

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Facultad de Químico Farmacobiología

Trabajo titulado

“El aceite residual comestible como materia
prima para la producción de biodiesel; análisis
de factibilidad según la degradación del aceite”

Tesis de licenciatura para obtener el grado de
Químico Farmacobiólogo

Por: Mintzirani Equihua Sánchez

Asesor de tesis:

M. C. Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Facultad de Químico Farmacobiología.

TESIS

“El aceite residual comestible como materia prima para la producción de biodiesel; análisis de factibilidad según la degradación del aceite”

Equihua Sánchez Mintzirani

Unidad de Ecotecnologías, laboratorio de Bioenergía.

Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM campus Morelia.

Morelia Michoacán, México.

08.2011

Agradecimientos.

- ❖ Agradezco a mis padres por apoyarme siempre en mi desarrollo profesional del cual, la realización de esta tesis es parte, y siempre alentarme a seguir firme en el emocionante camino de la ciencia.
- ❖ Agradezco a mis profesores quienes voluntaria e involuntariamente marcaron el rumbo de mi desarrollo y abrieron mi mente hacia nuevas fronteras del conocimiento científico al igual que me brindaron bases sólidas para poder realizar cualquier trabajo que en el futuro se me presente porque gracias a ellos cuento con las herramientas para poder forjar mi camino en esta vida.
- ❖ Agradezco a la Unidad de Ecotecnologías del laboratorio de Bioenergía del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo sin el cual no hubiera sido posible su culminación.
- ❖ Agradezco al laboratorio de Bioenergéticos de la Universidad Autónoma Chapingo en Texcoco Edo. México y en especial a la Dra. Ma Antonieta Goytia Jiménez por apoyarme en las dos estancias realizadas en su laboratorio para la realización de determinaciones por cromatografía de gases esenciales para este trabajo.
- ❖ Agradezco a Alfredo F. Fuentes Gutiérrez por fungir como mi asesor de tesis guiando la investigación por el camino más conveniente y brindándome los conocimientos necesarios para resolver los problemas que se presentaron.
- ❖ Agradezco al laboratorio de análisis de alimentos de la Facultad de Químico Farmacobiología de la UMSNH por permitirme realizar determinaciones fisicoquímicas necesarias para mi investigación.
- ❖ Por último, agradezco a todas las personas que siempre creyeron en mí y siempre estuvieron a mi lado dándome su apoyo y alentándome a seguir adelante para alcanzar una más de mis metas.

Este trabajo esta dedicado a toda la humanidad y en especial a todas las personas preocupadas por nuestro planeta quienes más que preocupadas toman los problemas en sus manos y realizan obras en pro de nuestro mundo, ayudando a preservar nuestro hogar en el cosmos.

Este trabajo esta dedicado también de manera personal a Emma Beatriz Beltrán Hernández por ser siempre una motivación constante y servirme día a día de inspiración la cual me mantiene entusiasta para el futuro.

Resumen.

La utilización de aceite residual de cocina como materia prima para la producción de Biodiesel es una opción viable que nos permite retirar de circulación contaminantes potenciales y convertirlos en biocombustibles, sin embargo, debido a sus variables niveles de degradación acorde al proceso de cocción del cual provengan los aceites, cada muestra presenta características físico-químicas diversas. Identificar a los aceites, que aunque residuales, se encuentren lo más íntegros posibles molecularmente hablando, nos permitirá tener procesos más eficientes de producción, al igual que menor generación de residuos. En este proyecto de tesis se estudiaron las características físico-químicas de diversas muestras especialmente seleccionadas, las cuales fueron representativas de 3 tipos de comercios altamente extendidos y que son amplios productores de aceite residual. Los resultados obtenidos servirán para tener una idea clara del nivel de degradación en el cual se encuentran los aceites que estos producen y así tener bases teóricas a la hora de elegir la materia prima más apta para un proceso de producción de biodiesel usando aceite residual como materia prima.

Palabras clave.

Biodiesel. Aceite residual de cocina. Características físico-químicas. Degradación.

Contenido

Resumen.....	1
Introducción.....	7
Antecedentes.	11
El cambio climático global.....	11
Gases de efecto invernadero (GEI) y Efecto invernadero.....	13
Energías alternativas, biocombustibles.....	15
Biodiesel.	18
El aceite residual de cocina.	21
Análisis de aceite residual de cocina.....	22
Fundamento de la pruebas físico-químicas para el análisis de los aceites.	22
Densidad.....	22
Índice de refracción.....	23
Humedad y materia volátil.....	23
Índice de yodo, método de Hanus.....	24
Índice de saponificación.....	25
Acidez titulable.....	25
Índice de peróxidos.....	26
Cromatografía de gases.....	27
Metodología:.....	29
Fase 1, Recolección de muestras:.....	29
Fase 2, pruebas de laboratorio.	34
Análisis químico de componentes, Cromatografía de gases.	34
Análisis Físicoquímico.....	37
Densidad.....	37
Índice de refracción.....	37

Humedad y materia volátil.....	37
Índice de yodo.....	37
Índice de saponificación.....	37
Acidez titulable.....	38
Índice de peróxidos.....	38
Resultados, Cromatografía de gases:.....	38
Análisis físico-químico.....	58
pH.....	58
Densidad.....	59
Índice de refracción.....	61
Humedad y material volátil.....	62
Índice de yodo.....	64
Índice de saponificación.....	65
Acidez titulable.....	67
Índice de peróxidos.....	69
Análisis de resultados.....	71
Cromatografía de gases.....	71
pH.....	71
Densidad.....	72
Índice de refracción.....	72
Humedad y materia volátil.....	73
Índice de yodo.....	73
Índice de saponificación.....	75
Acidez titulable.....	76
Índice de peróxidos.....	77
Conclusiones.....	78
Bibliografía	83

Anexos.	86
Cuestionario.....	87
Preparación de Biodiesel.	95
Protocolo “Minmaster” para la recolección de aceite residual de cocina.....	102

Índice de Figuras.

Figura 1. Incremento en la temperatura del planeta mostrada en los últimos años y proyecciones a futuro.....	12
Figura 2. Acción de los GEI sobre la radiación absorbida y emitida por la tierra proveniente del sol.	14
Figura 3. Aumento en las concentraciones de GEI en la atmósfera.....	14
Figura 4. Escenarios de emisiones de GEI entre 2000 y 2100 en ausencia de políticas climáticas adicionales.....	15
Figura 5. Emisiones de GEI del sector transporte en Gg De CO ₂ equivalente.	17
Figura 6. Reacción de transesterificación para la producción de biodiesel (metiles esteres) a partir de triglicéridos.....	18
Figura 7. Ácidos grasos con mayor concentración presentes en los aceites vegetales utilizados como precursores en la producción de biodiesel.	19
Figura 8. Uno de los principales hidrocarburos presentes en el Diesel de petróleo.	19
Figura 9. Cromatografo de gases.....	28
Figura 10. Aceite en fase de cocción.	29
Figura 11. Productos de cocción grupo BM1.....	29
Figura 12. Aceite residual.....	29
Figura 13. Aceite residual.....	29
Figura 14. Cocción de alimentos en aceite.....	30
Figura 15. Alimentos cocinados en aceite.....	30
Figura 16. Preparación de muestras modelo.....	32
Figura 17. Preparación de muestra modelo Biomaster 1T	33

Figura 18. Cromatógrafo de gases con inyector automático Agilente technologies 7890A G6 system.....	35
Figura 19. Cromatograma BM1A.....	39
Figura 20. Cromatograma BM1B.....	41
Figura 21. Cromatograma BM1C.	42
Figura 22. Cromatograma BM2A.....	44
Figura 23. Cromatograma BM2B.....	45
Figura 24. Cromatograma BM2C.	47
Figura 25. Cromatograma BM3A.....	48
Figura 26. Cromatograma BM3B.....	50
Figura 27. Cromatograma BM3C.	51
Figura 28. Cromatograma BM1X.....	53
Figura 29. Cromatograma BM2X.....	54
Figura 30. Cromatograma BM3X.....	56
Figura 31. Cromatograma BM1T.....	57

Índice de tablas.

Tabla 1. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 1A (BM1A).	38
Tabla 2. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 1B (BM1B)	40
Tabla 3. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 1C (BM1C).....	41
Tabla 4. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 2A (BM2A)	43
Tabla 5. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 2B (BM2B)	44
Tabla 6. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 2C (BM2C).....	46
Tabla 7. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 3A (BM3A)	47
Tabla 8. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 3B (BM3B)	49
Tabla 9. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 3C (BM3C).....	50
Tabla 10. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 1X (BM1X)	52
Tabla 11. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 2X (BM2X)	53
Tabla 12. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 3X (BM3X)	55
Tabla 13. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 1TOTAL (BMIT)	56
Tabla 14. Resultados de pH.....	58
Tabla 15. Resultados en la determinación de la densidad.	59
Tabla 16. Datos para la determinación de la densidad (1).	60

Tabla 17. Datos para determinación de la densidad (2).....	60
Tabla 18. Resultados índice de refracción.	61
Tabla 19. Resultados humedad.....	62
Tabla 20. Datos obtenidos para la determinación de la humedad.....	63
Tabla 21. Resultados índice de yodo.	64
Tabla 22. Resultados índice de saponificación.	65
Tabla 23. Datos obtenidos para determinación del índice de saponificación... ..	66
Tabla 24. Resultados acidez titulable.....	67
Tabla 25. Datos obtenidos para la determinación del porcentaje de acidez. ...	68
Tabla 26. Resultados índice de peróxidos.	69
Tabla 27. Datos obtenidos para la determinación del índice de peróxidos.	70

Introducción.

El aceite residual de cocina es un gran contaminante y se genera como residuo en grandes cantidades debido a que es un subproducto de la cocción de alimentos de todo tipo, esta sustancia presenta un gran problema ya que se dice que un litro de aceite residual puede contaminar hasta mil litros de agua (Mayormente magazine, 2005). Estos datos llevan a preguntarnos ¿qué hacer para resolver este problema?, aunque se han tomado acciones para intentar combatirlo, como poner contenedores especiales para que la gente deposite el aceite que producen y de esa forma poderlo manejar de manera adecuada, no han tenido mayor éxito esto debido a que es una opción poco viable comparada con la envergadura del problema así como los altos costos de implementación.

Un fenómeno causado por la contaminación, y uno de los más preocupantes en la actualidad, es el llamado “cambio climático antropogénico”, el cual hace referencia al cambio del comportamiento climático normalmente mostrado por el planeta debido a la acción humana sobre el mismo. Este problema se da por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera debido al desarrollo industrial, al transporte, a la tala indiscriminada de árboles, a la quema de combustibles fósiles no renovables, y la creciente contaminación por residuos sólidos, entre otras variadas causas (Maserá & Salazar, 2010).

Los problemas de la contaminación y del cambio climático, son realmente graves en nuestro tiempo, al grado de amenazar la continuidad de la vida como la conocemos en el largo plazo y provocar graves desastres naturales alrededor del mundo en el corto y mediano plazo, esto nos obliga a buscar soluciones para atacar el problema desde todos los frentes, y uno de ellos, es la investigación en fuentes de energías renovables más limpias y amigables con el medioambiente, porque es bien sabido que los combustibles fósiles son uno de los principales emisores de contaminación (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología., 2002) y como hemos visto, nuestras reservas de petróleo, se agotan día a día (Campbell & Laherrère, 1998).

La investigación en energías renovables ha llevado a encontrar un sustituto viable para el diesel de petróleo al cual han denominado Biodiesel, este biocombustible es producido a partir de aceites vegetales y grasas animales, estando constituidos por moléculas complejas llamadas triglicéridos. De estas moléculas se pueden obtener dos productos con un método llamado transesterificación, en donde se rompe la molécula de triglicéridos en sus ácidos grasos constituyentes y una molécula de glicerol, la reacción se lleva a cabo con la ayuda de un catalizador donde el Hidróxido de Sodio (NaOH) es el más comúnmente utilizado, se adiciona a la par un alcohol de bajo peso molecular como el metanol a la reacción, esto da como resultado metiles esteres de cada ácido graso presente y moléculas libres de glicerina (National Renewable Energy Laboratory, 2003). Los metiles esteres son la parte usada como biocombustible ya que los ácidos grasos constituyentes de los triglicéridos tienen cadenas muy parecidas a las presentes en el diesel de petróleo. Esto nos permite utilizar el biodiesel como sustituto del diesel de petróleo sin la necesidad de hacer adecuaciones a los motores diesel o algunas mínimas (Knothe, Van Gerpen, & Krahl, 2004) .

Una de las limitaciones de usar el biodiesel a gran escala, es la materia prima, pues el costo de los aceites vegetales es muy elevado, además de que son muy demandados en la industria alimentaria y en la cocina convencional, por lo que, si se desviara cierto volumen de aceites para la producción de biodiesel, se podría crear un desabasto en los demás sectores que utilizan aceite vegetal para cocinar, lo cual encarecería los precios y crearía desestabilidad en las empresas productoras de alimentos procesados como cadenas de comida rápida, restaurantes, cocinas a pequeña escala, empresas comercializadoras de aceites, entre otras tantas (Bravo, 2010). Este tipo de cuestiones hace inviable económicamente una transición de diesel a biodiesel al corto plazo.

La investigación referente a las materias primas para la producción de biodiesel ha encontrado que algunas de las alternativas son el uso de plantas oleaginosas no aptas para el consumo humano como la higuierilla (*Ricinus Communis*) (Benavides, Benjumea, & Pachova, 2007) y la *Jatropha Curcas* (FAO, 2010), sin embargo, el problema con estos cultivos es que se necesitan cuantiosos proyectos para lograr producir aceite en una escala significativa,

esto implica grandes complicaciones científicos-tecnológicos, económico-sociales, así como políticos-gubernamentales. Otra alternativa y la cual parece la más viable hasta el momento, es la producción de biodiesel a partir de aceite residual comestible, esta materia prima potencial, es de bajo o nulo costo comercial, lo que ya nos da una ventaja, por otro lado, como ya se expresó anteriormente, es un potente contaminante del agua, así que la posibilidad de sacarlo de circulación y utilizarlo como combustible es una estrategia GANAR-GANAR, aunque el hecho de utilizarlo como precursor para la producción de biocombustible también presenta variados inconvenientes; uno de ellos, es la difícil y problemática recolección pues se tiene que contar con muchos centros de acopio para obtener una cantidad significativa de aceite residual (Moreco, 2011). Otro de los grandes problemas que presenta el aceite residual, es la gran variabilidad de los componentes que los constituyen. En principio, todos los aceites están compuestos por triglicéridos, molécula constituida por ácidos grasos y glicerol, pero cada aceite vegetal presenta una composición química propia de su especie, al igual que varían en sus características físico-químicas (Normas Mexicanas, 1985), sumémosle que cada aceite viene de procesos diferentes y han sido utilizados y reutilizados un número indeterminado de veces, dependiendo del alimento preparado y de que industria provenga, esto nos da al final, una muestra totalmente heterogénea imposible de estandarizar, dando como resultado, un producto final con características significativamente diferentes en cada lote de producción.

En este trabajo nos dimos a la tarea de recolectar muestras de aceite residual de diferentes establecimientos que venden comida preparada con aceite vegetal de diferentes procedencias y características, con el fin de identificar los ácidos grasos presentes en cada una de las muestras y poder observar si hay cambio en los perfiles de ácidos grasos conocidos de cada especie de aceite vegetal debido a la degradación de ácidos grasos en otras especies químicas, lo cual puede ser propiciado por el re uso al cual han sido sometidos los aceites en los procesos de cocción. Aunado a esto, también realizamos el análisis físico-químico de cada uno de los aceites para revelar en qué magnitud varían estas características físicas y químicas dependiendo del uso y re uso que a cada aceite se le haya dado, el fin de esto fue interpretar las posibles

implicaciones en la calidad del biodiesel obtenido al final del proceso de transesterificación en una planta de producción de biodiesel, ya que supusimos que, entre más veces haya sido re utilizado el aceite, presentarían una mayor degradación de los ácidos grasos que los constituyen en otras especies químicas, por lo que, menor será la disponibilidad molecular de los triglicéridos para producción de biodiesel. Debido a esto el proceso de producción elevaría su costo tanto energético, como económico, así como se producirían un mayor número de contaminantes químicos no deseados, por la necesidad de una mayor cantidad de pre tratamientos para poderlo transesterificar y obtener biodiesel (Sabudak & Yildis, 2010), estos aspectos negativos deben evitarse para que la producción de biodiesel usando aceite residual sea una actividad sustentable. Los establecimientos que hemos identificado como posibles proveedores de aceite residual fueron elegidos bajo criterios basados en el reuso que se le daba a los aceites por ellos utilizados así como también a su alta producción de aceite residual. De esta forma se atacaron las dos bases de éste trabajo que son la búsqueda de la materia prima más óptima y la generación de alternativas para aquellos comercios que tienen una alta producción de un agente tan contaminante como lo es el aceite residual de cocina.

Antecedentes.

La energía siempre ha tenido un papel central en el desarrollo de la humanidad, su control y aprovechamiento ha sido un tema primario en las agendas de todos los países. Una de las fuentes de energía más importante y extendida del mundo es el petróleo, precursor químico para un gran número de procesos de refinación y base para la creación de nuevos productos, en donde los combustibles, son uno de los sectores más importantes dentro de la gama de posibilidades del petróleo. Los combustibles son una sustancia básica para el funcionamiento de millones de motores presentes en vehículos, aviones, motocicletas, tractores, camiones, y muchos otros tipos de motores de combustión, los cuales en estos tiempos, son imprescindibles para la vida cotidiana de millones de personas, que dependen de ellos para llevar a cabo sus actividades diarias, sin embargo la creciente demanda y el uso indiscriminado que se le ha dado a los productos del petróleo, han hecho que su agotamiento a corto plazo sea inminente, lo cual ha orillado a buscar este recurso en lugares poco accesibles como aguas muy profundas, elevando los costos de extracción y complicando todo el sistema petrolífero, además de incrementar el precio final que pagan los consumidores por los combustibles y otros productos que de él se derivan. Otro de los grandes problemas que presenta el uso de sus derivados, como lo son los plásticos, fármacos, polímeros, combustibles, etc., es la gran cantidad de contaminantes que producen al ser manufacturados y/o desechados inadecuadamente y en el caso de los combustibles, la que provocan debido a su quema, ya que liberan dióxido de carbono (CO_2) y otros contaminantes como sulfuros y nitratos a la atmósfera en forma de gases de combustión (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología., 2002).

El cambio climático global.

En la actualidad, el mundo pasa por un gran problema que nos ha venido afectando a todos de mayor o menor forma y que en los próximos años amenaza seriamente con acrecentarse: el “Cambio Climático Global antropogénico” El cambio climático no es la variación de calor y frío en un día a causa de un fenómeno meteorológico como la lluvia, ni tampoco es el hecho de

que un día amanezca soleado y por la tarde se nuble y haya precipitación, estos son cambios del tiempo atmosférico o cambio del tiempo meteorológico y no del clima. El clima es el resumen estadístico de varios años (de décadas al menos) del comportamiento de elementos como la precipitación pluvial, la temperatura del aire, humedad atmosférica, soleamiento, velocidad del viento, frecuencia de fenómenos tales como la niebla, heladas, tormentas eléctricas, granizo, etc. El cambio climático entonces, es una modificación al patrón estadístico normal (de tres o más décadas) y que sea igualmente perdurable por varios años, por tanto, en principio, es un fenómeno natural que ha existido desde el origen de la tierra, mostrándose en diferentes épocas y de diferentes formas (Environmental protection agency, 2011). El problema es el atípico crecimiento del patrón de calentamiento del planeta mostrado en los últimos tiempos (**ver figura 1**), lo cual se atribuye a las muy diversas prácticas humanas que atentan contra la naturaleza, como la tala indiscriminada de árboles, la quema de combustibles fósiles, la mala disposición de los residuos sólidos, entre otras muchas cosas, que se han venido llevando a cabo a lo largo de la historia tanto por desconocimiento de los problemas que se generan, como por negligencia de autoridades y de todas las personas que vivimos en el planeta Tierra, lo que ha dado por consecuencia, el cambio climático antropogénico.

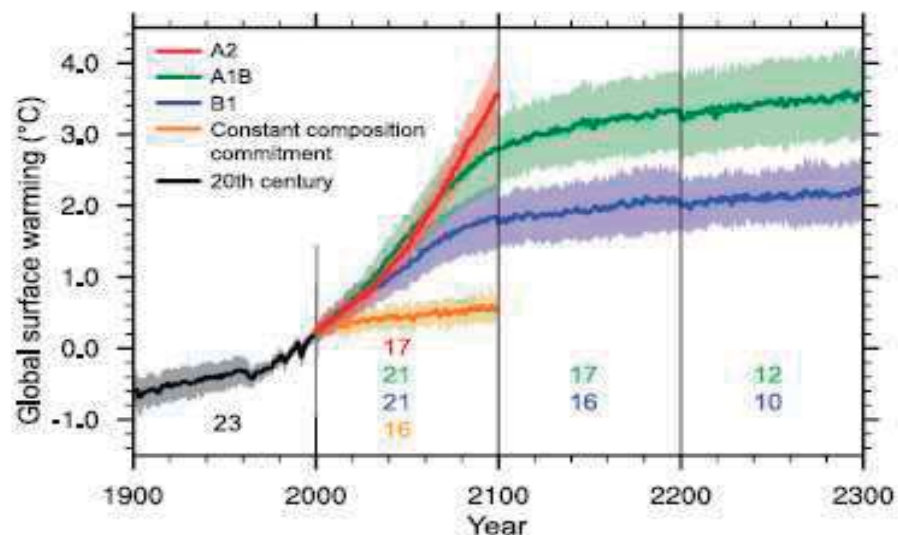


Figura 1. Incremento en la temperatura del planeta mostrada en los últimos años y proyecciones a futuro.

Gráfica tomada de: ipcc Climate Change 2007: the Physical Science Basis. Contribution of working group 1 to de fourth assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change.

La temperatura del planeta ha venido incrementándose y con mayor fuerza a partir de la época industrial, los escenarios a futuro toman como base de referencia la línea seguida de 1980 a 1999, y denotan los posibles aumentos con la realización de ciertas acciones para mitigar el cambio climático, o no haciendo nada para controlarlo.

Gases de efecto invernadero (GEI) y Efecto invernadero.

Desde la era industrial se han emitido gases hacia la atmósfera por la combustión de hidrocarburos como leña al principio, carbón y combustibles líquidos posteriormente. Estos gases no se “eliminan” de la atmósfera rápidamente, lo cual, con el paso del tiempo y el aumento constante en la emisión de los mismos, va suscitando que haya mayores concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que va incrementando el problema gradualmente, ayudado por la falta de acciones para mitigarlo (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología., 2002).

El efecto invernadero es el efecto causado por los GEI presentes en la atmósfera (CO_2 dióxido de carbono, CH_4 metano, N_2O óxido nitroso, vapor de agua, O_3 ozono, principalmente) al no dejar escapar la radiación infrarroja que emite la tierra tras recibir la gama de luz visible proveniente del sol, ya que estos gases actúan como un filtro para diferentes tipos de longitudes de onda y en diferentes sentidos, siendo el ozono un filtro para los rayos ultravioleta provenientes del sol; los demás gases dejan pasar toda la gama de luz visible hacia la tierra (radiaciones de onda corta y onda media), la tierra entonces, al ser irradiada, emite radiación infrarroja (radiación de onda larga, radiación térmica) de regreso a la atmósfera, pero los GEI adsorben esa radiación proveniente de la tierra, impidiendo así, que el calor salga de la atmósfera y re emitiéndolo a la superficie terrestre (IPCC, 2007). **(Ver figura 2)**

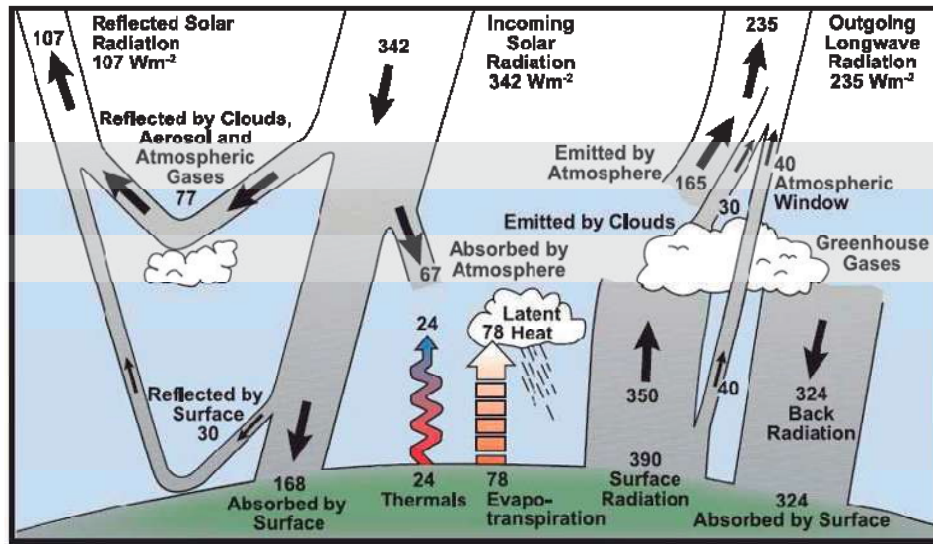


Figura 2. Acción de los GEI sobre la radiación absorbida y emitida por la tierra proveniente del sol.

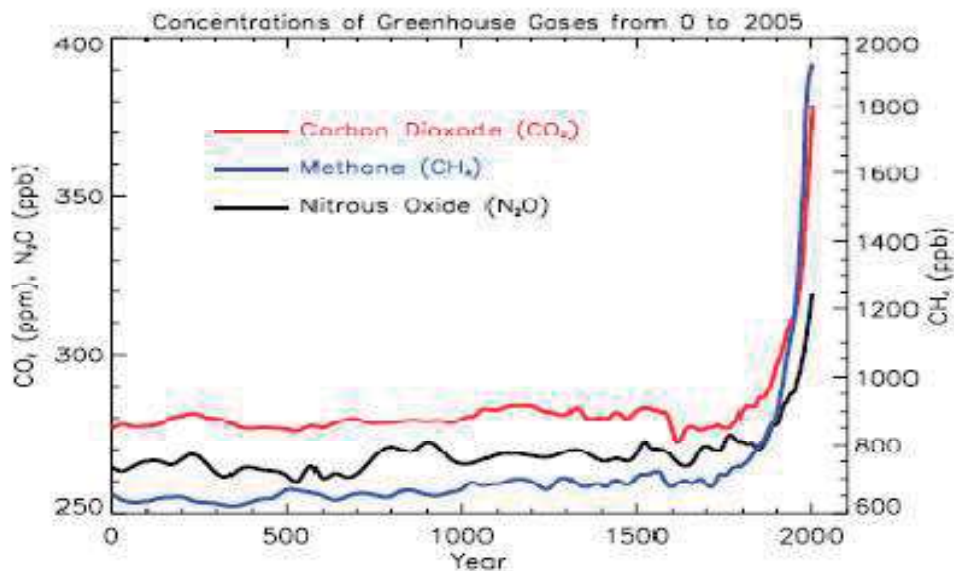


Figura 3. Aumento en las concentraciones de GEI en la atmósfera.

Imágenes tomadas de: ipcc Climate Change 2007: the Physical Science Basis. Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change.

La concentración de CO_2 (se toma el CO_2 como el GEI de referencia) en la atmósfera ha alcanzado, según los reportes al 2005, alrededor de 400 ppm y se dice que las concentraciones convenientes estarían alrededor de las 250 ppm que son las concentraciones que se tenían en la época pre industrial (ver figura 3), lo que demuestra que las concentraciones actuales están fuera de orden y están siendo causantes de alteraciones climáticas.

Escenarios posibles de emisiones mundiales de GEI (en Gt de CO₂ –eq anuales) en ausencia de políticas climáticas adicionales, del 2010 al 2100. Se puede observar que con políticas adecuadas se pueden reducir la cantidad de emisiones, pero sin ellas, las emisiones mundiales se elevan en un alto grado (ver figura 4).

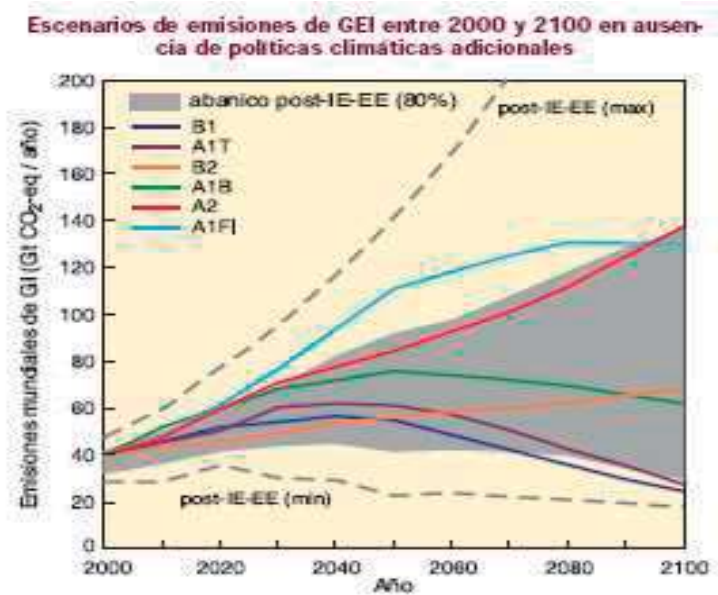


Figura 4. Escenarios de emisiones de GEI entre 2000 y 2100 en ausencia de políticas climáticas adicionales.

Imagen tomada de: ipcc Climate Change 2007: the Physical Science Basis. Contribution of working group 1 to de fourth assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change.

Energías alternativas, biocombustibles.

Científicos, gobiernos, organizaciones, empresas, y sociedad en general, están tomando conciencia del cambio climático y están llevando a cabo acciones para intentar controlar el problema y reducirlo, motivados por varias razones, como lo son los catastróficos efectos climáticos que se están presentando a nivel mundial, la gran dependencia hacia países poseedores de petróleo y el desequilibrio macroeconómico que causan las fluctuaciones en los precios del crudo, además, las visibles afectaciones en los ecosistemas de todo el planeta debido a las acciones humanas. Una de estas estrategias, es la investigación en fuentes de energías renovables, que permitan garantizar la soberanía energética de un país y a la vez, ayuden a disminuir las emisiones de GEI a la atmósfera. Las energías renovables contemplan una amplia gama de

tecnologías que buscan la generación de energía tratando de hacer el menor impacto ambiental al ser implementadas. Las principales fuentes de energía renovables que pueden ser utilizadas y transformadas en energía útil para los seres humanos son:

- La energía solar: utiliza la luz proveniente del sol la cual con la ayuda de una celda fotovoltaica es transformada en energía eléctrica (energía fotovoltaica). Se utiliza también tecnologías captadoras y concentradoras del calor proveniente del sol para fines tales como calentamiento de agua (calentadores solares), cocción de alimentos (estufas solares), conversión de agua en vapor para alimentar turbinas a vapor con lo cual se crea electricidad.
- La energía eólica: se utiliza la fuerza motriz del aire en movimiento para hacer girar hélices, las cuales hacen girar un generador gracias al cual se produce una corriente eléctrica. Este tipo de tecnología es muy buena en lugares con corrientes de vientos constantes y en la actualidad logra producir una gran cantidad de energía, aunque es cuestionada ya que hay una fuerte perturbación de paisaje a la hora de ser implementada.
- Energía geotérmica: se utiliza la energía calorífica contenida en el interior de la tierra con el fin de calentar agua convirtiéndola en vapor el cual es aprovechado para hacer girar una turbina que está conectada a un generador que produce electricidad.
- Energía mareomotriz: se utiliza el movimiento de las olas y las corrientes marítimas para hacer girar turbinas y/o hélices sumergidas, estas a su vez van conectadas a generadores que producen electricidad.
- Bioenergía: es la energía contenida en la biomasa que no se ha fosilizado, como lo es la leña, el carbón vegetal, los aceites vegetales, el bioetanol, la bioturbosina y el biodiesel. Este tipo de energía es energía química almacenada por fotosíntesis y otros procesos, y es liberada en forma de calor en un proceso de combustión.

Cada uno de estos tipos de energía puede utilizarse para satisfacer diferentes necesidades energéticas humanas reduciendo de manera considerable el impacto ambiental generado por las fuentes de energía convencional. El sector que más impacto causa por la cantidad de gases de efecto invernadero que

desprenden debido al uso y quema de combustibles fósiles, es el sector transporte, ya que hasta en la última cifra que se conoce en el 2002, el transporte emitió 114385.279 Gg de CO₂ equivalente a la atmósfera (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología., 2002). (Ver figura 5)

AÑO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
1990	87784.474	877.340	494.880	89156.694
1991	93710.858	944.161	530.862	95185.881
1992	94506.903	954.677	540.291	96001.871
1993	96720.125	945.868	631.375	98297.368
1994	101258.814	943.233	738.721	102940.769
1995	96130.929	902.084	745.551	97778.564
1996	97502.320	884.913	805.655	99192.888
1997	101588.996	882.465	919.102	103390.564
1998	104800.602	864.573	1063.666	106728.841
1999	106142.488	821.782	1156.708	108120.978
2000	110607.963	811.940	1349.440	112769.343
2001	110471.649	773.142	1516.012	112760.803
2002	111959.959	751.061	1674.260	114385.279

Figura 5. Emisiones de GEI del sector transporte en Gg De CO₂ equivalente.

Tabla tomada de: México, Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, Instituto nacional de ecología. (2002)
Inventario Nacional de Emisiones

Para poder reducir la enorme cantidad de GEI que son inyectados en la atmósfera debido al transporte y otros rubros afines, es necesario el uso de combustibles menos contaminantes y que no provengan del petróleo, como lo son los biocombustibles líquidos. La tecnología actual nos permite utilizar bioetanol, bioturbosina y biodiesel, en motores que ya están en circulación, incluso ya se producen motores especialmente diseñados para funcionar con biocombustibles líquidos, por lo que la parte tecnológica no es el problema y la cantidad de GEI que se dejan de emitir por usar estos biocombustibles ayudaría a mitigar en gran medida el actual problema y prevenir su crecimiento.

Biodiesel.

El biodiesel es un sustituto viable para el diesel de petróleo, ya que presenta muchas ventajas sobre éste con el simple hecho de ser una fuente de energía renovable y más limpia, además de que su fabricación es muy versátil en cuanto a materia prima ya que se puede producir de varios tipos de aceites vegetales al igual que de grasas animales, y bajo un proceso relativamente simple llamado transesterificación, en el cual las moléculas de triglicéridos presentes en los aceites y grasas son seccionadas en sus ácidos grasos constituyentes y en una molécula de glicerol con la ayuda de un catalizador básico como lo es el hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH), además se insertan en los ácidos grasos, una molécula de algún alcohol de bajo peso molecular como lo es el metanol (CH₃-OH) o el etanol (CH₃-CH₂-OH) por el extremo que se encontraban unidos al glicerol, siendo el primero el más usado (Knothe, Van Gerpen, & Krahl, 2004). (Ver figura 6)

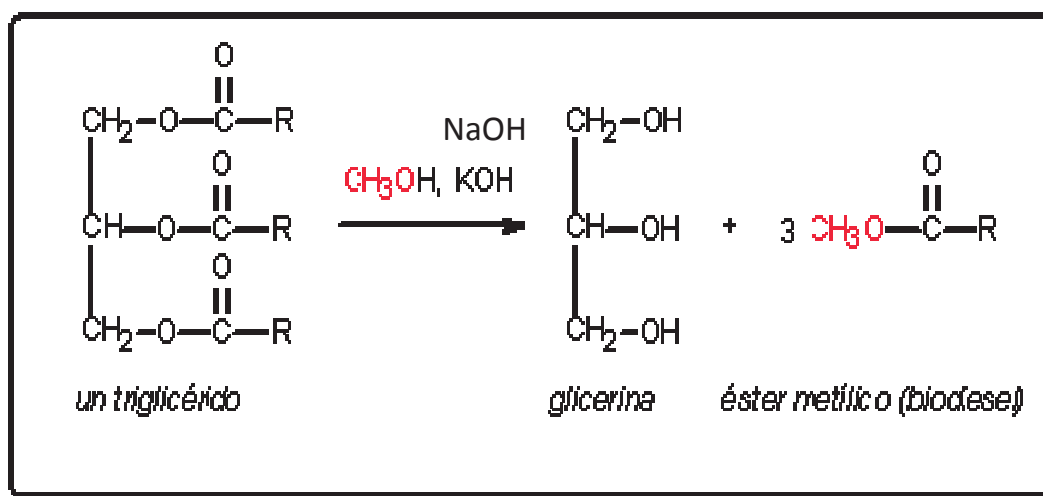


Figura 6. Reacción de transesterificación para la producción de biodiesel (metiles esteres) a partir de triglicéridos.

El diesel de petróleo está conformado por una mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos de entre 10 y 20 carbonos, de la fracción medianamente pesada de la refinación del petróleo siendo la fracción más abundante y la que le da sus principales características combustibles los hidrocarburos de 16 carbonos (cetano) (ver figura 8), seguido por los de 18

carbonos (Petroleos Mexicanos, 2004). Los principales ácidos grasos presentes en los triglicéridos que conforman los aceites vegetales que se usan como precursores para la elaboración de biodiesel (metiles esteres), tienen cadenas alifáticas que van desde los 10 hasta los 20 carbonos, siendo la fracción más abundante, los ácidos grasos de 18 carbonos como lo son el ácido oleico y el ácido linoleico (**Figura 7**) seguidos por ácidos grasos de 16 carbonos como el ácido palmítico, por lo cual son muy parecidos en la cantidad de carbonos presentes en cada uno de los combustibles, esto nos permite sustituir el diesel por biodiesel haciendo unas pequeñas modificaciones a los motores diesel y en otros casos sin la necesidad de hacer ninguna adecuación a los motores;

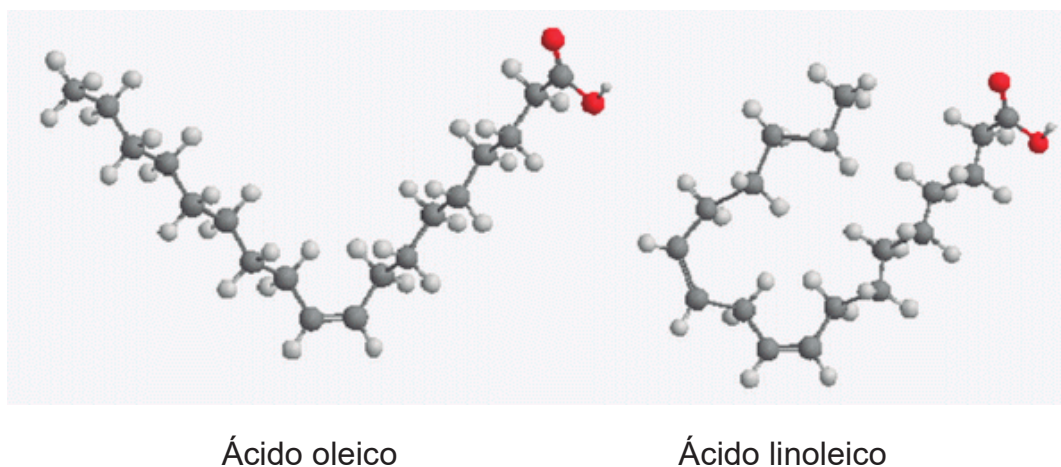
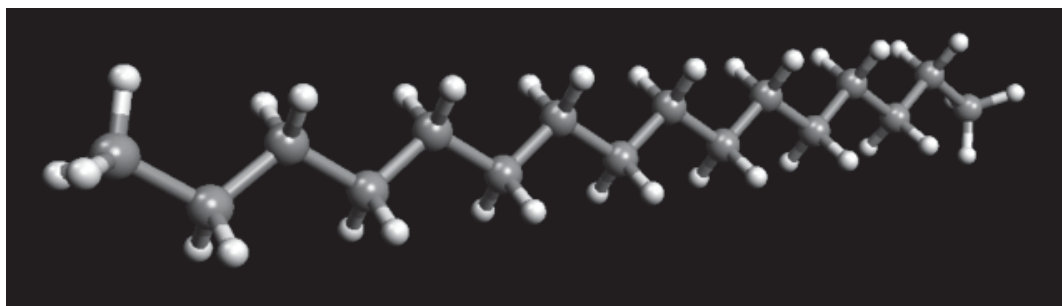


Figura 7. Ácidos grasos con mayor concentración presentes en los aceites vegetales utilizados como precursores en la producción de biodiesel.



Cetano (n-hexadecano)

Figura 8. Uno de los principales hidrocarburos presentes en el Diesel de petróleo.

Sin embargo, una de las limitaciones del uso de biodiesel a gran escala, es la materia prima, ya que el costo de los aceites vegetales es muy elevado, además que son muy demandados en la industria alimentaria y en la cocina convencional, por lo que si se desviara cierto volumen de aceites para la producción de biodiesel, se podría crear un desabastecimiento en el aceite para cocinar, lo que encarecería los costos y crearía des-estabilidad en el gran número de empresas que comercian con alimentos, y las mismas que comercian con aceites. El conjunto de este tipo de situaciones, hace económicamente inviable una transición de diesel a biodiesel al corto plazo, pero en tiempos recientes, la investigación se ha enfocado en buscar fuentes de aceites vegetales que sean más económicas y que no sean utilizadas para la alimentación para utilizarlas como precursores de biodiesel, como el aceite de Higuera "ricinus communis" (Benavides, Benjumea, & Pachova, 2007) y el aceite de Jatropha "Jatropha Curcas" (FAO, 2010), el inconveniente que presentan estas fuentes de materia prima, es que para su implementación se necesita crear una gran cantidad de cultivos de estas oleaginosas y son proyectos que abarcan varios años, mucha cooperación entre autoridades y agricultores, cambios y adecuaciones en las tierras de cultivos (cambio de uso de suelo), financiamiento, entre muchos otros pormenores, lo que nos lleva a mirar otra fuente de materia prima para un uso más inmediato. Una opción es el aceite residual comestible (ARC) (Mangesh G & Ajay K, 2006), este es una sustancia que se genera en el proceso de cocción de alimentos y es el aceite sobrante y ya contaminado con diversas sustancias propias de cada alimento (generalmente orgánicas) llevado a la cocción en el aceite nuevo o sin usar. El ARC generalmente es de origen vegetal, aunque también puede ser de origen animal como la manteca de cerdo. Esta clase de residuos líquidos es muy abundante ya que se calcula que una familia de 4 miembros genera anualmente entre 18 y 24 litros de aceite usado, de los cuales, la mayoría (alrededor de dos tercios) terminan en el desagüe y posteriormente en las alcantarillas, quienes, en el mejor de los casos, son dirigidos a plantas de tratamiento de aguas residuales, 1 litro de aceite residual de cocina puede contaminar hasta 1000 litros de agua limpia haciéndola im potable (Mayormente magazine, 2005). Este material residual es de bajo o nulo costo comercial, dando una ventaja económica para la producción de biodiesel abaratando los

costos, además, al utilizar este material, también se lleva a cabo un bien al medio ambiente ya que se remueven posibles contaminantes de circulación. Por todo esto la utilización de aceite residual comestible como materia prima para la producción de biodiesel es una excelente opción. Lo que se hace actualmente con el ARC para usarlo de materia prima es que se recolecta de diferentes centros de acopio como lo son cadenas de comida rápida, comedores universitarios, restaurantes, fábricas de manufactura de alimentos, y en general de cualquier lugar que produzca este tipo de residuo, al llegar a la planta de producción de biodiesel, todos estos aceites son mezclados, combinándolos en un solo gran lote. Dado que todas las muestras vienen de diferentes procesos, tienen variables cantidades de residuos, provienen de diferentes tipos de aceites vegetales con diferentes perfiles de ácidos grasos, y son re utilizados para cocinar un muy variado número de veces, las muestras finales que se convierten a biodiesel nunca son homogéneas y tienen siempre diferentes características físico-químicas. Por tal motivo en este trabajo nos dimos a la tarea de analizar varias muestras de aceites residuales de cocina de diferentes procedencias, enfocándonos en muestras de aceite provenientes de restaurantes, comercios de comida rápida y establecimientos de venta de comida frita, los cuales tienen la capacidad de producir suficiente aceite residual para ser usado como precursor en la producción de biodiesel.

El aceite residual de cocina.

El aceite residual de cocina es el aceite vegetal sobrante después de haber sido utilizado en la preparación de un alimento. Es producido en grandes cantidades por la industria alimentaria así como por la gente común en la cocina convencional. En el proceso de cocción es sometido a altas temperaturas propias del cocinado al igual que a la interacción con sustancias como aditivos, especias y demás ingredientes utilizados en la cocina; todos estos factores propician la desintegración de los triglicéridos constituyentes de estos aceites en diferentes especies químicas dependiendo de cómo haya sido utilizado el aceite y el trato que se le haya dado. Los aceites pueden degradarse de varias formas, por ejemplo, al romperse su molécula de triglicérido, quedando ácidos grasos libres y convirtiéndose en diglicérido,

monoglicérido, o en glicerol y ácidos grasos libres. También son propensos a la degradación oxidativa debido al calor, la luz y la interacción con el oxígeno del medio. Otra forma de degradación es la saturación de los dobles enlaces presentes en algunos ácidos grasos con oxígeno, lo que crea compuestos aldehídicos y cetónicos. Cada cambio en la estructura de los aceites disminuye su disponibilidad molecular para ser usados en la producción de biodiesel por transesterificación básica, por eso, elegir los más íntegros molecularmente, nos permitirá tener un proceso más eficiente de producción, lo que nos permite ahorrar energía, así como reactivos, pero también nos permite tener menos residuos al final del proceso, esto eleva los índices de sustentabilidad a la hora de producir biodiesel a partir de aceite residual.

Análisis de aceite residual de cocina.

Para poder entender el nivel de degradación de los aceites existen diversas pruebas que interpretándolas de manera adecuada nos permiten conocer la integridad molecular de los aceites, estas pruebas han sido utilizadas normalmente para conocer el estado de los aceites crudos y refinados antes de ser comercializados y obviamente antes de ser usados, pero nosotros utilizaremos los resultados con el fin de conocer cuál aceite residual es más apto para producir biodiesel, cual es el menos indicado y que tanto varían respecto a las muestras que actualmente se utilizan donde hay una mezcla de todos los aceites que se recolectan.

Fundamento de la pruebas físico-químicas para el análisis de los aceites.

Densidad.

La densidad es una constante que no varía mucho en un aceite puro, fresco y sin usar, sin embargo esta característica se ve alterada debido a la degradación del aceite ya que al haber cambio en la conformación molecular de los triglicéridos e ir apareciendo otras especies químicas, la densidad va

cambiando y se describe como el volumen que ocupa determinado peso del aceite. (Restrepo, 2008)

Índice de refracción.

El índice de refracción de un aceite se define como la razón de la velocidad de la luz en el vacío con respecto a la velocidad de la luz en el aceite evaluado. Por razones prácticas, normalmente los instrumentos comparan con la velocidad de la luz en el aire en lugar del vacío. El índice de refracción es característico dentro de ciertos límites para cada aceite, por lo que es un indicador de la pureza del aceite.

Este valor está relacionado con el grado de saturación, con la razón Cis/trans de los dobles enlaces y puede estar influenciado por el daño que sufre el aceite tras la oxidación. (Association of analytical chemist., 1990)

Humedad y materia volátil.

La cantidad de agua contenida en las muestras presenta un problema muy importante en la producción de biodiesel; el agua propicia que los ácidos grasos tiendan a saponificarse en vez de a transesterificarse lo que nos produce jabones y disminuye en un alto grado la calidad del biodiesel final, otro problema que nos presenta el agua es que aumenta el punto de ignición del biodiesel, además que los residuos de agua en el biocombustible hace que se creen depósitos de agua en los conductos de los motores.

El agua es una de las impurezas menores más comunes en los aceites. Al calentar los aceites por arriba del punto de ebullición del agua (105 °C), eliminamos el agua presente lo que nos permite saber el porcentaje de humedad en la muestras. Este método determina la humedad y cualquier otro material volátil presentes en las muestras bajo las condiciones de la prueba. (Association of analytical chemist., 1990)

Índice de yodo, método de Hanus.

El índice de yodo nos indica el yodo necesario para saturar los dobles enlaces de los ácidos grasos presentes dado en gramos, por cada 100 gramos de muestra de aceite. Entendiendo que los ácidos grasos con un número alto de insaturaciones son más propensos a polimerizarse y transformarse en otras especies químicas al ser estos enlaces atacados por agentes externos como el oxígeno, metales, halógenos, etc, y que los ácidos grasos con poca cantidad de dobles enlaces tienden a modificar sus propiedades de fluidez y su estado físico, haciéndose más sólidos (o semisólidos) entre más enlaces tengan ocupados, para efectos del biodiesel, necesitamos aceites con una buena fluidez por lo que los aceites deben de contar con dobles enlaces, pero también necesitamos aceites estables que no tiendan a una rápida polimerización, por lo que los aceites no deben de tener tampoco una gran cantidad de insaturaciones.

Este índice expresa concentraciones de ácidos grasos insaturados junto con el grado de insaturación, en un solo número por lo que es un parámetro de calidad muy útil. Consiste en romper los enlaces dobles y saturarlos con los halógenos I y Br. Una vez saturados se procede a la adición de yoduro de potasio que libera el yodo en forma estequiométrica, de forma tal que pueda ser cuantificado por titulación con una solución de tiosulfato de sodio estandarizada. (Association of analytical chemist., 1990)

Reacciones principales llevadas a cabo durante la determinación:



Índice de saponificación.

Sabiendo que la saponificación es la reacción entre un éster de glicerol e hidróxido de potasio para formar glicerol y la sal del ácido, llamado comúnmente jabón.

El índice de saponificación se define como el número de mg de Hidróxido de potasio KOH, requeridos para saponificar 1 g de grasa o de aceite. La cantidad de KOH requerida va a estar dada en proporción directa con el número de enlaces éster por unidad de masa. (Restrepo, 2008)

Acidez titulable.

La acidez (contenido de ácidos grasos libres) del aceite es una medida del grado en el que la hidrólisis ha liberado a los ácidos grasos de su enlace éster con la molécula de glicérido original. En parte es por esto que la acidez se conoce comúnmente como el porcentaje de contenido de ácidos grasos libres (FFA en inglés). Desafortunadamente el cálculo implica asumir el peso molecular del ácido graso libre. Por convención el porcentaje para los aceites láuricos se expresa como ácido láurico (peso molecular de 200), el aceite de palma como ácido palmítico (peso molecular de 256) y el de la mayoría de los otros aceites como ácido oleico (peso molecular de 282).

La determinación de acidez en aceites y grasas es fundamental para saber el grado de conservación de la fracción grasa de un alimento.

Los aceites y grasas comestibles pueden ser de origen parcialmente hidrolizado, por una autohidrólisis o por una hidrólisis enzimática.

Si la materia prima que dio origen al aceite o grasa estuvo deficientemente almacenada es probable que su nivel de acidez titulable haya sido alto y probablemente ante una deficiente refinación del aceite crudo, también se encontrará elevada.

Por otra parte, si el aceite o alimento que lo contienen han sido manipulados deficientemente o sean ya viejos, el nivel de acidez titulable lo podemos encontrar elevado.

Enfocándolo al fin de esta tesis, un aceite vegetal mientras más haya sido reutilizado en la cocción y debido a la temperatura e interacción del aceite con las moléculas propias de los alimentos, el nivel de acidez titulable será más alto debido a que habrá mayor cantidad de ácidos grasos libres, lo que interviene y dificulta en gran medida el proceso de transesterificación básica para la producción de biodiesel por el hecho de que se propicia la producción de jabones en la reacción lo que para la producción de biodiesel implica un problema, teniendo por consiguiente que hacer una previa esterificación ácida a la transesterificación básica encareciendo el proceso.

Por ende, esta determinación nos ayuda a conocer el estado actual del aceite o grasa. (Association of analytical chemist., 1990)

Índice de peróxidos.

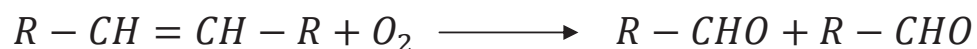
Son los miliequivalentes de oxígeno en forma de peróxido por kg de aceite o grasa.

La causa más común del deterioro de un aceite es la rancidez y la causa más común de rancidez es la oxidación.

Los aceites y grasas tienen alta tendencia a sufrir oxidaciones en sus moléculas de ácidos grasos insaturados, tales oxidaciones son promovidas tanto por enzimas (lipooxidasas), como por simple contacto del oxígeno, también debido a la oxidación por la luz, el calor y metales como el cobre.

Generalmente se acepta que el primer producto formado por la oxidación sea un hidroxiperóxido, los cuales aparecen rápidamente y son valorables antes de que se conviertan a productos más estables como derivados aldehídicos y cetonas que le imparten a los alimentos grasos el típico sabor a rancio. Por eso el método usual para evaluar el grado de oxidación es determinar el índice de peróxidos. (Association of analytical chemist., 1990) (NMX-F-154-1987)

Reacción de oxidación de un doble enlace:



Cromatografía de gases.

La cromatografía es la separación de una mezcla de compuestos (solutos) en sus diversos componentes. Al separar la muestra en los componentes individuales, es más fácil de identificar (cualitativa) y medir la cantidad (cuantificar) de los diversos componentes de la muestra. Existen numerosas técnicas cromatográficas e instrumentos correspondientes. Cromatografía de gases (GC) es una de estas técnicas. Se estima que 10-20% de los compuestos conocidos pueden ser analizadas por CG.

Uno o más gases de alta pureza se suministran a la GC. Uno de los gases (llamado el gas portador) desemboca en el inyector, a través de la columna y, a continuación en el detector. Una muestra se introduce en el inyector por lo general con una jeringa o un dispositivo de muestreo exterior. El inyector es usualmente calentado entre 150-250 °C lo que hace que la muestra de solutos volátiles se vaporice. Los solutos vaporizados se transportan en la columna por el gas portador. La columna se mantiene en un horno de temperatura controlada. El viaje de solutos a través de la columna a una velocidad determinada es regulado principalmente por sus propiedades físicas, la temperatura y la composición de la columna. Los solutos diferentes viajan a través de la columna a diferentes velocidades. El soluto de menor peso y tamaño se desplaza más rápido por la columna y sale primero (eluye), es seguido por el resto de solutos en el orden correspondiente dependiendo del tamaño de las moléculas. A medida que cada soluto eluye de la columna, entran en el detector caliente. Una señal electrónica se genera en la interacción del soluto con el detector. El tamaño de la señal es registrado por un sistema de datos y en función del tiempo transcurrido para producir un cromatograma (Agilent technologies, 2000). **(Ver figura 9)**

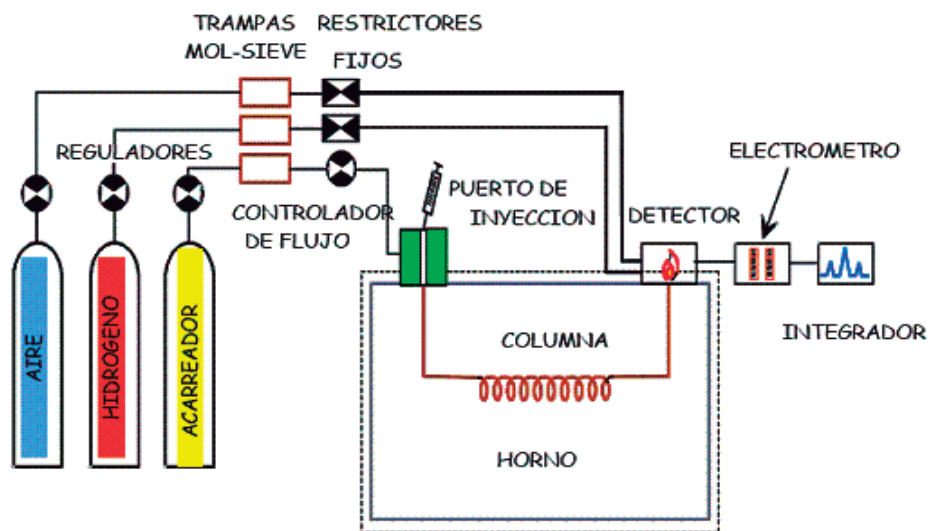


Figura 9. Cromatógrafo de gases.

Diagrama básico del funcionamiento y las partes de un cromatógrafo de gases.
Fuente: Agilent technologies

Metodología:

Fase 1, Recolección de muestras:

Se recolectaron 9 muestras de aceite residual comestible de 9 diferentes establecimientos donde se usa aceite vegetal para cocinar algún tipo de producto, 3 de ellos corresponden a establecimientos de comida rápida bien regulados por controles estrictos de calidad en sus materias primas (**ver figuras 10 y 11**),

- Mc Donald's
- Burger King
- Kentucky Fried Chicken



Figura 10. Aceite en fase de cocción.



Figura 11. Productos de cocción grupo BM1

3 más son procedentes de restaurantes y comedores universitarios (**ver figuras 12 y 13**)

- Restaurante Buffet California
- Restaurante Sanborns
- Comedor universitario del Centro de investigaciones en ecosistemas CIEco UNAM Campus Morelia.



Figura 12. Aceite residual.



Figura 13. Aceite residual.

Las últimas 3 fueron recolectadas en comercios de comida frita como papas, churros, y cena popular (ver figuras 14 y 15),

- Puesto de venta de productos fritos como papas a la francesa, plátano freído, banderillas, bocadillos a base de harina.
- Puesto de venta de antojitos fritos como lo son churros, donas y otros bocadillos afines.
- Puesto de venta de cena con platillos populares como enchiladas, pollo frito, verduras fritas, tacos dorados, entre otros.



Figura 14. Cocción de alimentos en aceite.



Figura 15. Alimentos cocinados en aceite.

Los establecimientos fueron seleccionados bajo los criterios siguientes:

1. Cantidad de aceite residual producido:
Nos enfocamos en establecimientos que tienen la capacidad de producir cantidades considerables de aceite residual como para ser usado de materia prima en la producción de biodiesel.
2. El Uso y la re utilización de los aceites vegetales en el cocinado:
Esto hace mención a que en cada uno de los tres grupos en los cuales dividimos los establecimientos, le dan un uso diferente al aceite y re utilizan el mismo aceite para cocinar en diferente medida, ya que mientras unos establecimientos solo utilizan el aceite una vez al preparar el platillo en otros re utilizan el mismo aceite las veces que el operador o cocinero crea conveniente.
3. La disposición final del aceite residual que generan los establecimientos.

Esto porque mientras algunos tienen sistemas de recolección especializado para esta clase de residuos, otros solo desechan el aceite sobrante en alcantarillas o en cualquier otro lugar donde puedan tirar el residuo.

4. Disponibilidad:

Aquí tomamos en cuenta la disponibilidad tanto de las personas dueñas o responsables de los establecimientos para cooperar en proyectos de energías alternativas y la disponibilidad de la materia prima a largo o mediano plazo para asegurar el flujo constante de insumo a la hora de implementar un proyecto de biodiesel.

Las muestras de aceites fueron denominadas como se muestra a continuación:

1. Biomaster 1A: Aceite residual procedente de Burger King.
2. Biomaster 1B: Aceite residual procedente de Mc Donald's.
3. Biomaster 1C: Aceite residual procedente de KFC.
4. Biomaster 2A: Aceite residual procedente de Comedor Universitario CIEco UNAM.
5. Biomaster 2B: Aceite residual procedente de Restaurante Sanborns.
6. Biomaster 2C: Aceite residual procedente de Restaurante Buffet California.
7. Biomaster 3A: Aceite residual procedente de Cenaduría la Inmaculada.
8. Biomaster 3B: Aceite residual procedente de Puesto ambulante de venta de bocadillos fritos.
9. Biomaster 3C: Aceite residual procedente de puesto de venta de churros y otras frituras.

Paralelo a esto, se crearon 4 muestras modelo a partir de las 9 muestras de aceites colectadas para determinar las propiedades de cada una de ellas y así ampliar el espectro de estudio y las posibilidades en la búsqueda de la mejor materia prima para la producción de biodiesel en la gama de los aceites residuales.

Las muestras fueron preparadas de la siguiente manera (ver figura 16 y 17):

- Biomaster 1X: se mezclaron en partes iguales porciones de las muestras BM1A, BM1B y BM1C.
- Biomaster 2X: se mezclaron en partes iguales porciones de las muestras BM2A, BM2B y BM2C.
- Biomaster 3X: se mezclaron en partes iguales porciones de las muestras BM3A, BM3B y BM3C.
- Biomaster 1T: se mezclaron en partes iguales porciones de las muestras BM1A, BM1B, BM1C, BM2A, BM2B, BM2C, BM3A, BM3B, BM3C.

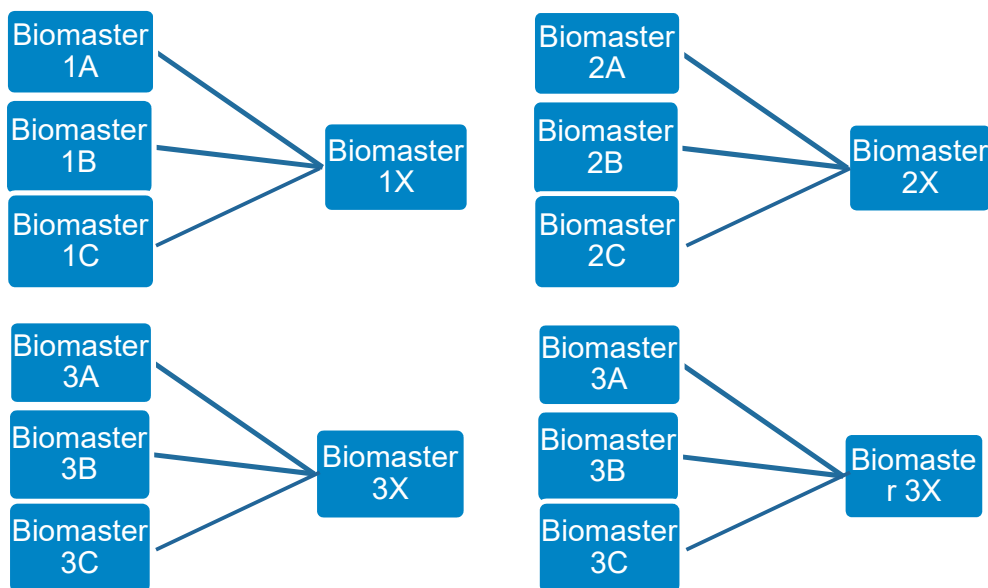


Figura 16. Preparación de muestras modelo.

Muestras modelo creadas con aceites existentes dependiendo de las características compartidas de acuerdo al uso y reuso de los aceites.

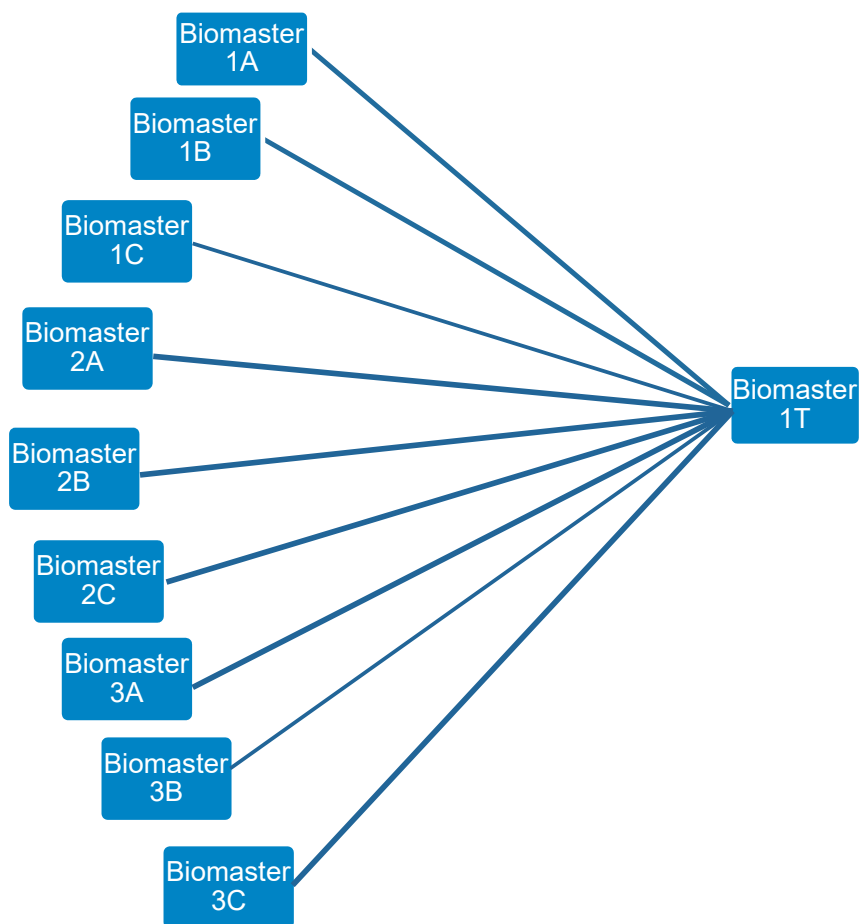


Figura 17. Preparación de muestra modelo Biomaster 1T

Muestra Biomaster 1T, mezcla de todos los aceites obtenidos, modelo de las muestras que llegan a las plantas de biodiesel actualmente.

Para conocer los parámetros que utilizamos en la elección de las muestras y apoyando estas variables, realizamos una encuesta a través de un cuestionario a los diferentes propietarios y/o encargados de cada negocio visitado, el cual se encuentra en la sección de anexos de este trabajo.

Con los resultados de la encuesta se pudo comparar el estado de las muestras según los análisis siguientes para determinar el estado de los aceites después de ser usados en la cocción y darnos una idea clara de la degradación que estos sufren dependiendo de su continua reutilización.

Fase 2, pruebas de laboratorio.

En la segunda parte se procedió a realizar las pruebas de laboratorio que nos permitieran conocer los constituyentes químicos de los aceites vegetales, concretamente, los perfiles de ácidos grasos y las características físico-químicas de cada una de las muestras.

Tratamiento previo a las pruebas realizado a los aceites residuales.

Para poder llevar a cabo las pruebas físicas y químicas, los aceites fueron calentados a 40 °C y filtrados usando una bomba de vacío y papel filtro, así pudimos retirar la mayoría de las impurezas sólidas presentes en las muestras.

Análisis químico de componentes, Cromatografía de gases.

El análisis de los ácidos grasos presentes en las muestras de aceites se hicieron con la técnica de cromatografía de gases, la que nos permitió identificar ácidos grasos de hasta 24 carbonos.

Se utilizó el método estandarizado en el laboratorio de bioenergéticos de la Universidad Autónoma Chapingo, encabezado por la Dra. Ma. Antonieta Goytia Jiménez en un cromatógrafo de gases *Agilent technologies 7890A G6 system* (**figura 18**) para detección de metiles esteres constituidos por especies de 4 a 24 carbonos.

Características del cromatógrafo:

- HP-INNOWAS 30 X0.320 X 0.25
- Temperatura entrada 250 °C
- Temperatura horno: 50 °C por dos minutos, de 30 a 220 °C por veinte y cinco minutos y hasta 250 °C por diez minutos.
- Temperatura del detector: 250 °C
- Gas acarreador: hidrogeno.
- Gas detector: hidrogeno 40 ml X min. Aire 400 ml X min.



Figura 18. Cromatógrafo de gases con inyector automático Agilente technologies 7890A G6 system.

Método estandarizado de cromatografía de gases:

- 1.- Se pesaron 0.1 gramos de cada muestra de aceite residual en tubos Labcon North América de 15 ml.
- 2.- Se agregaron 100 ml de Metóxido de sodio.
 - Preparación del Metóxido de Sodio: Para un litro de aceite se necesitan 250 ml de metanol ($\text{CH}_3\text{-OH}$) + 6.25 g de Hidróxido de Sodio NaOH (Umer & Farooq, 2008)
- 3.- Se agregaron 10 ml de hexano a las muestras, el cual es un solvente muy poco polar lo que ayuda a una mejor separación de la glicerina y los metiles esteres.

4.- Se mezclaron las muestras con un vortex por 2 minutos para ayudar a que la reacción se lleve a cabo en su totalidad.

5.- Se centrifugaron las muestras por 15 minutos a 11000 revoluciones por minuto, esto para precipitar la mayor parte de la glicerina.

6.- Con una micropipeta, se tomaron 1.5 ml de muestra y se colocaron en los viales agilent de 1.5 ml.

7.- Se colocaron los viales en un inyector automático agilent 7683B para que las muestras pudieran ser inyectadas en el cromatógrafo.

8.- Se corrió un blanco en el cromatógrafo para verificar que la columna estuviera limpia de impurezas.

- El blanco es una corrida sólo con el gas acarreador del cromatógrafo.

9.- Se corrieron las muestras por 45 minutos por duplicado.

- Se dio un tiempo por corrida de 45 minutos para asegurar que todos los metiles esteres fueron efectivamente detectados.
- El estándar de calibración está constituido por muestras de metiles esteres que van desde C4 hasta C24 y el tiempo de retención máximo presentado por las especies de C24 está en el orden de los 11.42 minutos.

10.- Después se obtiene el cromatograma de cada una de las muestras.

Análisis Fisicoquímico.

Con el análisis fisicoquímico se pretende determinar el estado de los aceites y sus propiedades tanto físicas como químicas para poder identificar el nivel de degradación con el que los aceites llegan a una planta de producción.

Densidad.

La densidad se determinó a partir de la densidad relativa (peso específico) a una temperatura constante de 20 °C basándose en la norma NMX-F-075-1987 (Normas Mexicanas, 1987).

Índice de refracción.

El índice de refracción se determinó por medio de un refractómetro ABBE según la norma NMX-F-074-S-1981 (Normas Mexicanas, 1981).

Humedad y materia volátil.

La humedad se determinó por el método de la parrilla, método oficial de la AOCS (American Oil Chemist's Society Method) y la norma NMX-F-211-1987 (Normas mexicanas, 1987).

Índice de yodo.

El índice de yodo fue determinado por el método de Hanus según la norma NMX-F-408-S-1981 (Normas Mexicanas, 1981) y se expresa en centigramos de yodo por gramo de muestra.

Índice de saponificación.

El índice de saponificación fue determinado según la norma NMX-F-174-1981 (Normas Mexicanas, 1981) y se expresó en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de muestra.

Acidez titulable.

El porcentaje de acidez fue determinado según la norma NMX-F-101-1987 (Normas Mexicanas, 1987) y fue expresado en porcentaje de ácido oleico.

Índice de peróxidos.

El índice de peróxidos fue determinado según la norma NMX-F-154-1987 (Normas mexicanas, 1987) y el resultado se expresa en miliequivalentes de oxígeno en forma de peróxidos por kilogramo de muestra.

Resultados, Cromatografía de gases:

En el análisis por cromatografía de gases se obtuvieron los siguientes resultados (De tabla 1 y figura 19 a tabla 13 y figura 31):

Burger King, Biomaster 1A:

Estos resultados revelan que esta muestra está constituida por ácidos grasos de 8 hasta 24 carbonos siendo los más abundantes los de 16 y 18 carbonos y estando carente de ácidos grasos de 20 carbonos.

Tabla 1. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 1A (BM1A).

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	4,53839445	0,01131943	3,78948903
C10:0	5,40056086	0,01216683	4,83009195
C11:0	2,57842445	0,00565779	5,24633265
C12:0	4,96642208	0,01059238	5,604146
C13:0	2,41902208	0,00502073	5,9707799
C14:0	22,0934258	0,04484465	6,30735683
C14:1	1,63755679	0,00338652	6,43763542
C15:0	5,59551811	0,01119415	6,61365175
C15:1	2,46231961	0,00498276	6,81130791
C16:0	811,705139	1,60463981	6,96015549

C16:1	16,1234455	0,03255293	7,03769255
C17:0	3,30862045	0,00687844	7,26271248
C17:1	4,04492044	0,00789385	7,33130503
C18:0	134,31311	0,26181692	7,56360435
C18:1 CIS + TRANS	1481,67993	2,88491113	7,62312508
C18:2 CIS + TRANS	2322,72437	4,64479634	7,76139259
C18:3n6	1,78147388	0,00358046	7,82566595
C18:3n3	115,071602	0,22978936	7,95492601
C20:0	19,0374928	0,03625024	8,25294018
C20:1	0	0	0
C20:2	0	0	0
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	8,16109562	0,00573145	9,08646202
C22:0	123,655098	0,16262046	9,18626213
C22:1n9	0	0	0
C22:2	287,58963	0,54300292	9,49886036
C23:0	5,15590239	0,00986281	9,73373318
C24:0	52,4052429	0,09909236	10,7349443
C24:1	0	0	0
C22:6	270,603912	0,54659771	10,980031

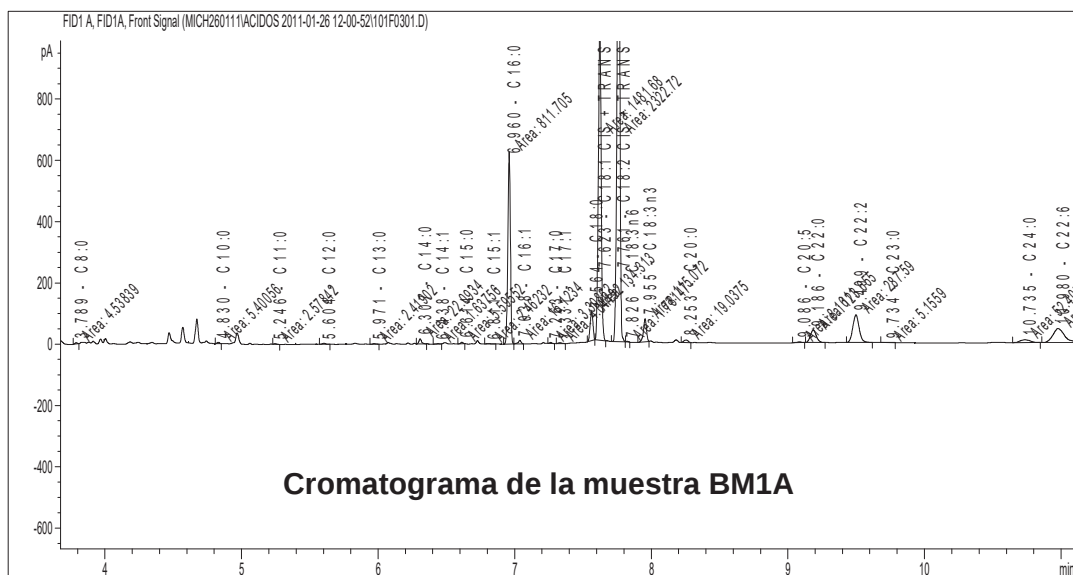


Figura 19. Cromatograma BM1A

Mc Donald's, Biomaster 1B:

Esta muestra presenta menor nivel de ácido palmítico (ácido graso de 16 carbonos) con respecto a la primera, sin embargo, junto con los ácidos grasos de 18 carbonos, siguen siendo los ácidos grasos más abundantes.

Tabla 2. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 1B (BM1B)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	3,82325697	0,00953577	3,88157964
C10:0	3,58131099	0,00806828	4,83094358
C11:0	4,63467646	0,01016978	5,24541235
C12:0	3,85588694	0,00822383	5,60990095
C13:0	6,06885099	0,01259602	6,07540083
C14:0	10,4081755	0,02112624	6,30986595
C14:1	9,09861279	0,01881623	6,49338055
C15:0	7,25574923	0,01451553	6,61488152
C15:1	2,54341125	0,00514686	6,8126812
C16:0	605,570557	1,19713745	6,96046591
C16:1	9,55923462	0,01929991	7,03899622
C17:0	3,5671885	0,00741599	7,26415586
C17:1	4,69923162	0,00917076	7,33339453
C18:0	243,996201	0,47562248	7,56671429
C18:1 CIS + TRANS	2482,76343	4,83407495	7,62873888
C18:2 CIS + TRANS	2033,34827	4,06612542	7,76221752
C18:3n6	88,5024948	0,17787487	7,9571023
C18:3n3	5,41121721	0,0108058	7,99999619
C20:0	29,3564034	0,055899	8,18620682
C20:1	44,0021057	0,08482572	8,25880623
C20:2	4,03102922	0,00782893	8,4262886
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	15,8639908	0,01114111	9,08754349
C22:0	100,777306	0,13253357	9,18497372
C22:1n9	0	0	0
C22:2	301,827148	0,56988503	9,49999332
C23:0	3,45792747	0,00661473	9,73327541
C24:0	46,630024	0,08817208	10,7382536
C24:1	0	0	0
C22:6	235,653122	0,47599998	10,9770555

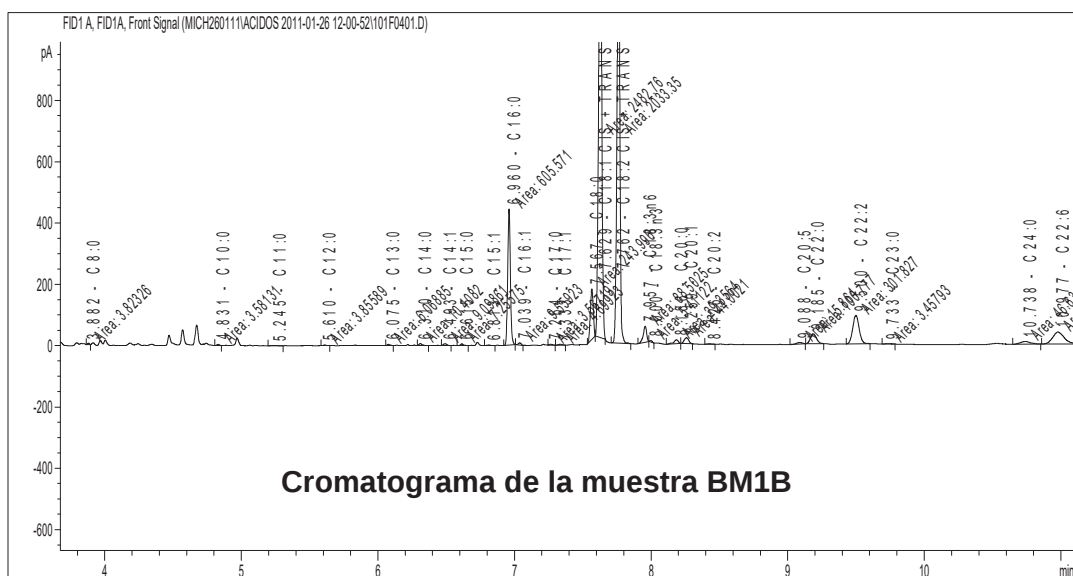


Figura 20. Cromatograma BM1B.

KFC, Biomaster 1C:

Del primer grupo de muestras, esta fue la que resultó con mayor cantidad de ácido palmítico respecto a las 2 muestras anteriores así como mantiene una alta cantidad de ácidos grasos de 18 carbonos.

Tabla 3. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 1C (BM1C)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	3,64309835	0,00908643	3,78963566
C10:0	3,50285625	0,00789153	4,83071661
C11:0	3,95904541	0,00868726	5,2454114
C12:0	52,2021828	0,11133672	5,60780764
C13:0	6,50162458	0,01349425	6,0754776
C14:0	72,8420486	0,14785285	6,30860615
C14:1	7,38079214	0,01526372	6,43255949
C15:0	1,75468385	0,00351034	6,63900375
C15:1	2,27022624	0,00459404	6,81067038
C16:0	2160,22046	4,27048638	6,96781731
C16:1	195,492752	0,39469614	7,04198027

C17:0	7,63359451	0,01586983	7,26533699
C17:1	7,1412859	0,01393654	7,33381701
C18:0	304,30069	0,59317419	7,5667038
C18:1 CIS + TRANS	2643,96826	5,1479495	7,63079166
C18:2 CIS + TRANS	1062,41016	2,12452191	7,75904179
C18:3n6	5,07838488	0,01020668	7,85133696
C18:3n3	53,1492462	0,10613506	7,95859623
C20:0	11,5349607	0,0219643	8,18532658
C20:1	19,5188751	0,0376278	8,25764179
C20:2	6,36025763	0,01235269	8,45308018
C21:0	4,67187071	0,00617203	8,58267021
C20:3n6	6,95299816	0,01581366	8,68889046
C20:4n6	0	0	0
C20:5	0	0	0
C22:0	70,2454605	0,09238074	9,18574429
C22:1n9	0	0	0
C22:2	254,983093	0,48143796	9,49993801
C23:0	0	0	0
C24:0	28,5019779	0,053894	10,737402
C24:1	0	0	0
C22:6	156,660919	0,31644221	10,9785862

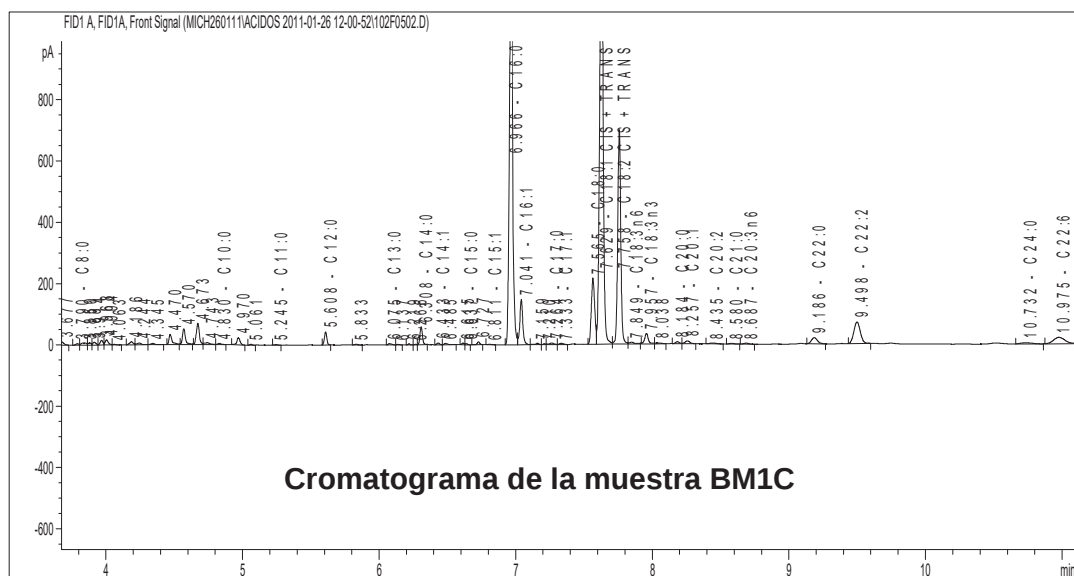


Figura 21. Cromatograma BM1C.

Comedor CIEco UNAM, Biomaster 2A:

En los resultados de esta muestra se observa que aunque siguen siendo predominantes los ácidos grasos de 16 y 18 carbonos, no alcanzan los niveles de la muestra BM1C del primer grupo.

Tabla 4. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 2A (BM2A)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	1,57300186	0,0039233	3,78681135
C10:0	9,04840374	0,020385	4,83038044
C11:0	7,10564375	0,01559178	5,21845818
C12:0	0	0	0
C13:0	1,99618423	0,00414312	5,97376633
C14:0	8,02697182	0,01629293	6,31364918
C14:1	2,15187931	0,00445016	6,44074249
C15:0	6,91286755	0,01382958	6,61537027
C15:1	1,68554592	0,00341088	6,81319141
C16:0	168,860611	0,33381636	6,95684052
C16:1	7,85395336	0,01585698	7,03841066
C17:0	5,19273758	0,01079542	7,21011829
C17:1	3,61393547	0,00705276	7,33223486
C18:0	64,2361374	0,12521568	7,55964851
C18:1 CIS + TRANS	1164,42041	2,26718965	7,62176609
C18:2 CIS + TRANS	617,402161	1,23463091	7,75357151
C18:3n6	1,52739763	0,00306981	7,82199955
C18:3n3	5,2950902	0,0105739	7,99866629
C20:0	11,1748686	0,02127863	8,18268108
C20:1	22,7720184	0,0438991	8,25885963
C20:2	6,32878351	0,01229156	8,4303894
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	8,99660873	0,00631822	9,08264351
C22:0	70,2201614	0,09234747	9,1871233
C22:1n9	0	0	0
C22:2	251,1241	0,47415173	9,49964428
C23:0	0	0	0
C24:0	30,007988	0,0567417	10,7330971
C24:1	0	0	0
C22:6	276,744385	0,55900096	10,9805851

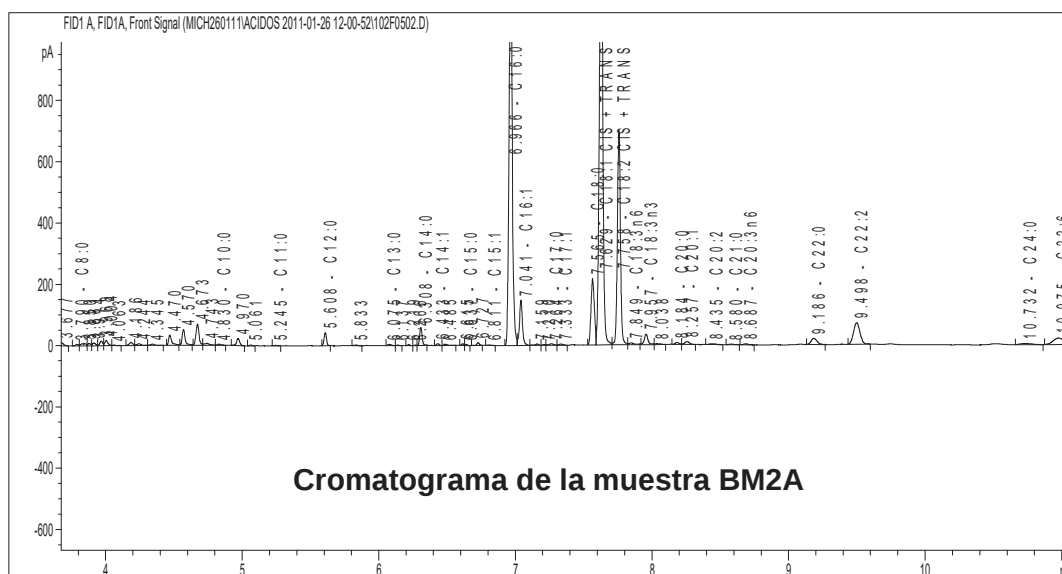


Figura 22. Cromatograma BM2A.

Restaurante Sanborns, Biomaster 2B:

Esta muestra tiene niveles muy bajos de ácidos grasos de 16 carbonos, pero se mantienen junto con los ácidos grasos de 18 carbonos, como los principales componentes estructurales de la muestra.

Tabla 5. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 2B (BM2B)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	3,06087041	0,00763427	3,78941774
C10:0	4,60093117	0,01036536	4,82977581
C11:0	5,42033195	0,01189373	5,24356031
C12:0	5,18299961	0,01105429	5,61155128
C13:0	1,95181429	0,00405103	5,97140312
C14:0	12,3793163	0,02512721	6,31045485
C14:1	1,8616246	0,0038499	6,43868351
C15:0	7,29747915	0,01459902	6,61366606
C15:1	2,49173999	0,0050423	6,81153536
C16:0	533,729736	1,05511711	6,95777559
C16:1	7,9395895	0,01602988	7,037992
C17:0	3,13930869	0,00652645	7,26132536

C17:1	3,85878944	0,0075306	7,32956314
C18:0	153,177963	0,29859023	7,56183338
C18:1 CIS + TRANS	1408,24207	2,74192362	7,62175131
C18:2 CIS + TRANS	2184,6792	4,36874478	7,76089334
C18:3n6	190,045883	0,3819597	7,95419979
C18:3n3	3,73283172	0,00745419	7,99765873
C20:0	15,4326048	0,02975044	8,18150616
C20:1	18,1613979	0,03458203	8,25506496
C20:2	7,03002596	0,01365349	8,42372131
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	19,9545135	0,01401384	9,08009434
C22:0	90,0157471	0,1183809	9,18456078
C22:1n9	0	0	0
C22:2	281,958099	0,53236993	9,49548149
C23:0	0	0	0
C24:0	35,2903824	0,0667301	10,7336769
C24:1	0	0	0
C22:6	319,311646	0,64498333	10,9729176

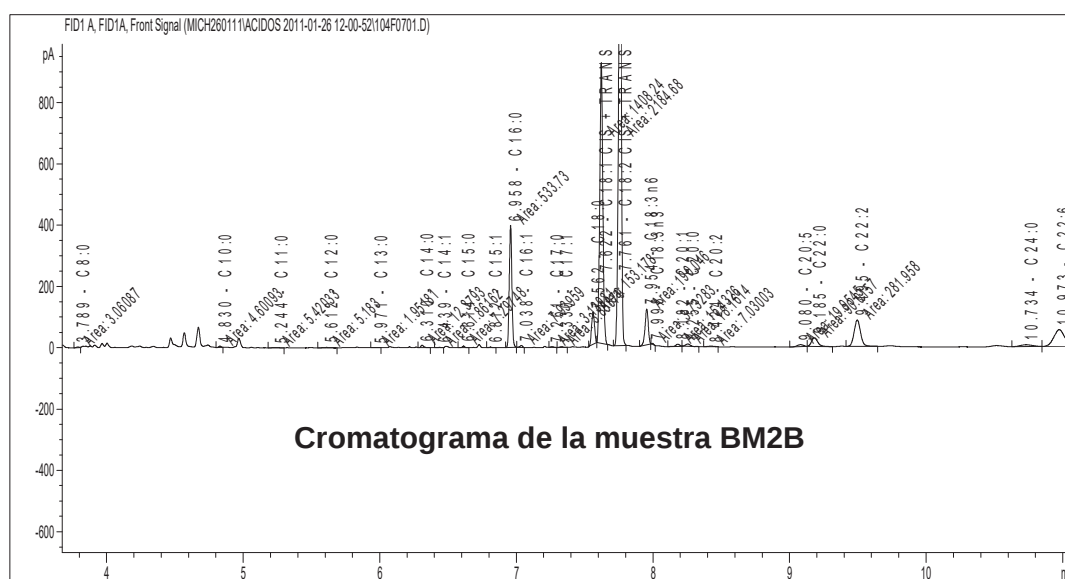


Figura 23. Cromatograma BM2B.

Restaurante Buffet California, Biomaster 2C:

Esta muestra mantiene un bajo contenido de ácidos grasos de 16 carbonos pero alto contenido de ácidos grasos de 18 carbonos, sin embargo este grupo de muestras mantiene una relación más constante en cuanto a proporciones de ácidos grasos.

Tabla 6. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 2C (BM2C)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	3,2687881	0,00815285	3,78809786
C10:0	4,40464544	0,00992315	4,82854795
C11:0	5,03313875	0,01104412	5,24360657
C12:0	9,60108089	0,02047717	5,61007071
C13:0	6,36138773	0,01320319	6,07358265
C14:0	18,6186771	0,03779169	6,30834866
C14:1	1,93053305	0,00399241	6,43771744
C15:0	7,39999342	0,0148041	6,61242485
C15:1	1,75449097	0,0035504	6,81147146
C16:0	692,673279	1,36932867	6,95825577
C16:1	11,3436651	0,02290264	7,03799725
C17:0	4,62985849	0,00962522	7,26076603
C17:1	4,60340309	0,00898375	7,33158779
C18:0	187,738876	0,36595992	7,56094742
C18:1 CIS + TRANS	2299,12769	4,47652621	7,62555599
C18:2 CIS + TRANS	1735,10693	3,46972652	7,75998354
C18:3n6	115,954079	0,2315516	7,95570278
C18:3n3	15,6762943	0,03150667	8,04366398
C20:0	7,85945749	0,01515119	8,18091106
C20:1	31,6493683	0,06026515	8,25033092
C20:2	5,79632139	0,01125743	8,42535686
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	14,4811573	0,01016996	9,08342838
C22:0	71,4271927	0,09393485	9,18260574

C22:1n9	0	0	0
C22:2	238,992538	0,45124592	9,49281979
C23:0	0	0	0
C24:0	29,0773754	0,05498201	10,727932
C24:1	0	0	0
C22:6	216,82489	0,43796849	10,9743242

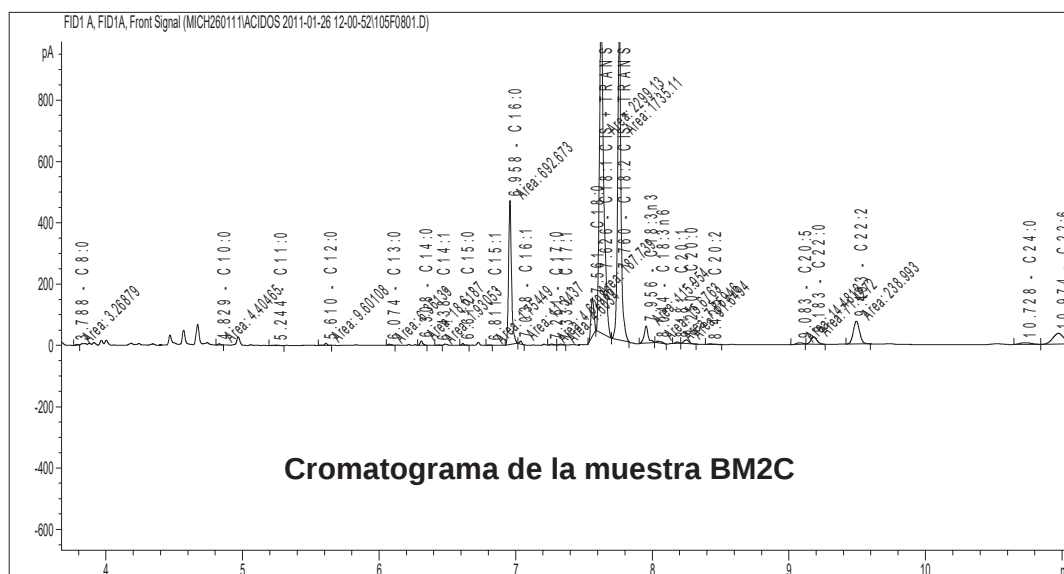


Figura 24. Cromatograma BM2C.

Aceite cenaduría popular, Biomaster 3A:

En esta muestra el nivel de ácidos grasos de 16 carbonos es bajo con respecto a los ácidos grasos de 18 carbonos pero aun así siguen siendo predominantes con respecto a los otros ácidos grasos.

Tabla 7. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 3A (BM3A)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	5,4435401	0,013577	3,82573342
C10:0	3,1329031	0,00705807	4,8295207
C11:0	4,79833984	0,01052891	5,24469614
C12:0	1,85521793	0,00395681	5,61246252
C13:0	6,0995841	0,01265981	6,0729537
C14:0	11,7386503	0,0238268	6,30898237
C14:1	12,318758	0,02547559	6,49337006
C15:0	1,50297487	0,00300679	6,68314981

C15:1	3,02538681	0,00612219	6,80988169
C16:0	621,344238	1,22832005	6,95633316
C16:1	5,52994347	0,01116485	7,03733301
C17:0	5,20276451	0,01081626	7,26099968
C17:1	4,86738777	0,00949893	7,32905626
C18:0	232,180328	0,45258977	7,5603714
C18:1 CIS + TRANS	1339,93713	2,60893022	7,61994934
C18:2 CIS + TRANS	2541,30957	5,08190535	7,75901604
C18:3n6	204,958847	0,41193221	7,95334959
C18:3n3	30,0497265	0,06000705	7,99499941
C20:0	18,1367378	0,03496337	8,18004894
C20:1	25,6110916	0,04876736	8,24352932
C20:2	11,7061043	0,02273522	8,41051197
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	23,6812	0,01663105	9,07592773
C22:0	83,8290558	0,1102447	9,18031883
C22:1n9	0	0	0
C22:2	224,087082	0,42310267	9,49161816
C23:0	0	0	0
C24:0	28,7601528	0,05438218	10,7294102
C24:1	159,672745	0,3207688	10,9674473
C22:6	75,858017	0,15322697	11,2729445

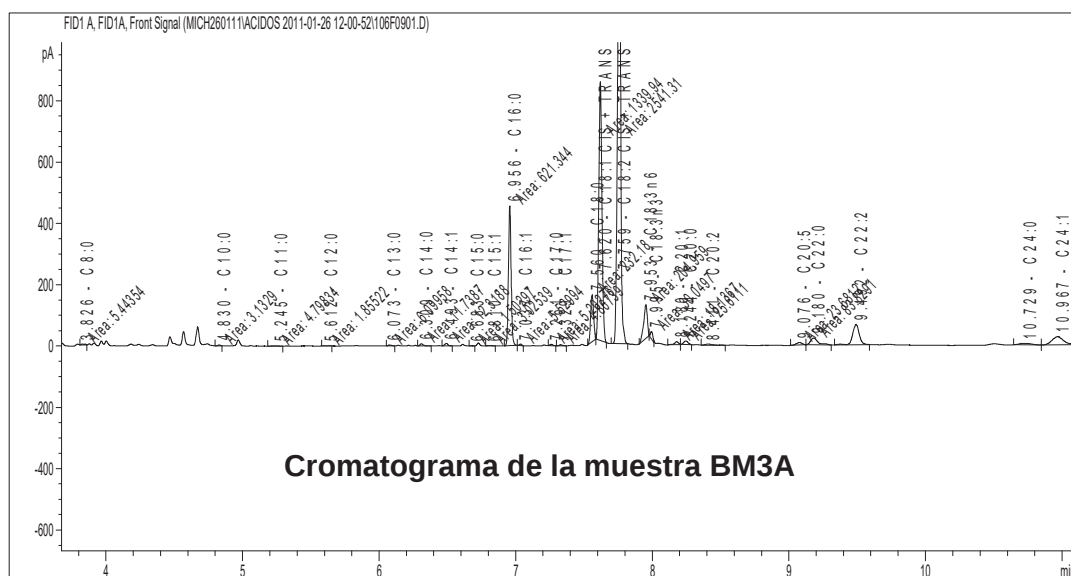


Figura 25. Cromatograma BM3A.

Puesto ambulante de bocadillos fritos, Biomaster 3B:

Esta muestra contiene niveles muy bajos de ácidos grasos de 16 carbonos con respecto a todas las muestras anteriores.

Tabla 8. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 3B (BM3B)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	2,78864789	0,00695531	3,7875669
C10:0	3,47016311	0,00781787	4,82900667
C11:0	4,90888023	0,01077146	5,24274683
C12:0	0	0	0
C13:0	6,28159475	0,01303757	6,0725441
C14:0	11,5708408	0,02348618	6,31165838
C14:1	7,54236317	0,01559785	6,48443031
C15:0	7,59624672	0,01519672	6,61171627
C15:1	2,5915792	0,00524433	6,81197309
C16:0	435,709045	0,86134243	6,95621109
C16:1	13,4650078	0,02718559	7,03535652
C17:0	3,23021317	0,00671544	7,25983953
C17:1	7,62056637	0,01487188	7,32988882
C18:0	134,635361	0,26244509	7,56110191
C18:1 CIS + TRANS	2926,68359	5,69841157	7,62616587
C18:2 CIS + TRANS	1808,88647	3,61726488	7,75702715
C18:3n6	343,99231	0,69136568	7,95284462
C18:3n3	13,4644127	0,02688742	7,99533367
C20:0	27,4557114	0,05292816	8,17749214
C20:1	55,9697723	0,10657484	8,2548275
C20:2	11,6456261	0,02261776	8,40756702
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	25,4189053	0,01785142	9,07402325
C22:0	57,9912949	0,07626512	9,17791462
C22:1n9	0	0	0
C22:2	198,35199	0,3745118	9,4885807
C23:0	0	0	0
C24:0	26,9375286	0,05093581	10,719615
C24:1	189,333084	0,38035387	10,9675102
C22:6	73,0288773	0,14751234	11,2678699

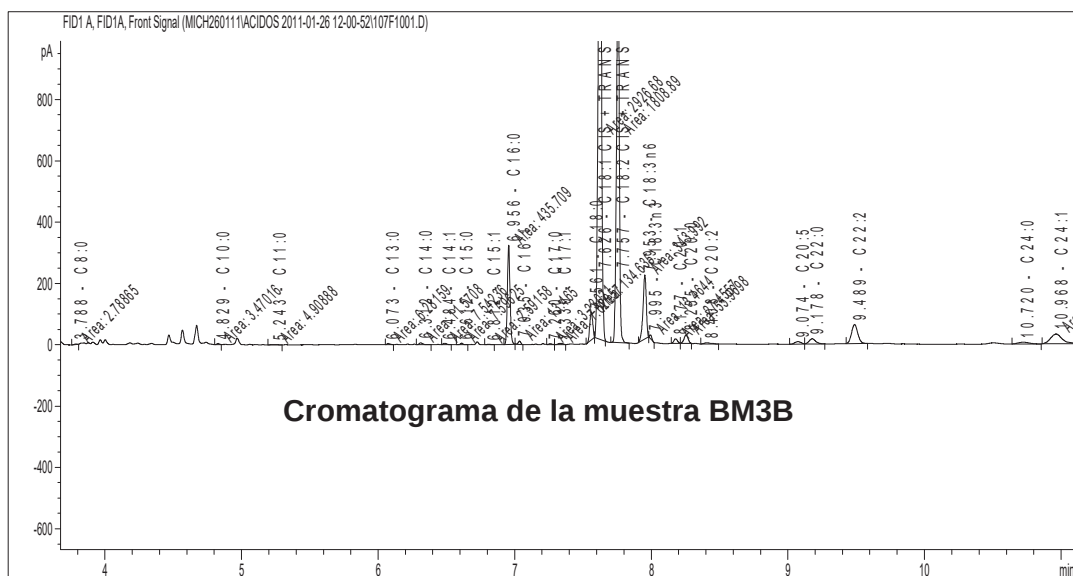


Figura 26. Cromatograma BM3B.

Puesto de churros y bocadillos fritos, Biomaster 3C:

En esta muestra también los niveles de ácidos grasos de 16 carbonos están bajos respecto a otras muestras lo que no es conveniente.

Tabla 9. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 3C (BM3C)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	0	0	0
C10:0	0	0	0
C11:0	0	0	0
C12:0	0	0	0
C13:0	0	0	0
C14:0	3,34300184	0,00678554	6,30892944
C14:1	7,36480284	0,01523065	6,4875474
C15:0	0	0	0
C15:1	3,38326073	0,00684639	6,73813629
C16:0	717,841309	1,41908272	6,95683289
C16:1	6,11575365	0,01234759	7,03499937

C17:0	2,89493036	0,0060184	7,2578249
C17:1	4,74259281	0,00925538	7,3290534
C18:0	103,722969	0,20218747	7,55909729
C18:1 CIS + TRANS	2047,98193	3,98753182	7,62038898
C18:2 CIS + TRANS	2650,88281	5,30102106	7,75952148
C18:3n6	52,5582047	0,105633	7,95078993
C18:3n3	1,63839662	0,00327176	7,99299955
C20:0	26,8671894	0,05179363	8,17697048
C20:1	40,1186562	0,07639194	8,24668598
C20:2	11,2178888	0,02178702	8,40699959
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	20,7251606	0,01455505	9,0771656
C22:0	69,4925232	0,09139054	9,18462467
C22:1n9	10,6108723	0,02041909	9,38364315
C22:2	161,704422	0,3053169	9,48695469
C23:0	0	0	0
C24:0	32,8181267	0,06205535	10,499649
C24:1	124,656769	0,25042472	10,9615793
C22:6	60,6525383	0,12251315	11,2683372

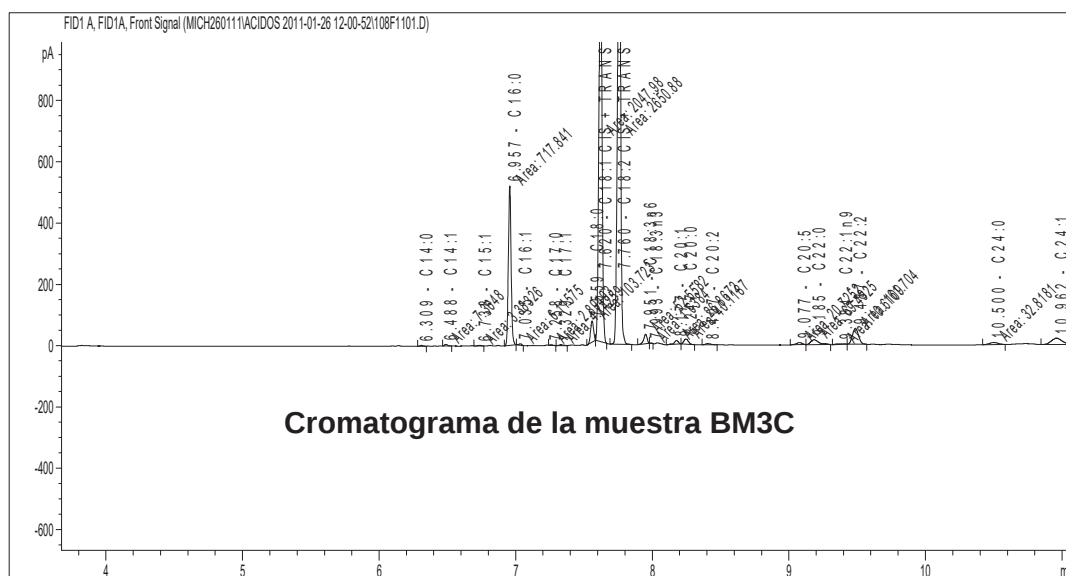


Figura 27. Cromatograma BM3C.

Mezcla de BM1A, BM1B y BM1C, Biomaster 1X:

En esta muestra los niveles de los ácidos grasos de nuestro mayor interés que son los ácidos grasos de 16 y 18 carbonos están presentes en una muy alta concentración.

Tabla 10. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 1X (BM1X)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	0	0	0
C10:0	0	0	0
C11:0	0	0	0
C12:0	21,9290047	0,04677014	5,61444187
C13:0	0	0	0
C14:0	36,7584915	0,07461141	6,30621338
C14:1	2,12924051	0,00440334	6,43060923
C15:0	2,35995626	0,00472123	6,63488626
C15:1	1,80612993	0,00365489	6,81005096
C16:0	1401,04797	2,76969708	6,95927763
C16:1	89,5950394	0,18089068	7,03612995
C17:0	3,86107993	0,00802697	7,25999832
C17:1	6,38729906	0,0124651	7,32704163
C18:0	271,234497	0,52871817	7,56088734
C18:1 CIS + TRANS	2751,43237	5,35718795	7,62385464
C18:2 CIS + TRANS	2366,54053	4,73241635	7,75777006
C18:3n6	2,22051859	0,00446286	7,84499836
C18:3n3	3,21072936	0,00641159	7,99433184
C20:0	28,1566048	0,05427932	8,17653751
C20:1	39,5658989	0,07533941	8,24966431
C20:2	0	0	0
C21:0	2,69529271	0,00356076	8,57227421
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	15,6905394	0,01101929	9,07264996
C22:0	26,1205978	0,03435154	9,17980766
C22:1n9	0	0	0
C22:2	145,674744	0,27505099	9,48625278
C23:0	0	0	0
C24:0	0	0	0
C24:1	55,2319221	0,11095618	10,9561977
C22:6	52,811676	0,10667525	11,263876

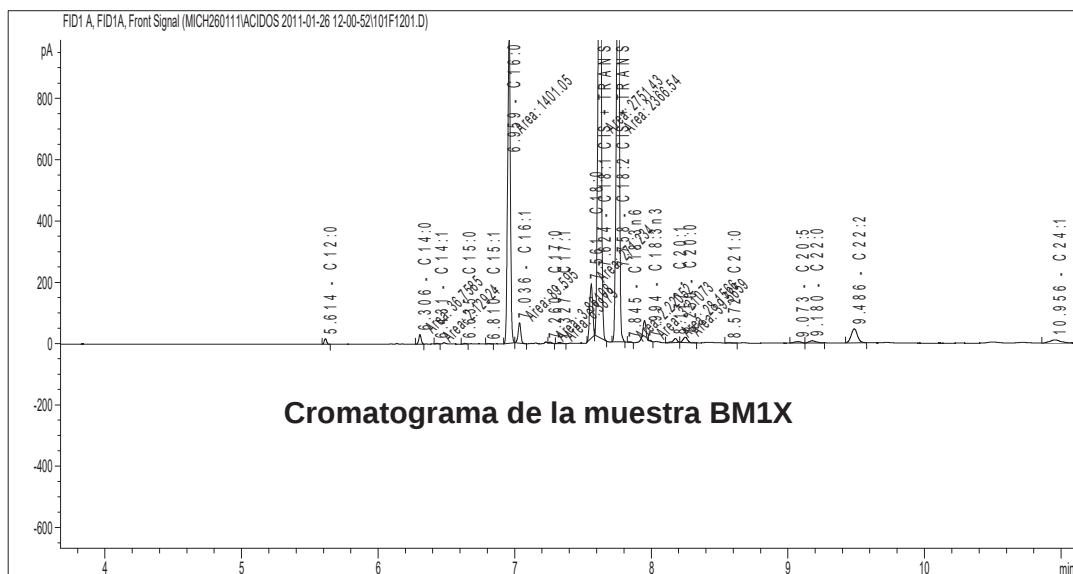


Figura 28. Cromatograma BM1X.

Mezcla de BM2A, BM2B y BM2C, Biomaster 2X:

En esta muestra se aprecia un decaimiento en los niveles de los ácidos grasos de nuestro interés con respecto a la muestra BM1X.

Tabla 11. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 2X (BM2X)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	0	0	0
C10:0	0	0	0
C11:0	0	0	0
C12:0	7,03431702	0,01500278	5,62178135
C13:0	0	0	0
C14:0	16,0477314	0,03257326	6,30872345
C14:1	4,16482973	0,008613	6,48242426
C15:0	1,7933923	0,00358778	6,67806435
C15:1	1,80225849	0,00364706	6,80965519
C16:0	833,445557	1,6476179	6,95584536
C16:1	18,2305965	0,03680723	7,03327894
C17:0	6,00244904	0,01247876	7,25838327

C17:1	8,79265118	0,01715926	7,32755327
C18:0	237,036331	0,46205559	7,55993605
C18:1 CIS + TRANS	3472,77832	6,7616876	7,62675714
C18:2 CIS + TRANS	2723,6897	5,44661438	7,75846672
C18:3n6	343,787323	0,69095369	7,95146561
C18:3n3	8,8271637	0,01762718	7,99600554
C20:0	28,2699223	0,05449777	8,17484188
C20:1	56,6527176	0,10787527	8,24869442
C20:2	9,5062027	0,01846264	8,40216923
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	33,7717133	0,02371751	9,06818962
C22:0	26,1032391	0,03432872	9,17943001
C22:1n9	0	0	0
C22:2	92,356987	0,17438081	9,48175621
C23:0	0	0	0
C24:0	28,3351231	0,0535785	10,490159
C24:1	52,8144608	0,1060997	10,9525528
C22:6	33,6770248	0,06802483	11,2570515

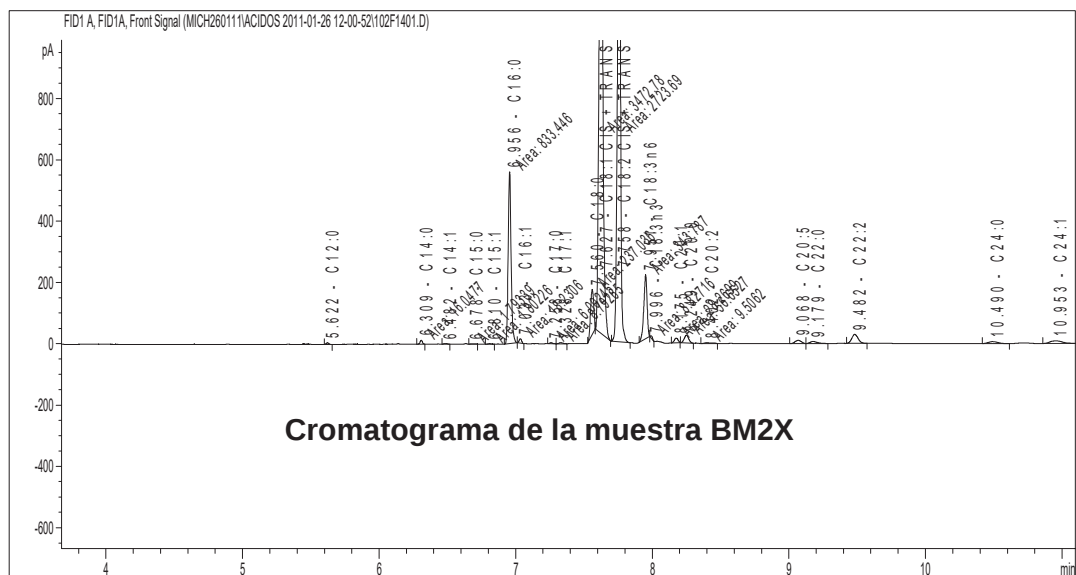


Figura 29. Cromatograma BM2X.

Mezcla de BM3A, BM3B y BM3C, Biomaster 3X:

Esta es la muestra con menores niveles de ácidos grasos de 16 carbonos lo cual nos indica que este grupo es deficiente en uno de los ácidos grasos de mayor importancia para nosotros.

Tabla 12. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 3X (BM3X)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	0	0	0
C10:0	0	0	0
C11:0	0	0	0
C12:0	0	0	0
C13:0	0	0	0
C14:0	5,88028622	0,01193565	6,30652523
C14:1	6,4038744	0,01324342	6,48586655
C15:0	3,82811284	0,00765835	6,73383904
C15:1	2,33990264	0,00473504	6,80796528
C16:0	643,786865	1,27268633	6,95239115
C16:1	13,2187328	0,02668837	7,03066683
C17:0	3,15382361	0,00655663	7,2546587
C17:1	7,07621861	0,01380956	7,32265568
C18:0	188,010544	0,36606672	7,55511475
C18:1 CIS + TRANS	2212,4314	4,31269873	7,61738348
C18:2 CIS + TRANS	2532,50098	5,06429064	7,75409317
C18:3n6	221,121445	0,44441626	7,9458375
C18:3n3	17,4222069	0,03479084	7,98899221
C20:0	44,313118	0,08437882	8,24420547
C20:1	7,06984377	0,013629	8,39532566
C20:2	0	0	0
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	26,2199974	0,01841402	9,06186676
C22:0	50,3764992	0,0662508	9,17163944
C22:1n9	0	0	0
C22:2	122,400925	0,23110729	9,47657299
C23:0	0	0	0
C24:0	25,4455147	0,04811458	10,4844112
C24:1	89,5670166	0,17993243	10,9371986
C22:6	43,0415688	0,08694044	11,2467289

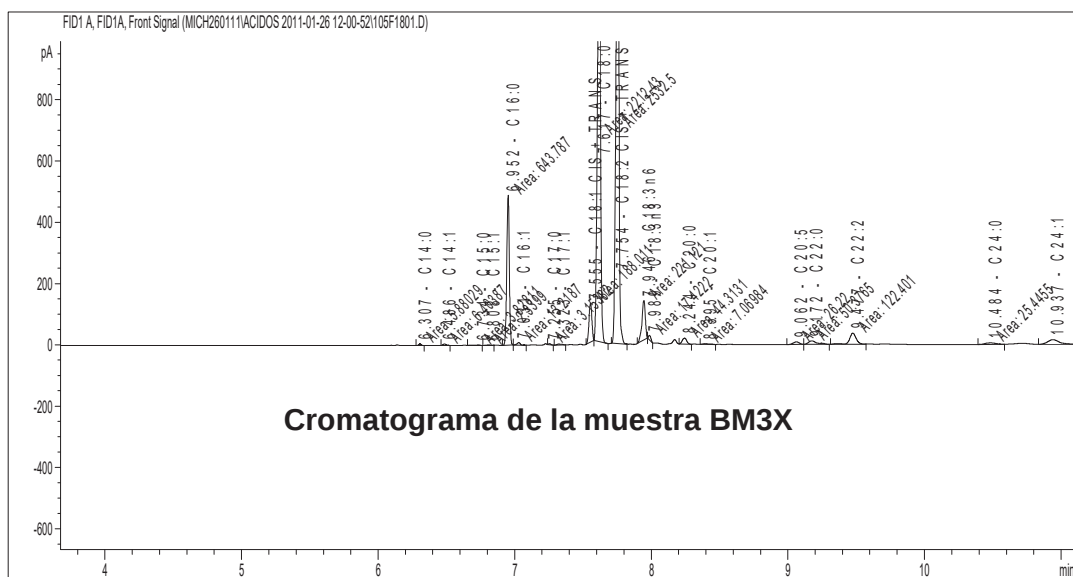


Figura 30. Cromatograma BM3X.

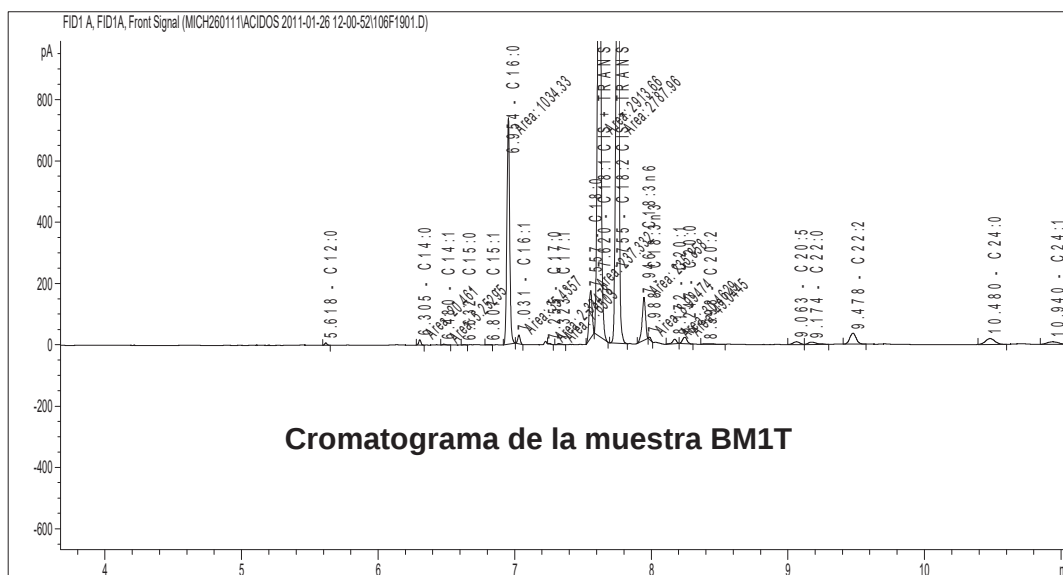
Mezcla de todas las muestras anteriormente estudiadas, Biomaster 1T:

En esta muestra apreciamos que cuando se mezclan todas las muestras los niveles de los ácidos grasos se mantienen en rangos aceptables y son mejores que algunas muestras solas.

Tabla 13. Datos de la muestra de aceite BIOMASTER 1TOTAL (BMIT)

segName	Area	PPM	MeasRetTime
C4:0	0	0	0
C6:0	0	0	0
C8:0	0	0	0
C10:0	0	0	0
C11:0	0	0	0
C12:0	10,112812	0,02156859	5,61763811
C13:0	0	0	0
C14:0	20,4609909	0,04153117	6,30512857
C14:1	5,25294733	0,01086327	6,47998238
C15:0	1,74816227	0,0034973	6,63212872
C15:1	1,9789021	0,00400452	6,80701303
C16:0	1034,32568	2,04473285	6,95387459
C16:1	35,4356689	0,07154394	7,03122616
C17:0	2,33477855	0,00485388	7,25534105
C17:1	7,65029669	0,0149299	7,32297802
C18:0	237,331604	0,46263116	7,55729532
C18:1 CIS + TRANS	2913,65527	5,67304473	7,62000036
C18:2 CIS + TRANS	2787,96338	5,57514369	7,75455856
C18:3n6	235,857513	0,47403324	7,94615078

C18:3n3	8,99474239	0,01796183	7,98767471
C20:0	30,4628792	0,05872527	8,1715107
C20:1	49,0445366	0,09338816	8,24684525
C20:2	9,89111805	0,01921021	8,39816952
C21:0	0	0	0
C20:3n6	0	0	0
C20:4n6	0	0	0
C20:5	28,1553326	0,01977318	9,06285095
C22:0	32,1505966	0,04228168	9,17446709
C22:1n9	0	0	0
C22:2	113,84877	0,21495982	9,47772503
C23:0	0	0	0
C24:0	87,4454041	0,16534933	10,4797459
C24:1	49,3839073	0,09920802	10,9397497
C22:6	43,2910233	0,08744432	11,2474031



Análisis físico-químico.

pH.

El pH de cada muestra se midió con un potenciómetro digital para una mayor precisión en las lecturas, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 14. Resultados de pH.

Muestra	pH
Biomaster 1A	5.1
Biomaster 1B	5.9
Biomaster 1C	6.7
Biomaster 2A	6.4
Biomaster 2B	6.3
Biomaster 2C	6.8
Biomaster 3A	7.2
Biomaster 3B	7.4
Biomaster 3C	5.7
Biomaster 1X	5.7
Biomaster 2X	5.5
Biomaster 3X	5.8
Biomaster 1T	6.2

Densidad.

Los resultados usando la formula $P = \frac{G1}{G2}$ son los siguientes:

Tabla 15. Resultados en la determinación de la densidad.

Muestra	Densidad P g/ml
Biomaster 1A	0.809
Biomaster 1B	0.898
Biomaster 1C	0.928
Biomaster 2A	0.906
Biomaster 2B	0.901
Biomaster 2C	0.905
Biomaster 3A	0.901
Biomaster 3B	0.902
Biomaster 3C	0.903
Biomaster 1X	0.912
Biomaster 2X	0.911
Biomaster 3X	0.906
Biomaster 1T	0.915

Dónde:

$$G_1 = M_1 - M \text{ y } G_2 = M_2 - M$$

Siendo

M = masa del vaso vacío:

- Peso del vaso vacío = 10.02 g

M1 = masa del vaso de precipitados + muestra.

Tabla 16. Datos para la determinación de la densidad (1).

Muestra	Peso vaso + muestra
Biomaster 1A	18.6 g
Biomaster 1B	18.94 g
Biomaster 1C	19.24 g
Biomaster 2A	19.02 g
Biomaster 2B	18.97 g
Biomaster 2C	19.01 g
Biomaster 3A	18.97 g
Biomaster 3B	18.98 g
Biomaster 3C	18.99 g
Biomaster 1X	19.08 g
Biomaster 2X	19.07 g
Biomaster 3X	19.02 g
Biomaster 1T	19. 11 g

M2 = masa del vaso + 10 ml de agua.

- 19.95 g

G1 = masa neta del aceite o grasa.

Tabla 17. Datos para determinación de la densidad (2).

Muestra	Peso neto muestra
Biomaster 1A	8.04 g
Biomaster 1B	8.92 g
Biomaster 1C	9.22 g

Biomaster 2A	9.0 g
Biomaster 2B	8.95 g
Biomaster 2C	8.99 g
Biomaster 3A	8.95 g
Biomaster 3B	8.96 g
Biomaster 3C	8.97 g
Biomaster 1X	9.06 g
Biomaster 2X	9.05 g
Biomaster 3X	9.0 g
Biomaster 1T	9.09 g

G2 = masa neta del agua.

- 9.93 g

Índice de refracción.

El índice de refracción de cada muestra se muestra a continuación:

Tabla 18. Resultados índice de refracción.

Biomaster 1A	1.473
Biomaster 1B	1.473
Biomaster 1C	1.465
Biomaster 2A	1.471
Biomaster 2B	1.472
Biomaster 2C	1.470
Biomaster 3A	1.475
Biomaster 3B	1.472
Biomaster 3C	1.475
Biomaster 1X	1.470
Biomaster 2X	1.472
Biomaster 3X	1.473
Biomaster 1T	1.472

Humedad y material volátil.

La humedad contenida en los aceites fue la siguiente:

Tabla 19. Resultados humedad.

Muestra	% de Humedad
Biomaster 1A	0.39 %
Biomaster 1B	0.37 %
Biomaster 1C	0.84 %
Biomaster 2A	0.47 %
Biomaster 2B	0.4 %
Biomaster 2C	0.29 %
Biomaster 3A	0.19 %
Biomaster 3B	0.39 %
Biomaster 3C	0.29 %
Biomaster 1X	0.29 %
Biomaster 2X	0.19 %
Biomaster 3X	0.19 %
Biomaster 1T	0.29 %

Estos resultados fueron obtenidos utilizando la siguiente fórmula

$$\% \text{ de humedad y materia volátil} = \frac{(\text{perdida de peso})(100)}{P}$$

Dónde:

P = peso de la muestra en gramos.

Los datos obtenidos para la resolución de la formula se presentan a continuación (tabla 20):

Tabla 20. Datos obtenidos para la determinación de la humedad.

Muestra	Peso del vaso sin muestra	Peso de la muestra	Peso del vaso + muestra	Peso del vaso + muestra después de tratamiento térmico	Perdida de peso
Biomaster 1A	98.60 g	10.10 g	108.7 g	108.66 g	0.04 g
Biomaster 1B	85.20 g	10.62 g	95.82 g	95.78 g	0.04 g
Biomaster 1C	143.27 g	20.10 g	163.37 g	163.20 g	0.17 g
Biomaster 2A	83.25 g	10.55 g	93.8 g	93.75 g	0.05 g
Biomaster 2B	92.97 g	10.00 g	102.97 g	102.93 g	0.04 g
Biomaster 2C	122.49 g	20.05 g	142.54 g	142.48 g	0.06 g
Biomaster 3A	133.47 g	20.50 g	153.97 g	153.93 g	0.04 g
Biomaster 3B	77.65 g	10.04 g	87.69 g	87.65 g	0.04 g
Biomaster 3C	92.80 g	10.01 g	102.81 g	102.78 g	0.03 g
Biomaster 1X	97.31 g	10.10 g	107.41 g	107.38 g	0.03 g
Biomaster 2X	83.25 g	10.17 g	93.42 g	93.40 g	0.02 g
Biomaster 3X	96.21 g	10.10 g	106.31 g	106.29 g	0.02 g
Biomaster 1T	92.97 g	10.01 g	102.98 g	102.95 g	0.03 g

Índice de yodo.

Los resultados del índice de yodo fueron los siguientes:

Tabla 21. Resultados índice de yodo.

Muestra	Índice de Yodo. gramos yodo/100 gramos muestra
Biomaster 1A	113.26
Biomaster 1B	107.65
Biomaster 1C	120.89
Biomaster 2A	114.76
Biomaster 2B	116.72
Biomaster 2C	118.08
Biomaster 3A	104.58
Biomaster 3B	105.20
Biomaster 3C	101.41
Biomaster 1X	111.94
Biomaster 2X	115.62
Biomaster 3X	102.07
Biomaster 1T	110.22

Índice de saponificación.

Los resultados obtenidos para el índice de saponificación fueron los siguientes:

Tabla 22. Resultados índice de saponificación.

Muestra	Índice de saponificación Mg KOH/g
Biomaster 1A	190.405
Biomaster 1B	190.405
Biomaster 1C	191.970
Biomaster 2A	196.907
Biomaster 2B	190.106
Biomaster 2C	185.462
Biomaster 3A	77.347
Biomaster 3B	194.48
Biomaster 3C	225.51
Biomaster 1X	195.331
Biomaster 2X	229.07
Biomaster 3X	233.59
Biomaster 1T	192.61

Los resultados se obtuvieron de la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(V1-V)(28.05)}{P}$$

Dónde:

- V1 = ml de HCl 0.5 N gastados en la titulación del blanco.
- V = ml de HCl 0.5 N gastados en la titulación de la muestra.
- P = peso de la muestra en gramos.
- 28.05 = miligramos de hidróxido de potasio equivalentes a 1 ml de HCl 0.5 N.

Los datos obtenidos para la ejecución de la fórmula fueron los siguientes:

ml de HCl 0.5 N usados en el blanco	25.9 ml
-------------------------------------	---------

Tabla 23. Datos obtenidos para determinación del índice de saponificación.

Muestra	Peso de la muestra	Volumen de HCl gastado en la titulación.
Biomaster 1A	3.02 g	5.4 ml
Biomaster 1B	3.02 g	5.4 ml
Biomaster 1C	3.01 g	5.3 ml
Biomaster 2A	3.02 g	4.7 ml
Biomaster 2B	3.01 g	5.5 ml
Biomaster 2C	3.04 g	5.8 ml
Biomaster 3A	3.01 g	17.6 ml
Biomaster 3B	3.00 g	5.1 ml
Biomaster 3C	3.01 g	1.7 ml
Biomaster 1X	3.03 g	4.8 ml
Biomaster 2X	3.00 g	1.4 ml
Biomaster 3X	3.08 g	0.25 ml
Biomaster 1T	3.00 g	5.3 ml

Acidez titulable.

Los resultados sobre la acidez de las muestras fueron los siguientes:

Tabla 24. Resultados acidez titulable.

Muestra	% de acidez como ácido oleico
Biomaster 1A	0.76 %
Biomaster 1B	0.46 %
Biomaster 1C	0.56 %
Biomaster 2A	0.04 %
Biomaster 2B	0.12 %
Biomaster 2C	0.30 %
Biomaster 3A	0.04 %
Biomaster 3B	0.19 %
Biomaster 3C	0.10 %
Biomaster 1X	0.61 %
Biomaster 2X	0.14 %
Biomaster 3X	0.14 %
Biomaster 1T	0.30 %

Estos resultados se obtuvieron con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de acidez} = \frac{(V)(0.0282)(100)(N)}{P}$$

Dónde:

1 ml de la solución de NaOH equivale a 0.0282 g de ácido oleico.

P = peso de la muestra en gramos.

V = volumen gastado en la titulación.

N = normalidad de la solución usada para la titulación.

Los datos para la ejecución de la fórmula fueron los siguientes:

Tabla 25. Datos obtenidos para la determinación del porcentaje de acidez.

Muestra	Volumen gastado en la titulación	Peso de la muestra
Biomaster 1A	27 ml	10.03 g
Biomaster 1B	16.5 ml	10.06 g
Biomaster 1C	19.9 ml	10.00 g
Biomaster 2A	1.4 ml	10.06 g
Biomaster 2B	4.2 ml	10.03 g
Biomaster 2C	10.7 ml	10.02 g
Biomaster 3A	1.3 ml	10.05 g
Biomaster 3B	6.8 ml	10.02 g
Biomaster 3C	3.7 ml	10.03 g
Biomaster 1X	21.8 ml	10.01 g
Biomaster 2X	5.09 ml	10.07 g
Biomaster 3X	4.9 ml	10.06 g
Biomaster 1T	10.5 ml	10.00 g

Índice de peróxidos.

Los resultados de los índices de peróxidos de las muestras fueron los siguientes:

Tabla 26. Resultados índice de peróxidos.

Muestra	Índice de peróxidos Meq de Oxígeno en forma de peróxido por Kg de masa.
Biomaster 1A	16.66
Biomaster 1B	24.55
Biomaster 1C	6.8
Biomaster 2A	18.76
Biomaster 2B	12.67
Biomaster 2C	10.69
Biomaster 3A	20.8
Biomaster 3B	22.75
Biomaster 3C	20.75
Biomaster 1X	14.77
Biomaster 2X	20.75
Biomaster 3X	20.8
Biomaster 1T	22.75

Se utilizó la siguiente relación para determinar el índice de peróxidos:

$$\text{Índice de peróxidos} = \frac{(A-A1)(N)(1000)}{M}$$

Dónde:

A = ml de solución de tiosulfato de sodio gastados en titulación de la muestra.

A1 = ml de solución de tiosulfato de sodio gastados en la titulación del blanco.

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

M = masa de la muestra.

Los datos para la ejecución de la fórmula fueron los siguientes:

ml de tiosulfato de sodio 0.1 N usados en el blanco	0.16 ml
---	---------

Tabla 27. Datos obtenidos para la determinación del índice de peróxidos.

Muestra	Peso de la muestra	ml de tiosulfato de sodio gastados en la titulación.
Biomaster 1A	5.04 g	1ml
Biomaster 1B	5.05 g	1.4 ml
Biomaster 1C	5.00 g	0.5 ml
Biomaster 2A	5.01 g	1.1 ml
Biomaster 2B	5.05 g	0.8 ml
Biomaster 2C	5.05 g	0.7 ml
Biomaster 3A	5.00 g	1.2 ml
Biomaster 3B	5.01 g	1.3 ml
Biomaster 3C	5.01 g	1.2 ml
Biomaster 1X	5.01 g	0.9 ml
Biomaster 2X	5.01 g	1.2 ml
Biomaster 3X	5.00 g	1.2 ml
Biomaster 1T	5.01 g	1.3 ml

Análisis de resultados.

Los resultados obtenidos en los análisis de las muestras fueron de naturaleza variable, mostrando la gran diversidad de propiedades físico-químicas de los aceites residuales de cocina lo cual hace constar la dificultad de tener procesos estandarizados para la producción de biodiesel a partir de este residuo, y lo complicado que puede ser obtener biodiesel de alta calidad de manera continua, sin embargo es posible identificar el mejor candidato que nos permita obtener la mejor materia prima para producir este biocombustible.

Cromatografía de gases.

Las cadenas de 16 carbonos y subsecuentemente las de 18 carbonos son las fracciones más abundantes y las que determinan las propiedades más importantes en el diesel de petróleo como combustible, por ende, los ácidos grasos más convenientes para nuestro fin son los ácidos grasos de 16 y 18 carbonos. En todas las muestras analizadas obtuvimos un resultado satisfactorio con respecto a la presencia de ácidos grasos de 16 y 18 carbonos; las 13 muestras exhiben la presencia de este tipo de ácidos grasos como las fracciones dominantes, las proporciones en cada muestra fueron variables, sin embargo esto se debe al origen y la naturaleza propia de cada aceite, al igual que al proceso de cocción del cual deriven, así como al manejo que le hayan dado a los aceites antes y después de ser usados, no obstante, con estos resultados podemos afirmar que los ácidos grasos que nos permitirán obtener un biocombustible molecularmente equivalente al diesel de petróleo, están presentes de manera dominante en todas las muestras, por lo cual el uso de biodiesel procedente de estos aceites es posible y factible.

pH.

El pH que encontramos en las muestras fue en su mayoría un pH ácido. Los resultados rondan entre 5.1 a 6.8, a excepción de 2 muestras que mostraron pH de 7.4 y 7.2 (BM3A, BM3B), esto es conveniente debido que al tener pH ácido indica que existe presencia de sustancias ajenas a los aceites que acidifican las muestras, esto mismo denota presencia de ácidos grasos libres por degradación de los triglicéridos. En la producción de biodiesel es

conveniente tener muestras cercanas a la neutralidad ya que de esta forma los ácidos grasos libres no interfieren a la hora de llevar a cabo la reacción de transesterificación al consumir NaOH para neutralizarse y disminuir la disponibilidad de NaOH para funcionar como catalizador.

Las muestras modelo BM1X, BM2X Y BM3X tuvieron pH ácidos debajo de 5.8 mientras que la muestra BM1T obtuvo un pH de 6.2 la cual representa una muestra modelo de los lotes de aceites que actualmente las empresas productoras de biodiesel a partir de aceites residuales como lo es “Biodiesel Moreco”, usan en la producción de este biocombustible, lo cual es bueno ya que no se aleja demasiado de la neutralidad.

Densidad.

La densidad es un factor importante debido a que transportar el aceite residual es uno de los trabajos más demandantes en la cadena de producción de biodiesel, por lo que al tener aceites más densos podremos transportar mayor cantidad de masa por volumen.

Las normas oficiales sobre aceites nuevos indican densidades de entre 0.914 y 0.927 g/ml; en nuestros aceites estudiados, las densidades estuvieron por debajo de estas cifras a excepción de una muestra que presento una densidad de 0.928 g/ml (BM1C). El descenso en las densidades se debe a que las muestras están contaminadas con un gran número de sustancias de bajo peso molecular desprendidas por los alimentos al momento del cocinado, estas sustancias utilizan espacios en las muestras y hace que la densidad de las mismas disminuya.

Las 3 muestras modelo presentaron densidades menores a 0.912 g/ml; la muestra BM1T resulto con una densidad de 0.915 g/ml con lo cual entra dentro de los estándares de los aceites nuevos, lo que significa que tiene una buena disponibilidad molecular de triglicéridos.

Índice de refracción.

Todos los aceites estudiados estuvieron dentro del margen del índice de refracción que manejan aceites nuevos los cuales van de entre 1.465 a 1.476.

Las 3 muestras modelo también estuvieron dentro de este rango al igual que la muestra BM1T, lo que nos indica que aunque las muestras hayan sufrido algún tipo de degradación, estas han sido degradaciones menores como lo es la hidrólisis de ácidos grasos, y no alcanzando a llegar hasta el decaimiento en otras especies químicas (aldehídos y cetonas).

Humedad y materia volátil.

Las normas oficiales marcan un máximo de 0.05% de humedad en los aceites nuevos lo cual sería idóneo para la producción de biodiesel. En las muestras obtuvimos un nivel muy variable de agua presente, siendo la muestra con menor cantidad de agua la denominada BM3A en la que se obtuvo un 0.19% de humedad, lo que equivale a 1.9 ml por cada litro de aceite, mientras que la muestra con mayor porcentaje de humedad fue la muestra BM1C con un 0.84%, equivalente a 8.4 ml de agua por cada litro de aceite.

Las 3 muestras modelo y la muestra BM1T obtuvieron porcentajes relativamente bajos de humedad menores al 0.29%.

Los niveles de humedad parecen ser mínimos, pero tratándose de calidad de biodiesel, esas pequeñas cantidades afectan mucho los resultados finales, por lo que debe eliminarse con un precalentamiento de los aceites a utilizar como materia prima.

Índice de yodo.

Todos los aceites contienen perfiles de ácidos grasos diferentes, por lo que el contenido de ácidos grasos insaturados como el ácido oleico y ácido linoleico, varían según la naturaleza del aceite, con esto tenemos que las normas oficiales sobre los aceites vegetales que contemplan los usados en este trabajo, señalan al aceite con mayor índice de yodo (y por lo tanto con mayor número de insaturaciones) al aceite de cártamo con un valor máximo de 150 g/100g y mínimo de 135 g/100g, y al aceite con menor índice de yodo (y por lo tanto con menor número de insaturaciones) al aceite de maíz con un número máximo de 128 g/100g y mínimo de 103 g/100g. Para nuestros fines tener un índice de yodo levemente bajo, pero que no sobre pase los 103g/100g sería lo

ideal ya que así podemos esperar que al ser sometidos al proceso de conversión de aceite residual en metiles esteres utilizables como biocombustible, los ácidos grasos permanecerían estables ya que no habría un número elevado de dobles ligaduras libres para ser atacadas por agentes externos, pero también nos garantiza que los dobles enlaces existentes naturalmente en los aceites no han sido ya atacados en el proceso de cocción, transporte y almacenamiento y antes de ser procesados, o que bien han sido atacados pero que aún conservan un mínimo de insaturaciones que nos proporcionan las características físicas mínimas necesarias para utilizar el aceite como precursor de biodiesel. En los resultados obtenidos en esta prueba podemos observar que todos los aceites presentan índices de yodo relativamente bajos siendo el mayor el de la muestra BM1C con 120.89 g/100g y el menor el de la muestra BM3C con un valor de 101.41 g/100g por lo que este aceite está por debajo del mínimo que presenta el aceite de maíz. Por grupos, los aceites obtenidos en restaurantes (BM2A, BM2B, BM2C) presentan los índices más altos con 114.76, 116.72 y 118.08 g/100g respectivamente, los aceites obtenidos en cenadurías populares y puestos ambulantes (BM3A, BM3B, BM3C) obtuvieron los índices más bajos con 104.58, 105.20 y 101.41 g/100g, mientras que los aceites recolectados en establecimientos de comida rápida (BM1A, BM1B, BM1C) presentan índices de yodo intermedios entre los anteriores grupos con 113.26, 107.65 y 120.89 g/100g. Los resultados obtenidos están directamente influenciados por la procedencia de los aceites ya que al haber sido mayormente reutilizados, el número de insaturaciones decae y viceversa, esto se debe a que entre más se reusan, los aceites están mayor tiempo a altas temperaturas en contacto con agentes externos y factores ambientales.

Las muestras modelo BM1X y BM2X obtuvieron resultados aceptables con 111.94 y 115.62 g/100g, mientras que la muestra BM3X obtuvo un valor de 102.07 g/100g lo que representa un valor un tanto bajo. La muestra BM1T presentó un valor de 110.22 g/100g el cual es un valor bueno y nos indica que la muestra modelo creada a partir de la mezcla de todas las muestras mantiene una estructura estable en cuanto a dobles enlaces se refiere.

Índice de saponificación.

El índice de saponificación nos permite conocer en cierta medida la proporción de enlaces esteres presentes en las muestras y por lo tanto la integridad molecular del triglicérido respecto a la unión de los ácidos grasos.

Los resultados obtenidos para el índice de saponificación fueron variables, las normas sobre aceites vegetales nuevos, manejan valores en el rango de entre 186 a 198 mg KOH/ g de muestra. El valor más bajo lo obtuvo la muestra BM3A con 77.347 mg KOH/ g, lo que nos indica que ha habido desprendimientos de ácidos grasos de la moléculas de triglicéridos formando diglicéridos y monoglicéridos. Esto en la producción de biodiesel es un gran problema, entre más ácidos grasos se hayan separado de las moléculas de triglicéridos, más ineficaz será la transesterificación básica y menos biodiesel obtendremos al igual que con una muy baja calidad. Las muestras BM1A, BM1B, BM1C, BM2A, BM2B y BM3B, obtuvieron valores de entre 190.106 y 196.907 mg KOH/ g lo cual está dentro del rango normal manejado por las normas para aceites nuevos, esto nos indica que no han sufrido mucha degradación en cuanto a ruptura de triglicéridos y liberación de ácidos grasos. El aceite de la muestra BM2C obtuvo un valor de 185. 462 mg KOH/ g apenas por debajo de las normas lo que nos dice que ha sufrido un mayor nivel de degradación aunque no tan severo. La muestra BM3C obtuvo un valor de 225.51 mg KOH/ g que está por encima de las normas, esto puede indicarnos que tiene una alta integridad molecular, lo que nos resulta excelente a la hora de producir biodiesel.

En las muestras modelo obtuvimos valores dentro y por encima de los valores de las normas (BM1X = 195.331 mg KOH/ g, BM2X = 229.07 mg KOH/ g, BM3X = 233.59 mg KOH/ g) lo que es muy bueno ya que denota que se preserva la integridad de las moléculas. La muestra BM1T obtuvo un valor de 192.61 mg KOH/ g lo cual es satisfactorio por lo que podemos decir que es un materia prima apta para producir biodiesel mediante el método de transesterificación básica teniendo en cuenta que hay una excelente disponibilidad de moléculas que pueden ser convertidas en biodiesel bajo este método.

Acidez titulable.

El porcentaje de acidez es una de las determinaciones más importantes debido a que nos representa que proporción de la muestra se ha degradado liberando ácidos grasos de sus triglicéridos constituyentes, en otras palabras, nos indica que porcentaje ácidos grasos libres existen en la muestra.

Los porcentajes de acidez máximos permitidos para aceites nuevos es de 0.05% reportado como ácido oleico, los resultados obtenidos en nuestras muestras varían. La muestra con mayor índice de acidez fue la muestra BM1A con 0.76% lo que es proporcional a 7.6 ml de ácidos grasos libres por cada litro de aceite, este es un valor relativamente bajo ya que es menos del 1% de la muestra, esto es bueno ya que no es un valor suficientemente elevado como para que reduzca la calidad del biodiesel final de manera importante y no es necesaria una esterificación ácida previa al proceso de transesterificación básica. Las muestras BM1B, BM1C y BM2C, obtuvieron valores más bajos de acidez de 0.56, 0.46 y 0.30 % respectivamente, lo que indica que tienen una buena integridad molecular en cuanto a liberación de ácidos grasos. Las muestras BM2B, BM3B y BM3C obtuvieron valores aún más bajos, del orden del 0.1 % lo que es muy bueno y nos resulta muy conveniente por el hecho de que con valores en este rango se puede optar por sólo la transesterificación básica común con buenos resultados. Todavía mejor, las muestras BM2A y BM3A arrojaron valores de 0.04% lo que entra dentro de los niveles manejados por las normas y nos indica que son aceites con una muy alta disponibilidad de triglicéridos para ser transesterificados por medio de catálisis básica y obtener un muy buen rendimiento de conversión a biodiesel.

En cuanto a las muestras modelo, la muestra BM1X obtuvo el valor más alto con 0.61%, mientras que BM2X y BM3X arrojaron un resultado de 0.14%, estos índices son igualmente bajos por lo que no presentan un gran problema a la hora de producir biodiesel de manera tradicional.

La muestra BM1T presento una acidez de 0.30% con lo que determinamos que no es necesaria la implementación de una esterificación ácida previa.

Índice de peróxidos.

Este índice nos ayuda a saber que tanta degradación han sufrido los ácidos grasos debido a la oxidación por diversas fuentes como la luz, el calor, el oxígeno, metales como el cobre, en donde los dobles enlaces son los primeros en ser atacados y los cuales se rompen formando en primer lugar un hidroxiperóxido y después compuestos cetónicos y aldehídos.

Las normas oficiales sobre aceites vegetales nuevos permiten un máximo de 2.0 meq/kg lo que garantiza que los enlaces no han sido atacados. En las muestras de aceite residual estudiadas los resultados obtenidos están muy por encima de este valor lo que nos indica un nivel alto de degradación debido a la oxidación. El índice más alto lo reportó la muestra BM1B con 24.55 meq/kg seguidos por las muestras BM3A, BM3B y BM3C con 20.05, 22.75 y 20.75 meq/kg respectivamente, estos resultados nos dicen que estos aceites han sufrido mucho contacto con el medio, al igual que han sido sometidos a un alto nivel de reuso a la hora de cocinar, lo que es algo lógico debido a su procedencia.

Las demás muestras de aceite estuvieron por debajo de los 18.75 meq/kg lo cual sigue siendo un número alto y nos indica que todas las muestras han sufrido de mucha oxidación y esto es fuertemente evidenciado al observar las características organolépticas de los aceites. La muestra BM1C obtuvo un índice relativamente satisfactorio de 6.8 meq/kg, esto indica que no ha sido sometida a un alto grado de reuso ni ha sido expuesta a los elementos (agua, aire, tierra).

En la muestras modelo obtuvimos valores igualmente altos tanto en las muestras BM1X, 2X y 3X como en la BM1T por lo que optar por cualquiera de estas muestras bajo este parámetro no marca gran diferencia.

Conclusiones.

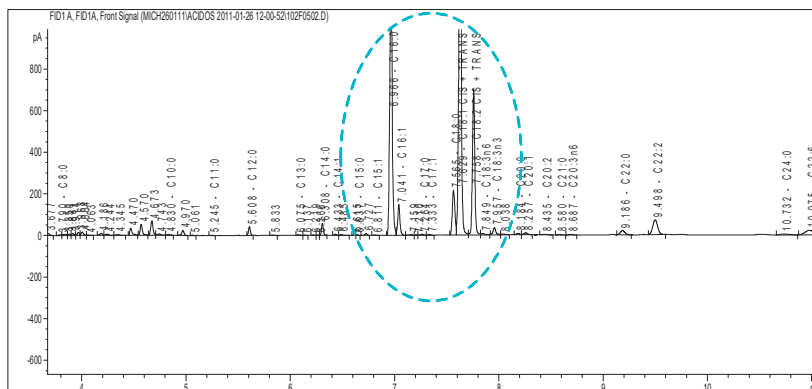
De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir:

1. Es factible la producción de biodiesel a partir de todas las fuentes de aceite residual de cocina usadas en este trabajo, sin embargo, no todas nos darán los mismos resultados en la calidad final del biodiesel. Hemos visto que la variación en las propiedades físicas y químicas de los aceites es amplia, por lo que los procesos de producción basados en la transesterificación básica deben estar sujetos a cambios y ajustes según la fuente de la materia prima, por lo que resulta poco viable la utilización de una sola metodología para producir biodiesel a partir de fuentes variadas de aceite residual.
2. En todos los aceites residuales estudiados, están presentes como especies químicas dominantes los ácidos grasos de 16 y 18 carbonos los cuales emulan los principales hidrocarburos presentes en el diesel de petróleo.
3. Es aconsejable la selección cuidadosa de la fuente primaria de aceite residual para poder tener un biodiesel final que cuente con la calidad mínima requerida para poder ser usado como combustible en autos a diesel.
4. Los aceites reutilizados en el cocinado una mayor cantidad de veces (los cuales han estado mayor tiempo en contacto con el medioambiente y con agentes externos al aceite, así como a altas temperaturas), arrojaron resultados que apoyan la teoría de que los aceites sometidos a mayor reuso, presentan características fisicoquímicas menos favorables a la hora de utilizarlos como materia prima para la producción de biodiesel. Es por lo anterior que las metodologías estandarizadas de transformación por vía de la transesterificación básica, no son aplicables como metodologías bases e inmutables y deben ser ajustadas en cuanto a uso de reactivos y condiciones fisicoquímicas de reacción, para lograr obtener biodiesel de calidad aceptable, de lo contrario se obtendrían

reacciones incompletas, y podríamos encontrar un porcentaje variable de aceite sin reaccionar dentro del biodiesel producido, así como jabones, entre otras impurezas.

5. Las empresas y/o particulares que se dediquen a producir biodiesel a partir de aceite residual de cocina, deberían contar con un control de calidad más estricto a la hora de evaluar los aceites que son utilizados como precursores de su biocombustible; el simple hecho de ser aceite residual, no justifica que se pueda usar para producir biodiesel, si es que la calidad del combustible es una prioridad.
6. El aceite que cuenta con las mejores características fisicoquímicas para ser utilizado como materia prima en la producción de biodiesel, es el aceite Biomaster 1C procedente del establecimiento de comida rápida “Kentucky Fried Chicken” con los siguientes parámetros:
 - pH = 6.7
 - Densidad = 0.928 g/ml
 - Índice de refracción = 1.465
 - Humedad = 0.84 %
 - Índice de yodo = 120.89 gI/100g
 - Índice de saponificación = 191.970 mg KOH/ mg
 - Acidez titulable = 0.56 %
 - Índice de peróxidos = 6.8 meq/kg
 - La cromatografía muestra un alto contenido de ácidos grasos de 16 y 18 carbonos siendo más abundante en ácido oleico que por solo tener una insaturación es más conveniente tenerlo presente.

SegName	PPM
C16:0	4,27048638
C16:1	0,39469614
C17:0	0,01586983
C17:1	0,01393654
C18:0	0,59317419
C18:1 CIS + TRANS	5,1479495
C18:2 CIS + TRANS	2,12452191

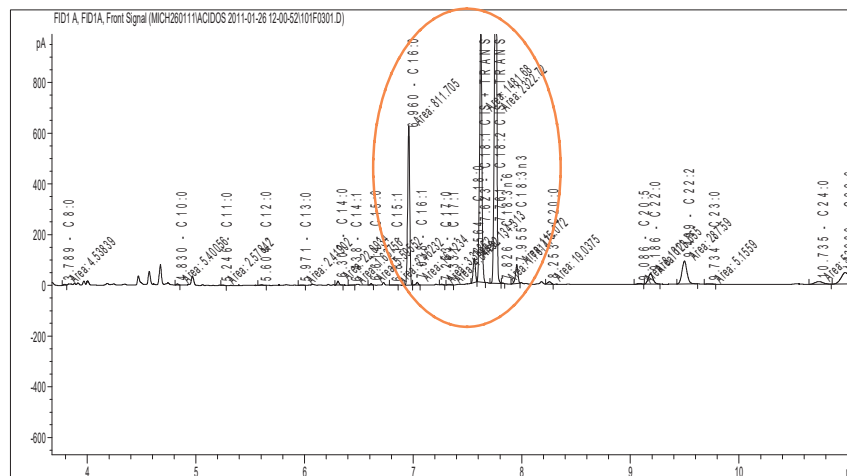


Nota: la Humedad presentada por esta muestra es la más alta de todas las estudiadas sin embargo es posible retirar el contenido de humedad con un precalentamiento del aceite antes de ser sometido al proceso de transesterificación.

7. El aceite con características menos favorables para ser usado como materia prima en la producción de biodiesel fue el aceite denominado Biomaster 1A, procedente del establecimiento de comida rápida “Burger King” que cuenta con los siguientes parámetros:

- pH = 5.1
- Densidad = 0.809 g/ml
- Índice de refracción = 1.465
- Humedad = 0.39%
- Índice de yodo = 113.26 gI/100g
- Índice de saponificación = 190.405 mg KOH/ mg
- Acidez titulable = 0.76%,
- Índice de peróxidos = 16.66 meq/kg
- La cromatografía muestra un alto contenido de ácidos grasos de 16 y 18 carbonos pero menores en relación a la muestra elegida como la más apta.

SegName	PPM
C16:0	1,60463981
C16:1	0,03255293
C17:0	0,00687844
C17:1	0,00789385
C18:0	0,26181692
C18:1 CIS + TRANS	2,88491113
18:2 CIS + TRANS	4,64479634



8. La reutilización de un aceite a la hora del cocinado va mermando su calidad para ser usado como precursor para la producción de biodiesel, por lo que se deben buscar los aceites con menor reutilización.
9. Como grupo, el que presentó las características que más afectan la calidad del biodiesel final fue el grupo Biomaster 1 en el cual se encuentran los establecimientos de comida rápida, esto se debe a que la reutilización a la cual se ven sometidos sus aceites es alta por el hecho de que producen comida en serie y en grandes volúmenes afectando esto la integridad de los triglicéridos.
El grupo de aceites con mejores características fue el grupo Biomaster 2 que es donde se encuentran los restaurantes ya que en estos el reuso al que son sometidos los aceites es mucho menor que al de la comida rápida de grandes empresas, por lo que sería idóneo buscar obtener aceite residual de este tipo de fuentes.
10. La muestra modelo Biomaster 1T en donde se realizó una mezcla de todos los aceites colectados, la cual es una muestra que emula a lo que se usa actualmente en la producción de biodiesel a partir de aceite residual comestible como en la empresa "Biodiesel Moreco", obtuvo resultados muy satisfactorios, lo que nos indica que es mejor utilizar una mezcla de aceites para homogenizar y estabilizar las propiedades fisicoquímicas de todos los aceites, en vez de usar un solo aceite si no conocemos sus características fisicoquímicas previamente. Esta

muestra modelo no fue tan buena como la muestra Biomaster 1C, de esto concluimos que si se tuviera un mejor proceso de selección de las fuentes y un control de calidad más estricto, se podría producir biodiesel de mucha más calidad y no sería necesario hacer grandes modificaciones a las técnicas.

11. Por último, no debemos de olvidar que lo que utilizamos es un residuo, y que por mínimo que haya sido el reuso, siempre existirá algún nivel de degradación, por lo que utilizar un buen sistema de recolección el cual cuide la integridad de los aceites una vez hayan sido desechados, hasta el momento en que nosotros los utilicemos en nuestro proceso de producción, es de vital importancia para preservar las cualidades y bondades que aún conserven y que nos ayuden a producir un buen biodiesel. Por este motivo proponemos un protocolo de recolección de aceite residual en el cual se busca mantener la integridad molecular de los aceites al momento de ser desechados y evitar una mayor degradación hasta el momento de su uso.

Bibliografía

Agilent technologies. (2000). *Agilent technologies*. Retrieved octubre 12, 2010, from <http://www.agilenttechnologies.com>

Alirio Benavides, P. B. (2007). El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel. *Dyna* , 140-150.

Association of analytical chemist. (1990). *Oficial methods of analysis, refractive index*. Arlington Virginia.

Benavides, A., Benjumea, P., & Pachova, V. (2007). El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel. *Dyna* , 140-150.

Bravo, E. (2010). *Biocombustibles, Cultivos Energéticos y soberanía alimentaria en América Latina*. Quito: Acción Ecológica.

Campbell, J., & Laherrère, J. H. (1998). The end of cheap oil. *Scientific American* , 78-83.

Environmental protection agency. (2011). *Environmental protection agency, glossary of climate change terms*. Retrieved enero 10, 2011, from <http://www.epa.gov/climatechange/glossary.html#weather>

FAO. (2010). *Jatropha: a smallholder bioenergy crop, the potencial for pro-poor development*. Rome: FAO.

IPCC. (2007). *the physical science basis, fourth assessment report of the intergovernmental panel of climate change*. IPCC.

Knothe, G., Van Gerpen, J., & Krahl, J. (2004). *The biodiesel handbook*. Champaign, Illinois: aocs press.

Mangesh G, K., & Ajay K, D. (2006). waste cooking oil an economical source for biodiesel. *ind. Eng. Chem. Res* , 2901-2913.

Masera, O., & Salazar, A. (2010). *México ante el Cambio Climático*. Morelia.

Mayormente magazine. (2005). *mayormente*. Retrieved noviembre 7, 2010, from <http://www.mayormente.com/magazine/articulo.cfm?idnoticia=1924&idcategoria=17>

Moreco, L. (2011, junio 25). Retos en la recolección de aceite residual para ser usado como materia prima en la elaboración de biodiesel. (M. Equihua, Interviewer)

National Renewable Energy Laboratory. (2003). *Production of biodiesel from multiple feedstocks and properties of biodiesels and biodiesel/diesel blends*. Golden Colorado: National technical information service .

Normas Mexicanas. (1981). *NMX-F-174-1981, Determinación del índice de saponificación en aceites y grasas vegetales o animales*. México Df: Dirección general de normas.

Normas Mexicanas. (1985). *Aceite vegetal comestible*. México Df: Dirección general de normas oficiales.

Normas Mexicanas. (1981). *NMX-F-074-S-1981, Determinación del índice de refracción con el refractómetro Abbé, aceites esenciales, aceites y grasas vegetales o animales*. México Df: Dirección general de normas.

Normas Mexicanas. (1987). *NMX-F-075-1987, Determinación de la densidad relativa en aceites y grasas vegetales o animales*. México Df: Dirección general de normas.

Normas Mexicanas. (1987). *NMX-F-101-1987, Determinación del índice de acidez, aceites y grasas vegetales o animales*. México Df: Dirección general de normas.

Normas mexicanas. (1987). *NMX-F-154-1987, Determinación del indice de peróxido, aceites y grasas vegetales o animales*. México Df: Dirección general de normas.

Normas mexicanas. (1987). *NMX-F-211-1987, determinación de humedad y materia volátil*. Mexico distrito federal: dirección general de normas.

Normas Mexicanas. (1981). *NMX-F-408-S-1981, Determinación del índice de yodo por el método de Hanus, aceites y grasas vegetales y animales*. México Df: Dirección general de normas.

Petroleos Mexicanos. (2004). *Pemex*. Retrieved septiembre 2, 2010, from pemex diesel hoja de seguridad de sustancias: <http://www.pemex.com/files/content/pemex%20diesel.pdf>

Restrepo, J. A. (2008). *Caracterizacion y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtencion de un combustible*. Pereira.

Sabudak, T., & Yildis, M. (2010). Biodiesel production from waste frying oils an its quality control. *Elsevier* , 799-803.

Secretaria de medio ambiente y recursos naturales; instituto nacional de ecologia.
(2002). *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero*. México DF:
Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología.
(2002). *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero*. México DF:
Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.

Umer, R., & Farooq, A. (2008). Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil. *Fuel* 87 , 265-273.

Anexos.

Cuestionario.

Proyecto: “Biodiesel Minmaster”



Laboratorio de Bioenergía, Unidad de Eco-tecnología

Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco)

UNAM, campus Morelia.

Aceite residual comestible con distintos tipos de uso y re uso, procedente de diferentes fuentes tales como comercios de comida rápida (como McDonald's, KFC, Burger King), Comedores universitarios y restaurantes (Ejemplos: Comedor del CIEco UNAM, Restaurante Buffet California, Restaurante Sanborns) y Cenadurías de la ciudad de Morelia.

Cuestiones.

¿Aproximadamente cuántos litros de aceite residual comestible están generando quincenalmente?

Locación	Litros
Mc Donald's	120
KFC	40
Burger King	100
Comedor CIEco UNAM	5
Restaurante Buffet California	10
Restaurante Sanborns	50
Puesto de churros y bocadillos fritos	6
Puesto de papas fritas y bocadillos similares	10
Cenaduría la inmaculada, tacos dorados, pollo frito etc.	5

¿Cuántas veces aproximadamente reutilizan el mismo aceite vegetal en la cocción de un alimento antes de desecharlo?

- *Mc Donald's: Se utiliza por 4 días que es en el tiempo en que se pone de un color oscuro.*
- *KFC: 160 veces.*
- *Burger King: Se utiliza aproximadamente por 4 días.*
- *Comedor CIEco UNAM: Alrededor de 5 veces o hasta que ya se ve quemado.*
- *Restaurante Buffet California: 4 o 5 días, 5 o 6 veces diarias.*
- *Restaurante Sanborns: 1 sola vez.*
- *Puesto de Churros y bocadillos Frito: No desecho el aceite, lo guardo para usarlo otro día, hasta que se acaba.*
- *Puesto de papas fritas y bocadillos similares: Al final de cada evento donde vendemos nuestros productos, cada evento dura aproximadamente de 15 días a un mes. Mientras se está en cada lugar lo que se hace es que se guarda el aceite que sobra de un día y se reutiliza al otro día y se va agregando más aceite nuevo para mantener lo necesario para cocinar.*
- *Cenaduría la inmaculada: se tira después de alrededor de una semana dependiendo de cómo se vea el aceite.*

¿Qué hacen ustedes directamente con el aceite residual?

- *Mc Donald's: Se envasa y se vende a empresas especializadas.*
- *KFC: Se envasa y se vende para su reciclado.*
- *Burger King: Se almacena en tambos y se vende a Bardal.*

- *Comedor CIEco UNAM:* Se pone en una bolsa y se tira a la basura común.
- *Restaurante Buffet California:* Se pone en bolsas y se entrega al recolector de basura.
- *Restaurante Sanborns:* Se coloca en botes y se tiran a la basura.
- *Puesto de Churros y bocadillos Fritos:* Se envasa y se tira a la basura o a la coladera.
- *Puesto de papas fritas y bocadillos similares:* Se tira al drenaje.
- *Cenaduría la inmaculada:* Se pone en botellas de plástico y se tira a la basura.

¿Saben cuál es la disposición final del aceite residual que ustedes generan?

- *Mc Donald's:* Se recicla para otros usos.
- *KFC:* Se utiliza para la creación de jabón.
- *Burger King:* Se utiliza para hacer jabones y ceras.
- *Comedor CIEco UNAM:* NO
- *Restaurante Buffet California:* NO
- *Restaurante Sanborns:* NO
- *Puesto de Churros y bocadillos Fritos:* NO
- *Puesto de papas fritas y bocadillos similares:* Termina en el drenaje.
- *Cenaduría la inmaculada:* NO

¿Saben ustedes el poder contaminante del aceite residual? Si la respuesta es SI, EXPLIQUE.

- *Mc Donald's*: Sabemos que contamina el agua y el ambiente.
- *KFC*: NO
- *Burger King*: NO
- *Comedor CIEco UNAM*: NO
- *Restaurante Buffet California*: NO
- *Restaurante Sanborns*: No lo sabemos con certeza pero debe de ser mucho ya que hemos visto que puede secar un árbol.
- *Puesto de Churros y bocadillos Fritos*: NO
- *Puesto de papas fritas y bocadillos similares*: NO
- *Cenaduría la inmaculada*: NO

¿Sabe usted REALMENTE, qué es, y por qué se da el efecto invernadero el cual provoca calentamiento y cambio climático global? EXPLIQUE.

- *Mc Donald's*: Es por la acumulación de contaminantes en la atmósfera debido a que se tiran muchos desperdicios al ambiente.
- *KFC*: Es la emisión de contaminantes (CO₂) a la atmósfera lo cual desgasta la capa de ozono y aumenta la temperatura de la tierra.
- *Burger King*: Es provocado por los gases que emiten carros, industrias, aerosoles, etc. Los cuales se quedan en la atmósfera y almacenan el calor en la tierra, lo cual ocasiona que la temperatura de la tierra este subiendo.

- *Comedor CIEco UNAM:* NO
- *Restaurante Buffet California:* NO
- *Restaurante Sanborns:* Es lo que provoca la contaminación, hace que se caliente la atmósfera y produzca efectos dañinos a la humanidad.
- *Puesto de Churros y bocadillos Fritos:* Es lo que está pasando por que hemos afectado la capa de ozono con los gases que se producen en aerosoles, humo de comidas, carros y destilerías.
- *Puesto de papas fritas y bocadillos similares:* NO
- *Cenaduría la inmaculada:* NO

¿Sabe usted qué son las energías renovables como lo es el Biodiesel?

- *Mc Donald's:* NO
- *KFC:* Las que no causan contaminación y son energías limpias.
- *Burger King:* Son energías que no son perecederas como el petróleo que en algún momento a otro se va a terminar y estas pueden ser como la energía eólica y la geotérmica.
- *Comedor CIEco UNAM:* NO
- *Restaurante Buffet California:* NO
- *Restaurante Sanborns:* NO

- *Puesto de Churros y bocadillos Fritos: NO*
- *Puesto de papas fritas y bocadillos similares: NO*
- *Cenaduría la inmaculada: NO*

De este cuestionario podemos extraer la siguiente información:

1. Los establecimientos de comida rápida (Mc. Donald's, KFC, Burger King) reutilizan el aceite por alrededor de 4 días en los cuales cocinan alrededor de unas 80 veces una misma clase de producto (papas) diariamente.
2. Los restaurantes y comedores universitarios (Restaurante Buffet California, Restaurante Sanborns, comedor universitario CIEco UNAM) reutilizan el aceite en menor medida ya que van desde un sólo uso hasta 5 o 6 reusos en alrededor de 4 o 5 días.
3. Los establecimientos informales y cenadurías populares (puesto de venta de churros y bocadillos fritos, puesto de venta ambulante de frituras y bocadillos afines, cenaduría la inmaculada) reutilizan el aceite el mayor tiempo posible, agregando aceite nuevo para mantener un volumen óptimo para la cocción de los alimentos propios de cada comercio.
4. La mayoría de las personas encargadas y/o dueñas de los establecimientos no tienen conocimiento de la contaminación que el aceite residual provoca.
5. La mayoría de las personas encargadas y/o dueñas de los establecimientos no conocen las alternativas de uso del aceite residual.
6. Casi todas las personas desconocen a ciencia cierta el problema climático del cual es parte importante la contaminación.
7. Los comercios más grandes y bien establecidos tienen un mejor control y un mejor manejo de esta clase de residuos, por otro lado los establecimientos poco regulados tienen un carente plan de manejo del aceite residual por lo que son una gran fuente contaminante.

Otro dato obtenido de los comercios fue:

Tipo de aceite utilizado por cada establecimiento para la cocción de alimentos:

- *Mc Donald's: Aceite vegetal (por políticas de la empresa no se proporcionó el dato del origen del aceite pero se presume utilizan una mezcla de aceites como lo son aceite de canola, aceite de soya, aceite de girasol y aceite de maíz)*
- *KFC: Aceite vegetal parcialmente hidrogenado (por políticas de la empresa no se proporcionó el dato del origen del aceite pero se presume utilizan una mezcla de aceites como lo son aceite de canola, aceite de soya, aceite de girasol y aceite de maíz)*
- *Burger King: Aceite vegetal parcialmente hidrogenado (por políticas de la empresa no se proporcionó el dato del origen del aceite pero se presume utilizan una mezcla de aceites como lo son aceite de canola, aceite de soya, aceite de girasol y aceite de maíz)*
- *Comedor CIEco UNAM: Aceite vegetal compuesto por una mezcla de 2 o más de los siguientes aceites: Canola, soya, girasol, cártamo y/o fracciones de palma.*
- *Restaurante Buffet California: Aceite vegetal comestible parcialmente hidrogenado 100 % puro de soya.*
- *Restaurante Sanborns: Aceite vegetal comestible 100 % puro de soya.*
- *Puesto de Churros y bocadillos Fritos: aceite vegetal comestible 100 % puro de maíz.*

- *Puesto de papas fritas y bocadillos similares: Aceite vegetal comestible compuesto por uno o más de los siguientes aceites: Canola, soya, girasol, Cártamo.*
- *Cenaduría la inmaculada: Aceite vegetal comestible compuesto por uno o más de los siguientes aceites: Girasol, canola, maíz, soya y/o fracciones de palma.*

Preparación de Biodiesel.

Universidad Autónoma Chapingo

Texcoco estado de México.

Dirigido por: Dra. Ma Antonieta Goytia Jiménez

Realizado por: Q.F.B Mintzirani Equihua Sánchez

La producción de biodiesel por método básico es la técnica más utilizada debido a su simplicidad y bajo costo más sin embargo debe de realizarse en las condiciones apropiadas y con un gran cuidado ya que de no ser así, se propician otras reacciones químicas como la reacción de saponificación lo cual arruina por completo la calidad del biodiesel obtenido, por lo que aprender la técnica es fundamental para tener un producto de calidad.

Reactivos:

- Aceite vegetal
- Hidróxido de sodio en escamas (NaOH)
- Metanol (CH₃-OH)
- Ácido acético

Material:

- Matraz Erlenmeyer de 1lt
- Matraz Erlenmeyer de 500 ml
- Embudo de separación
- Plancha de calentamiento con agitador
- Balanza
- Embudo
- Termómetro
- Bomba de aire pequeña
- Vaso de precipitados de 500 ml

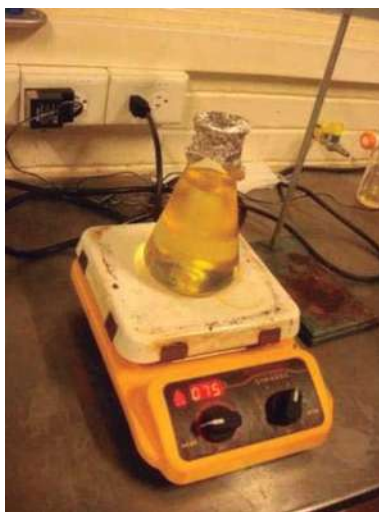
Procedimiento:

- Preparar solución de metóxido de sodio de la siguiente manera:

Para un litro de aceite se necesita: 250 ml de metanol + 6.25 g de NaOH

Mezclar hasta disolver las escamas de NaOH en el metanol.

- Verter el aceite vegetal en un matraz erlenmeyer y calentar en la plancha por 10 minutos con agitación constante.



- Agregar 2 terceras partes del metóxido de sodio preparado y dejar que se mezclen bien.



- Dejar en calentamiento y en agitación por 1 hora a 50 °C.



- Quitar de la plancha y dejar reposar por 12 horas.

En este paso se separa la glicerina del biodiesel

- Verter la mezcla en el embudo de separación y separar la glicerina del biodiesel.



- Verter el biodiesel en un matraz erlenmeyer y agregar la otra tercera parte del metóxido, dejar calentar en agitación constante por 1 hora. Esto es para aumentar el rendimiento y estar seguros que la mayor parte del aceite se transesterificó.

- Volver a verter la mezcla en el embudo de separación y remover la glicerina.
- Medir pH final.

Nota: el biodiesel quedara con un pH básico por la adición del Hidróxido de sodio, pero será neutralizado con un posterior lavado que se efectúa con agua acidificada con ácido acético (vinagre).

Lavado:

- Para el lavado se necesita una solución de ácido acético en agua con un pH lo suficientemente ácido para neutralizar el pH básico

Ejemplo: si el pH final es de 9 entonces la solución ácida deberá ser de 5 y así poder neutralizar.





- Poner a lavado por burbujeo al biodiesel con el agua acidificada por 6 horas para neutralizar y remover el exceso de sodio.





Separación del biodiesel en el lavado por burbujeo con el agua acidificada.



Biodiesel en la parte superior. Residuos de sodio y el ácido acético en el medio, al igual que aceite saponificado (jabón). Agua acidificada en la parte inferior.



Biodiesel en la forma final después del lavado y un centrifugado por 10 minutos a 10000 rpm.



Prueba de ignición del biodiesel con un atomizador convencional.

Protocolo “Minmaster” para la recolección de aceite residual de cocina.

La recolección del aceite residual de cocina es el mayor inconveniente para la utilización de este residuo como materia prima para la producción de biodiesel, por lo tanto, aquí se propone un protocolo para una recolección eficiente que garantice la mejor calidad del aceite y que evite su degradación por factores externos a los propios de la cocción.

1.- identificación de las necesidades de producción de biodiesel.

- En la primera etapa, se debe de identificar el uso que se le dará al biocombustible, haciendo los cálculos de la cantidad de biodiesel que será necesario producir durante un lapso de tiempo determinado (es recomendable que sea quincenalmente). Con este cálculo podremos identificar qué cantidad de aceite residual será necesaria para satisfacer nuestra demanda de combustible.

2.- Ubicación de la fuente generadora de aceite residual de cocina.

- Conociendo la cantidad de biodiesel que necesitaremos quincenalmente podemos conocer la cantidad de comercios que nos proveerán de la materia prima, por lo tanto la segunda fase es ubicar comercios y/o establecimientos que generen una cantidad mínima de aceite residual suficiente para que el desplazamiento desde la planta de producción hasta la fuente generadora sea justificable.

3.- identificación de la calidad del aceite residual de cocina.

- Para que la producción de biodiesel sea lo más eficiente posible, debemos de contar con aceites lo más íntegros posible, ya que entre mayor sea su nivel de degradación debido a su uso y re uso en la cocción, al igual que por factores externos como la exposición a la luz solar, el calor ambiental, un mal almacenamiento, entre otros, son necesarios una cantidad mayor de procesos extras al proceso de

transesterificación básica (proceso más comúnmente utilizado por su simplicidad técnica y menor costo), los cuales aumentan el gasto energético en la producción, y el uso de reactivos químicos y la generación de residuos no deseables, por lo tanto basándonos en investigaciones como la que se realizó en esta tesis podemos identificar la calidad del aceite residual lo que nos permite decidir que aceites son los más aptos para utilizarlos en nuestro proceso de producción de biodiesel.

4.- selección de envases para el almacenamiento y transporte de los aceites.

- Una vez identificados los aceites más aptos para ser usados como materia prima se debe de buscar los contenedores correctos para el almacenamiento y transporte del aceite residual. Es recomendable utilizar envases de plástico resistentes, esto con el fin de que puedan ser reutilizados un largo tiempo. Garrafas con capacidad de 20 litros son recomendables ya que cuentan con una forma versátil y son de fácil manejo. La cantidad de garrafas proporcionadas a cada establecimiento será proporcional a la cantidad de aceite que cada entidad produzca. Es recomendable etiquetar cada garrafa con los datos del comercio al cual fue entregado, así como datos del proceso del cual deriva el aceite y otros datos útiles de trazabilidad para tener un mayor control de los proveedores.

5.- Información de los cuidados pertinentes que los establecimientos deben tener con el aceite residual.

- Una vez que ya se han identificados los comercios que serán nuestros proveedores de aceite residual y que ya se tienen los recipientes listos y etiquetados, se debe de instruir a las personas encargadas de juntar y almacenar el aceite para que se puedan obtener las mejores muestras posibles, los siguientes criterios son muy recomendables:

1. No mezclar el aceite residual con ningún otro desecho de cocina como lo son aguas residuales, residuos sólidos de comida, solventes, ni ningún tipo de agente extraño. Aquí debemos hacer hincapié en que lo que para ellos es un residuo para nosotros será una materia prima.
2. Al ingresar al aceite residual dentro de las garrafas, este debe encontrarse a una temperatura aceptable de lo contrario la garrafa podría deformarse con un aceite muy caliente.
3. Utilizar un colador de cocina para intentar evitar el paso de sustancias sólidas propias de los alimentos dentro de la garrafa de aceite.
4. Guardar la garrafa de aceite en lugar en el cual no se exponga de manera directa a la luz solar para evitar una mayor degradación del aceite.

6.- Recolección del aceite residual en los establecimientos.

- La recolección del aceite residual debe hacerse en el menor número de desplazamientos posible, para esto se debe de acordar una fecha en la cual se recogerán las garrafas con aceite residual y se les dejará otra garrafa limpia y seca. Es altamente recomendable que la recolección se haga el mismo día en todos los establecimientos, por lo que es de suma importancia acordar el intervalo en el cual se recogerán las muestras (cada semana, cada quincena, cada mes, etc.).
- Se debe tener cuidado con las muestras al ser transportadas evitando exponerlas a las condiciones ya descritas (exposición directa a la luz solar, calor ambiental, humedad, etc.).

7.- Almacenamiento de las garrafas en la planta de producción de biodiesel hasta el momento de su uso.

- Una vez obtenidas las muestras de aceite residual de los establecimientos se debe de cuidar que estas no sufran degradación por factores ambientales hasta el momento de su uso, para esto es altamente recomendable guardarlas en un lugar fresco y seco, alejado de la radiación solar directa, también es importante evitar la manipulación del aceite por personas ajenas al proceso de producción ya que podrían ingresar sustancias extrañas (agua, polvo, contaminantes químicos) dentro del aceite que perjudicarían el proceso y lo volverían menos eficiente.

Si se tiene cuidado en una buena recolección de aceite residual, la calidad del biodiesel se ve beneficiada al igual que el rendimiento y esto motiva a seguir realizando un mejor trabajo.