS recommended practice Cd 1c-85 for the calculation of Iodine value from FA composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 79(7):737–738. doi:10.1007/S11746-002-0551-1.
- Pons GA. 2015. Aceites vegetales, hacia una producción sostenible. *El Hombre y la Máquina*. (46):9–19.
- Przybylski R, Gruczynska E, Aladedunye F. 2013. Performance of Regular and Modified Canola and Soybean Oils in Rotational Frying. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 90(9):1271–1280. eng. doi:10.1007/s11746-013-2278-0.
- Rani AKS, Reddy SY, Chetana R. 2010. Quality changes in trans and trans free fats/oils and products during frying. *European Food Research and Technology*. 230(6):803–811. doi:10.1007/s00217-010-1225-7.
- Ravelli D, Matsuoka CR, Della Modesta RC, Vieira TMFdS, Regitano-d'Arce MAB. 2010. Determination of Deep Frying Soybean Oil Disposal Point by a Sensory Method. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 87(5):515–520. doi:10.1007/s11746-009-1524-y.
- Reglamento Técnico Centroamericano. Alimentos y bebidas procesados. Grasas y aceites. Especificaciones. RTCA (2017).
- Rincón Vija LÁ. 2018. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados [Tesis de maestría]. Bogotá Colombia: Universidad Nacional de Colombia; [consultado el 13 de sep. de 2020]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/68873/1022377643.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Rivera Y, Gutiérrez C, Gómez R, Matute M, Izaguirre C. 2014. Cuantificación del deterioro de aceites vegetales usados en procesos de frituras en establecimientos ubicados en el Municipio Libertador del Estado Mérida. *Ciencia e Ingeniería*; [consultado el 16 de sep. de 2020]. 35(3):157–164. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550626005>.

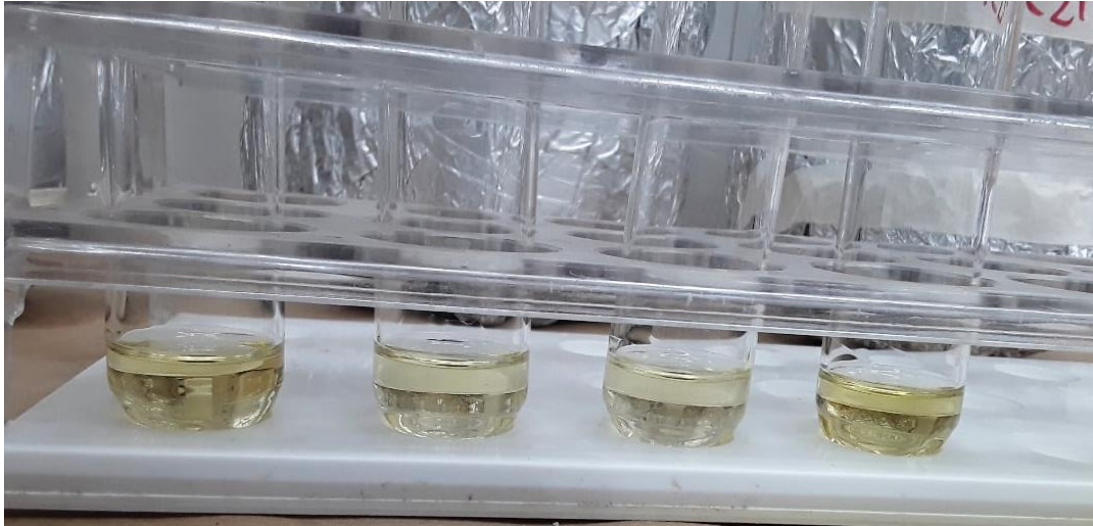
- Sajjadi S, Moteallemi A, Bargard Z, Aghaee Naein M, Kariminezhad F, Kharghani M. 2019. Investigation of cooking oil quality at fast food restaurants in Mashhad City. *International Journal of Environmental Health Engineering*. 8(1):6. doi:10.4103/ijehe.ijehe\_2\_19.
- Santos CSP, García LM, Cruz R, Cunha SC, Fernandes JO, Casal S. 2019. Impact of potatoes deep-frying on common monounsaturated-rich vegetable oils: a comparative study. *Journal of Food Science and Technology*. 56(1):290–301. eng. doi:10.1007/s13197-018-3489-z.
- Sayyad R. 2017. Effects of deep-fat frying process on the oil quality during French fries preparation. *Journal of Food Science and Technology*. 54(8):2224–2229. eng. doi:10.1007/s13197-017-2657-x.
- Schulte E. 2004. Economical micromethod for determination of polar components in frying fats. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 106(11):772–776. doi:10.1002/ejlt.200401004.
- Sebastian A, Ghazani SM, Marangoni AG. 2014. Quality and safety of frying oils used in restaurants. *Food research international*. 64:420–423. eng. doi:10.1016/j.foodres.2014.07.033.
- Secretaría de Economía. 2005. NMX-F-252-SCFI-2005: Alimentos – Aceite comestible puro de Soya. México: [sin editorial]. 2005; [actualizado 2005; consultado el 24 de sep. de 2020]. <http://www.oleaginosas.org/archivos/nmx-f-252-scfi-2005%5B1%5D%20Norma%20Aceite%20soya.pdf>.
- Secretaría de Economía. 2011. Alimentos – Aceite comestible puro de soya– Especificaciones: NMX-F-252-SCFI-2011. México: [sin editorial]. 2011; [actualizado 2011; consultado el 24 de sep. de 2020]. <http://www.oleaginosas.org/archivos/nmx-f-252-scfi-2005%5B1%5D%20Norma%20Aceite%20soya.pdf>.
- Senanayake N. 2018. Enhancing oxidative stability and shelf life of frying oils with antioxidants. *Inform*. 29(8):6–13. doi:10.21748/inform.09.2018.06.
- Sharoba AM, Ramadan MF. 2012. Impact of Frying on Fatty Acid Profile and Rheological Behaviour of Some Vegetable Oils. *Journal of Food Processing & Technology*. 3(7):1–9. doi:10.4172/2157-7110.1000161.
- Shen Y, Chen S, Du R, Xiao Z, Huang Y, Rasco BA, Lai K. 2014. Rapid assessment of the quality of deep frying oils used by street vendors with Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 8(4):336–342. doi:10.1007/s11694-014-9194-3.
- Srivastava Y, Semwal AD. 2015. A study on monitoring of frying performance and oxidative stability of virgin coconut oil (VCO) during continuous/prolonged deep fat frying process using chemical and FTIR spectroscopy. *Journal of Food Science and Technology*. 52(2):984–991. eng. doi:10.1007/s13197-013-1078-8.
- Suaterna AC. 2009. La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. *Perspectivas en Nutrición Human*; [consultado el 13 de sep. de 2020]. 11(1):39–53. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/nutricion/article/view/9390>.

- Turan S, Keskin S, Solak R. 2021. Determination of the changes in sunflower oil during frying of leavened doughs using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*. 23(109):1121. doi:10.1007/s13197-021-04980-2.
- Turan S, Yalcuk A. 2013. Regeneration of Used Frying Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 90(11):1761–1771. doi:10.1007/s11746-013-2325-x.
- Weisshaar R. 2014. Quality control of used deep-frying oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 116(6):716–722. doi:10.1002/ejlt.201300269.
- Wen Y, Xu L, Xue C, Jiang X, Wei Z. 2020. Assessing the Impact of Oil Types and Grades on Tocopherol and Tocotrienol Contents in Vegetable Oils with Chemometric Methods. *Molecules*. 25(21). eng. doi:10.3390/molecules25215076.
- [WFP] World Food Programme. 2020. Technical Specifications for Fortified Refined Soybean Oil. [sin lugar]: [sin editorial] (OILVEG040). 15 de jul. de 2020; [actualizado el 15 de jul. de 2020; consultado el 5 de jul. de 2021]. <https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000117615/download/>.
- Yeo MTY, Bi X, Henry CJ. 2020. Effects of repeated deep-frying on fatty acid profiles of potato fries and frying oils: soybean oil, canola oil and their 1:1 blend. *Malaysian Journal of Nutrition*. 26(3):389–399. doi:10.31246/mjn-2020-0011.
- Yu KS, Cho H, Hwang KT. 2018. Physicochemical properties and oxidative stability of frying oils during repeated frying of potato chips. *Food Sci Biotechnol*. 27(3):651–659. eng. doi:10.1007/s10068-017-0292-y.
- Zahir E, Saeed R, Hameed MA, Yousuf A. 2017. Study of physicochemical properties of edible oil and evaluation of frying oil quality by Fourier Transform-Infrared (FT-IR) Spectroscopy. *Arabian Journal of Chemistry*. 10(3):S3870-S3876. doi:10.1016/j.arabjc.2014.05.025.
- Zaunschirm M, Pignitter M, Kienesberger J, Hernler N, Riegger C, Eggersdorfer M, Somoza V. 2018. Contribution of the Ratio of Tocopherol Homologs to the Oxidative Stability of Commercial Vegetable Oils. *Molecules*. 23(1). eng. doi:10.3390/molecules23010206.
- Zeb A, Nisar P. 2017. Effects of High Temperature Frying of Spinach Leaves in Sunflower Oil on Carotenoids, Chlorophylls, and Tocopherol Composition. *Front Chem*. 5:19. eng. doi:10.3389/fchem.2017.00019.
- Zeb A, Ullah F. 2016. A Simple Spectrophotometric Method for the Determination of Thiobarbituric Acid Reactive Substances in Fried Fast Foods. *J Anal Methods Chem*. eng. doi:10.1155/2016/9412767.
- Zribi A, Jabeur H, Aladedunye F, Rebai A, Matthäus B, Bouaziz M. 2014. Monitoring of quality and stability characteristics and fatty acid compositions of refined olive and seed oils during repeated pan- and deep-frying using GC, FT-NIRS, and chemometrics. *J Agric Food Chem*. 62(42):10357–10367. eng. doi:10.1021/jf503146f.

## Anexos

### Anexo A

*Muestras de aceite empleadas para el análisis de Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI).*





**Anexo B**

*Muestras de aceite antes (A) y después (B) de ser sometidas al horno al vacío para la determinación de humedad.*

**A)****B)**

### Anexo C

*Resultados del análisis de humedad del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

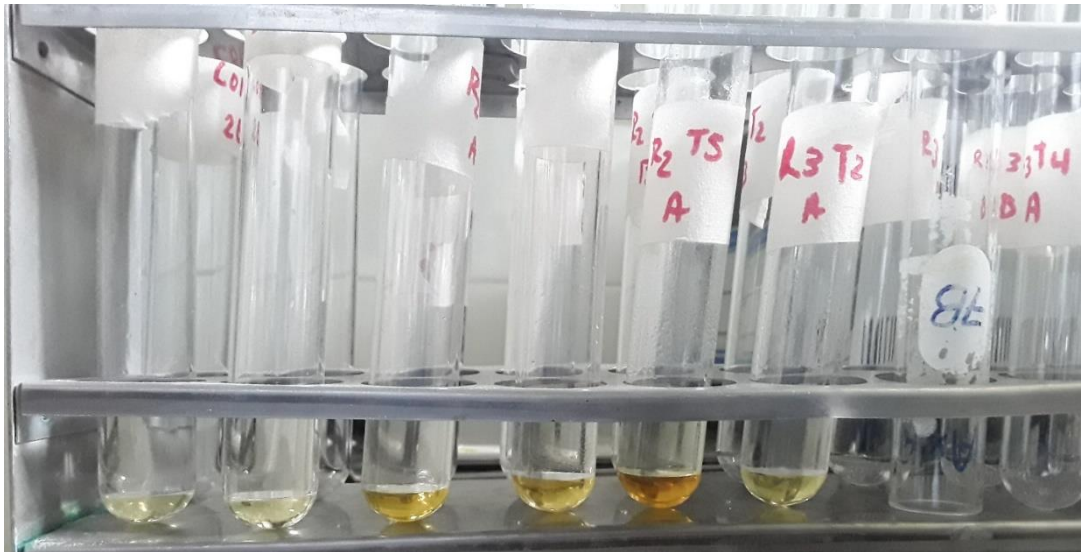
Tratamiento	% Humedad
	Media $\pm$ DE
Control	0.05533 $\pm$ 0.0031 <sup>D</sup>
DS-3h	0.03533 $\pm$ 0.0031 <sup>D</sup>
DS-6h	0.62973 $\pm$ 0.0615 <sup>B</sup>
KC-4h	0.90413 $\pm$ 0.0775 <sup>A</sup>
KC-24h	0.15793 $\pm$ 0.0122 <sup>C</sup>
% CV	11.74

Nota. DE.: Desviación estándar. CV.: Coeficiente de Variación; A-D.: diferentes letras indican diferencia significativa entre tratamientos;

Control: aceite sin usar; DS-3h: aceite con tres horas de fritura en el Doris Stone; DS-6h: aceite con 6 horas de fritura en el Doris Stone; KC-4h: aceite con 4 horas de fritura en el Kellogg Café; KC-24h: aceite con 24 horas de fritura en el Kellogg Café.

**Anexo D**

*Muestras de aceite empleadas para perfil de ácidos grasos.*



### Anexo E

*Resultados del análisis de correlación de los análisis químicos del aceite de fritura evaluado en los centros de alimentación.*

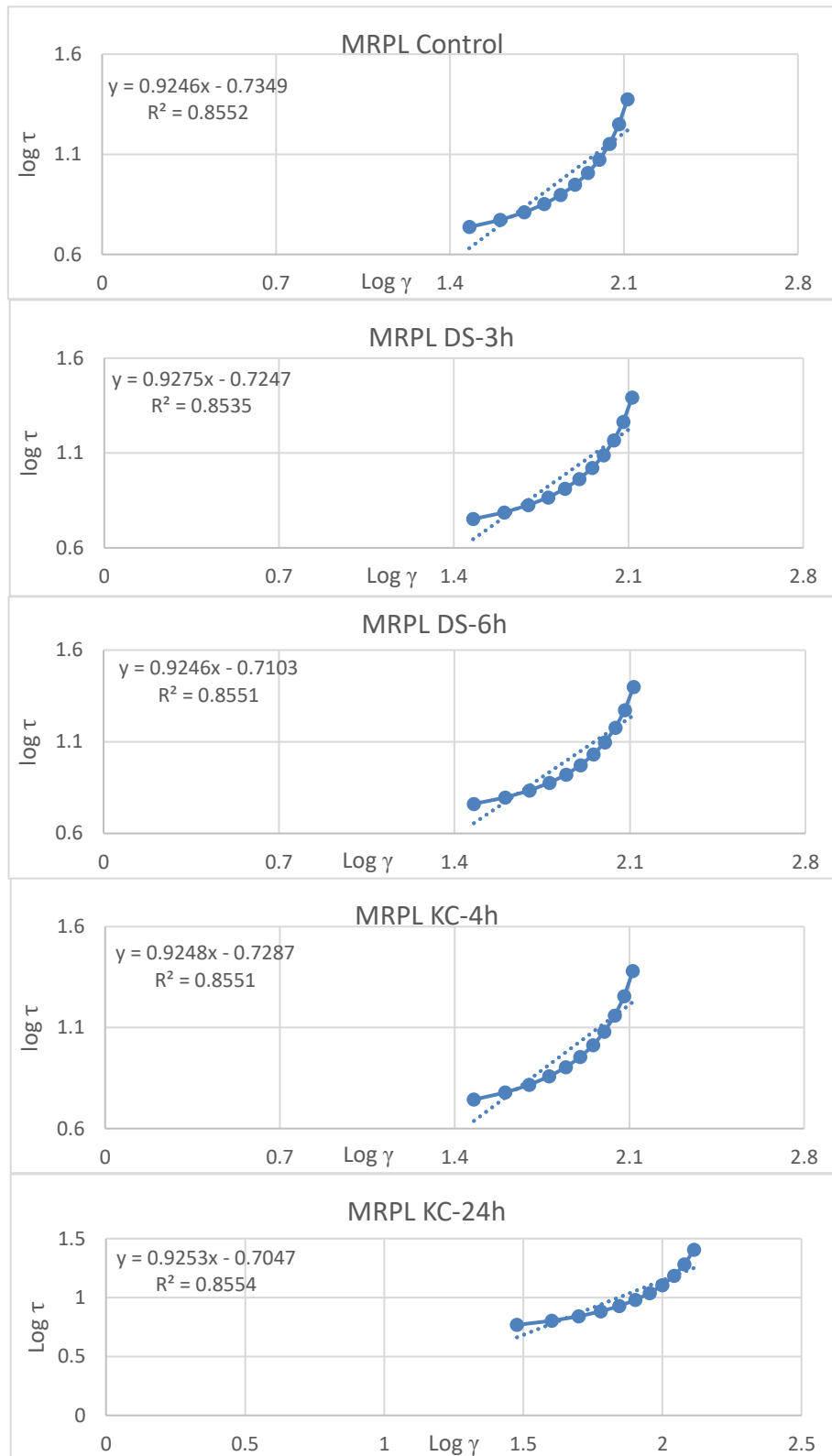
	TF	OSI	TBA	AC	P	DC	TC	Y	TPC	TT
TF	1	-0.70362	0.846	0.87547	0.96007	0.95014	0.7144	-0.54313	0.94757	-0.91859
OSI	-0.70362	1	-0.76519	-0.67586	-0.65198	-0.61906	-0.3587	0.219	-0.66815	0.70713
TBA	0.84600	-0.76519	1	0.82955	0.75569	0.76218	0.47777	-0.41531	0.79649	-0.81081
AC	0.87547	-0.67586	0.82955	1	0.73478	0.88728	0.7965	-0.51898	0.85428	-0.68226
P	0.96007	-0.65198	0.75569	0.73478	1	0.87922	0.58044	-0.60278	0.92627	-0.96172
DC	0.95014	-0.61906	0.76218	0.88728	0.87922	1	0.8378	-0.39696	0.86145	-0.78569
TC	0.71440	-0.3587	0.47777	0.7965	0.58044	0.8378	1	-0.31727	0.59691	-0.39511
Y	-0.54313	0.219	-0.41531	-0.51898	-0.60278	-0.39696	-0.31727	1	-0.67793	0.5864
TPC	0.94757	-0.66815	0.79649	0.85428	0.92627	0.86145	0.59691	-0.67793	1	-0.92279
TT	-0.91859	0.70713	-0.81081	-0.68226	-0.96172	-0.78569	-0.39511	0.5864	-0.92279	1

*Nota.* TF.: Tiempo de fritura. OSI.: índice de estabilidad oxidativa TBA.: Valor de ácido tiobarbitúrico. A.: acidez. P.: Peróxidos. DC.: Dienos conjugados. TC.: Trienos conjugados. Y.: Yodo TPC.: Compuestos polares

totales. TT.: Tocoferoles totales.

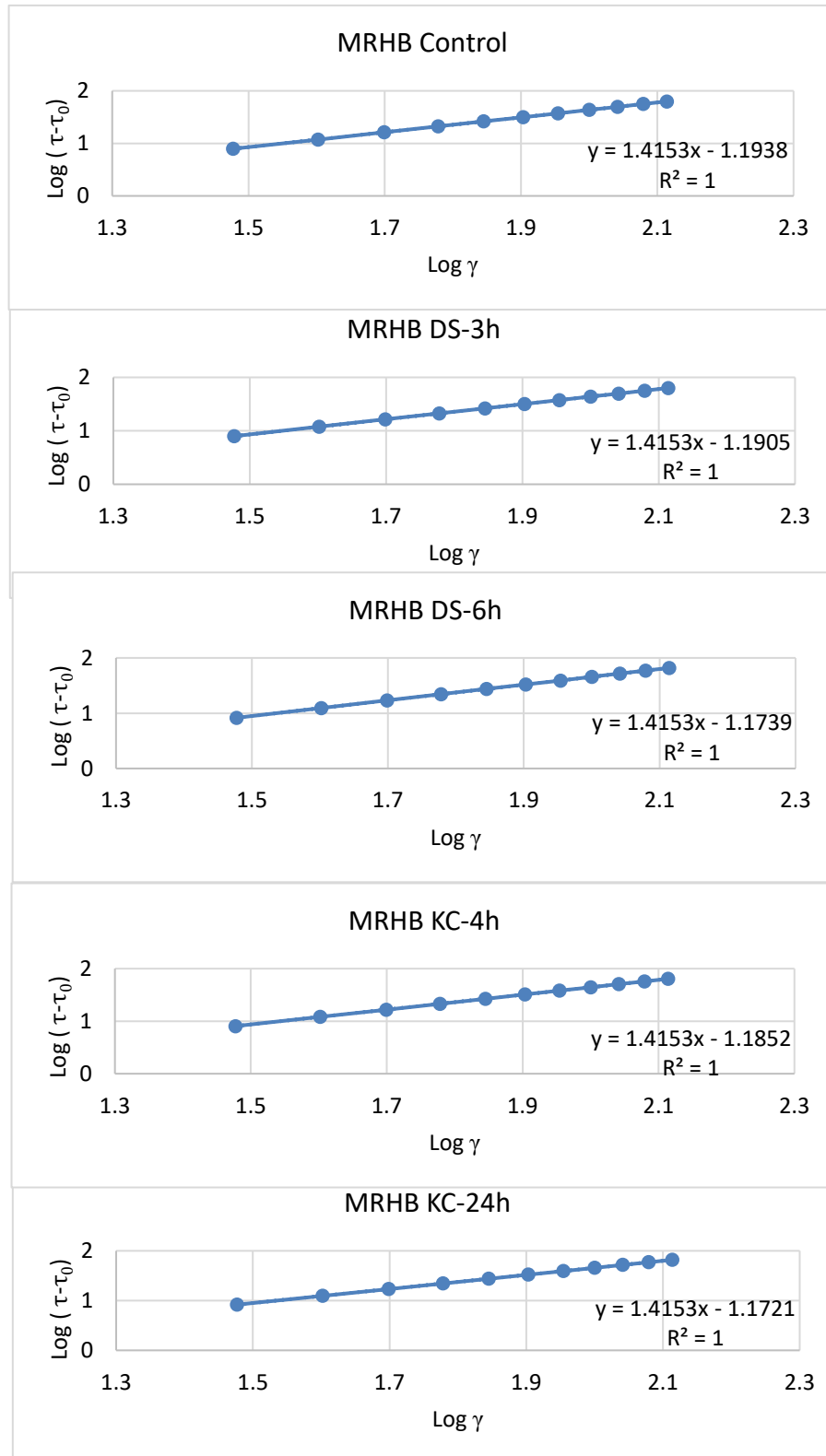
## Anexo F

Gráficas del modelo reológico de Power Law de los cinco tratamientos evaluados.



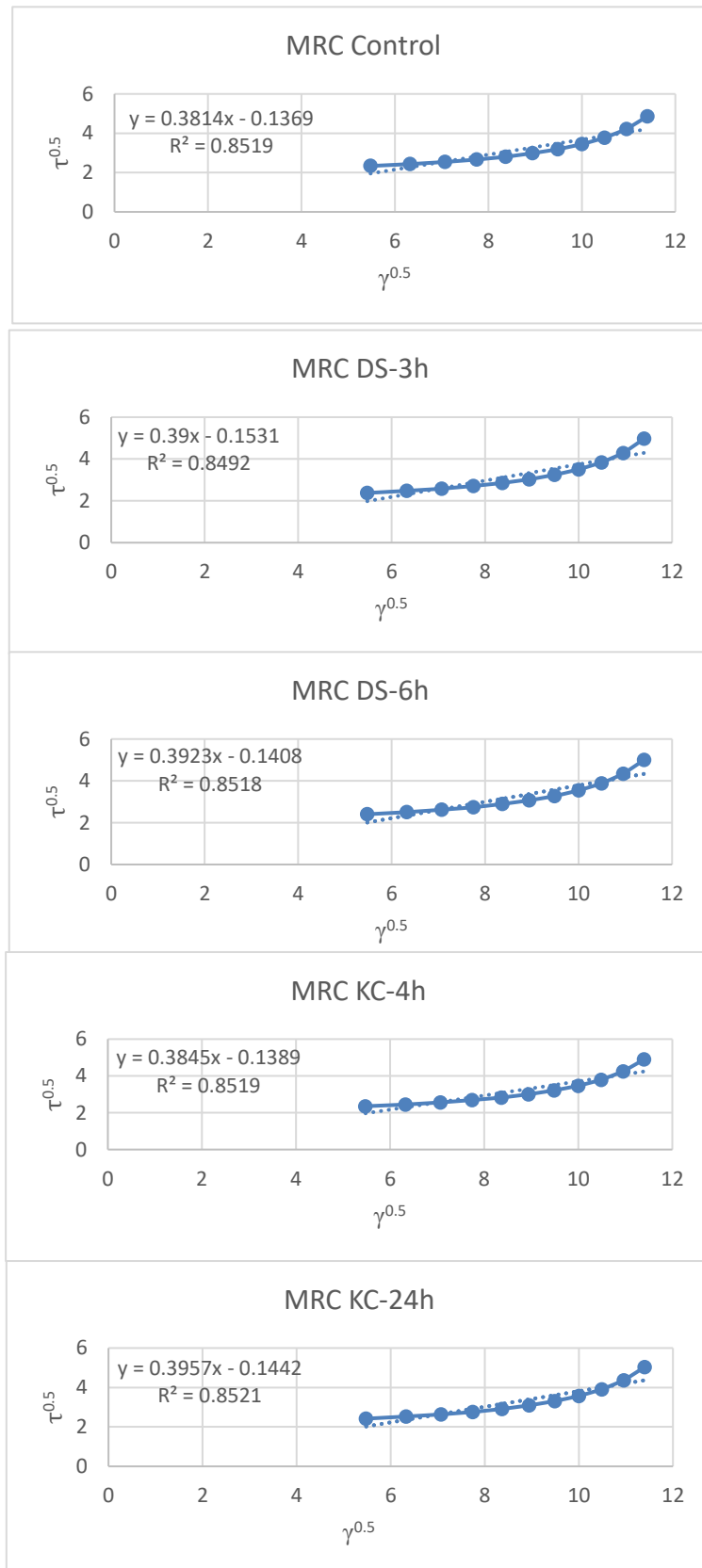
### Anexo G

Gráficas de Hershel Buckley de los cinco tratamientos evaluados.



## Anexo H

Gráficas del modelo reológico de Casson de los cinco tratamientos evaluados.



**Anexo I**

*Muestras de aceite antes (A) y después (B) de la determinación de acidez y ácidos grasos libres.*

A)



B)





## Anexo J

Gráficas del OSI de los cinco tratamientos evaluados.

