

EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LOS ACEITES RESIDUALES DE COCINA  
PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE VALOR AGREGADO

KAREN DAYANA GUTIÉRREZ SILVA  
DAYANNA ALEXANDRA VELÁSQUEZ GRAZT

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2019

EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LOS ACEITES RESIDUALES DE COCINA  
PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE VALOR AGREGADO

KAREN DAYANA GUTIÉRREZ SILVA  
DAYANNA ALEXANDRA VELÁSQUEZ GRAZT

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Químico

DIRECTOR

Maria Paola Maradei García, PhD

CODIRECTOR

Vladimir Plata Chávez, PhD

Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga

Ing. Deyanira Ferreira Beltrán

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2019

## DEDICATORIA

*A mis padres Anibal y Nidia y a mi hermana Daniela por ser mi apoyo incondicional en cada uno de los pasos que he dado en mi vida.*

*Especial agradecimiento a Karen por ser además de mi compañera de tesis, mi amiga durante estos años, y por último agradecer a Amaury, Eryth, Kevin, Daniella y Oscar por su amistad brindada durante estos años.*

**Dayanna Alexandra Velásquez Grazt**

*A Dios por permitirme alcanzar esta meta tan anhelada.*

*A mis padres Eusebio y Sonia Patricia y mis hermanos Aldair y Julián Camilo por darme su amor y apoyo incondicional durante este camino. A mi tía Socorro y demás familiares quienes desde el principio confiaron en mí y fueron ejemplo de perseverancia.*

*Por último, especial agradecimiento a Dayanna, Eryth, Kevin y Amaury por la sincera amistad brindada durante estos años.*

**Karen Dayana Gutiérrez Silva**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la escuela de Ingeniería Química por su apoyo para la realización de este proyecto.

A la Universidad Santo Tomás por su apoyo financiero para poder llevar a cabo el proyecto con satisfacción.

A la profesora Paola Maradei, al profesor Vladimir Plata y a Deyanira Ferreira por la confianza depositada en nuestro trabajo, colaboración y respaldo en cada una de las etapas como directora y codirectores de este proyecto.

A todos y cada uno de los establecimientos que depositaron su confianza en nosotras al aceptar ser parte de este proyecto.

A los profesores de la escuela por su dedicación y ser ejemplos de vida.

Y por último agradecer a nuestros compañeros y colegas que de alguna u otra forma contribuyeron no solo en el desarrollo de este proyecto sino también en el desarrollo tanto profesional como personal de cada una de nosotras.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	16
1. OBJETIVOS .....	18
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
2. MARCO TEÓRICO .....	19
2.1. ACEITES.....	19
2.2. ÁCIDOS GRASOS .....	19
2.3. PROPIEDADES DE LOS ACEITES.....	20
2.3.1 Índice de acidez .....	20
2.3.2 Índice de peróxido.....	20
2.3.4 Viscosidad.....	21
2.3. REACCIONES QUÍMICAS COMUNES DE LOS ACEITES .....	21
2.4.1 Hidrólisis .....	21
2.4.2 Degradación oxidativa .....	21
2.4.3 Polimerización.....	22
3. METODOLOGÍA .....	23
3.1. DETERMINACIÓN DE USO DE LOS ACEITES RESIDUALES COMO MATERIA PRIMA.....	23
3.2. MUESTREO DE ACEITES RESIDUALES.....	24
3.3. PRETRATAMIENTO Y POSTERIOR ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS.....	24
3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES RESIDUALES.....	25
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	26
4. RESULTADOS.....	27

4.1. CONDICIONES DE COCCIÓN.....	27
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES .....	32
4.2.1 Contenido de ácidos grasos libres .....	32
4.2.2 Índice de acidez .....	34
4.2.3 Índice de peróxidos.....	36
4.2.4 Contenido de humedad.....	38
4.2.5 Viscosidad dinámica .....	39
4.2.6 Densidad.....	41
4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	41
4.2.1 Contenido de ácidos grasos libres .....	42
4.2.2 Índice de acidez.....	43
4.2.3. índice de peróxido.....	43
4.2.4 Contenido de humedad.....	45
4.2.5 Viscosidad dinámica .....	46
4.3. EFECTO DE LAS PROPIEDADES DE COCCIÓN EN LA GENERACIÓN DE PRODUCTOS DE VALOR AGREGADO .....	46
4.3.1 Biodiesel .....	46
5. CONCLUSIONES .....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS.....	54

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Condiciones de cocción de las 12 muestras de aceite residual. ....	27
Tabla 2. Condiciones asociadas al manejo posconsumo del aceite residual. ....	30
Tabla 3. Valores de las variables predictoras de contraste para el contenido de ácidos grasos libres (FFA). ....	43
Tabla 4. Valores de las variables predictoras de contraste respecto al manejo posconsumo de los aceites para el índice de peróxidos. ....	45
Tabla 5. Valores de las variables predictoras de contraste para el contenido de humedad. ....	45
Tabla 6. Rangos permisibles para la transesterificación básica. ....	47

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Tiempo de reutilización y de uso diario de los aceites de cocina.....	28
Figura 2. Temperatura de cocción y tipo de alimento. ....	29
Figura 3. Criterio de eliminación y tiempo de almacenamiento de aceite residual de cocina. ....	31
Figura 4. Contenido de ácidos grasos libres (FFA) vs establecimientos.....	33
Figura 5. Gráfica de superficie de contorno para contenido de FFA.....	34
Figura 6. Índice de acidez vs establecimientos.....	35
Figura 7. Gráfica de superficie de contorno para índice de acidez. ....	35
Figura 8. Índice de peróxidos (IP) vs establecimientos.....	37
Figura 9. Gráfica de contorno de superficie para índice de peróxidos respecto a las condiciones de cocción. ....	37
Figura 10. Gráfica de contorno de superficie para índice de peróxidos respecto a las costumbres de manejo posconsumo de los aceites. ....	38
Figura 11. Contenido de humedad vs establecimientos. ....	39
Figura 12. Viscosidad dinámica vs establecimientos.....	39
Figura 13. Gráfica de contorno de superficie para viscosidad dinámica. ....	40
Figura 14. Densidad obtenida vs establecimientos.....	41

## LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO. A. Encuesta: propiedades y manejo posconsumo del aceite residual de cocina. ....	54
ANEXO. B. Valores promedio de las propiedades de los aceites de cocina (ARC) y aceites vírgenes (AV) según categoría. ....	65
ANEXO. C. Propiedades de los aceites de cocina según establecimiento: Asaderos (A1, A2, A3), Comidas rápidas (CR1, CR2, CR3), Pasabocas/frituras (P1, P2, P3) y comida típica (CT1, CT2, CT3). ....	66
ANEXO. D. Regresión lineal múltiple de variables categóricas. ....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS

**A:** Categoría de asaderos.

**ARC:** Aceite residual de cocina.

**AV:** Aceite virgen.

**CR:** Categoría de comidas rápidas.

**CT:** Categoría de restaurantes de comida típica.

**FFA:** Free fatty acid.

**IA:** Índice de acidez.

**IP:** Índice de peróxido.

**P:** Categoría de productores de pasabocas o frituras.

## RESUMEN

**TÍTULO:** EVALUACIÓN TÉCNICA DEL USO DE LOS ACEITES RESIDUALES DE COCINA PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE VALOR AGREGADO\*

**AUTORES:** KAREN DAYANA GUTIÉRREZ SILVA\*\*, DAYANNA ALEXANDRA VELÁSQUEZ GRAZT\*\*

**PALABRAS CLAVE:** ACEITE RESIDUAL DE COCINA, BIODIESEL.

### DESCRIPCIÓN

El aceite residual de cocina es actualmente un problema de contaminación, por lo cual se han realizado diversos esfuerzos por generar una alternativa de valorización de este desecho. El objetivo principal de este proyecto fue determinar la viabilidad técnica del uso de los aceites residuales de cocina generados en restaurantes del área metropolitana de Bucaramanga como materia prima en la elaboración de productos de valor agregado.

Se realizaron seis pruebas de caracterización a 12 muestras de aceite tanto virgen como residual para 4 tipos de restaurantes diferentes; los resultados obtenidos muestran que los procesos de cocción afectan de manera directa las propiedades de los aceites. Por lo cual los aceites deben ser sometidos a una caracterización previa a la generación de productos de valor agregado para poder obtener la estrategia de conversión óptima según cada tipo de aceite. Sin embargo, no fue posible establecer una relación estadísticamente significativa entre las variables involucradas en los procesos de cocción y las propiedades de los aceites, exceptuando la propiedad de índice de peróxido que se ve afectado por elevados tiempos de cocción de los aceites y de almacenamiento de los aceites residuales. Por último, se realizó una comparación técnica entre los rangos permisibles de las propiedades del biodiesel y los valores reportados experimentalmente de los aceites residuales.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería química. Directora: María Paola Maradei García, Ph.D. Codirectores: Vladimir Plata Chávez, Ph.D. Ing., Deyanira Ferreira Beltrán.

## ABSTRACT

**TITLE:** TECHNICAL EVALUATION OF THE USE OF WASTE COOKING OILS TO THE ELABORATION OF VALUE-ADDED PRODUCTS\*

**AUTHORS:** KAREN DAYANA GUTIÉRREZ SILVA\*\*, DAYANNA ALEXANDRA VELÁSQUEZ GRAZT\*\*

**KEYWORDS:** WASTE COOKING OIL, BIODIESEL.

### DESCRIPTION

Waste cooking oils are currently a contamination problem, so many research and efforts have made to create a valorization alternative for this waste. The main objective in this study was to determinate the technical feasibility of the use of waste cooking oils obtained from restaurants in the metropolitan area of Bucaramanga as raw material in the production of value-added products.

Six characterization tests, acid value, free fatty acid content, peroxide value, moisture content, dynamic viscosity and density were performed on twelve samples of both virgin and residual oils to four different types of restaurants; the results obtained show the oil's properties are directly affected by the cooking process. Therefore, the oils must be tested to a characterization prior to the generation of biodiesel in order to obtain the optimal conversion strategy according to each type of oil. However, it was not possible to set up a statistically significant relationship between the variables involved in the cooking process and the properties of waste cooking oils, excepting the peroxide index whose value is affected by high cooking time of virgin oil and high storage time of cooking oils after completing their useful life cycle. Finally, a technical comparison was made between the allowable range value of biodiesel's properties and the experimental value reported by waste cooking oils.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of physic-chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: María Paola Maradei García Ph.D. Codirectors: Vladimir Plata Chávez Ph.D. Eng., Deyanira Ferreira Beltrán.

## INTRODUCCIÓN

El aceite vegetal es sin duda una de las materias primas fundamentales para los establecimientos que se dedican a la comercialización de alimentos procesados produciendo, en consecuencia, una cantidad considerable de aceite residual de cocina cotidianamente. Según Asograsas, en el año 2016 se registró un consumo aparente de 621.000 toneladas de aceite vegetal, el cual podría generar efectos negativos al medio ambiente sino se desecha de manera adecuada una vez llega al final de su vida útil, provocando la contaminación de aguas y la mortandad de especies de fauna y flora acuática [1]. Además, en los últimos años se ha convertido en un problema de salud pública debido a la aparición de empresas que se encargan de recolectar el aceite, filtrarlo, blanquearlo, reenvasarlo y volver a venderlo a los mismos establecimientos de donde lo obtuvieron; creando lo que las autoridades han denominado “el cartel del aceite pirata” [2].

El gobierno colombiano, en pro de reducir la contaminación de las fuentes hídricas y de solucionar el problema de salud pública, en el año 2018 se emitió la Resolución N° 0316 de 2018, la cual establece las disposiciones que se deben tomar con el aceite residual de cocina [3], sugiriendo a los establecimientos que generan este desecho a almacenarlo y entregarlo a empresas encargadas de su procesamiento y controlando a las empresas dedicadas a su recolección para darle un uso adecuado. Sin embargo, hasta el momento no existen sanciones de ninguna índole, por parte de las entidades reguladoras, para aquellas empresas que no cumplan la normativa. En la actualidad, se ha dedicado un gran esfuerzo a la búsqueda de alternativas para la reutilización y aprovechamiento del aceite residual de cocina. En Colombia, empresas como Ecodiesel de Colombia, Aceites Manuelita, ALPO, entre otras [4] se dedican a la producción de biodiesel utilizando como materia prima aceite de palma; sin embargo, empresas como Bio D han apostado por la utilización de aceite residual para la producción de biodiesel [5].

En algunos estudios, se ha propuesto la producción de bioplásticos y biosurfactantes. Suzuki et al. (2018), por ejemplo, evidenciaron la viabilidad de producir resinas como plastificante primario en películas de policloruro de vinilo (PVC). Las películas obtenidas presentaron propiedades mecánicas y térmicas que coinciden con las películas de PVC comercial [6]. Permadani et al. (2018), por su parte, sintetizaron el surfactante metiléstersulfonato para la producción de detergentes [7].

Sin embargo, utilizar aceite residual de cocina como materia prima para otros procesos donde sea posible su valorización genera problemas debido a que los procesos de cocción varían la composición del aceite residual de manera significativa [8] y, en consecuencia, las propiedades de éste van a repercutir significativamente en las propiedades de los productos que se desean obtener a partir de ellos [9,10]. En ninguno de los estudios mencionados previamente se ha examinado el efecto de los procesos de cocción sobre las propiedades de los aceites residuales. Sólo Wyse-Mason and Beckles [10] y Tacias Pascasio et al. [8] caracterizaron los aceites residuales generados en diferentes restaurantes y encontraron que, exceptuando los aceites residuales con el menor grado de degradación, la mayoría de éstos presentan limitaciones técnicas para su uso como materia prima en la producción de biodiesel.

Por lo tanto, y considerando el panorama actual de la valorización de los aceites residuales como materia prima para la producción principalmente de biodiesel y la limitada información existente de los efectos de los procesos de cocción sobre las propiedades de los aceites residuales, este proyecto tiene como propósito determinar la viabilidad técnica del uso de los aceites residuales de cocina generados en restaurantes del área metropolitana de Bucaramanga como materia prima en la elaboración de productos de valor agregado.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la viabilidad técnica del uso de los aceites residuales de cocina generados en restaurantes del área metropolitana de Bucaramanga como materia prima en la elaboración de productos de valor agregado.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar y cuantificar las propiedades más importantes de los aceites residuales de cocina.
- Establecer el efecto de las condiciones de cocción sobre dichas propiedades.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ACEITES**

Los aceites son productos de origen vegetal, animal, o una mezcla de ambos; siendo el aceite vegetal el más usado para el consumo humano (freír, asar, conservar, marinar, etc.). Los componentes principales de los aceites son una mezcla de ésteres de glicerina con ácidos grasos a los cuales se les denomina triglicéridos [11].

### **2.2. ÁCIDOS GRASOS**

Los ácidos grasos están constituidos por la unión de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno. Estas uniones no siempre son iguales, por lo cual se clasifican en ácidos grasos saturados e insaturados en función del número de insaturaciones presentes en su cadena hidrocarbonada [12]. En los ácidos grasos saturados, todos los átomos de carbono de la cadena hidrocarbonada están unidos a dos átomos de hidrógeno a excepción del átomo terminal. A temperatura ambiente se encuentran en estado sólido. De otra parte, los ácidos grasos monoinsaturados poseen un par de átomos de carbono insaturados; el ejemplo más común de este tipo es el ácido oleico y, finalmente los ácidos grasos poliinsaturados son aquellos que poseen dos o más pares de átomos de carbono insaturados. En este caso, el ejemplo más común es el ácido linoleico. Este tipo de ácidos se oxida con bastante facilidad provocando radicales libres nocivos para la salud.

## 2.3. PROPIEDADES DE LOS ACEITES

Los aceites vegetales poseen propiedades fisicoquímicas interesantes para ser usados como combustibles, sin embargo, a continuación, sólo se presentan algunas de éstas que fueron seleccionadas por ser las más afectadas durante los procesos de cocción y que, posteriormente, influirían directamente sobre la calidad y cantidad del biodiesel producido a partir de estos aceites.

**2.3.1 Índice de acidez.** Presencia natural de acidez libre en los aceites; es decir, la suma de los ácidos grasos no combinados que resultan de la hidrólisis o descomposición lipolítica de los triglicéridos. El índice de acidez se define como el número de miligramos de KOH que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa [13]. Esta propiedad es de especial importancia para la producción de biodiesel dado que el rendimiento de la reacción de transesterificación se ve afectada por el contenido de FFA; cuanto más alta es la acidez del aceite, menor es la conversión.

**2.3.2 Índice de peróxido.** Los productos iniciales de la oxidación de los aceites son los hidroperóxidos. El IP es una medida del contenido de oxígeno reactivo, expresado en miliequivalentes de oxígeno/kg de grasa [13]. Esta propiedad tiene una gran importancia debido a que la degradación de la materia prima puede llegar a afectar directamente a la degradación del biodiesel como producto

**2.3.3 Contenido de humedad.** Para los propósitos de este proyecto el contenido de humedad se expresa como la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada en un horno a cierta temperatura [14]. Su importancia en la caracterización de aceites para la producción de biodiesel se debe a que un alto contenido de humedad induce y acelera la hidrólisis de los triglicéridos [15] incrementando la degradación del aceite.

**2.3.4 Viscosidad.** Es una propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir [16]. Tiene gran importancia en la caracterización de aceites para la producción de biodiesel, y se espera que sus valores sean bajos; valores altos de viscosidad pueden generar problemas en el funcionamiento de los motores, como taponamiento de los filtros y atascamientos de anillos de pistón [17], al momento de utilizar el biodiesel obtenido.

### **2.3. REACCIONES QUÍMICAS COMUNES DE LOS ACEITES**

A continuación, sólo se enumeran algunas reacciones químicas que pueden darse durante los procesos de cocción y que afectan las propiedades de los aceites vegetales.

**2.4.1 Hidrólisis.** La reacción de la humedad con los triglicéridos del aceite. En esta reacción se producen agua, glicerina y ácidos grasos libres [19].

**2.4.2 Degradación oxidativa.** Principal factor limitante de la vida útil de la mayoría de los alimentos manufacturados. Los aceites se oxidan durante el almacenamiento, y los productos de oxidación que se forman producen rancidez y deterioro de los aceites [19]. La oxidación de los aceites se puede entender como un proceso de oxidación térmica en el cual es necesario la formación de radicales libres de ácidos grasos que, al estar en presencia de oxígeno, favorecen la formación de hidroperóxidos; productos iniciales de la oxidación, y posterior rompimiento de la cadena hidrocarbonada de ácidos grasos, generándose componentes volátiles, no volátiles y ácidos grasos de cadena corta [20].

**2.4.3 Polimerización.** Los procesos de dimerización y posterior polimerización se producen por la reacción sucesiva de radicales libres [21]. Este proceso químico se puede entender como la reacción de una grasa con ella misma para formar moléculas más grandes. Puede tener lugar en los puntos de insaturación de las cadenas de los ácidos grasos o en la unión del ácido graso y la molécula de glicerina. La molécula formada puede tener un peso molecular que es de cientos a miles de veces el peso molecular de las moléculas originales [19]. Esta reacción puede ocurrir en la fritura de los alimentos a temperaturas que van desde 162,8 °C a 190,6 °C [12].

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. DETERMINACIÓN DE USO DE LOS ACEITES RESIDUALES COMO MATERIA PRIMA.**

Se realizó una revisión sobre el uso de los aceites residuales en la producción de bienes de valor agregado, tales como biodiesel, bioplásticos y biosurfactantes. Para el caso de los bioplásticos se encontró que existe una viabilidad para producir resinas como plastificante primario en películas de policloruro de vinilo (PVC). Las películas obtenidas presentaron propiedades mecánicas y térmicas que coinciden con las películas de PVC comercial [6]. Por otra parte, para los biosurfactantes se encontró que es posible sintetizar el surfactante metiléster sulfonato para la producción de detergentes [7]. El biodiesel ha sido el bien de valor agregado que más estudios presenta en la actualidad, como ejemplo están los autores Wyse-Mason and Beckles [10] y Tacias Pascasio et al. [8] que realizaron una caracterización de los aceites residuales generados en diferentes restaurantes y encontraron que, exceptuando los aceites residuales con el menor grado de degradación, la mayoría de éstos presentan limitaciones técnicas para su uso como materia prima en la producción de biodiesel. Sin embargo, debido a la información limitada para relacionar las propiedades de los aceites con la generación de bienes exceptuando al biodiesel, se decidió que las propiedades a evaluar en el proyecto serían las que tengan una influencia directa en la calidad del mismo. Con el fin de dar respuesta al objetivo general, las propiedades fisicoquímicas de los aceites obtenidos en cada establecimiento fueron analizadas para determinar cuáles de estas propiedades sufrieron alteraciones estadísticamente significativas durante los diferentes procesos de cocción, y que puedan descalificar el aceite como materia prima en la producción del bien escogido anteriormente.

### **3.2. MUESTREO DE ACEITES RESIDUALES**

Se ubicaron los establecimientos con mayor tradición en el área metropolitana de Bucaramanga que además generan cantidades considerables de aceite residual de cocina (de 5 a 10 litros en una semana) y se definió una ruta de visita a esos establecimientos con el fin de aplicar una encuesta de caracterización. Una copia de esta encuesta se encuentra en el Anexo A. Estos establecimientos se agruparon en cuatro categorías con base en el tipo de restaurante: comida típica, comidas rápidas, asaderos y frituras/pasabocas. En total, se visitaron tres establecimientos de cada categoría que, por razones de confidencialidad, no se presentarán en este informe con sus nombres sino se usó como nombre el tipo de establecimiento y se acompañó de un número aleatorio para cada establecimiento definido con anterioridad. La elección del número de establecimientos por categorías se estableció debido a las dificultades presentadas durante la etapa de muestreo; sólo un número pequeño de establecimientos accedió a ser parte del estudio. Durante la visita, se aplicó una encuesta con el propósito de conocer las condiciones de cocción a las que se somete el aceite virgen y las condiciones de almacenamiento del aceite residual, una vez culminado su ciclo de vida y antes de ser desechado. Además de dicha encuesta, se recolectaron muestras de aceite virgen y aceite residual para su caracterización.

### **3.3. PRETRATAMIENTO Y POSTERIOR ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS**

Las muestras de aceite se sometieron a un pretratamiento que consistió en tres etapas: filtración a través de un tamiz de tela, centrifugación (275 g a 5800 rpm durante 20 minutos) y filtración al vacío (papel de filtro Whatman de 150 mm de diámetro durante aproximadamente 10 minutos). Esto se realizó para eliminar las impurezas sólidas que se encontraban suspendidas en las muestras.

Finalmente, después del pretratamiento, las muestras se almacenaron en botellas ámbar en atmósfera de nitrógeno con el fin de disminuir la degradación de los aceites.

### **3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES RESIDUALES**

Se realizaron cinco pruebas de caracterización: contenido de ácidos grasos libres (AOAC 940.28), índice de peróxidos (AOAC 965.33), contenido de humedad, viscosidad dinámica (ASTM D2196) y densidad. Se midió la viscosidad dinámica en vez de la viscosidad cinemática teniendo en cuenta lo reportado por Knothe y Steidley [22], quienes obtuvieron resultados inconsistentes al determinar la viscosidad cinemática de una serie de muestras de aceite residual de cocina. Además, se calculó el índice de acidez de acuerdo con lo establecido en la norma (AOAC 940.28). Cada una de las pruebas se realizó por duplicado.

La prueba de contenido de humedad consistió en la determinación de la pérdida de masa ocasionada por la eliminación de la humedad mediante calentamiento en una balanza analítica de humedad AND MX-50. Se pesaron  $5,0 \pm 0,5$  gramos de aceite se calentaron desde  $25^{\circ}\text{C}$  hasta  $120^{\circ}\text{C}$  en aproximadamente 30 s y se mantuvieron a esa temperatura hasta que la diferencia en el contenido de humedad de dos mediciones consecutivas fuera menor que 0,05 %. Cada 20 segundos, la balanza reportó el contenido de humedad de la muestra, como un porcentaje en masa. La medición de la densidad se hizo utilizando el método del picnómetro y una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ , atendiendo al hecho de que la medición de la viscosidad se realizó a esta temperatura.

### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.

Inicialmente, las propiedades fisicoquímicas por tipo de aceite fueron analizados mediante ANOVA seguido de la prueba de Tukey para la comparación de medias utilizando el software Statgraphics Centurion (versión de prueba). Un valor  $p < 0,05$  fue considerado estadísticamente significativo. Igualmente, se buscó obtener de un modelo de correlación entre las variables de cocción con las propiedades de los ARC mediante regresión lineal múltiple. Esto con el fin de poder contar con una herramienta matemática que les permita a los establecimientos de comida corregir sus procesos de cocción actuales y mejorar así las propiedades de los aceites residuales que ellos producen en miras a favorecer su viabilidad técnica como materia prima para la producción de bienes de mayor valor agregado. Debido a la naturaleza de las variables involucradas en el proceso de cocción, para la construcción del modelo fue necesaria una previa codificación de las variables categóricas a variables cuantitativas. Dicha codificación se realizó empleando el método de codificación de variables independientes, para la obtención de variables predictoras independientes de contraste. No fue posible emplear el método de variables predictoras dicotómicas dado que las variables categóricas eran politómicas, es decir cada variable presentaba más de dos niveles, y además se pretendía evitar que las nuevas variables predictoras del mismo nivel estuvieran correlacionadas entre sí [23].

## 4. RESULTADOS

### 4.1. CONDICIONES DE COCCIÓN

La Tabla 1 presenta algunos de los datos recopilados por las encuestas en donde se solicitó información sobre el tipo de aceite usado para la cocción, los días de uso de dicho aceite, el tipo de comida que estuvo en contacto durante el proceso de cocción con el aceite, la temperatura de cocción y el tiempo de uso diario del aceite.

Los datos evidencian que las condiciones de cocción varían para cada establecimiento, tanto entre las diferentes categorías como entre establecimientos de la misma categoría.

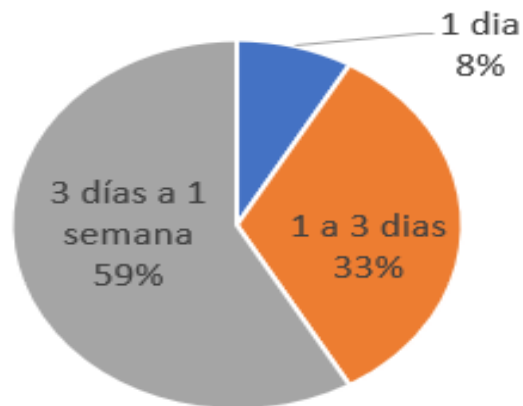
Tabla 1. Condiciones de cocción de las 12 muestras de aceite residual.

Establecimiento	Tipo de aceite	Días de uso	Comida Frita	Temperatura [°C]	Tiempo uso diario [h]	
Asaderos	1	Palma	3 – 7	Carnes y tubérculos	150-200	> 8
	2	Vegetal	3 – 7	Carnes y tubérculos	350	3 – 5
	3	Palma	1 – 3	Carnes y tubérculos	> 250	> 8
Comidas rápidas	1	Vegetal	6	Tubérculos	< 150	5 – 8
	2	Palma	3 – 7	Tubérculos y embutidos	200-250	5 – 8
	3	Palma	4 – 7	Tubérculos y embutidos	150-200	5 – 8
Frituras/pasabocas	1	Soya	1	Tubérculos y harinas	150-200	5 – 8
	2	Palma	4 – 5	Harinas	145	11
	3	Palma	1 – 3	Harinas	< 150	6
Comida típica	1	Vegetal	4 – 5	Tubérculos y carnes	230	5 – 8
	2	Vegetal	1 – 3	Tubérculos	< 150	3 – 5
	3	Vegetal	1 – 3	Tubérculos y harinas	< 150	> 12

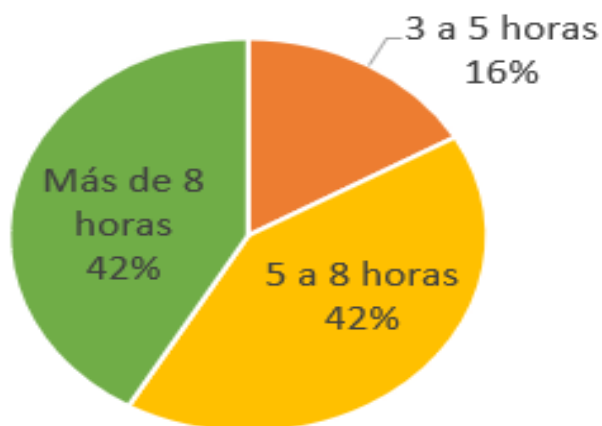
Respecto a las costumbres de cocción de los establecimientos se obtuvo que o bien emplean aceite de palma (48%) o bien una mezcla de aceites vegetales (42%). Un 75% de los establecimientos utiliza en promedio menos de 10L de aceite diario y un 84% genera menos de 10L de aceite residual diario. Adicionalmente como se observa en la figura 1, el tiempo de reutilización de los aceites es superior a 3 días (59%) y el tiempo de uso diario supera las 8 horas diarias (84%).

Figura 1. Tiempo de reutilización y de uso diario de los aceites de cocina.

### Tiempo de reutilización

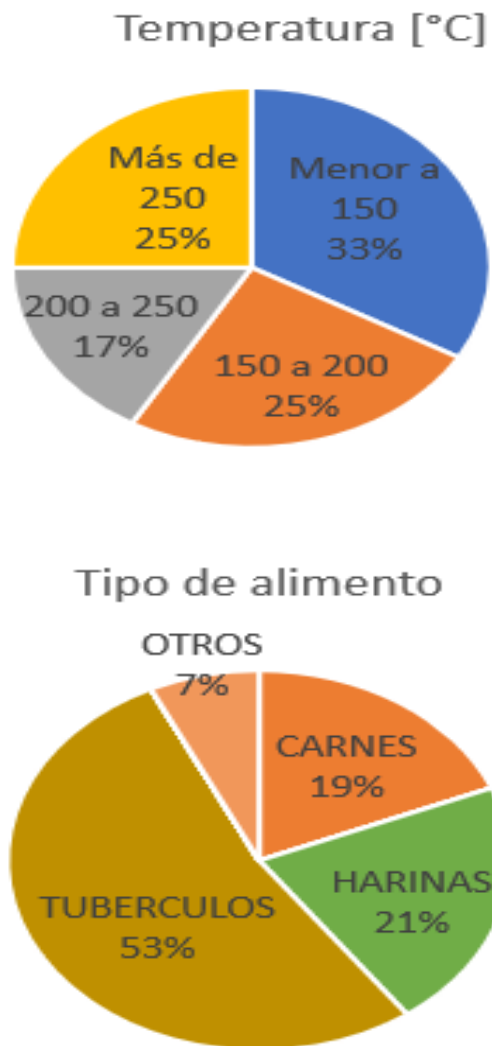


### Tiempo de uso diario



De forma adicional la mayor variabilidad de datos se obtuvo en las temperaturas de cocción y en los tipos de alimentos. Como se observa en la Figura 2 no existe un rango de temperatura que se emplee de forma mayoritaria y los tubérculos son el tipo de alimento que más se cuece (53%).

Figura 2. Temperatura de cocción y tipo de alimento.



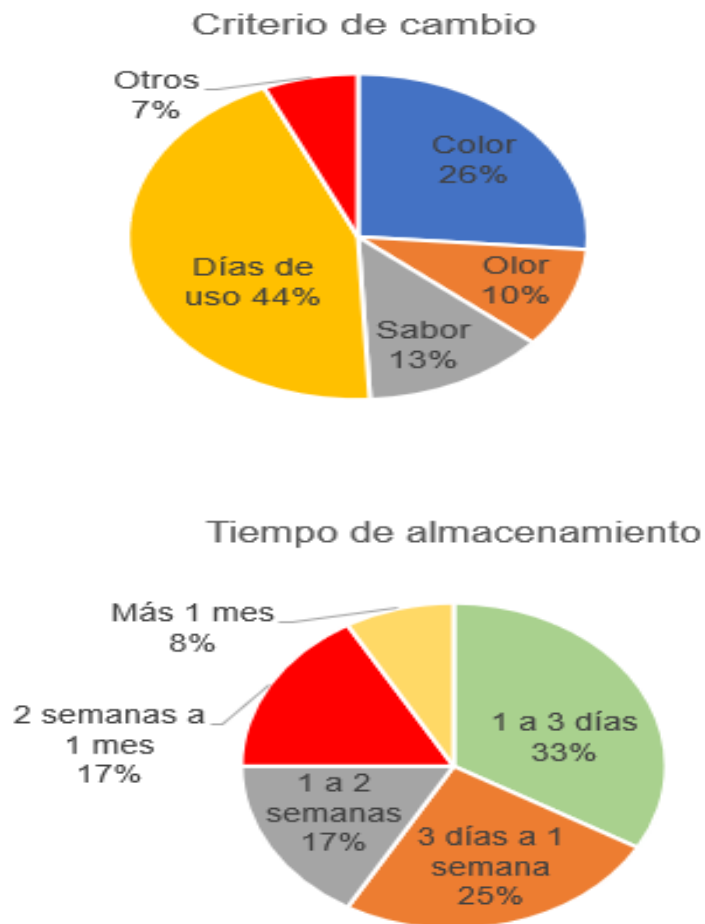
Por otro lado, la Tabla 2 muestra los datos recopilados de las costumbres asociadas al almacenamiento de los aceites residuales una vez estos culminan su ciclo de vida en el establecimiento. Los factores asociados al almacenamiento de los aceites residuales que fueron consultados a los establecimientos fueron: criterios de eliminación, tiempo de almacenamiento, condiciones de almacenamiento y tipo de recipiente; siendo este similar para la mayoría de los establecimientos cuyos recipientes eran opacos y poseían tapan. Una vez más se observa una variación importante no sólo entre los tipos de establecimiento sino también entre establecimientos del mismo tipo.

Tabla 2. Condiciones asociadas al manejo posconsumo del aceite residual.

<b>Establecimiento</b>	<b>Criterio de eliminación</b>	<b>Tiempo de almacenamiento</b>	<b>Condiciones de almacenamiento</b>
Asaderos	1 Sabor, color y olor	1 – 3 días	Protegido de la luz directa y el calor
	2 Días de uso	2 semanas – 1 mes	Protegido de la luz directa pero expuesto al calor
	3 Días de uso	3 días – 1 semana	Protegido de la luz directa y el calor
Comidas rápidas	1 Color y días de uso	1 – 3 días	Protegido de la luz directa y el calor
	2 Otros y días de uso	Más de 1 mes	Protegido de la luz directa y el calor
	3 Color y días de uso	3 días – 1 semana	Protegido de la luz directa pero expuesto al calor
Frituras/pasabocas	1 Olor, color y sabor	1 – 3 días	Protegido de la luz directa y el calor
	2 Días de uso y otros	1 – 2 semanas	Protegido de la luz directa pero expuesto al calor
	3 Días de uso y color	1 – 2 semanas	Protegido de la luz directa pero expuesto al calor
Comida típica	1 Días de uso	2 semanas – 1 mes	Protegido de la luz directa pero expuesto al calor
	2 Color y días de uso	1 – 3 días	Protegido de la luz directa pero expuesto al calor
	3 Días de uso	3 días – 1 semana	Protegido de la luz directa y el calor

La Figura 3 muestra los datos asociados a los criterios que se emplean para desechar el aceite residual y el tiempo de almacenamiento de este. Se observa que los días de uso y cambios presentados en el color son los factores que se emplean en mayor medida (70%).

Figura 3. Criterio de eliminación y tiempo de almacenamiento de aceite residual de cocina.



De igual manera, no se tiene un único criterio para el tiempo que dura almacenado el aceite residual antes de ser desechado. Este factor también influye en las propiedades del aceite [24], y se encontró que puede oscilar desde 1 a 3 días hasta 3 meses. Sin embargo, en términos generales, se puede establecer que el tiempo de almacenamiento es aproximadamente entre 1 día y una semana (58%).

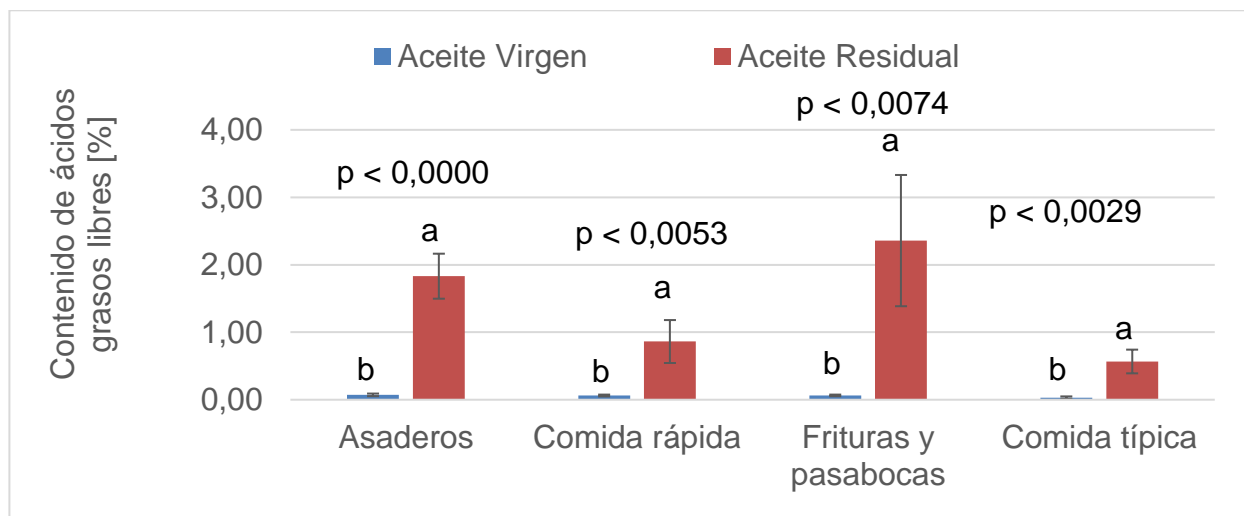
## 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES

En general, se observó un aumento estadísticamente significativo de las propiedades fisicoquímicas, tales como contenido de ácidos grasos libres (FFA, por sus siglas en inglés), contenido de humedad y densidad, de los aceites vírgenes una vez estos fueron sometidos a los procesos de cocción (Figuras 4, 11 y 14, respectivamente). De acuerdo con la literatura, los aceites, al ser sometidos al proceso de cocción, sufren cambios en sus propiedades químicas y físicas debido a que se ven expuestos a altas temperaturas, presencia de humedad y oxígeno, además del contacto con los alimentos; esto causa reacciones tales como hidrólisis, oxidación y polimerización [25]. De otra parte, otras propiedades como el índice de peróxido y la viscosidad dinámica también mostraron un incremento una vez el aceite virgen fue sometido a procesos de cocción, sin embargo, estos valores no resultaron tan significativos como los expuestos anteriormente (Figuras 8 y 12, respectivamente).

**4.2.1 Contenido de ácidos grasos libres.** Se observó el mayor aumento en el contenido de los FFA para los establecimientos de asaderos y frituras/pasabocas en comparación con las demás categorías (Figura 4). El contenido de FFA se ve afectado por el paso gradual de agua contenida en los alimentos al aceite, favoreciendo la reacción de hidrólisis y aumentando la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite residual [21]. Así se encontró que el tiempo y la temperatura de cocción incrementan el contenido de FFA [26]. Esto es congruente con los resultados de las encuestas ya que, de manera general, en las categorías de asaderos y productores de frituras o pasabocas se presentan tiempos de cocción elevados, en algunos casos superiores a las 8 h diarias, y temperaturas entre 150 °C y 270 °C. De manera particular, en el establecimiento “pasabocas 2” se observa un aumento de 4,32 unidades en el contenido de FFA (Anexo C), que puede asociarse al hecho de que el aceite se utiliza de forma continua durante aproximadamente 16 h (6 a.m. a 10 p.m.).

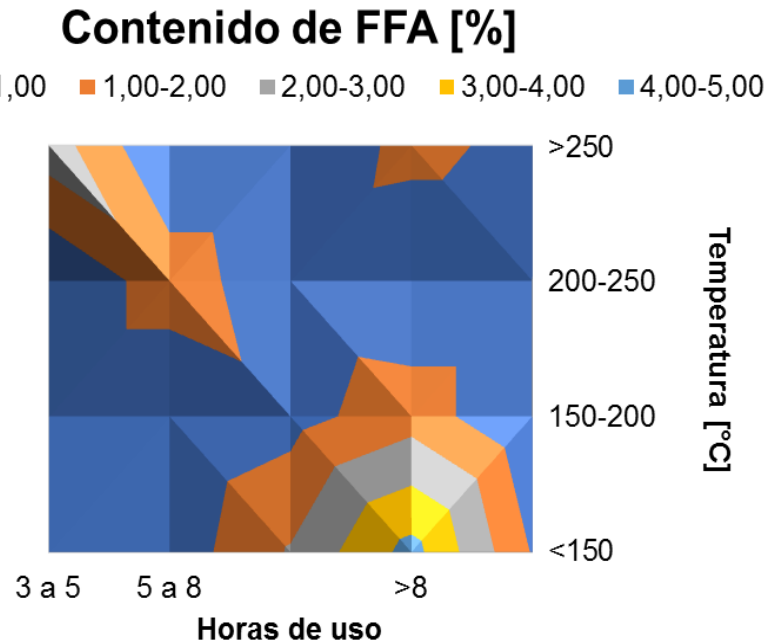
Comportamientos similares fueron reportados por Wyse-Mason y Beckles [10] y por Tascias Pascasio et al [8], donde restaurantes con tiempos de cocción prolongados y temperaturas elevadas reportaban los mayores incrementos de contenido de FFA.

Figura 4. Contenido de ácidos grasos libres (FFA) vs establecimientos.



La superficie de contorno del contenido de FFA en función de las horas de uso diarias y la temperatura de cocción, variables escogidas debido a que poseen una afectación directa con el contenido de FFA como se describió anteriormente, no revela la tendencia esperada en concordancia con el efecto que reacciones como la hidrólisis puede generar sobre los aceites residuales y que se revelan en altos contenidos de FFA. Como se puede observar en la Figura 5 para temperaturas bajas y horas de uso prolongadas se obtiene un porcentaje de FFA alto, lo cual contradice a lo que fue reportado en la teoría.

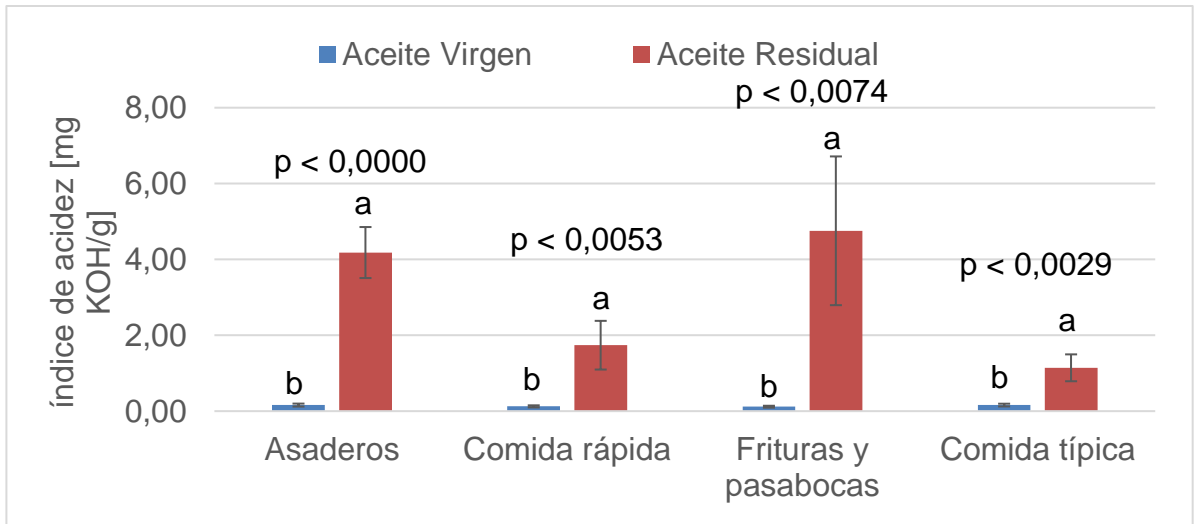
Figura 5. Gráfica de superficie de contorno para contenido de FFA.



**4.2.2 índice de acidez.** Se observó un mayor aumento de esta propiedad para las mismas categorías que en el contenido de FFA; es decir, asaderos y fritura/pasabocas (Figura 6). Esto es consistente con lo reportado por Wyse-Mason y Beckles<sup>1</sup>, quienes indicaron que el contenido de FFA y el índice de acidez tienen una relación directa.

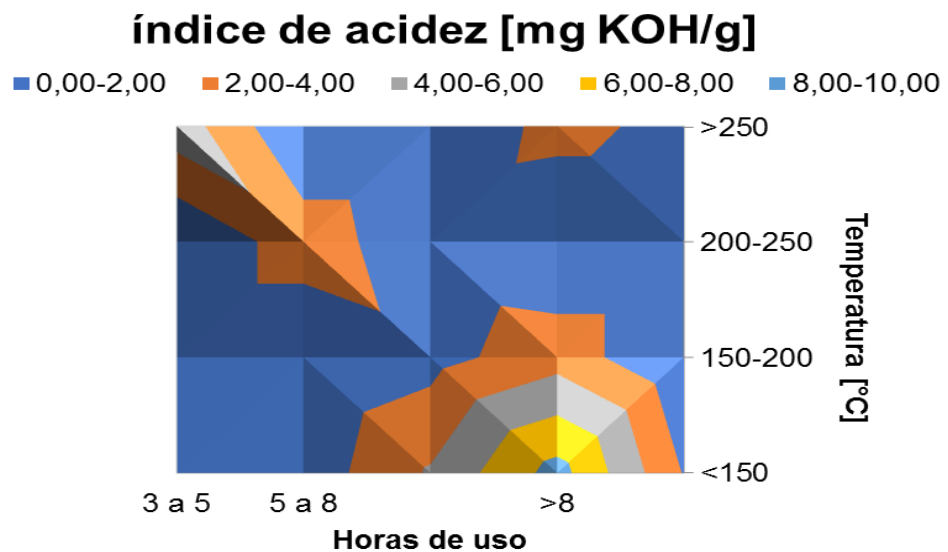
<sup>1</sup> WYSE-MASON, Rachel; BECKLES, Denise. An investigation of restaurant waste oil characteristics for biodiesel production in Trinidad and Tobago. En: Energy for Sustainable Development. Diciembre, 2012, vol.16, no.4, p. 516.

Figura 6. Índice de acidez vs establecimientos.



La superficie de contorno (Figura 7) realizada para el índice de acidez en función de las variables cualitativas reportadas en la encuesta evidencian una tendencia que no concuerdan con la teoría encontrada en la literatura debido a que para temperaturas bajas y horas de uso prolongadas se obtiene un valor de IA alto.

Figura 7. Gráfica de superficie de contorno para índice de acidez.

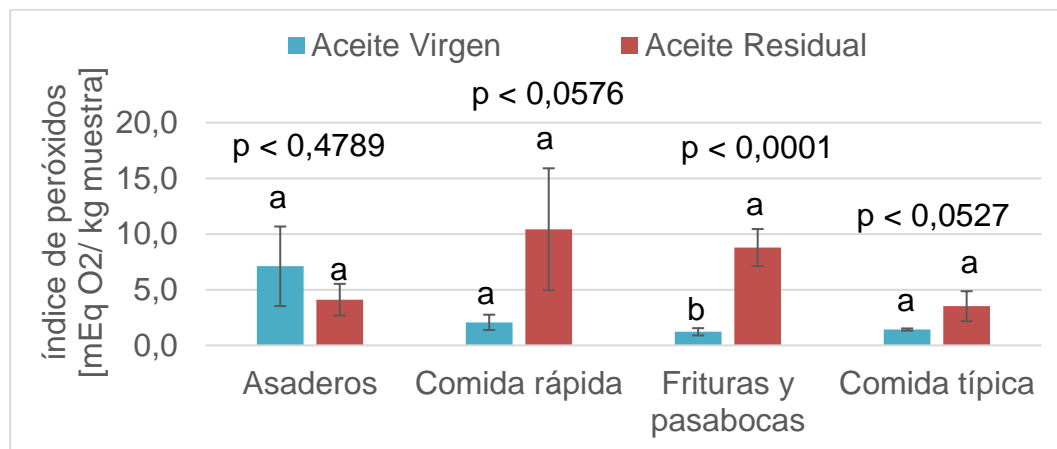


**4.2.3 Índice de peróxidos.** No se observó un cambio estadísticamente significativo en el índice de peróxidos para las categorías asaderos, comidas rápidas y comida típica (Figura 8). Por el contrario, se observó un aumento significativo para la categoría pasabocas/frituras. El aumento observado se debe a la oxidación de los aceites. La exposición al calor y a la luz favorece la formación de los radicales libres que se requieren para la formación de los hidroperóxidos [20]. Según los resultados de las encuestas en esta categoría se presentaron los mayores tiempos de cocción (5 – 16 horas/día) y se emplearon utensilios que permiten el contacto directo del aceite con el aire (freidoras). Elevados tiempos de cocción incrementan el contenido de ácidos grasos libres, acelerando el proceso de oxidación de los aceites [21].

El establecimiento “comidas rápidas 2” fue quien arrojó el mayor incremento en el índice de peróxidos (Anexo C3). Esto puede deberse al elevado tiempo de almacenamiento del aceite ya que de acuerdo con lo indicado por los trabajadores del establecimiento el tiempo de almacenamiento era superior a 3 meses, favoreciendo la oxidación de los ácidos grasos libres.

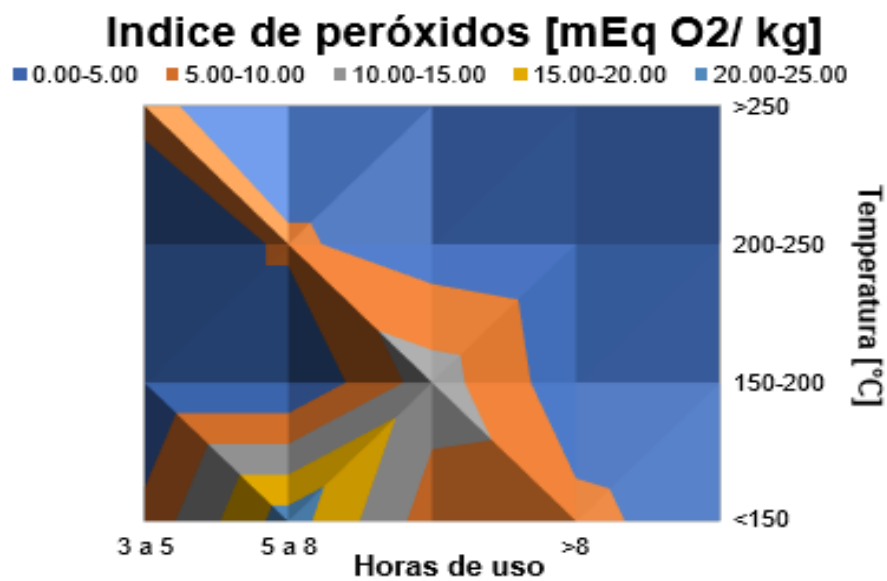
Una situación atípica se presentó con las muestras correspondientes a los aceites vírgenes utilizados en el establecimiento “asaderos 2” y en “comidas rápidas 1” (Anexo C3). El elevado índice de peróxidos de esas muestras pudo deberse a que el recipiente original es traslucido, permitiéndose la exposición a la luz. Como resultado de esto, se presentó una degradación previa al uso de los aceites.

Figura 8. Índice de peróxidos (IP) vs establecimientos.



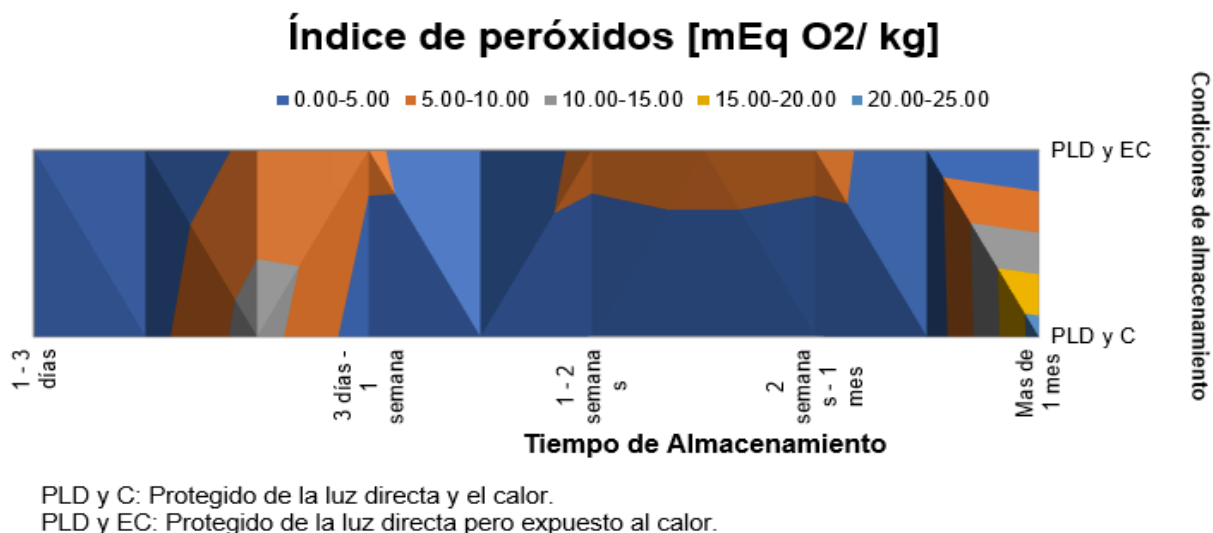
Como se observa en la superficie de contorno (Figura 9) del índice de peróxidos en función de las horas de uso diarias y la temperatura de cocción, para muchas horas de uso existe un aumento en el índice de peróxidos; sin embargo, al incluir el efecto de la temperatura el comportamiento no es el esperado, dado que al aumentar la temperatura disminuye el índice de peróxidos.

Figura 9. Gráfica de contorno de superficie para índice de peróxidos respecto a las condiciones de cocción.



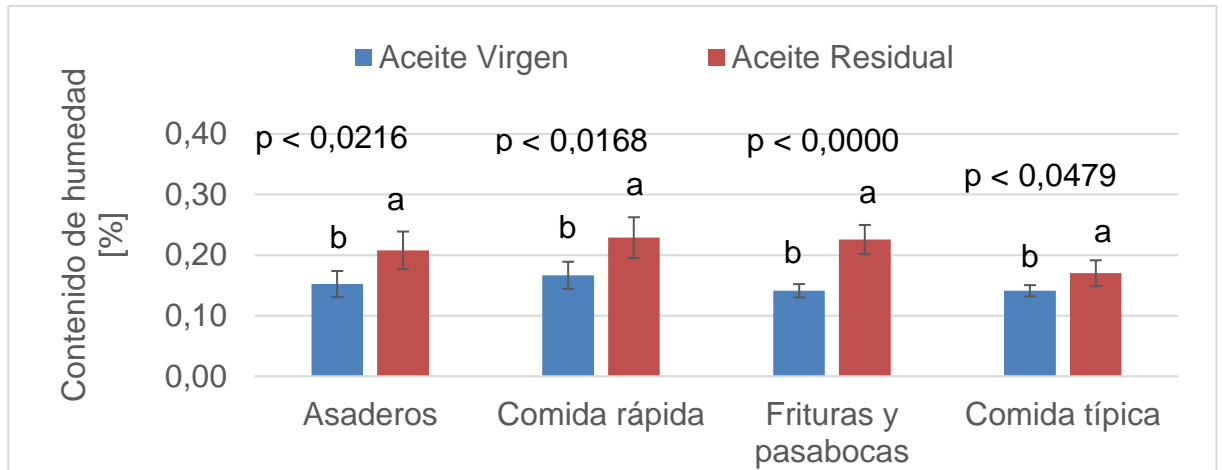
Respecto a las costumbres de manejo posconsumo de los aceites como se observa en la superficie de contorno (Figura 10) estos valores presentan una tendencia similar a la esperada, dado que al aumentar el tiempo de almacenamiento incrementa el índice de peróxidos. Sin embargo, al aumentar el tiempo de almacenamiento y exponer el ARC al calor también se observa una disminución en el índice de peróxidos.

Figura 10. Gráfica de contorno de superficie para índice de peróxidos respecto a las costumbres de manejo posconsumo de los aceites.



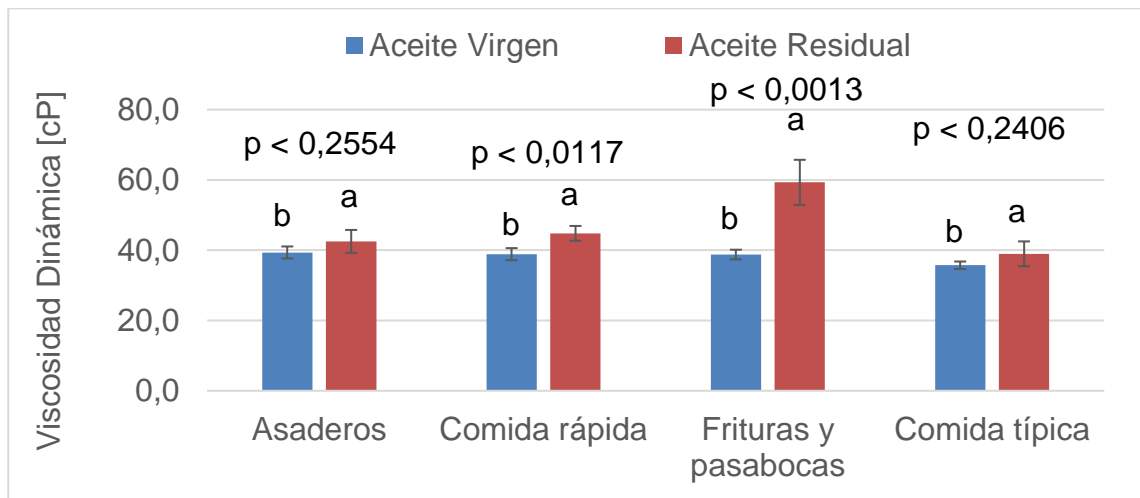
**4.2.4 Contenido de humedad.** El incremento de la humedad es similar y de mayor significancia estadística en tres de las cuatro categorías; asaderos, comidas rápidas y pasabocas/ frituras (Figura 11). Esto puede deberse a que, en estas categorías, los ingredientes que principalmente se cuecen en los aceites son tubérculos, especialmente papa (62,5%), los cuales se caracterizan por poseer una gran cantidad de humedad (70% en el caso de la papa) [28]. Esta humedad se transfiere al aceite durante la cocción, causando además un incremento en el índice de acidez debido a la hidrólisis de los triglicéridos [15].

Figura 11. Contenido de humedad vs establecimientos.



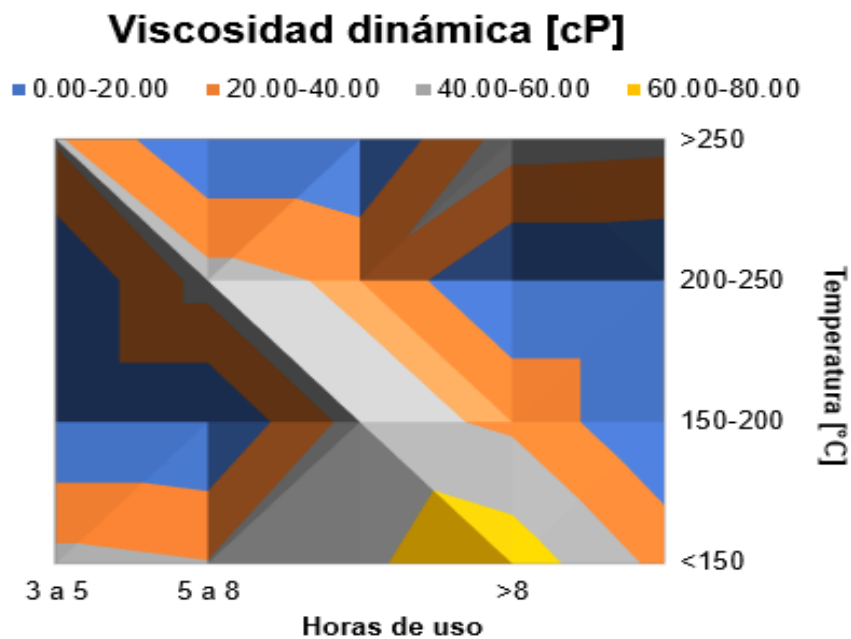
**4.2.5 Viscosidad dinámica.** Se observó el mayor aumento en la viscosidad dinámica para las categorías: comidas rápidas y pasabocas/frituras (Figura 12). El incremento de la viscosidad de los aceites residuales se debe a la polimerización de los ácidos grasos presentes en los aceites, generando compuestos de alto peso molecular, como compuestos polares no volátiles, dímeros y polímeros de triglicéridos [24].

Figura 12. Viscosidad dinámica vs establecimientos.



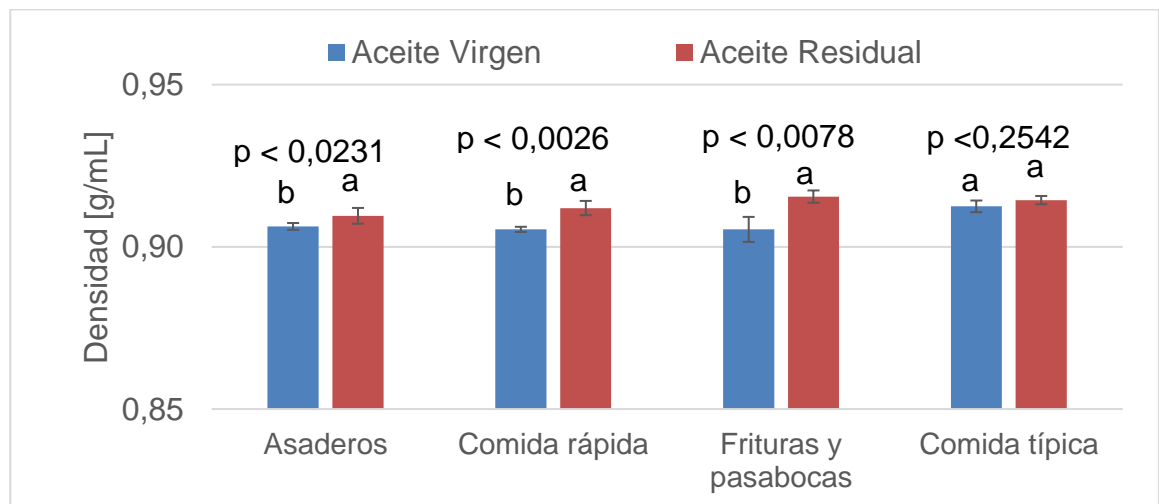
Para el caso del establecimiento “pasabocas 2”, se observó el mayor incremento en la viscosidad (Anexo C). Esto puede deberse al mayor tiempo de cocción (11 horas/día) y al número de días que se utiliza el aceite (4 – 5 días) por semana; un incremento en el tiempo de cocción y el número de frituras genera mayor cantidad de componentes polares de alto peso molecular [29]. Se observó una gran variabilidad en los valores de viscosidad con un incremento promedio de  $8,21 \pm 9,48$  cP (valor- $p < 0,0005$ ); resultados similares fueron reportados por Knothe y Steidley [22] quienes indicaron que esto se debía a la naturaleza heterogénea de los aceites. Un incremento en la temperatura de cocción incrementa la cantidad de polímeros formados, sin embargo, para el establecimiento de “pasabocas 2 y 3” quienes presentan los mayores incrementos de viscosidad reportaron tiempos de cocción bajos. Al observar la relación entre la viscosidad dinámica, los días de uso y las horas de uso de los aceites, como lo muestra la superficie de contorno (Figura 13), lo encontrado en la literatura no concuerda con los resultados obtenidos dado que al aumentar las horas de uso diarias y los días de uso, en la mayoría de los establecimientos no se presenta un aumento en el valor de la viscosidad, exceptuando el caso del establecimiento “pasabocas 2”.

Figura 13. Gráfica de contorno de superficie para viscosidad dinámica.



**4.2.6 Densidad.** Para los valores de densidad, se observó el mayor aumento en las categorías: comidas rápidas y pasabocas/frituras. Los valores de densidad, aunque estadísticamente presentan una variación significativa (Figura 14), su variación no presenta un efecto considerable en el proceso de cocción. Los pequeños cambios observados se deben probablemente a que parte de las grasas y proteínas de los alimentos se disuelven en los aceites utilizados para su fritura [24].

Figura 14. Densidad obtenida vs establecimientos.



## 4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La estimación de un modelo para el contenido de FFA, índice de acidez, viscosidad dinámica y el contenido de humedad en función de las condiciones de cocción usando regresión lineal multivariables, no fue exitosa obteniéndose un valor- $p$  no significativo (FFA: valor- $p < 0,692$ ; IA: valor- $p < 0,692$ ; Humedad valor- $p < 0,938$ ; Viscosidad: valor- $p < 0,944$ ) para cada una de las condiciones de cocción (Anexo D1, D3, D7, D9). Así mismo, la distribución de los residuos presenta un cierto grado de correlación no deseado (Anexo D2, D4, D10, D12). Además, la varianza no es constante generándose un problema de heterocedasticidad y falta de linealidad [27].

**4.2.1 Contenido de ácidos grasos libres.** Para el contenido de ácidos grasos libres (FFA), las variables seleccionadas fueron temperaturas de cocción y tiempo de uso diario del aceite. Como la variable categórica temperaturas de cocción presentaba 4 niveles se generaron 3 variables predictoras: la variable predictora temperaturas bajas (T. bajas) relaciona los niveles de temperaturas menor a 150°C y temperaturas entre 150°C y 200°C, donde al ser un variable de contraste a las temperaturas menor a 150°C se le asignó un valor de -1 dividido en el número total de establecimientos que presentaban este nivel ( $-1/5$ ), para los establecimientos con nivel de 150°C a 200°C se le asignó un valor de 1 dividido en el número total de establecimientos que presentaban este nivel ( $1/2$ ) y para aquellos que no presentaban ninguno de estos dos niveles se les asignó un valor de 0. En el caso de la variable predictora temperaturas altas (T. altas) se relacionaron los niveles de temperaturas entre 200 y 250°C y, superiores a 250°C; por último, se generó la variable predictora de contraste que relaciona temperaturas altas con temperaturas bajas (T. altas vs T. bajas). Para la variable categórica horas de uso diarias se generaron 2 variables: muchas horas de uso (Muchas horas) relaciona los niveles de 5 a 8 horas y más de 8 horas; la variable predictora de contraste “Pocas vs muchas” relaciona 3 a 5 horas (pocas horas) vs muchas horas (Tabla 3).

Por último, para estudiar los efectos combinados se seleccionaron aquellas variables cuyos coeficientes de correlación fueran superiores a 0,05. Un procedimiento similar al explicado con la variable T. bajas se realizó para las demás variables predictoras expuestas posteriormente.

Tabla 3. Valores de las variables predictoras de contraste para el contenido de ácidos grasos libres (FFA).

	% FFA	Temperaturas			Horas de uso		Efectos Combinados			
		T. altas	T. bajas	T altas vs T bajas	Muchas horas	Pocas vs Muchas	X1*X4	X1*X5	X2*X5	X3*X5
		Y	X1	X2	X3	X4	X5			
A1	1.59	0.00	0.50	-0.14	0.20	0.10	0.00	0.00	0.05	-0.01
A2	2.56	0.33	0.00	0.20	0.00	-0.50	0.00	-0.17	0.00	-0.10
A3	1.34	0.33	0.00	0.20	0.20	0.10	0.07	0.03	0.00	0.02
CR1	0.65	0.33	0.00	0.20	0.20	0.10	0.07	0.03	0.00	0.02
CR2	0.38	0.00	-0.20	-0.14	-0.20	0.10	0.00	0.00	-0.02	-0.01
CR3	1.56	-0.50	0.00	0.20	-0.20	0.10	0.10	-0.05	0.00	0.02
P1	0.62	0.00	0.50	-0.14	-0.20	0.10	0.00	0.00	0.05	-0.01
P2	4.36	0.00	-0.20	-0.14	0.20	0.10	0.00	0.00	-0.02	-0.01
P3	2.09	0.00	-0.20	-0.14	-0.20	0.10	0.00	0.00	-0.02	-0.01
CT1	0.26	-0.50	0.00	0.20	-0.20	0.10	0.10	-0.05	0.00	0.02
CT2	0.51	0.00	-0.20	-0.14	0.00	-0.50	0.00	0.00	0.10	0.07
CT3	0.93	0.00	-0.20	-0.14	0.20	0.10	0.00	0.00	-0.02	-0.01
<b>Suma</b>		0	0	0	0	0				

**4.2.2 índice de acidez.** Como las variables categóricas seleccionadas para índice de acidez son las mismas que para FFA, las variables predictoras generadas y los valores de estas variables fueron similares (Tabla 3).

**4.2.3. índice de peróxido.** Para el caso del índice de peróxidos las variables categóricas seleccionadas, respecto a las condiciones de cocción, son las mismas que para FFA las variables predictoras generadas y los valores de estas variables fueron similares (Tabla 3). Sin embargo, fue posible establecer una relación entre el tiempo de cocción de los aceites y el índice de peróxidos, dado que para tiempos de cocción superiores a 5 horas diarias el índice de peróxidos incrementa (variable predictora muchas horas: valor- $p < 0,027$ ); de forma similar el tiempo de almacenamiento de los aceites residuales y el índice de peróxido se encuentran relacionados cuando se presentan tiempos de almacenamiento superior a 1 semana (variable predictora de semanas vs meses: valor- $p < 0,005$ ), observándose que a mayor tiempo de almacenamiento mayor índice de peróxido (Anexo D7).

Para las demás variables predictoras no es posible establecer una relación estadísticamente significativa (Anexo D5 y D7) entre dichas variables y el índice de peróxido para los aceites residuales. Sin embargo, la variabilidad presentada en los valores de índice de peróxidos, incluso entre establecimientos de las mismas categorías, sugieren que esta propiedad es más sensible a los procesos de cocción que otras; lo anterior se evidencia en las gráficas de residuos (Anexo D6 y D8) dado que la varianza no es constante.

Respecto al manejo posconsumo de los aceites, las variables categóricas tiempo de almacenamiento y condiciones de almacenamiento fueron seleccionadas. Para la variable categórica tiempo de almacenamiento se generaron 4 variables predictoras (Tabla 4): la variable predictora días relaciona los niveles de 1 a 3 días, y de 3 días a 1 semana; la variable predictora semanas relaciona los niveles entre 1 y 2 semanas y, entre 2 semanas y 1 mes; por último se generó la variable de contraste de días vs semanas (D vs S) y la variable de contraste de semanas vs meses (S vs M). Para la variable categórica condiciones de almacenamiento se generó 1 variable predictora (Luz y no calor) que relaciona los niveles de protegido de la luz directa y el calor, y protegido de la luz directa pero expuesto al calor.

Tabla 4. Valores de las variables predictoras de contraste respecto al manejo posconsumo de los aceites para el índice de peróxidos.

	IP	Tiempo de almacenamiento				Condiciones de almacenamiento
		Dias	Semanas	D vs S	S vs M	Luz y no calor
	Y	X6	X7	X8	X9	X10
A1	1.59	0.25	0.00	0.14	0.00	1
A2	6.62	0.00	0.50	-0.25	-0.25	-1
A3	2.19	-0.33	0.00	0.14	0.00	1
CR1	2.84	0.25	0.00	0.14	0.00	1
CR2	22.53	0.00	0.00	0.00	1.00	1
CR3	5.91	-0.33	0.00	0.14	0.00	-1
P1	12.47	0.25	0.00	0.14	0.00	1
P2	6.52	0.00	-0.50	-0.25	-0.25	-1
P3	7.35	0.00	-0.50	-0.25	-0.25	-1
CT1	1.98	0.00	0.50	-0.25	-0.25	-1
CT2	6.53	0.25	0.00	0.14	0.00	-1
CT3	2.04	-0.33	0.00	0.14	0.00	1
<b>Suma</b>		0	0	0	0	0

**4.2.4 Contenido de humedad.** La variable categórica para contenido de humedad, tipo de alimento, presentaba 3 niveles por lo que se generaron 2 variables predictoras: Lípidos que relaciona aquellos establecimientos que mayoritariamente fritaban papa y harinas, y la variable predictora de contraste Proteínas vs Lípidos (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de las variables predictoras de contraste para el contenido de humedad.

	Humedad	Tipo de alimentos	
		Lipidos	Proteina vs Lipidos
	Y	X1	X2
A1	0.16333	0.00	-0.50
A2	0.27667	0.00	-0.50
A3	0.18333	0.13	0.10
CR1	0.17000	0.13	0.10
CR2	0.30000	0.13	0.10
CR3	0.21667	0.13	0.10
P1	0.27667	0.13	0.10
P2	0.19000	-0.50	0.10
P3	0.21000	-0.50	0.10
CT1	0.14000	0.13	0.10
CT2	0.21667	0.13	0.10
CT3	0.15333	0.13	0.10

**4.2.5 Viscosidad dinámica.** Las variables categóricas seleccionadas para la viscosidad fueron: la temperatura de cocción, tiempo de cocción diarios y tiempos de reutilización del aceite. Como las variables categóricas para viscosidad son las mismas que para FFA, las variables predictoras generadas y los valores de estas variables fueron similares (Tabla 3). Debido a la gran cantidad de efectos combinados posibles se escogieron como objeto de estudio aquellos cuyos coeficientes de correlación fuera distinto de 0. Sin embargo, para ninguno de los casos se obtuvo un valor  $\text{valor-}p < 0,05$ .

### **4.3. EFECTO DE LAS PROPIEDADES DE COCCIÓN EN LA GENERACIÓN DE PRODUCTOS DE VALOR AGREGADO**

Los aceites vegetales dejan de ser aptos para el consumo humano tras ser sometidos a los procesos de cocción; la determinación de propiedades como índice de acidez, índice de peróxidos, humedad, viscosidad dinámica y densidad son evidencia de la degradación que pueden sufrir. No obstante, una de las alternativas a la eliminación directa de este residuo es su utilización como materia prima para la generación de productos de valor agregado.

**4.3.1 Biodiesel.** La transesterificación es una reacción entre un triglicérido (presente en los aceites) y un alcohol para formar alquilésteres y glicerol. Al utilizar aceites de cocina usados como materia prima, esta reacción se ve afectada considerablemente por la degradación de estos aceites, reduciendo así el rendimiento de la reacción [29]. Investigaciones anteriores han reportado valores límites para algunas propiedades de los aceites al momento de ser utilizados como materia prima para la producción de biodiesel mediante transesterificación básica (Tabla 6).

Tabla 6. Rangos permisibles para la transesterificación básica.

Propiedad	Rango permisible	Referencia bibliográfica
Contenido de FFA	0,5% a 3%	[31] [32]
Índice de acidez	Menor a 2 mg KOH/g	[25] [32] [33]
Índice de peróxidos	2,160 mg O <sub>2</sub> /g	[36]
Contenido de humedad	Menor al 0,1%	[32] [34]
Viscosidad cinemática*	1,9 mm <sup>2</sup> /s a 6,0 mm <sup>2</sup> /s	[35]

\* En la literatura solo se reportan rangos de viscosidad cinemática por lo cual, para obtener los valores de viscosidad cinemática, la viscosidad dinámica se relacionó con la densidad.

Las categorías de comidas rápidas y de comida típica tienen valores de contenido de FFA e índice de acidez dentro del rango permisible (Figuras 4 y 6), por lo cual se podrían utilizar para la producción de biodiesel. Sin embargo, los valores obtenidos para las categorías de asaderos y pasabocas/frituras, aunque no se ajustan al rango permisible, se pueden reducir hasta el valor límite de 2 mg KOH/g realizando una esterificación ácida previa [25]. Para los valores de índice de peróxido se encontró que ninguna de las muestras cumple con el dato teórico permisible encontrado en la literatura de 2,160 mg O<sub>2</sub>/g. Con respecto al contenido de humedad, ninguna de las muestras obtenidas cumple con el rango establecido; no obstante, si se realiza un secado previo a la transesterificación, los aceites se podrían utilizar para la producción de biodiesel.

En cuanto a la viscosidad, ninguno de los valores obtenidos se encuentra dentro del rango permisible; sin embargo, como lo indican Knothe y Steidley<sup>2</sup>, es probable que la viscosidad del biodiesel derivado de estos aceites residuales de cocina se encuentre en el rango, dado que la viscosidad del éstermetílico del ácido esteárico, el éstermetílico más viscoso de los ácidos grasos comunes es inferior a 6,0 mm<sup>2</sup>/s.

<sup>2</sup> KNOTHE, Gerhard y STEIDLEY, Kevin R. A comparison of used cooking oils: A very heterogeneous feedstock for biodiesel. En: Bioresource Technology. Agosto, 2009, vol. 100, no. 23, p. 5800.

## 5. CONCLUSIONES

Se determinaron las propiedades de los aceites residuales de cocina generados en 12 establecimientos del área metropolitana de Bucaramanga (asaderos, comidas rápida, pasabocas frituras y comida típica). Este residuo es heterogéneo aún en los aceites pertenecientes a la misma categoría debido a que los establecimientos utilizan diferentes tipos de aceite, tiempos de cocción, tipos de alimentos y aditivos, evidenciándose la necesidad de realizar una caracterización de los aceites residuales antes de su utilización como materia prima en la elaboración de biodiesel. Aunque se encontró que estos aceites se pueden utilizar como materia prima para la producción de biodiesel, no se logró encontrar una relación satisfactoria entre las propiedades fisicoquímicas de los aceites residuales y las condiciones de cocción a las que fueron sometidos. Esto puede deberse a que las condiciones de cocción fueron obtenidas mediante el uso de encuestas. Los aceites generados en restaurantes de comidas rápidas y comida típica se encuentran en el rango permisible de FFA e índice de acidez, pero se les debe realizar un secado previo para reducir su contenido de humedad. Para las demás categorías, se podría implementar una esterificación ácida para reducir los niveles de índice de acidez de los aceites junto con el secado previo. De cualquier forma, los parámetros para la obtención del biodiesel deben ser ajustados según la materia prima debido a la variabilidad en los procesos de cocción, como se expuso anteriormente. Por último, se recomienda realizar una previa caracterización para cada tipo de aceite que se desee utilizar como materia prima debido a la variabilidad que se expuso anteriormente, por otra parte, se recomienda realizar un estudio que implique la generación de los aceites residuales en condiciones controladas teniendo en cuenta las condiciones que se obtuvieron a partir de las encuestas. Además, en lo posible estandarizar los procesos para lograr una homogenización de la materia prima y así poder garantizar la viabilidad de los aceites en la producción de bienes de valor agregado.

## BIBLIOGRAFÍA

ARANGO PARRADO, Nataly. Análisis de la calidad del aceite de mezclas vegetales utilizado en doce frituras sucesivas empleado para freír papa sabanera tipo francesa. Tesis de pregrado en Nutricionista dietista. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias, p. 17.

BERNAL DE RAMÍREZ, Inés. Análisis de alimentos. Bogotá, D.C: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1998, p. 136-166. ISBN: 9589205003.

BIRD, R. Byron; STEWART, Warren E y LIGHTFOOT, Edwin N. Fenómenos de transporte. Barcelona: Editorial Reverté S.A, 1992, p. 1-3. ISBN: 9789681863654.

CANACKI, Mustafa y VAN GERPEN, J. Biodiesel production via acid catalysis. En: Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 1999, vol. 42, no. 5., p. 1203-1210.

CANACKI, Mustafa. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. En: Bioresource Technology. Enero, 2007, vol.98, no.1., p.183-190.

CASTELLAR ORTEGA, Grey C.; ANGULO MERCADO, Edgardo R. y CARDOZO ARRIETA, Beatriz M. Transesterification vegetable oils using heterogeneous catalysts, Prospect. Junio, 2014, vol 12, no.2., p. 90-104.

CHEN, Wei-an, et al. Total Polar Compounds and Acid Values of Repeatedly Used Frying Oils Measured by Standard and Rapid Methods. Taiwan: Journal of Food and Drug Analysis, 2013. p. 63.

CHOE, E; MIN, D.B. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. En: Journal of food science. Junio-Julio, 2007, vol.72, no.5., p. R77-R86.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución N° 0316 de 2016 (01, marzo, 2018). Por lo cual se establecen disposiciones relacionadas con la gestión de los aceites de cocina usados y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 2018, p. 1-8.

GUERRERO GONZÁLEZ, Carmen E. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Tesis de pregrado en Ingeniería Química. Universidad de Almería. Facultad de ciencias experimentales y escuela politécnica, 2014, p. 34.

HATICE DOGAN, Tuba. The testing of the effects of cooking conditions on the quality of biodiesel produced from waste cooking oils. En: Renewable Energy. Agosto, 2016, vol.94, p. 466-473.

HASIBUAN, Sawarni; AMAR, Ma'ruf y SAHIRMAN. Biodiesel from Low Grade Used Frying Oil Using Esterification Transesterification Process. En: Makara Seri Sains. Noviembre, 2009, vol.13, no.2., p. 105-110.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION, ISO 3104. Productos del petróleo. Líquidos transparentes y opacos. Determinación de la viscosidad cinemática y cálculo de la viscosidad dinámica. ISO, 1994, p. 1-13.

KNOTHE, Gerhard y STEIDLEY, Kevin R. A comparison of used cooking oils: A very heterogeneous feedstock for biodiesel. En: Bioresource Technology. Agosto, 2009, vol. 100, no. 23, p. 5796–5801.

LIU, K. Preparation of fatty acid methyl esters for gas-chromatographic análisis of lipids in biological materials. En: Journal of the America Oil Chemists' Society. 1999, vol. 71, no. 11, p. 1179-1187.

LOPEZ, L; BOCANEGRA. J y MALAGON-ROMERO, D. Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado En: Ing. Univ., vol. 19, no. 1, pp. 155-172, Ene.-jun., 2015.

MÁRQUEZ-FARFÁN, Luis. Diseño de un sistema para la gestión de aceites vegetales usados en cañete para producir biodiesel. Tesis de pregrado no publicado. Lima: Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, 2013, p. 22.

MAZZA, G; QI, H. Effect of after-cooking darkening inhibitors on stability of frying oil and quality of French fries. En: Journal of the American Oil Chemists' Society. Septiembre, 1992, vol. 69, no. 9., p. 847-853.

MEDINA M, Gilma Beatriz. Aceites y grasas comestibles. Tesis de pregrado en Nutrición y Bromatología. Universidad de Antioquía. Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias, p.1-2.

MONYEM, Abdul; CANAKCI, Mustafa y VAN GERPEN, J.H. Investigation of biodiesel thermal stability under simulated in-use conditions. Toronto: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1999, p. 373.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 287. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil. ICONTEC. Bogotá, D.C., 2002, p. 1-7.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 336. Grasas y aceites animales y vegetales. Método de la determinación de la densidad-masa por volumen convencional. ICONTEC. Bogotá, D.C., 2002, p. 1-11.

PERMADANI, Resi Levi; IBADURROHMAN, Muhammad y SLAMET, Slamet. Utilization of waste cooking oil as raw material for synthesis of Methyl Ester Sulfonates (MES) surfactant. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2018, p. 1-7.

RASHID, M.T; VORONEY, R.P y KHALID, M. Application of food industry waste to agricultural soils mitigates greenhouse gas emissions. En: Bioresource Technology. Enero, 2010, vol.101, no.2., p. 485-490.

REDACCIÓN ELTIEMPO.COM, Mercado negro de aceite, un riesgo en su mesa. [En línea]. Colombia. Revista el Tiempo. 2013. (Recuperado en 16 diciembre 2018.) Disponible en: [https://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/responsabilidadsocial7/ARTICULO-WEB-NOTA\\_INTERIOR\\_MULTIMEDIA-12581710.html](https://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/responsabilidadsocial7/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_MULTIMEDIA-12581710.html)

ROMANO, S. Vegetable oils—a new alternative. Vegetable Oils Fuels - Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels. ASAE Publication 4-82, Fargo, ND, USA, pp.106–116.

SHARMA, Y.C.; SINGH, B. Development of biosiediesel: Current scenario. Agosto-septiembre, 2009, vol.13, no.6-7., p.1648

SUZUKI, Andreia H, et al. Sustainable synthesis of epoxidized waste cooking oil and its application as a plasticizer for polyvinyl chloride films. European Polymer Journal, 2018, p. 142-149.

TACIAS PASCACIO, Veymar Guadalupe; ROSALES QUINTERO, Arnulfo y TORRESTIANA SÁNCHEZ, Beatriz. Evaluación y caracterización de grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiesel: Un caso de estudio. Veracruz: Revista internacional de contaminación ambiental, 2016, p. 303-313.

WYSE-MASON, Rachael R y BECKLES, Denise M. An investigation of restaurant waste oil characteristics for biodiesel production in Trinidad and Tobago. Trinidad y Tobago

## ANEXOS

ANEXO. A. Encuesta: propiedades y manejo posconsumo del aceite residual de cocina.

### ***Presentación***

Esta encuesta tiene como propósito establecer las propiedades más importantes del aceite residual de cocina y su relación con los procesos de cocción. También, identificar aspectos relacionados con la recolección, almacenamiento y eliminación del aceite (manejo posconsumo). Hace parte de un ejercicio que está siendo desarrollado conjuntamente por la Universidad Santo Tomás y la Universidad Industrial de Santander. La información suministrada será tratada con confidencialidad y será utilizada únicamente con fines académicos. Agradecemos diligenciar todos los campos.1. Utilizando una escala del 1 al 5, indique qué tipo de aceite se utiliza para cocinar en el restaurante (1 representa el 0% de las veces y 5 el 100% de las veces).

<b>Tipo de aceite</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Aceite de palma					
Aceite de soya					
Aceite de girasol					
Aceite de canola					
Otro, ¿cuál?					

2. Indique con qué frecuencia se cambia el tipo de aceite (Marque sólo una opción).

A diario	
Día por medio	
Entre 2 y 3 veces a la semana	
Una vez a la semana	
Una vez cada 15 días	
Una vez al mes	
Nunca	

3. Indique qué cantidad de aceite virgen se utiliza a diario, en promedio (Marque sólo una opción).

Menos de 5 litros	
Entre 5 y 10 litros	
Entre 10 y 15 litros	
Entre 15 y 25 litros	
Entre 25 y 40 litros	
Entre 40 y 65 litros	
Más de 65 litros	

4. Indique qué cantidad de aceite residual se genera a diario, en promedio (Marque sólo una opción).

Menos de 5 litros	
Entre 5 y 10 litros	
Entre 10 y 15 litros	
Entre 15 y 25 litros	
Entre 25 y 40 litros	
Entre 40 y 65 litros	
Más de 65 litros	

5. Indique en cuál época del año se genera una mayor cantidad de aceite residual (Marque sólo una opción).

Primer trimestre	
Segundo trimestre	
Tercer trimestre	
Cuarto trimestre	

6. Utilizando una escala del 1 al 5, indique qué criterio se utiliza para desechar el aceite residual (1 representa el 0% de las veces y 5 el 100% de las veces).

<b>Criterio de eliminación</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Cambios en el color					
Cambios en el olor					
Cambios en el sabor					

Días de uso					
Otro, ¿cuál?					

7. Indique de qué forma se almacena el aceite residual antes de ser desechado.

<b>Forma de almacenamiento</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Se deposita directamente en un recipiente de almacenamiento					
Se separan los restos de comida mediante sedimentación antes de depositar el aceite en el recipiente					
Se separan los restos de comida mediante filtración antes de depositar el aceite en el recipiente					
Otro, ¿cuál?					

8. Indique de qué material está hecho el recipiente de almacenamiento.

<b>Material del recipiente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Vidrio					
Plástico					
Metal					
Otro, ¿cuál?					

9. Indique qué características tiene el recipiente de almacenamiento.

<b>Características del recipiente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
El recipiente es opaco y tiene tapa					
El recipiente es opaco, pero no tiene tapa					
El recipiente tiene tapa, pero no es opaco					
El recipiente no tiene tapa ni es opaco					

10. Indique en qué lugar se almacena el aceite residual.

<b>Lugar de almacenamiento</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
En la cocina					
En una bodega					
En un patio					

11. Indique en qué condiciones se almacena el aceite residual.

<b>Condiciones de almacenamiento</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Protegido de la luz directa y el calor					
Protegido de la luz directa pero expuesto al calor					
Protegido del calor pero expuesto a la luz directa					
Expuesto al calor y a la luz directa					

12. Indique cuánto tiempo dura almacenado el aceite residual antes de ser desechado, en promedio (Marque sólo una opción).

1 día	
Entre 1 y 3 días	
Entre 3 días y 1 semana	
Entre 1 y 2 semanas	
Entre 2 semanas y 1 mes	
Más de 1 mes	

13. Utilizando una escala del 1 al 5, indique de qué forma se desecha el aceite residual (1 representa el 0% de las veces y 5 el 100% de las veces).

<b>Forma de eliminación</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Se vierte en el fregadero					
Se desecha junto con los residuos sólidos					
Se vende					
Se lleva a un centro de reciclaje					

14. Indique cuántos días se reutiliza el aceite antes de ser desechado, en promedio (Marque sólo una opción).

1 día	
Entre 1 y 3 días	
Entre 3 días y 1 semana	
Entre 1 y 2 semanas	

Entre 2 semanas y 1 mes	
Más de 1 mes	

15. Indique a qué temperatura se cuecen los ingredientes (alimentos y aditivos) en el aceite, en promedio (Marque sólo una opción).

Por debajo de 150 °C	
Entre 150 y 200 °C	
Entre 200 y 250 °C	
Por encima de 250 °C	

16. Indique cuántas horas al día se utiliza el aceite, en promedio (Marque sólo una opción).

Menos de 1 hora	
Entre 1 y 2 horas	
Entre 2 y 3 horas	
Entre 3 y 5 horas	
Entre 5 y 8 horas	
Más de 8 horas	

17. Utilizando una escala del 1 al 5, indique qué ingredientes se cuecen en el aceite (1 representa el 0% de las veces y 5 el 100% de las veces).

<b>Tipo de ingrediente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Carnes					

Cereales					
Harinas					
Tubérculos					
Salsas					
Especias					
Otro, ¿cuál?					

18. Indique con qué frecuencia se cambia el menú ofrecido en el restaurante (Marque sólo una opción).

A diario	
Día por medio	
Entre 2 y 3 veces a la semana	
Una vez a la semana	
Una vez cada 15 días	
Una vez al mes	

19. Utilizando una escala del 1 al 5, indique qué utensilios se utilizan durante la cocción de los ingredientes (1 representa el 0% de las veces y 5 el 100% de las veces).

<b>Tipo de utensilio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Freidora					
Sartén					
Sartén con teflón					

Wok					
Otro, ¿cuál?					

20. Si existe un sistema de recolección de aceite residual en la zona donde queda ubicado el restaurante, indique cuántas veces lo utilizan al mes, en promedio (Marque una sola opción).

A diario	
Día por medio	
Entre 2 y 3 veces a la semana	
Una vez a la semana	
Una vez cada 15 días	
Una vez al mes	

21. Si no existe, indique qué tan interesados estarían en utilizar un sistema de recolección de este tipo, utilizando una escala del 1 al 5 (1 representa que no estarían interesados y 5 que estarían muy interesados).

1	2	3	4	5

22. Indique con cuáles de los siguientes usos del aceite residual está más familiarizado (Marque una sola opción)

Producción de biocombustibles	
Producción de biolubricantes	
Producción de bioplásticos	
Otro, ¿cuál?	

## Información suplementaria

### ***Glosario***

- Aceite residual: Aceite que ha sido sometido a un proceso de cocción
- Aceite virgen: Aceite que no ha sido utilizado
- Filtración: Proceso que consiste en la separación de una suspensión formada por fase sólida y una líquida por acción de un medio filtrante. El medio filtrante retiene los sólidos de mayor tamaño que sus poros mientras la fase líquida pasa a través de él
- Sedimentación: Proceso que consiste en la separación de una suspensión formada por una fase sólida y una líquida por acción de la gravedad. La fase sólida se deposita en el fondo de la fase líquida, y el líquido sobrenadante es separado mediante trasvase
- Tubérculo: Tallo subterráneo engrosado donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta. Ejemplos: arracacha, papa, yuca

### ***Escala de valoración***

1: 0% de las veces

2: menos el 30 % de las veces

3: entre el 30 y 70% de las veces

4: más del 70 % de las veces

5: 100 % de las veces

### ***Aspectos a tener en cuenta***

El manejo posconsumo de los aceites residuales comprende tres aspectos importantes. El primero de ellos consiste en la recolección, que depende de la cantidad de aceite virgen utilizado y de aceite residual generado. Otro aspecto importante es la recolección, que comprende la forma, condiciones y tiempo de almacenamiento. Estos factores pueden afectar las propiedades del aceite residual marcadamente. El último aspecto es la eliminación.

Durante el proceso de cocción, las propiedades organolépticas de los aceites cambian (color, olor, sabor). Los cambios en esas propiedades son utilizados en algunos restaurantes como un criterio para desechar los aceites residuales. Sin embargo, en muchos restaurantes reutilizan el aceite antes de desecharlo debido a la estabilidad oxidativa de algunos aceites.

Dos de los factores más influyentes sobre las propiedades organolépticas de los aceites son la temperatura y el tiempo de cocción. Entre mayor son la temperatura y el tiempo, mayor es el efecto sobre estas propiedades. Otro factor influyente es el tipo de ingredientes que se cuecen y los utensilios utilizados.

ANEXO. B. Valores promedio de las propiedades de los aceites de cocina (ARC) y aceites vírgenes (AV) según categoría.

Tipo de restaurante		Contenido de ácidos grasos libres (%)	Índice de acidez (mg KOH/g)	Índice de peróxidos (mEq O <sub>2</sub> /kg)	Contenido de humedad (%)	Viscosidad dinámica (cP)	Densidad (g/mL)
Asaderos	AV	0,072±0,019	0,16±0,039	7,10±3,57	0,15±0,022	39,36±1,71	0,91±0,0010
	ARC	1,83±0,33	4,18±0,67	4,10±1,42	0,21±0,031	42,51±3,27	0,91±0,0024
Comidas rápidas	AV	0,062±0,014	0,13±0,028	2,07±0,69	0,17±0,022	38,88±1,72	0,91±0,00079
	ARC	0,86±0,32	1,74±0,64	10,43±5,47	0,23±0,034	44,80±2,11	0,91±0,0022
Pasabocas	AV	0,064±0,012	0,12±0,025	1,22±0,33	0,14±0,011	38,77±1,37	0,91±0,0039
	ARC	2,36±0,97	4,75±1,96	8,78±1,66	0,23±0,024	59,31±6,42	0,92±0,0019
Comida Típica	AV	0,031±0,018	0,16±0,036	1,42±0,10	0,14±0,0093	35,73±1,06	0,91±0,0018
	ARC	0,57±0,18	1,14±0,35	3,52±1,35	0,17±0,021	38,99±3,53	0,91±0,0013

ANEXO. C. Propiedades de los aceites de cocina según establecimiento: Asaderos (A1, A2, A3), Comidas rápidas (CR1, CR2, CR3), Pasabocas/frituras (P1, P2, P3) y comida típica (CT1, CT2, CT3).

Figura C1. Contenido de FFA para AV y ARC según cada tipo de establecimiento

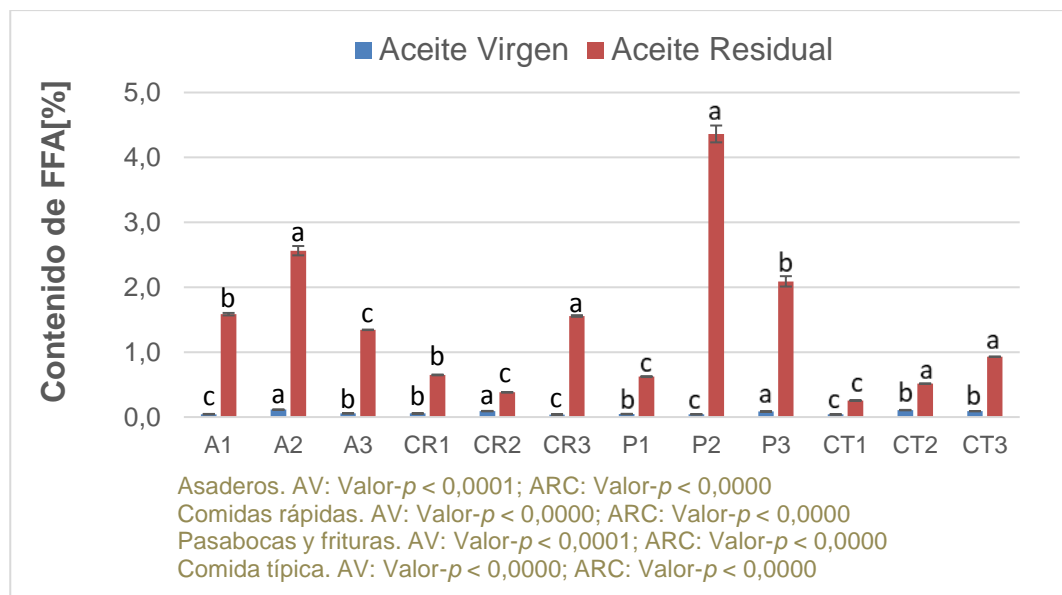


Figura C2. Índice de acidez para AV y ARC según cada tipo de establecimiento

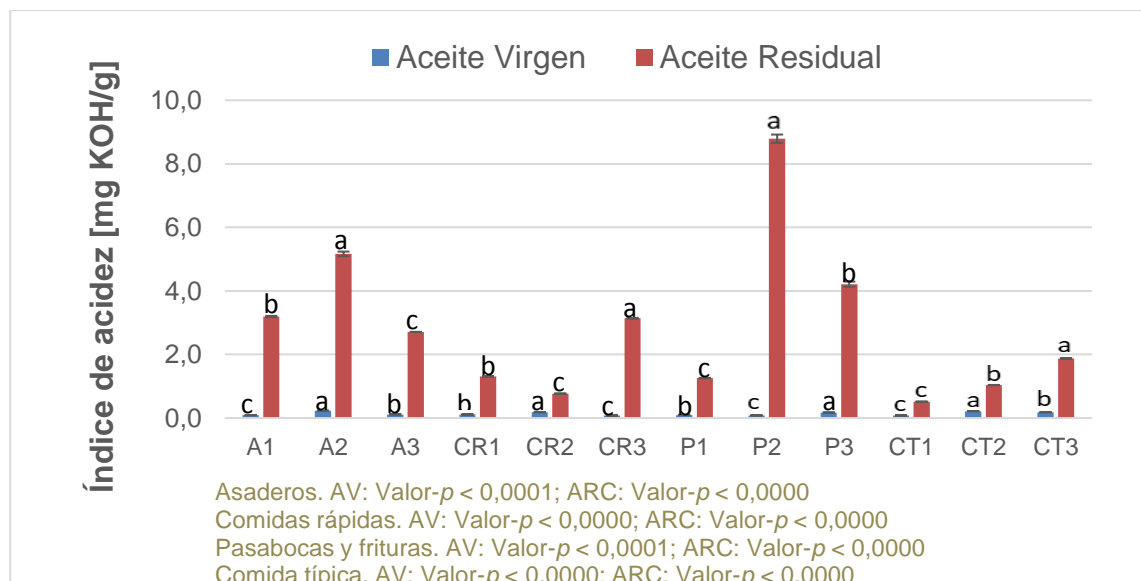


Figura C3. Índice de peróxidos para AV y ARC según cada tipo de establecimiento

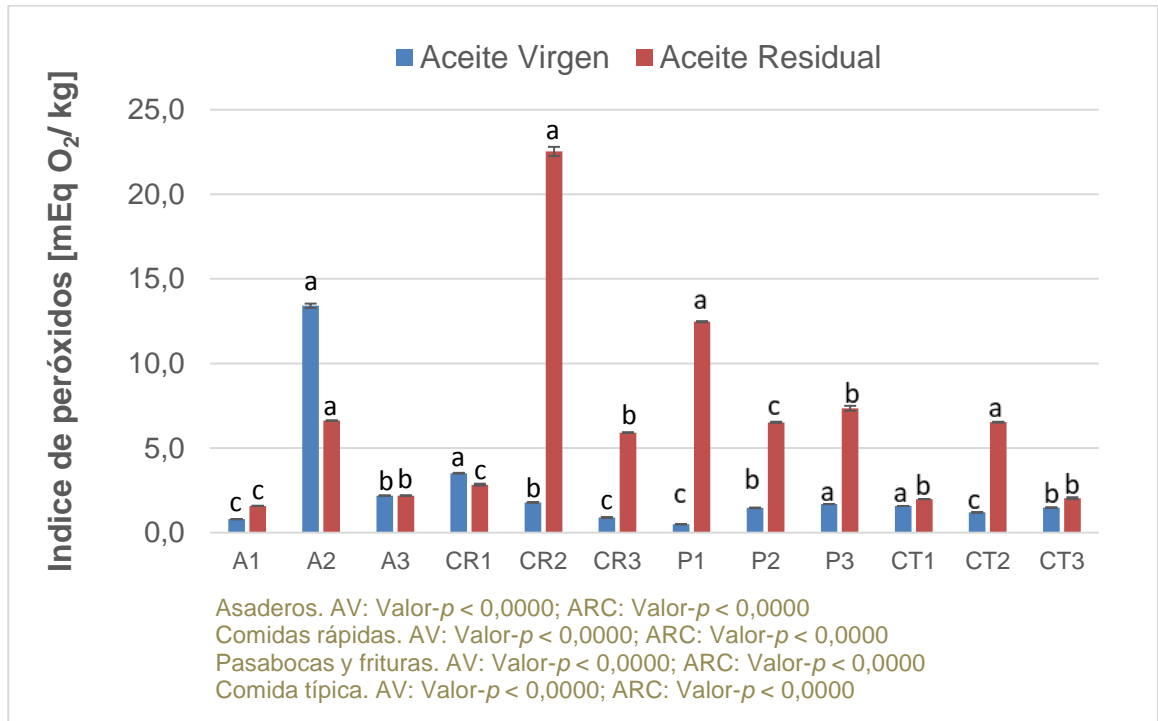


Figura C4. Contenido de humedad para AV y ARC según cada tipo de establecimiento

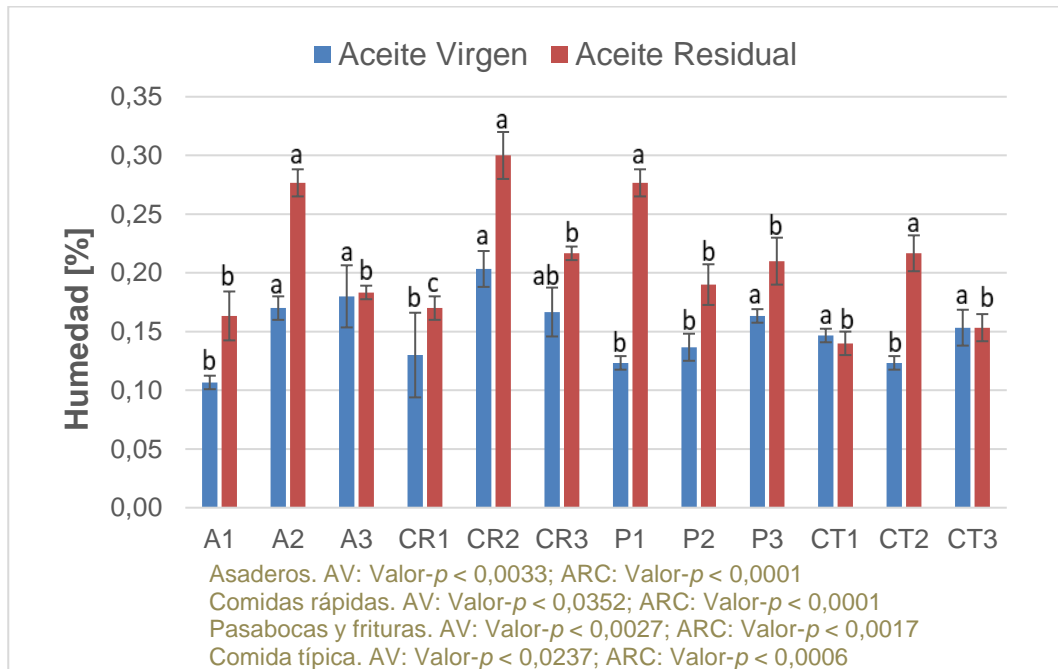


Figura C5. Viscosidad dinámica para AV y ARC según cada tipo de establecimiento

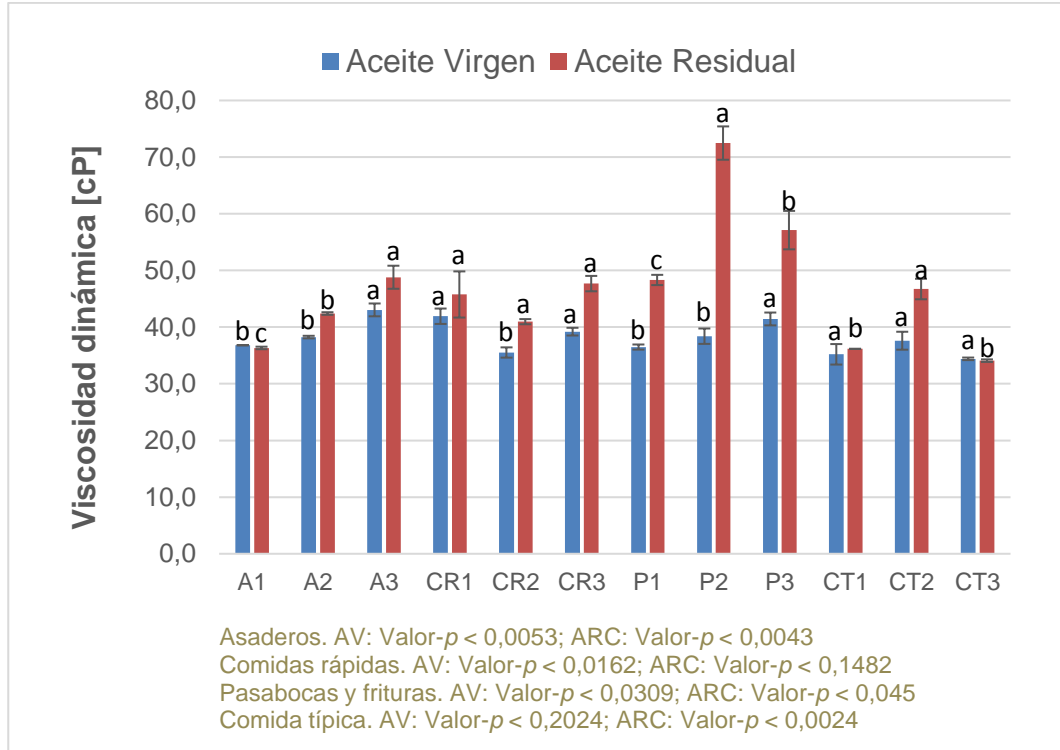
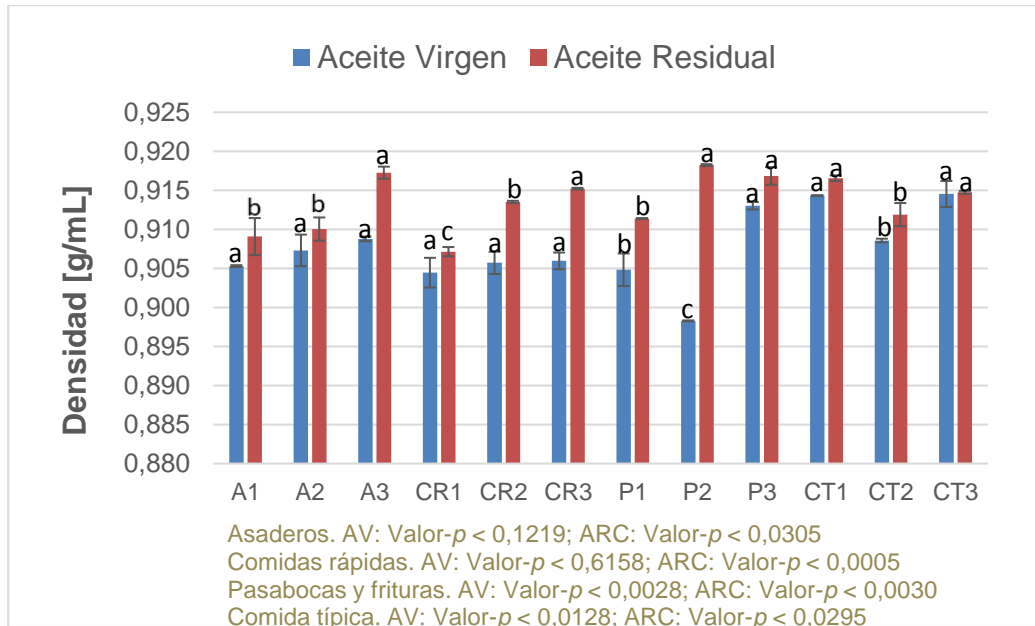


Figura C6. Densidad para AV y ARC según cada tipo de establecimiento



ANEXO. D. Regresión lineal múltiple de variables categóricas.

Figura D1. ANOVA de regresión lineal múltiple para contenido de ácidos grasos libres obtenido por Minitab v16.

La ecuación de regresión es  
 $\% \text{ FFA} = 2.91 - 3.58 \text{ T. altas} - 1.19 \text{ T. bajas} + 10.1 \text{ T. altas vs bajas}$   
 $+ 3.15 \text{ Muchas horas} + 2.38 \text{ Muchas vs Pocas} - 54.3 \text{ x1*x4}$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	2.914	1.002	2.91	0.033
T. altas	-3.578	2.813	-1.27	0.259
T. bajas	-1.195	1.614	-0.74	0.492
T. altas vs bajas	10.150	7.021	1.45	0.208
Muchas horas	3.151	2.662	1.18	0.290
Muchas vs Pocas	2.377	2.430	0.98	0.373
x1*x4	-54.34	33.41	-1.63	0.165

S = 1.30433 R-cuad. = 44.0% R-cuad.(ajustado) = 0.0%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	6	6.677	1.113	0.65	0.692
Error residual	5	8.506	1.701		
Total	11	15.183			

Fuente	GL	SC	Sec.
T. altas	1	0.450	
T. bajas	1	0.434	
T. altas vs bajas	1	0.147	
Muchas horas	1	1.124	
Muchas vs Pocas	1	0.022	
x1*x4	1	4.500	

Observaciones poco comunes

Obs	T. altas	% FFA	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
2	0.333	2.563	2.563	1.304	-0.000	* X
11	0.000	0.515	0.515	1.304	0.000	* X

Figura D2. Gráficas de dispersión de residuos de contenido de ácidos grasos libres.

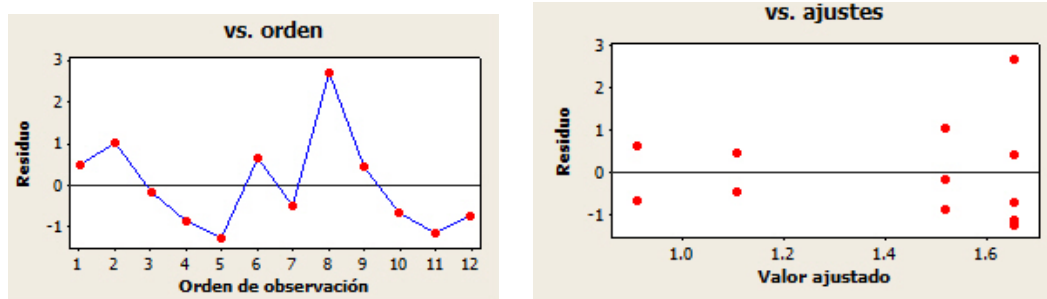


Figura D3. ANOVA de regresión lineal múltiple para índice de acidez obtenido por Minitab v16.

**Análisis de regresión: IA vs. T. altas\_1, T. bajas\_1, ...**

La ecuación de regresión es  

$$IA = 5.87 - 7.21 T. altas_1 - 2.41 T. bajas_1 + 20.5 T. altas vs bajas_1 + 6.35 Muchas horas_1 + 4.79 Muchas vs Pocas_1 - 110 x1*x4_2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	5.874	2.019	2.91	0.033
T. altas_1	-7.212	5.670	-1.27	0.259
T. bajas_1	-2.409	3.253	-0.74	0.492
T. altas vs bajas_1	20.46	14.15	1.45	0.208
Muchas horas_1	6.353	5.367	1.18	0.290
Muchas vs Pocas_1	4.791	4.900	0.98	0.373
x1*x4_2	-109.54	67.36	-1.63	0.165

S = 2.62936 R-cuad. = 44.0% R-cuad.(ajustado) = 0.0%

**Análisis de varianza**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	6	27.133	4.522	0.65	0.692
Error residual	5	34.568	6.914		
Total	11	61.700			

Fuente	GL	SC	Sec.
T. altas_1	1	1.830	
T. bajas_1	1	1.764	
T. altas vs bajas_1	1	0.596	
Muchas horas_1	1	4.567	
Muchas vs Pocas_1	1	0.091	
x1*x4_2	1	18.285	

Figura D4. Gráficas de dispersión de residuos para índice de acidez.

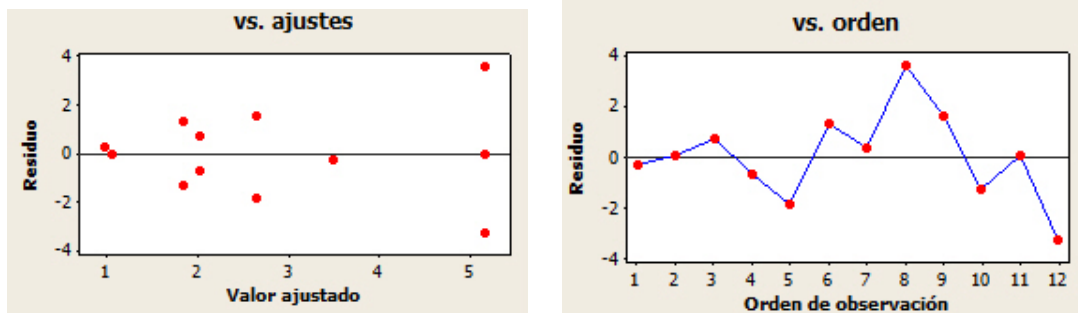


Figura D5. ANOVA de regresión lineal múltiple para índice de peróxidos en relación con las condiciones de cocción obtenido por Minitab v16.

**Análisis de regresión: IP vs. T. bajas, T. altas vs bajas, ...**

La ecuación de regresión es  

$$IP = 6.55 + 11.8 T. altas - 3.47 T. bajas - 12.8 T. altas vs bajas - 27.4 Muchas horas + 3.83 Muchas vs Pocas$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	6.547	1.366	4.79	0.003
T. altas	11.786	6.788	1.74	0.133
T. bajas	-3.467	5.771	-0.60	0.570
T. altas vs bajas	-12.807	8.110	-1.58	0.165
Muchas horas	-27.361	9.381	-2.92	0.027
Muchas vs Pocas	3.834	6.667	0.58	0.586

S = 4.73278 R-cuad. = 65.6% R-cuad. (ajustado) = 36.9%

**Análisis de varianza**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	5	255.80	51.16	2.28	0.172
Error residual	6	134.40	22.40		
Total	11	390.19			

Fuente	GL	SC	Sec.
T. altas	1	67.53	
T. bajas	1	5.53	
T. altas vs bajas	1	59.65	
Muchas horas	1	123.05	
Muchas vs Pocas	1	0.04	

Figura D6. Gráficas de dispersión de residuos de índice de peróxidos.

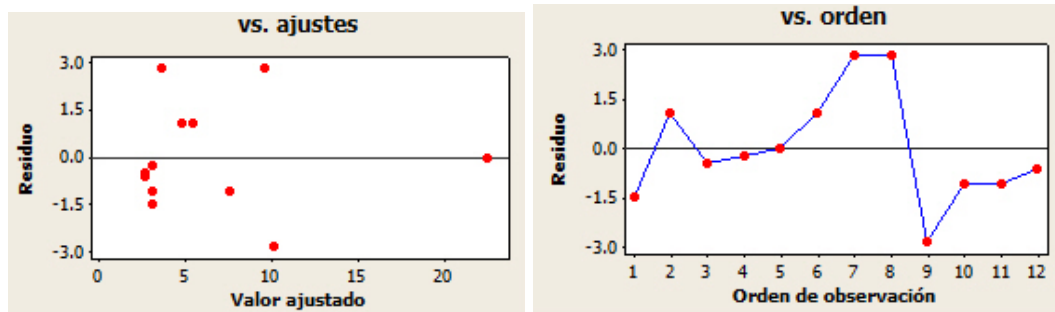


Figura D7. ANOVA de regresión lineal múltiple para índice de peróxidos en relación con las costumbres posconsumo obtenido por Minitab v16.

**Análisis de regresión: IP vs. Dias, Semana, D vs S, S vs M, No luz y no**

La ecuación de regresión es

$$IP = 6.55 + 4.56 \text{ Dias} - 2.63 \text{ Semana} - 8.87 \text{ D vs S} + 17.1 \text{ S vs M} - 1.13 \text{ No luz y no calor}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	6.547	1.087	6.03	0.001
Dias	4.564	4.950	0.92	0.392
Semana	-2.632	3.764	-0.70	0.511
D vs S	-8.874	7.990	-1.11	0.309
S vs M	17.117	3.936	4.35	0.005
No luz y no calor	-1.132	1.581	-0.72	0.501

S = 3.76448 R-cuad. = 78.2% R-cuad.(ajustado) = 60.0%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	5	305.17	61.03	4.31	0.052
Error residual	6	85.03	14.17		
Total	11	390.19			

Fuente	GL	SC	Sec.
Dias	1	10.49	
Semana	1	6.93	
D vs S	1	1.73	
S vs M	1	278.76	

Figura D8. Gráficas de dispersión de residuos de índice de peróxidos.

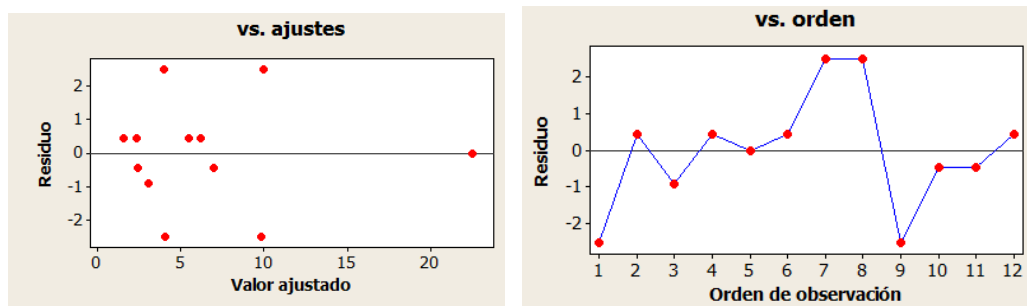


Figura D9. ANOVA de regresión lineal múltiple para contenido de humedad obtenido por Minitab v16.

La ecuación de regresión es

$$\% \text{ Humedad} = 0.208 + 0.0113 \text{ Lípidos} - 0.0239 \text{ Proteínas vs Lípidos}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	0.20806	0.01656	12.57	0.000
Lípidos	0.01133	0.07255	0.16	0.879
Proteínas vs Lípidos	-0.02389	0.07405	-0.32	0.754

S = 0.0573583 R-cuad. = 1.4% R-cuad. (ajustado) = 0.0%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	0.000423	0.000211	0.06	0.938
Error residual	9	0.029610	0.003290		
Total	11	0.030032			

Fuente	GL	SC	Sec.
Lípidos	1	0.000080	
Proteínas vs Lípidos	1	0.000342	

Figura D10. Gráficas de dispersión de residuos de contenido de humedad.

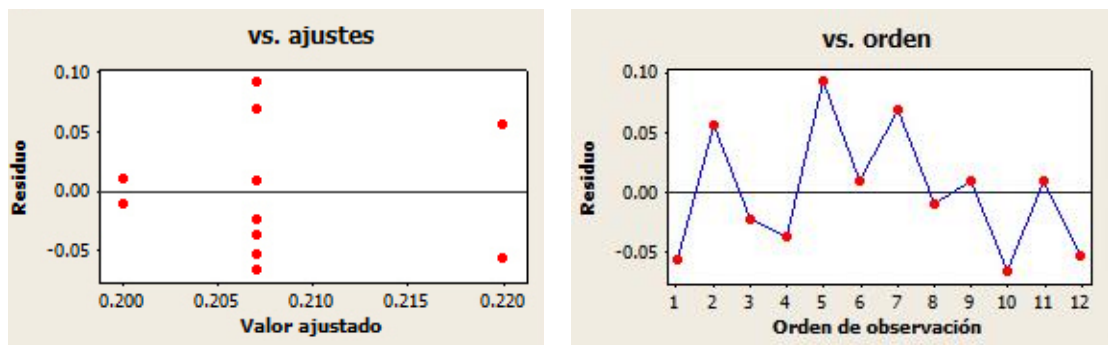


Figura D11. ANOVA de regresión lineal múltiple para viscosidad dinámica obtenido por Minitab v16.

**Análisis de regresión: Viscosidad vs. T. altas, T. bajas, ...**

La ecuación de regresión es

$$\text{Viscosidad} = 46.4 + 7.5 \text{ T. altas} - 12.8 \text{ T. bajas} - 10.4 \text{ T. altas vs bajas} - 2.6 \text{ Muchas horas} + 8.1 \text{ Muchas vs Pocas}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	46.400	3.777	12.29	0.000
T. altas	7.49	18.77	0.40	0.704
T. bajas	-12.75	15.95	-0.80	0.455
T. altas vs bajas	-10.39	22.42	-0.46	0.660
Muchas horas	-2.64	25.93	-0.10	0.922
Muchas vs Pocas	8.13	18.43	0.44	0.674

S = 13.0837 R-cuad. = 15.2% R-cuad. (ajustado) = 0.0%

**Análisis de varianza**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	5	183.4	36.7	0.21	0.944
Error residual	6	1027.1	171.2		
Total	11	1210.5			

Fuente	GL	SC	Sec.
T. altas	1	16.7	
T. bajas	1	90.3	
T. altas vs bajas	1	43.0	
Muchas horas	1	0.0	
Muchas vs Pocas	1	33.3	

Figura D12. Gráficas de dispersión residuos de viscosidad dinámica.

