



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES AVANZADOS, S.C.

NOMBRE DE LA TESIS:

**“ELABORACIÓN DE BIODIESEL CATALIZADO EN SiO_2
CON ALTO CONTENIDO DE COBRE”**

Presenta

ROBERTO AVELINO ROSAS

Que para obtener el Título de:

Maestro en Energías Renovables “Área Biomasa”

ASESOR:

DR. GUILLERMO GONZÁLEZ SÁNCHEZ

TECAMACHALCO DE GUERRERO, PUEBLA, JULIO DEL 2014.

AGRADECIMIENTOS

SÍNTESIS

El uso del aceite usado de cocina como materia prima para la elaboración de biodiesel, podría reducir problemas tales como la contaminación del agua, bloques en los sistemas de drenaje de agua, evitar el consumo de los mismos en donde en la Unión Europea está prohibida su venta para consumo animal, etc.

Además, esta práctica puede impedir el reciclaje del aceite de cocina para la cocción, que se realiza por algunas compañías. El aceite de cocina reciclado se cree que causa cáncer, debido a los contenidos tóxicos producidos cuando el aceite se oxida.

Aunque la técnica de producción de biodiesel a partir de la producción de biodiesel a través de aceite de cocina es menos rentable que el uso de combustibles fósiles, la investigación está todavía en curso para mejorar el rendimiento y la calidad del combustible. Y esta tesis, es un aporte para solucionar esta necesidad.

En este trabajo se presenta un estudio de la actividad catalítica durante la fabricación de biodiesel, utilizando catalizadores de cobre soportados en SiO_2 para la transesterificación a partir de aceite de cocina usado. Se trabajó primero con una esterificación con metanol para que podamos tener un mejor rendimiento en la transesterificación, aunque no se cuenta con el suficiente equipo de laboratorio y ni mucho menos espectrofotómetro ni cromatógrafo, me apoye con la ayuda de un amigo que tienen estos equipos donde labora.

Los catalizadores fueron preparados por el método de impregnación, calcinados a 700 °C para obtener la formación de materiales de alta cristalinidad. Se encontró que los catalizadores con alto contenido de cobre presentan una alta actividad catalítica para la transesterificación, esta depende de la fuerza básica de los catalizadores, se utilizó el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ como precursor y el SiO_2 como soporte.

El análisis cromatográfico del biodiesel obtenido, reveló que el proceso propuesto en este trabajo de investigación se obtuvo biodiesel de muy alta calidad, cumpliendo con los requisitos internacionales para su utilización como combustible.

INDICE

Introducción

CAPÍTULO I

Antecedentes y conceptos

1.1 Producción mundial del petróleo

1.2 biodiesel, sus antecedentes y usos

1.2.1 fundamentos y barreras para introducir el biodiesel en el mercado de México

1.2.2 El aceite usado, una alternativa para la fabricación de biodiesel

1.2.2.1 Alternativas para una mejor captación de residuos de cocina

1.2.3 Reacciones para la producción de biodiesel

1.2.4 Análisis de la calidad del biodiesel

1.3 procesos Catalíticos

1.3.1 Clasificación

1.3.1.1 Catálisis heterogénea

1.3.2 Catalizadores

1.3.2.1 Método de preparación de catalizadores por impregnación

CAPITULO II

2.0 metodología

2.1 preparación de los catalizadores

2.2 preparación del soporte

2.3 preparación de los catalizadores mono-metálicos

2.3.1. Técnica de impregnación

2.3.1.1 Cálculos para la preparación del catalizador

2.4 características del sistema de reacción

2.4.1 proceso de recolección de la materia prima

2.4.2 operación de filtrado

2.4.3 proceso de esterificación

2.4.4 Decantación

2.4.5 Proceso de transesterificación

2.4.6 separación

2.4.7 .sistema de neutralización y lavado

2.4.8 operación unitaria de evaporación

CAPITULO III

3.0 Caracterización fisicoquímica

3.1 síntesis de materiales por el método de impregnación

3.2 caracterización de los materiales

3.2.1 Espectroscopia ultravioleta-Visible (UV-Vis)

3.2.2 espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (T-IR)

CAPITULO IV

4.0 resultados

4.1 evaluación catalítica

4.1.1 espectroscopia FTIR en la producción de biodiesel

4.2 reutilización del catalizador

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

INTRODUCCIÓN.

El desarrollo de nuestra sociedad lleva consigo la demanda de más satisfactores, lo cual involucra una creciente demanda de energía y es cubierta con los combustibles. Sin embargo esta demanda de combustibles produce también una gran cantidad de contaminación. Para satisfacer esta creciente demanda de energía la única solución viable es la utilización de fuentes alternas de energía.

Todos los países están preocupados por resolver parte de este problema, es por ello que se están enfocando al uso de fuentes de energía alternativa como la energía eólica, solar, geotérmica y biomasa, todos ellos se basan en ambientes limpios y sostenibles, aunque no todos tienen buena viabilidad económica. Una de las mejores opciones que cumple los criterios económicos y sostenibles son los biocombustibles, en particular a partir de la materia prima de biomasa disponible o reutilizable.

La biomasa se refiere a toda la materia vegetal que se pueda obtener de la fotosíntesis. Los distintos materiales derivados de ella pueden ser convertidos en múltiples combustibles, ya sean sólidos, líquidos y gaseosos, mediante procesos de conversión bioquímica y termoquímica. La energía de la biomasa es, la mayor fuente de energía renovable, lo que representa el 77,4% de la oferta mundial de energías renovables.

Actualmente, los distintos tipos de combustibles en base a la biomasa, están recibiendo extrema atención en la preservación, mejora y el cuidado del medio ambiente, así también, por la cada vez más cerca culminación de los hidrocarburos derivados del petróleo.

Los biocombustibles se presentan de forma sólida, líquida o gaseosa para el sector de transporte, y son producidos a través de la biomasa como materia prima básica. Los biocombustibles pueden producirse de distintas fuentes biológicas, que son renovables, sostenibles, de carbono biodegradable, neutral para el ciclo de la vida y respetuosos con el medio ambiente. Muchos de los biocombustibles tienen

opciones muy atractivas para el futuro del sector del transporte como el biodiesel, bioetanol, biometanol y bihidrógeno.

Se espera a futuro, se incremente de manera constante la producción de biocombustibles. En la actualidad, varios países tales como Brasil, Estados Unidos de Norteamérica, Alemania, Austria, Australia e Italia están utilizando biocombustibles como el bioetanol y el biodiesel. Donde el biodiesel es uno de los combustibles alternativos más atractivos actualmente, presentando un gran potencial a futuro, pero se requiere estudiar y optimizar aún más su proceso de elaboración y obtención de su materia prima [35].

El objetivo de este proyecto es explorar los efectos del uso de un catalizador dopado con metales de transición en distintos porcentajes a base de cobre para ser usados en la producción de biodiesel.

Donde se utilizó el aceite de reúso de una marisquería específica, donde se desarrollaron varios parámetros para estandarizar el proceso de elaboración de biodiesel, posteriormente mejorar el proceso utilizando catalizadores homogéneos distintos porcentajes, donde se pudo cuantificar los resultados de los mismos.

Para finalmente, proponer una técnica de elaboración de biodiesel capaz de responder a la optimización del producto final, lo que trae consigo lo siguiente:

- a) La búsqueda y optimización de un catalizador que eficiente la producción del biodiesel.
- b) Poseer un sistema menos contaminante.
- c) Resistir a cualquier tipo de aceite de desecho.
- d) Facilidad en la limpieza de residuos.
- e) Tener una baja relación de costo / actividad.

La estructura de esta tesis.

Esta tesis consta de cinco capítulos en esta tesis. El Capítulo 1 muestra las situaciones y problemas de la necesidad de sustituir los combustibles derivados del petróleo, las áreas de oportunidad en la elaboración, los fundamentos y barreras que se tiene en México para introducirlo al mercado, así como la justificación de utilizar aceite usado de cocina como alternativa con una propuesta para la captación del aceite de desecho y la técnica de combustión catalítica que representa las soluciones principales para este proyecto. Dentro del Capítulo 2 se expone la metodología en la preparación del soporte así como del catalizador a través del método de impregnación, donde se describe a detalle el proceso, los reactivos y equipos que se utilizaron. De igual forma se explica el sistema de reacción que se llevó a cabo para la elaboración del biodiesel, exponiendo la técnica, equipos y procedimiento desarrollado en este trabajo experimental. El Capítulo 3 describe la técnica y caracterización Físicoquímica del resultado del sistema de reacción. Mientras que los resultados se analizan en el capítulo 4. Las principales conclusiones de la investigación actual con potencial trabajo sobre este tema se muestran en la parte final del capítulo 5.

CAPITULO I.

1.0 Antecedentes y Conceptos

1.1 Producción mundial del petróleo

Una de las razones del aumento de precios es por la falta de suministros de todos los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) están siendo cada vez más escasos y su producción más costosa. En la Figura 1 se ve claramente que la producción mundial de petróleo disminuye en los últimos años.

El mundo no se puede permitir quedarse en la ruta del desarrollo energético “convencional”, perpetrando su dependencia del uso de combustibles fósiles, de la energía nuclear y otras tecnologías obsoletas.

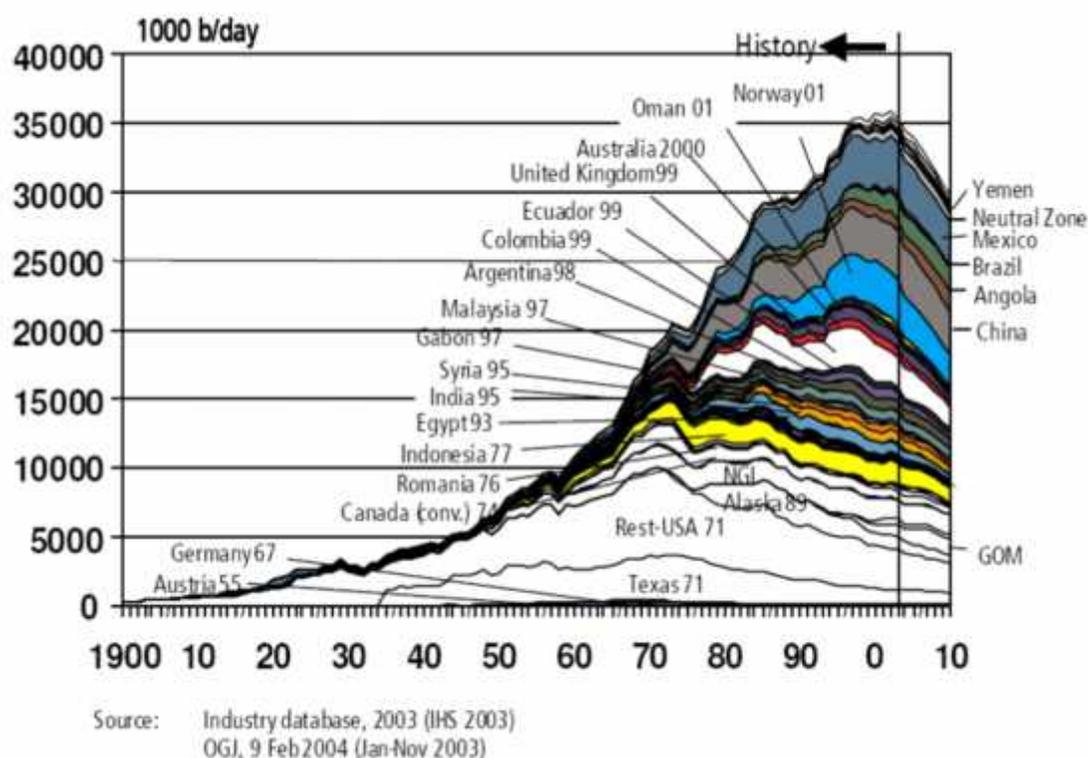


Figura 1. Producción de barriles de petróleo a través de los años.

Las energías renovables pueden y deben tener un papel importante en el futuro energético del mundo. Ahora es el momento de cambiar a un futuro energético sostenible y realmente seguro, un futuro construido sobre tecnologías limpias, el desarrollo económico.

1.2 Biodiesel, sus antecedentes y uso.

Es bien sabido que la posibilidad de usar aceites vegetales y las grasas animales como biodiesel fue investigada antes de la crisis de energía ocurrida durante los años 70s y principios de los 80s la cual impulsó nuevamente el interés en los combustibles alternativos. También es sabido que Rudolf Diesel (1858-1913) estaba interesado en estos combustibles para operar el motor que inventó y que lleva su nombre. En su libro: *Die Entstehung des Dieselmotors* [1], Diesel escribe: “Cuando mi respetado maestro el Profesor Linde nos explicó en una lectura de Termodinámica en 1878 en el Politécnico de Munich que una máquina de vapor solo convertía de 6% a 10% del calor contenido en el combustible en trabajo mientras que el teorema de Carnot explica que durante el cambio de estado del gas isotérmico, todo el calor transferido es convertido en trabajo, me propuse a mí mismo realizar el proceso ideal de Carnot, y esta idea se convirtió en una meta prioritaria en mi vida.”

Esta declaración de Diesel muestra claramente que enfocó del desarrollo de su motor, desde el punto de vista termodinámico. La meta era desarrollar un motor altamente eficiente. En realidad, Diesel no desarrolló su motor para usar aceites vegetales como afirman algunos científicos.

En el libro “Combustibles líquidos”, Diesel aborda el uso de aceites vegetales como posibles combustibles: “Se debe mencionar que desde 1900, los aceites de las plantas fueron usados con éxito en un motor diésel. Durante la exposición de Paris en 1900, Diesel llevó un motor pequeño funcionando con aceite de cacahuete. El motor fue construido para funcionar con petróleo y sin embargo, estaba funcionando con ese aceite vegetal [2-5]. Diesel llevó a cabo experimentos exitosos en St. Petersburgo utilizando el aceite de ricino. El pensaba que la

utilización de aceites vegetales para el funcionamiento de su motor podría ser de gran utilidad en las colonias de Francia, Inglaterra, Alemania, Bélgica, Portugal en África. Esto es debido a que en dichas colonias, se tiene una fuerte producción de plantas oleaginosas como el cacahuate y la palma.

El biodiesel fabricado a partir de diversas cosechas se utiliza cada vez más como combustible para vehículos, especialmente desde el anunciado agotamiento del petróleo. El biodiesel fabricado a partir de diversas cosechas se utiliza cada vez más como combustible biodegradable, no tóxico que se produce a partir de los aceites vegetales por medio de la trans-esterificación de los triglicéridos (grasas) con metanol [3-7].

Un inconveniente que presenta la utilización del biodiesel es su alto costo. Esto es debido al alto costo de los aceites vegetales refinados que se utilizan para su producción.

Para que las reacciones químicas de la obtención del biodiesel sean óptimas, la mejor materia prima es el aceite vegetal refinado, ya que la conversión de los triglicéridos (TG) en ácidos grasos (FAME) es elevada y el tiempo es muy corto. Sin embargo, en México, en 2007, la Secretaría de Energía reconoció que la producción masiva de bio-diesel requiere de un aumento muy significativo en el área de cultivos oleaginosos. Reconocieron que en nuestro país, en este momento ni siquiera cubre la demanda de aceites comestibles.

La utilización del aceite vegetal no comestible en la producción de biodiesel, presenta sin embargo algunas dificultades para su procesamiento:

Contiene altas cantidades de ácidos grasos libres que producen jabones y agua durante el proceso de la transesterificación.

Para resolver este problema, se ha utilizado un método que consiste en dos pasos:

1. Pre-tratamiento del aceite para efectuar la esterificación de los ácidos grasos libres con metanol catalizada por ácido sulfúrico.

2. Cuando el contenido en ácidos grasos libres (AGL) es menor a 0.5 %, el ácido retirado y se lleva a cabo la reacción de transesterificación de ésteres y triglicéridos con metanol utilizando NaOH como catalizador [10,11].

Este proceso presenta los siguientes inconvenientes:

- a) Ácido sulfúrico en el efluente
- b) No se recupera el catalizador
- c) Alto costo del equipo de reacción [12-15].
- d) Grandes cantidades de agua para eliminar el ácido residual de la mezcla.

Para superar los inconvenientes del pre-tratamiento, se han utilizado diversos catalizadores heterogéneos ácidos (Lewis). Los catalizadores diversos catalizadores heterogéneos son separados rápidamente de la mezcla de reacción mediante la filtración, evitando los pasos de enjuague para eliminar el ácido residual de la etapa de pre-tratamiento. Sin embargo, estos catalizadores presentan un grado de solubilidad en aceite dependiendo de su naturaleza y la adsorción de CO₂ en sus centros catalíticos, el cual desactiva al catalizador rápidamente durante el proceso de la esterificación de los ácidos grasos [13-17].

1.2.1 Fundamentos y barreras para introducir el biodiesel en el mercado en México.

Existen barreras específicas en la parte económica, energética, ambiental, social, aspectos jurídicos y sus interdependencias para una fuerte implementación del mercado de biodiesel (que deben ser superadas) y donde se tiene que identificar, discutir y trabajar para eliminar estas barreras. A continuación se muestra un análisis FODA (fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas) donde se puede observar lo que se podría hacer para la exitosa implementación de biodiesel en los próximos años.

Los resultados se resumen en forma de una matriz para la producción de biodiesel en México. Para analizar la fortalezas, debilidades, oportunidades y

amenazas en diferentes niveles de producción. Se identifica la letra **M** con las materias primas, la letra **P** con producción y la letra **U** con el uso final.

FORTALEZAS	M	P	U
Gran variedad de materias primas para la producción de biodiesel, por ejemplo: aceites vegetales, grasas animales (como también reciclado aceites y grasas).	X	X	
Instalaciones de cultivo y procesamiento de materia prima pueden representar una nueva fuente importante de puestos de trabajo en entornos rurales, fortalecimiento de las economías rurales y mitigar la migración.	X	X	
Comparativamente bajos costos de inversión (por ejemplo en comparación con bioetanol).		X	
Algunas materias primas pueden ser cultivadas con éxito sin riego en muchas regiones semiáridas (ej. jatropha).	X		
Grandes zona pueden utilizarse para la producción de la materia prima del biodiesel, lo que aumenta la cobertura vegetal y mitigar la erosión.	x		
Residuos de procesamiento de biodiesel pueden ser usados para la producción de biogás por ejemplo o como fertilizante orgánico (es decir, cumple con el ciclo agrícola)		X	
Conflictos con la producción de alimentos pueden ser evitados o minimizados si se implementa la producción flexible.	x		

DEBILIDADES	M	P	U
Temprana etapa de desarrollo de marco y reglamentos específicos para promover las energías renovables y biocombustibles.	X	X	X
Dependencia de importación alta sobre semillas oleaginosas y productos; precios mundiales futuros del petróleo vegetal superior	X		

serán conducidos por una mayor demanda.			
Los costos de producción son altos en comparación con los precios actuales de diesel PEMEX, por no existir un incentivo específico para el biodiesel.		X	
Aceite inferior los rendimientos por hectárea (falta de riego) en el contexto global; sin embargo, altos rendimientos generalmente requieren riego, lo que puede limitar la difusión de las plantaciones de energía y/o crear agua nuevo conflictos de utilización.	X		
Para ciertas materias primas (como, jatropha) las demandas agrícolas y el esfuerzo de conversión técnico no es muy bien conocido aún.	X	X	
En México actualmente no hay una norma nacional para biodiesel.			X
Aunque existen suficientes conocimientos científicos y tecnológicos para la producción de biodiesel en México, hay un esfuerzo poco coordinado.	X	X	X

OPORTUNIDADES	M	P	U
Protección de recursos finitos no renovables.			X
Generación de un gran número de empleos a lo largo de todo el ciclo del proceso del biodiesel (es decir, cultivo de materia prima, suministro, procesamiento de biodiesel y uso).	X	X	X
Oportunidades de desarrollo para las regiones agrícolas.	X	X	
Reclamar tierras degradadas con plantaciones adecuadas bajo - o no-riego (por ejemplo Jatropha); primeras iniciativas importantes por el gobierno de Michoacán.	X		
Disponibilidad de climas adecuados en México con potenciales para cultivar con alto rendimiento, como la palma africana o coco palm.	X		
Implementación de biodiesel (como B100 y mezcla) y flotas de maquinaria por ejemplo, carros y autobuses sin grandes modificaciones en la tecnología de transporte.			X
Emisión de gases de efecto invernadero inferior en biodiesel			X

comparado con el diesel PEMEX.			
Mejora calidad del aire urbano, contribuyendo a mejorar la salud pública.			X

AMENAZAS	M	P	U
Una barrera grande para la aceptación de los biocombustibles en el mercado, citado por las compañías petroleras y los productores de biocombustibles, es el alto nivel de riesgo comercial asociado con la entrada en el mercado.	X	X	
Fuerte dependencia mercado mundial de aceite vegetal. Una demanda más fuerte de las semillas oleaginosas puede conducir a una escasez de oferta para los productores de aceite vegetal (una preocupación planteada por los representantes de la industria).	X		
Oportunidad Internacional de la materia prima, si no se introduce ninguna medida de protección para los productores nacionales, México puede ser independiente para elaborar su biodiesel.	X		
Aún no se ha implementado un Control de calidad de la materia prima, que podría dar lugar a fluctuaciones de calidad, así como en la pérdida de la aceptación por parte del usuario final.	X		X
Promoción de aceptación de la producción de biodiesel y uso en la población.		X	X
Introducción sin supervisión de plantaciones de energía puede llevar a situaciones insostenibles, por ejemplo la deforestación en las regiones tropicales para dar lugar a plantaciones de aceite de Palma (como por ejemplo en Malasia).	X		
Aplicación de aceite de semilla en la producción de acuerdo con las normas de la WTO.		X	X
Utilización no económica en la utilización de subproductos (por ejemplo, para fines energéticos, forraje) puede causar un problema de	X		

residuos o emisiones.			
-----------------------	--	--	--

Siguiendo las experiencias estadounidense y europeos, en México no se tienen muchos problemas con respecto al flujo de frío por ser un país tropical/subtropical, podrían desarrollarse normas para cada tipo de zona (estas normas tienen que estar estrechamente consultadas con la industria automotriz nacional para evitar la formación de residuos inadecuados).

Recapitulando los temas, la materia prima es la cuestión clave del éxito de la implementación del mercado del biodiesel en México.

Las materias primas son económicas actualmente, como en la mayoría de los países, pero, la producción de biodiesel de aceites vegetales virginales no es económicamente viable sin incentivos adecuados del gobierno. Las razones principales son los altos costos en la producción del biodiesel por los precios de la materia prima (que son esencialmente a nivel internacional) y el precio muy bajo del combustible fósil para el diésel.

El cuello de botella para una introducción de biodiesel en México es el sector agrícola. Un régimen de apoyo agrícola extenso debe establecerse para lograr una oferta nacional de materia prima. De ser así, el desarrollo de un sector del biodiesel puede ser una oportunidad de desarrollo para México y su sector rural [31].

1.2.2 El aceite usado, una alternativa para la fabricación del biodiesel.

El aceite usado de residuos domésticos, es una materia prima muy atractiva por su bajo costo para la producción de biodiesel en comparación con los aceites vegetales, ya que no se ven afectados por las políticas de tierras como se observa en algunos países, en especial en la Unión Europea, el precio es la mitad que el aceite vegetal.

El efecto perjudicial en el empleo de residuos de aceite de cocina para preparar formulaciones de alimentación para animales domésticos han dado lugar a su prohibición en la Unión Europea a partir del 2002 (Cvengros y Cvengrosová, 2004). Esta es una razón más para intensificar la conversión a biodiesel.

Además, el uso de los aceites usados para la producción de biodiesel ahorra significativamente el costo, ya que es casi gratis o por lo general tiene un costo de aproximadamente 60% menor que el de los aceites convencionales vegetales (Predojevic, 2008) [32].

El uso del aceite usado de cocina como materia prima para la elaboración de biodiesel, podría reducir problemas tales como la contaminación del agua y los bloques en los sistemas de drenaje de agua, donde se requiere un trabajo extra para limpiar.

Aunque la técnica de producción de biodiesel a partir de la producción de biodiesel a través de aceite de cocina es menos rentable que el uso de combustibles fósiles, la investigación está todavía en curso para mejorar el rendimiento y la calidad del combustible. Además, esta práctica puede impedir el reciclaje del aceite de cocina para la cocción, que se realiza por algunas compañías. El aceite de cocina reciclado se cree que causa cáncer, debido a los contenidos tóxicos producidos cuando el aceite se oxida [33].

El aceite usado de residuos de cocina se genera fundamentalmente a partir de materia prima vegetal comestible. De todas las fuentes disponibles de residuos domésticos, los aceites son probablemente los mayoritariamente generados. Esto también podría estar asociado con la reciente proliferación de restaurantes de comida rápida (Cvengros y Cvengrosová, 2004).

El proceso de fritura expone al aceite durante la cocción y la etapa de preparación de alimentos que el aceite sea perjudicial para el consumo humano (Kalam et al., 2011). Por otra parte, la producción de residuos de cocina en la obtención de biodiesel, es muy abundante en los medios urbanos de los restaurantes de comida rápida y no está restringido su consumo.

Los residuos de aceite de cocina han sido utilizados como ingredientes en la alimentación animal en algunos países, a pesar de que está prohibido en la Unión

Europea debido a los peligros para la salud animal (Animal Subproducto Reglamento EC/1774/2002).

1.2.2.1 Alternativas para una mejor captación de Residuos de cocina.

La mayoría de los estudios insisten en que los procesos de recolección del aceite de cocinas usado es un factor clave en el uso masivo de este tipo de residuos como materia prima para la producción de biodiesel.

En los Estados Unidos de Norteamérica por ejemplo, existe un Programa de Recolección (F2F) en el condado de Santa Cruz, en California, donde se ofrece el servicio gratuito por parte del gobierno local en todos los restaurantes, en Carolina del Norte se cuenta con un programa de reciclaje de aceites de cocina, entre otros más.

También se puede comentar que la cantidad de obtención de materia prima depende también de la cantidad de uso de aceite de cocina usado en cada país, bajo esta hipótesis, se encontró que en el año 2010, México produjo entre 0,37 y 0,84 millones de toneladas (Mt) de aceite de cocina usado con 112 millones de habitantes, una cantidad suimilar a Malasia con 28,9 millones de habitantes y mas de diez veces menor que la de los Estados Unidos (10 millones de toneladas, con 312 millones de habitantes. La diferencia en la producción per cápita depende de los hábitos alimenticios y la cultura.

En México, los gobiernos locales tendrán que promover una estrategia para recoger los residuos de aceites de casas y restaurantes a través del programa de recolección de residuos sólidos urbanos. Sin embargo, el principal obstáculo para el desarrollo de la producción masiva de biodiesel a partir de residuos de cocina es el mercado ilegal del aceite usado.

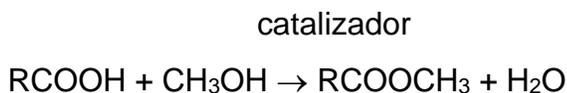
Es necesario establecer una norma de salud para el aceite usado de cocina que claramente prohíba la comercialización para el consumo humano y animal.

Realizar una campaña gubernamental que explique los peligros para la salud el consumo de aceite sobre-frito, a fin de que la población entienda las consecuencias de ingerirlo y los beneficios de convertirlo en biodiesel [34].

1.2.3 Reacciones para la producción de biodiesel

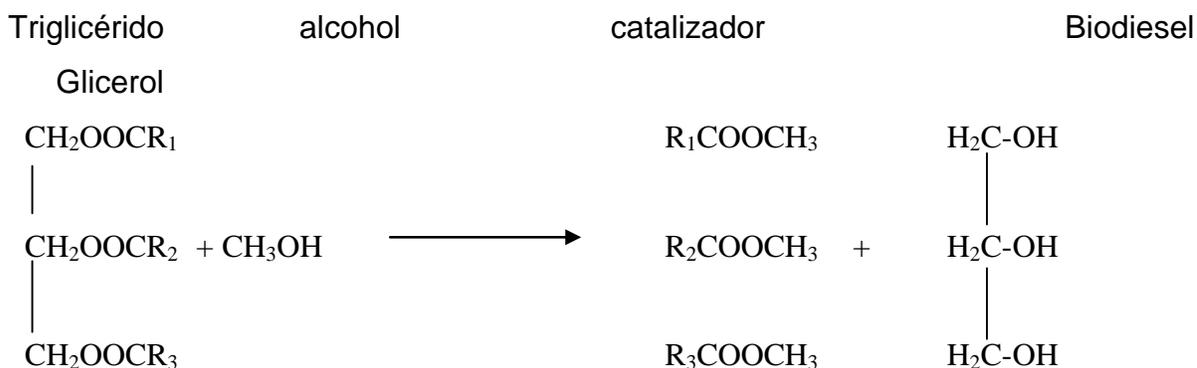
La materia prima utilizada será el aceite de desperdicio de una marisquería obtenido de un local específico.

Esterificación de los Ácidos Grasos Libres con metanol, en presencia de los catalizadores preparados, a 60°C, en agitación magnética, según la siguiente reacción:



Separación del aceite y del catalizador sólido por filtración.

Reacción de transesterificación del aceite con metanol en presencia del catalizador alcalino (NaOH, KOH...), según la siguiente reacción:



1.2.4 Análisis de la calidad del biodiesel

Con el fin de optimizar la calidad del biodiesel, cada proceso de producción es evaluado según sus propiedades físicas y químicas. Los análisis se efectúan según la siguiente tabla:

Norma ASTM D6751

ASTM D 6751-Biodiesel Blend Stock Specification (B100)

Property	ASTM Method	Limits	Units
Flash Point	D93	130.0 min.	°C
Water and Sediment	D2709	0.050 max	% vol.
Kinematic Viscosity 40°C	D445	1.9 - 6.0	mm ² /sec.
Sulfated Ash	D874	0.020 max.	% mass
Sulfur (S 15 Grade)	D5453	0.0015 max.	ppm
Sulfur (S 500 Grade)	D5453	0.05 max.	ppm
Copper Strip Corrosion	D130	No. 3 max.	
Cetane	D613	47 min.	
Cloud Point	D2500	Report Customer	°C
Carbon Residue	D4530*	0.050 max.	% mass
Acid Number	D664	0.80 max.	mg KOH/gm
Free Glycerin	D6584	0.020 max.	% mass
Total Glycerin	D6584	0.240 max.	% mass
Phosphorus Content	D4951	0.001 max.	% mass
Distillation	D1160	360 max.	°C
Temperature, Atmospheric Equivalent Temperature, 90% Recovered			
Carbon Residue should be run on a 100% sample.			

1.3 Procesos catalíticos.

El término catálisis agrupa al conjunto de procedimientos y conocimientos que permiten que la velocidad con la que transcurre una reacción se incremente insitu. Bajo tal condición la catálisis es una rama de la cinética química que se ocupa del estudio dinámico de las reacciones químicas, tomando en cuenta el mecanismo con que tienen lugar a nivel molecular. La reacción química global se lleva a cabo a través de etapas elementales, las cuales, en su conjunto, constituyen el mecanismo de reacción. La velocidad se define en términos de parámetros que pueden ser medidos durante la transformación, así podemos definirla, por ejemplo como la variación de la concentración de uno de los reactivos que desaparece, o de uno de los productos que aparece en el sistema, con respecto al tiempo. Algunas de las definiciones que se han dado sobre un catalizador son las siguientes:

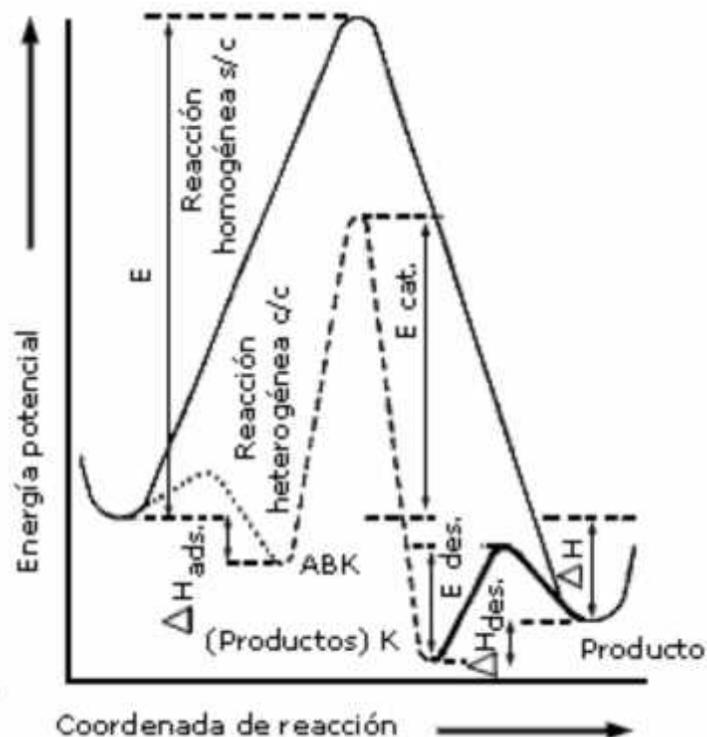


Figura 2. Curva de la energía potencial a lo largo de la coordenada de la reacción para un proceso catalítico heterogéneo.

- Es una sustancia que sin estar permanentemente involucrada en la reacción, incrementa la velocidad con la que una transformación química se aproxima al equilibrio.
- Es una sustancia que químicamente altera un mecanismo de reacción así como la velocidad total de la misma, regenerándose en el último paso de la reacción.
- Es una sustancia que aporta centros activos para acelerar e incluso modificar mecanismos de reacción en los cuales la secuencia de etapas elementales conducen a secuencias cíclicas en lo que respecta a dichos centros, es decir que se regeneran.

Una reacción puede llevarse a cabo en una, dos o más etapas denominadas elementales, durante las cuales participan las moléculas de reactivos intermediarios. En general, existirá una etapa más lenta que las otras y será ésta la que determine la velocidad global de la transformación. El efecto catalítico sobre una reacción implica reemplazar este paso por pasos alternos más rápidos que se llevan a cabo sólo en presencia del catalizador. Esto significa que la intervención del catalizador abre un camino nuevo a la reacción, compuesto de reacciones elementales con energía de activación menor (Figura 1). En la práctica este aumento de velocidad en presencia del catalizador es aprovechado para obtener velocidades de reacción adecuadas, pero a temperaturas mucho más bajas que las utilizadas en el caso de la reacción sin catalizador. Adicionalmente, lo que resulta en ocasiones mucho más valioso, es que por acción del catalizador se obtienen productos que no pueden obtenerse de otra forma.

1.3.1 Clasificación.

De acuerdo con las condiciones en las que se llevan a cabo las reacciones, es posible separar el fenómeno catalítico, de manera bastante general, en dos dominios independientes:

- a) **Catálisis homogénea:** Donde todas las especies cinéticamente activas, incluido el catalizador, constituyen una misma fase, con una velocidad de reacción similar en todos los puntos. Se considera también dentro de esta categoría el caso en que uno de los reactivos es un gas y que los otros, con el catalizador, están en una misma fase líquida en la que debido a la solubilidad del gas, la transformación se produce en el seno del líquido y no en la interfase gas-líquido. En este tipo de catálisis, las velocidades son generalmente elevadas, los venenos inofensivos y la posibilidad de estudio de mecanismos de reacción más sencillos por ser más fácil el seguimiento de la cantidad de especies intermedias activas.

- b) **Catálisis heterogénea:** Donde el catalizador es insoluble en todos los sistemas químicos en los cuales provoca la transformación y forma una fase distinta, muy a menudo sólida. Existen dos fases y una superficie de contacto. La reacción se lleva a cabo en esta superficie de contacto y el fluido es una reserva de moléculas por transformar o que ya reaccionaron.

1.3.1.1 Catálisis Heterogénea

La catálisis es esencialmente un fenómeno químico y la capacidad de una sustancia para actuar como catalizador en un sistema específico depende de su naturaleza química. En catálisis heterogénea el fenómeno catalítico está relacionado muy particularmente con las propiedades químicas de la superficie del sólido que se ha elegido como catalizador, siendo por supuesto estas propiedades superficiales un reflejo de la química del sólido.

Para que el fenómeno catalítico ocurra, es necesaria una interacción química entre el catalizador y el sistema reactivos-productos. Esta interacción no debe modificar la naturaleza química de catalizador a excepción de su superficie. Esto significa que la interacción entre el catalizador y el reactivo (o reactivos) se lleva a cabo en la superficie del catalizador y no involucra el interior del sólido. Este requerimiento nos lleva al concepto de adsorción. La adsorción de moléculas de una fase fluida (gas o líquido) en la superficie de un sólido está estrechamente ligada a la catálisis heterogénea. Es por esto importante hacer una somera referencia a los dos tipos de adsorción conocidos y su relevancia en catálisis:

a) Adsorción física: Que ocurre por fuerzas del tipo Van der Waals, entre un átomo o una molécula y la superficie. En este caso no existe re-arreglo electrónico en el sistema y sólo entran en juego fuerzas de atracción electrostáticas o atracciones dipolares. Este tipo de interacción ocurre sin modificación alguna de la molécula y se le puede conocer también como fisorción. No tiene relevancia para el fenómeno de la catálisis y en el aspecto cinético sólo por efecto de masa, es decir que aumenta la concentración de moléculas en las cercanías de la superficie.

b) Adsorción química: Es el proceso en el cual la molécula se fija a la superficie a través de la formación de una unión química. De acuerdo con el trabajo de Langmuir, las moléculas adsorbidas se retienen en la superficie por medio de fuerzas de cohesión del mismo tipo que las que se presentan entre los átomos que conforman las moléculas.

Algunas de las características de la quimisorción son:

- Hay especificidad, sólo algunos sitios superficiales adsorben ciertas moléculas.
- Hay una interacción de los estados electrónicos del adsorbato (gas o líquido) y del adsorbente (sólido), lo que se traduce en la formación de un verdadero enlace químico.
- Como consecuencia de la interacción química en la superficie (rompimiento y formación de enlace) se desprende una cierta cantidad de calor

1.3.2 Catalizadores

En catalizadores soportados, El metal activo se encuentra disperso en otro material, incrementando así la superficie de los metales activos. Muchas veces soportes y metales interactúan entre sí. Como resultado de ello, con el apoyo del catalizador suelen tener mejor rendimiento porque las partículas del catalizador están bien dispersas en toda la superficie del soporte lo que resulta en más sitios activos. En segundo lugar, los catalizadores serán más estables con la ayuda de soportes.

1.3.2.1 Método de preparación de catalizadores por impregnación.

En los últimos años, varios tipos de catalizadores, por ejemplo, metales nobles soportados[2],[6] y [9] óxidos metálicos o metales soportados

[1],[2],[3],[7],[10],[11] y [12], mezclas de metales nobles y óxidos metálicos [8] y [13] se aplicaron para la oxidación total de COV, Pt y Pd soportados en SiO₂, Al₂O₃, zeolitas (BEA;FAU) [2],[6]y[9] en general, muestra una alta actividad y selectividad para la oxidación total.

Los óxidos de metales de transición son una alternativa a los catalizadores, porque contienen metales nobles debido a su gran resistencia a los halógenos, bajo costo y alta actividad catalítica y selectividad. [2],[4],[6],[8]. Entre ellos, óxidos metálicos, tales como los óxidos de Cr, Cu, Co y Mn. Han atraído la atención como catalizadores en la oxidación completa de compuestos orgánicos volátiles[3]y[8]. Las propiedades catalíticas de óxidos metálicos soportados dependen en gran medida del método de preparación, el tipo de precursores de sal y soportes utilizados, que son todos de importancia crucial para obtener altamente disperso y especies de óxido de metal activo [1] , [3] , [4] , [5] , [6] , [14] , [15] , [16] , [17] , [18] , [19] , [20] , [21] , [22] y [23] . La selección de un apoyo eficiente es de particular importancia para obtener catalizadores con un buen rendimiento, ya que el estado y la estructura de apoyo influyen fuertemente en el tipo de las especies de óxido de metal formado y su dispersión. El descubrimiento de tamices moleculares mesoporosos en 1992 abrió una nueva área de investigación, sobre el uso de estos materiales como catalizadores heterogéneos, soportes de catalizadores, adsorbentes y [19] , [20] y [21] . Uno de los miembros más populares de esta nueva familia de materiales mesoporosos es SBA-15, que presenta un sistema de canales hexagonal dispuestos en dos dimensiones, por lo general 5-9 nm de diámetro [24] . El área de superficie alta de estos materiales mesoporosos permite altas cargas de la fase activa, mientras que sus grandes tamaños de poro hacen que la difusión de los reactivos más fácil, lo que permite una mayor disponibilidad de los sitios catalíticamente activos [22] . Con el fin de obtener los catalizadores soportados más eficientes, varias técnicas se han aplicado para la modificación de los soportes mesoporosos por metales de transición [17] , [23] , [25] , [26] , [27] , [28] , [29] y [30] . Varios métodos de post-

síntesis se pueden utilizar para la deposición de las especies activas en la superficie, tales como precipitación, intercambio iónico e impregnación [21], [27], [28], [29] y [30]. El método más utilizado es la impregnación [27] y [30]. Se ha demostrado que los óxidos metálicos formados, preparados por el procedimiento de impregnación, son preferentemente presente como agrupaciones de tamaño nanométrico dentro de los mesoporos [27]. El precursor utilizado para la modificación de los materiales mesoporosos es muy importante con respecto del tipo y la distribución de las especies de óxido de metal obtenidos [21] y [26].

Capítulo II

2.0 Metodología.

En este capítulo se presenta la preparación de los catalizadores iniciando con la preparación del soporte por una ruta alterna buscando la mayor área posible, procediendo a la impregnación de la carga metálica a diferente porcentaje en peso del total del catalizador para su posterior impregnación en los soportes sintetizados, para finalmente mostrar el sistema de reacción utilizado en las pruebas de actividad de los catalizadores sintetizados en la elaboración del biodiesel.

2.1 Preparación de los catalizadores.

Para la preparación de los catalizadores se empleó el método de impregnación (se emplea este procedimiento por la gran facilidad de reproducibilidad de catalizadores en condiciones equivalentes), involucrado primero el acondicionamiento del soporte y segundo la deposición de la fase activa en el soporte.

2.2 Preparación del soporte

Para la preparación de los catalizadores utilizados en esta investigación se utilizó SiO_2 como soporte cuyas propiedades físico-químicas son:

- Nombre: Dióxido de silicio
- Fórmula: SiO_2
- Peso molecular: 60,1uma
- Apariencia: Sólido blanquisco/transparente
- Punto de fusión: 1713 C
- Punto de ebullición: 2230 C
- Densidad: $2,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Donde la mezcla se calcino a 800 C en la mufla.

Imágenes de la mufla donde se calcinó el catalizador



Figura 1. Donde se muestra la Mufla exterior y la mufla en su interior con el crisol para realizar la calcinación del catalizador.

2.3 Preparación de los catalizadores mono-metálicos.

Se prepararon catalizadores Mono metálicos de Cu. En la preparación de los catalizadores se empleó el SiO_2 previamente condicionada donde se utilizó la siguiente sal:

Nitrato de cobre $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ cuyas propiedades fisicoquímicas principales son:

- Nombre: Nitrato de cobre
- Fórmula: $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- Peso molecular: 241,60 g/mol
- Apariencia: Sólido azul
- Punto de fusión: 114 C
- pH: 3 - 4
- Densidad: 2.05 g/cm³

2.3.1 Técnica de impregnación

- Se coloca la cantidad de soporte en un vaso de precipitado (5.0 gr).
- Se adiciona la sal precursora de Cu requerido.
- Se agita para homogenizar.
- Se evapora a 70 C durante 24 hrs.
- Se calcina en una mufla a 800 C durante 4 horas.

En la figura 2 se muestra el soporte de SiO_2 y el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ para sintetizar el catalizador para la producción de biodiesel.



Figura 2. SiO_2 como soporte y $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ como precursor

2.3.1.1 Cálculos para la preparación del catalizador

Se prepararon catalizadores al 10% y 20% de cobre soportados en SiO₂ los cálculos son los siguientes:

Catalizador al 10%

5 gr SiO ₂ -----	100 %	187.554 g de Cu(NO ₃) ₂ -----	63.546 g de Cu
Cu X -----	10 %	X -----	0.5 g de Cu
X = 0.5 g de Cobre		X=1.4757 g de Cu(NO ₃) ₂	

Catalizador al 20%

5 gr SiO ₂ -----	100 %	187.554 g de Cu(NO ₃) ₂ -----	63.546 g de Cu
Cu X -----	20 %	X -----	1.0 g de Cu
X = 1.0 g de Cobre		X=2.951 g de Cu(NO ₃) ₂	

Por el método de impregnación se realizó lo siguiente:

- 1.- Pesar 5 gr de SiO₂ más la sal precursora con el peso correspondiente según el porcentaje de esta mas agua hasta cubrir el catalizador
- 2.- Incrementar la temperatura lentamente a 80 C hasta evaporar totalmente el agua.
- 3.- Secado del catalizador en una mufla para realizar el proceso de calcinación y activación a una temperatura de 800 C durante 4 horas.
- 4.- se sintetizaron catalizadores según tabla No. 2

Tabla 1. Síntesis de catalizadores

Soporte	% en Peso de Cu
SiO ₂	10
SiO ₂	20

La figura 3 muestra al catalizador después de la evaporación teniendo una tonalidad azul figura 3^a, en la figura 3b muestra al catalizador después de la calcinación durante 4 hr a 800 C.



Figura 3^a Catalizador antes y después de entrar a la mufla.

En esta imagen se observa el catalizador usado, que según la literatura de algunos artículos, este tipo de nanocatalizador heterogéneo muestran estabilidad química sustancial y podría ser utilizado durante al menos ocho veces más sin pérdida importante de su actividad catalítica.



Imagen 4. Catalizador usado con posibilidad de reusarlo

2.4 Características del sistema de reacción.

Las pruebas para la fabricación del biodiesel fueron llevadas a cabo utilizando un reactor de vidrio sellado herméticamente.



Figura 5. Reactor para la fabricación del biodiesel.

2.4.1 Proceso de recolección de la materia prima.

Para este trabajo de investigación se contó con el apoyo de una Marisquería del Municipio de San Hipólito, Puebla, donde me proporcionaron el aceite de desecho y de ahí se desarrollaron todas las pruebas.



Figura 4. Aceite de desperdicio de marisquería

2.4.2 Operación de filtrado.

El aceite usado contiene una gran cantidad de residuos sólidos del proceso de freír los múltiples productos alimenticios, por lo tanto es indispensable que exista la operación de filtración para retener estas partículas de gran tamaño. Esto se realizó con un simple embudo, coladera y un trapo de algodón, como se muestra en la imagen siguiente.



Figura 5. Filtración de sólidos suspendidos en el aceite usado de cocina

2.4.3 Proceso de esterificación.

Este proceso se llevó a cabo dentro del reactor herméticamente cerrado, donde se incorporó:



Figura 6. Aceite usado y Metanol

En la figura se muestra el color de la mezcla del aceite usado de cocina junto con el alcohol metílico, al inicio del proceso de esterificación.



Figura 7. Mezcla del aceite con el alcohol

Se realizó el proceso de esterificación, donde se trabajó con las siguientes condiciones: Se calentó a una temperatura de 65 C con agitación magnética durante dos horas en un reactor hermético para evitar la salida del vapor de alcohol metílico.



Figura 8. Proceso de esterificación.

2.4.4 Decantación

Después que se llevó a cabo el proceso de esterificación, se pasa el producto a un embudo de separación para que durante 24 hrs como se observa en la foto.



Figura 9. Embudo de separación

A continuación separamos el alcohol metílico del aceite, donde el segundo queda en la parte de abajo. Esto se muestra en la figura siguiente.



Figura 10. Separación de alcohol y residuos

Proseguimos con la eliminación del agua en el aceite esterificado. Para ello calentamos la mezcla sobre la parrilla y el reactor abierto, en un tiempo aproximado de 2 hrs hasta que se evapore toda el agua.



Figura 11. Aceite esterificado sin agua

2.4.5 Proceso de transesterificación.

Dentro del reactor agregamos 100 ml de aceite esterificado más metóxido que es una mezcla de 0.5 gr de NaOH diluido en 50 ml de metanol. Esta mezcla se coloca sobre la parrilla de calentamiento con agitación constante a una temperatura de 65 C durante una hora. Como se muestra en la imagen siguiente.



Figura 12. Trasesterificación

2.4.6 Separación.

Se pasa toda la emulsión a un embudo de separación, en donde ahora, todo el producto de la esterificación se divide en el Biodiesel (que se encuentra en la parte superior del embudo) y en metanol, hidróxido, glicerol, sal, etc. en la parte inferior. Esto se muestra en la imagen siguiente.



Figura 13. Separación de Biodiesel y residuos

2.4.7 Sistema de neutralización y lavado.

Se prepara una mezcla de 250 ml de agua a una temperatura de 80 C con 5 ml de ácido acético. Se agita durante 20 min dentro del reactor. Figura siguiente.



Figura 14. Sistema de lavado y neutralizado

2.4.8 Operación unitaria de evaporación.

En el recipiente se calienta a temperatura de evaporación del agua durante aproximadamente dos horas y finalmente obtenemos el biodiesel puro.



Figura 15. Biodiesel final

Capítulo III

3.0 Caracterización fisicoquímica.

La evaluación fisicoquímica abarca importantes áreas incluyendo la identidad, cristalinidad, la morfología de las partículas, y la composición de las muestras. En éste capítulo se discuten las propiedades estructurales de las muestras mediante FTIR, UVvis La síntesis de estos materiales para ser utilizados en reacciones catalíticas para la fabricación de biodiesel.

3.1 Síntesis de materiales por el método de impregnación.

El proceso de impregnación se realiza en tres etapas: una etapa de impregnación en la cual se permite el contacto del soporte con la solución impregnante por un cierto periodo de tiempo, una etapa de secado del soporte para remover el líquido que permanece en el interior de los poros y una etapa de activación del catalizador por calcinación, reducción u otro tratamiento, dependiendo del tipo de catalizador que se va a producir. La técnica se puede clasificar como impregnación seca o húmeda. En la impregnación seca la solución se absorbe dentro de los poros del soporte por acción capilar. En la impregnación húmeda, el volumen de poro del soporte se satura con solvente, antes de la impregnación y el soluto se transfiere hacia el interior de los poros solamente por difusión. En la adición de las sales catalíticas se puede agregar otro soluto a la solución impregnante, el método se conoce como coimpregnación o impregnación simultánea

3.2 Caracterización de los materiales.

Existen diversos métodos para determinar la caracterización de los materiales sintetizados aquí se describen algunos métodos utilizados frecuentemente. El estudio del tamaño, forma, estructura y propiedades ópticas de los materiales sintetizados que se utilizan como soportes de las partículas metálicas obtenidas, se utiliza Difracción de Rayos-X (XRD), Espectroscopia de Fotoelectrones de Rayos-X (XPS) y Espectroscopia UV-Vis, Propiedades texturales (BET).

Sin embargo sola mente se describen las técnicas utilizada en esta tesis.

3.2.1 Espectroscopia ultravioleta-Visible (UV-Vis).

Las propiedades más inmediatamente observables en las dispersiones coloidales de nano partículas metálicas y semiconductoras son las ópticas (colores) que

tienen un gran valor tecnológico. Estas propiedades son frecuentemente elucidadas a través de la espectroscopia de absorción óptica en la región UV-VIS [41-42], la cual es una técnica donde se realiza la medición e interpretación del cambio en la radiación electromagnética absorbida o emitida por las partículas.

El efecto físico de la absorción de la luz por las nanopartículas metálicas es la oscilación coherente de los electrones de la banda de conducción en respuesta a la interacción con el campo electromagnético. Ésta es conocida como resonancia de plasmones de superficie RPS (surface plasmon resonance) y es de hecho un efecto de tamaño, porque está ausente tanto en los átomos individuales como en los materiales en bulto. La presencia de esta banda en la región visible del espectro es responsable de los atractivos colores de las soluciones coloidales de algunas partículas metálicas.

Así, para estas nanopartículas metálicas o semiconductoras, la espectroscopia UV-Vis es una herramienta indispensable para iniciar su caracterización.

La espectroscopia de ultravioleta-visible nos permitirá determinar los espectros de absorción aplicando la metodología de Kubelka-Munk para muestras sólidas con el fin de calcular los valores de energía de banda prohibida (E_g) de materiales puros o modificados. Esta energía determinará la región del espectro electromagnético en donde es activado el foto-catalizador para llevar a cabo las reacciones de óxido-reducción. La técnica también se utilizara para monitorear las bandas características de los contaminantes que se absorban en esta región y observar la evolución de estas conforme pasa el tiempo al ser sometidas a una fuente de radiación. Adicionalmente esta técnica nos proporciona una herramienta para seguir la evolución del crecimiento de partículas metálicas sintetizadas por técnicas como puede ser coloidal (al monitorear el plasmón superficial de las mismas), para su posterior impregnación en los soportes tradicionales o modificas.

El equipo que se utilizará para estas mediciones es un Espectrofotómetro UV-Vis modelo Lambda 35 de Perkin Elmer™ con soporte para materiales líquidos, coloides, películas semitransparentes.

3.2.2 Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR).

La técnica de infrarrojo puede aplicarse a los compuestos obtenidos por los métodos de síntesis propuestos, para identificar los grupos funcionales presentes en las muestras obtenidas así como en el análisis de las muestras que han sido sometidas a tratamientos térmicos. Lo anterior se logra al identificar la ubicación de las bandas de absorción de los grupos funcionales correspondientes en los espectros obtenidos. Esta información también permite comprobar la eliminación completa de los solventes utilizados en la síntesis. También permite determinar si los compuestos a degradar han quedado de alguna forma absorbidos en el nano-material evaluado. El equipo que se utilizará para análisis este análisis es el Espectrofotómetro de Infrarrojo con Transformada de Fourier, Vertex 70 equipado con un aditamento de ATR.

Capítulo IV

4.0 Resultados

El biodiesel es un combustible alternativo compuesto principalmente de ésteres de ácidos grasos de alquilo mono-derivados de aceites vegetales o grasas animales, que pueden ser quemados en un encendido por compresión. El biodiesel tiene muchas ventajas técnicas importantes en comparación con el diesel de petróleo incluyendo lubricidad superior, inherente, baja toxicidad, alto punto de

inflamación, muy bajo o insignificante contenido de azufre y las emisiones de gases de escape de las especies más regulados.

4.1 Evaluación Catalítica

Con el fin de fabricar un biodiesel de calidad se realizaron las pruebas fisicoquímicas, estas se llevaron a cabo después de la reacción de esterificación y transesterificación en presencia de un catalizador de 20%Cu/SiO₂, los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los análisis físico-químicos del biodiesel

	Aceite residual	Biodiesel
Densidad	0.93 gr/cm ³	0.88 gr/cm ³
pH	6.83	6.97
Punto de inflamabilidad		

4.1.1 Espectroscopia FTIR en la producción de biodiesel

El espectro de FTIR del aceite residual se muestra en la figura 16 se observan los picos característicos del aceite de cocina usado.

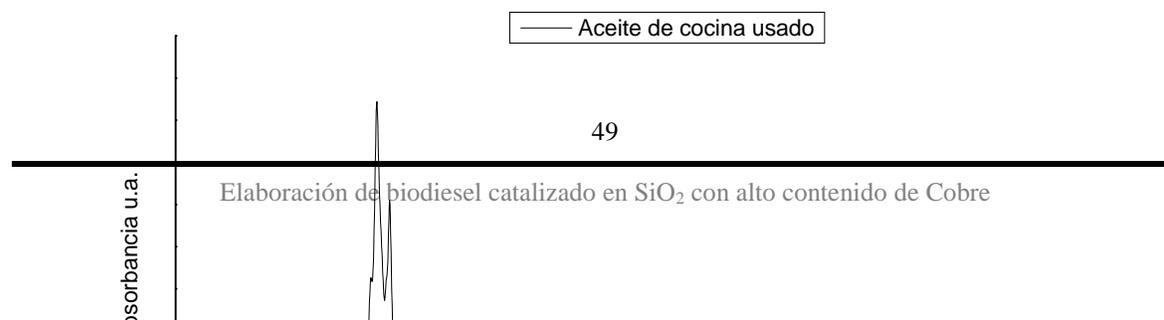


Figura 16. Espectro FTIR del biodiesel después de ser lavado y secado

Espectros FT-IR de la OMA y su biodiesel se representan en [la fig. 9 \(BB\)](#) se muestra dos pequeños picos a $3474,28\text{ cm}^{-1}$ y 1635 cm^{-1} correspondientes al estiramiento y flexión de vibración de enlaces O-H de la molécula de agua en la muestra. Los picos centrados a 2921 cm^{-1} y 2852 cm^{-1} se atribuyen a las vibraciones de estiramiento simétrico y antisimétrico respectivamente, de alcoholes alifáticos C-H en CH_2 y el terminal CH_3 grupos. El fuerte pico sencillo apareció en 1743 cm^{-1} se atribuye a la $\text{C}=\text{O}$ vibración de estiramiento de los grupos carbonilo de los triglicéridos. Los picos en el $1400\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$ región se atribuyen principalmente a las vibraciones de flexión de CH_2 y CH_3 grupos alifáticos como HCH simétrica flexión en 1377 cm^{-1} y CH_2 tijera a 1462 cm^{-1} . Los picos en el $1125\text{-}1095\text{ cm}^{-1}$ región se atribuyen a la vibración de estiramiento de los grupos éster C-O y CH_2 wag. El pico a 721 cm^{-1} se debe a la superposición de la $(\text{CH}_2)_n$ vibración oscilante ([de la Mata et al., 2012](#) y [Shalaby y El-Gendy, 2012](#)).

Por otro lado, ésteres presentes dos fuertes picos característicos a $\sim 1742\text{ cm}^{-1}$, que se atribuye a la vibración de estiramiento del grupo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$), y el pico a alrededor de $1300\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ correspondiente a la de las vibraciones de estiramiento de C-O (axial antisimétrico de estiramiento y de estiramiento axial asimétrica) (Guillen y Cabo, 1997 y Tariq et al., 2011). Las vibraciones de estiramiento del CH_3 , CH_2 , CH y grupos aparecieron en $2980\text{-}2950$, $2950\text{-}2850$ y $3050\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$, mientras que las vibraciones de flexión de estos grupos aparecieron en $1375\text{-}50$, $1150\text{-}50$ y 722 cm^{-1} respectivamente (Safar et al., 1994 y Tariq et al., 2011).

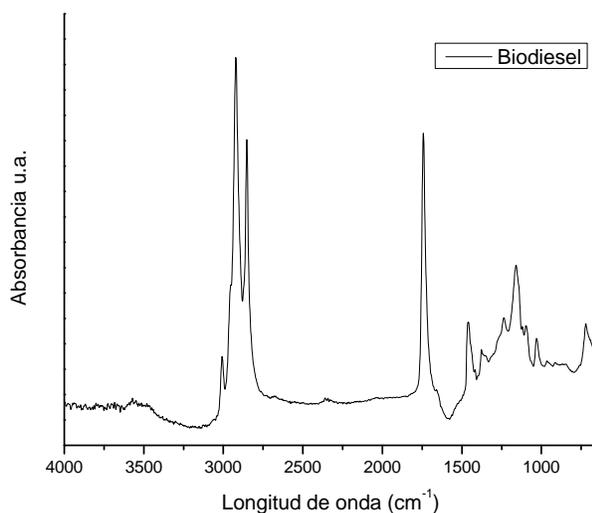


Figura 17. Espectro FTIR del biodiesel después de ser lavado y secado

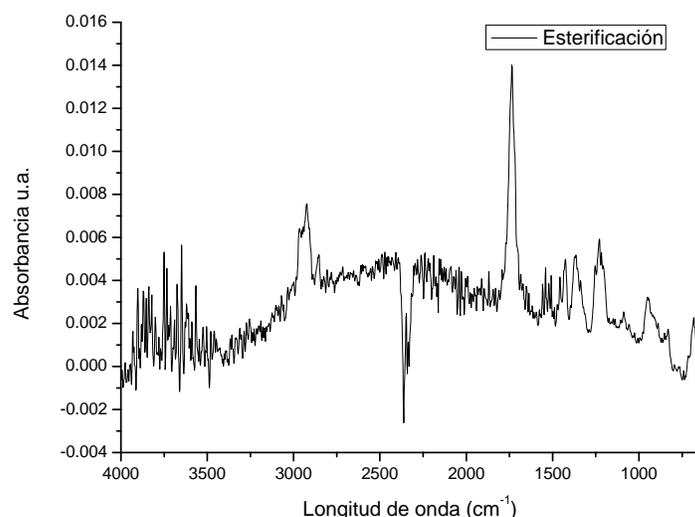


Figura 18. Espectro FTIR del proceso de esterificación.

La actividad catalítica utilizando catalizador de 20%Cu/SiO₂ esto podría ser debido a la presencia de la fuerza óptima de los sitios ácidos y básicos activos presentes en el catalizador para formar especies altamente reactivas para la reacción de transesterificación. Por otra parte, sin la formación de jabón se encontró durante el transcurso de la reacción como la esterificación simultánea de ácidos grasos libres y la transesterificación de los triglicéridos se llevaron a cabo con éxito. En general, la base más fuerte no es necesariamente el mejor catalizador para la reacción de biodiesel, y un catalizador sólido que posee fuertes sitios básicos puede sostener las moléculas producto de desorción después de la reacción. Por otro lado, un catalizador sólido con sitios básicos débiles no puede adsorber las moléculas de reactivo para iniciar la reacción. Por lo tanto, se requiere la fuerza óptima de los sitios básicos activos para la reacción de transesterificación.

La alta actividad catalítica del catalizador 20%Cu/SiO₂ puede atribuirse a una mejora adicional en el número de sitios catalíticamente activos sobre la superficie del catalizador que aumenta la producción de biodiesel a partir de aceite de desechos de cocina.

4.2. Reutilización del catalizador

Una de las características importantes que determinar su viabilidad comercial es la reutilización del catalizador. En este caso el catalizador 20%Cu/SiO₂ fue probado en la reacción de transesterificación para la producción de biodiesel, es decir, a una temperatura de reacción de 60 ° C, tiempo de reacción de 1 h , la relación molar de aceite-metanol fue de 2:1.

Durante 10 veces se repitió el proceso de transesterificación utilizando el mismo catalizador. En la figura 19 se muestra la eficiencia del catalizador al pasar del 90% al 70% de eficiencia , encontrando que este catalizador puede ser reutilizado varias veces

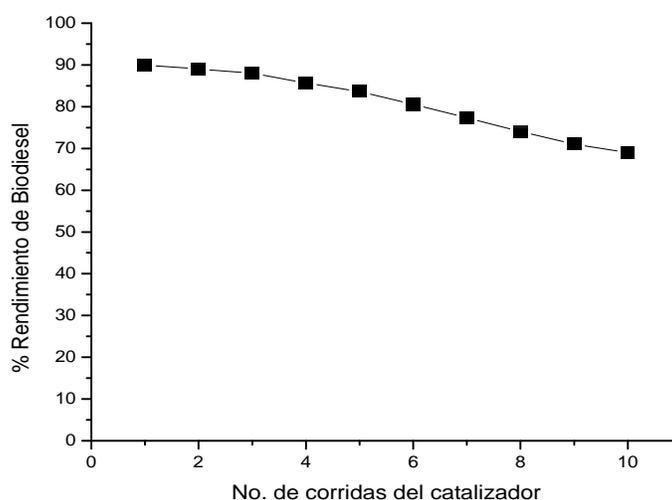


Figura 19. Porcentaje de eficiencia, en la utilización de catalizador 20%Cu/SiO₂

Conclusión

Conclusión.

El aceite residual de cocina se considera como una materia prima prometedora en el que el costo de producción de biodiesel podría reducirse eficazmente a 60-70% mediante el uso de esta materia prima de bajo costo.

Con la producción de biodiesel se resolverá problemas asociados con la eliminación del aceite de cocina residual.

Debido a una mejor separación del catalizador de los productos finales, los catalizadores heterogéneos pueden ser reciclados y utilizados varias veces, ofreciendo así un camino más económico para la producción de biodiesel.

Con esta formulación se formó una buena mezcla óptima en los sitios básicos de las especies altamente activas para la reacción de transesterificación, generando un aumento en la producción de biodiesel a partir de aceite usado de cocina.

REFERENCIAS

- [1] W.E. Liss y col., GRI Report-92/0123(1992).

-
- [2] ("Resumen para responsables de políticas" por el IPCC: *Clima Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático Cambiar. http://ipcc-g1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_SPM.pdf de julio 2009).
- [3] J.c: MacCarty y col. *Catal. Today* 47(1999)5
- [4] B.W.L. Jang *Catal Today* 47(1999)103.
- [5] Lee, J. H., and Trimm D. L, (1995). Catalytic combustion of methane. *Fuel Processing Technology* 42 (2-3): 339–359
- [6] R.F. Hicks, C. Christiani, P. Forzatti, *Catal. Special. Period. Rep.* 13(1997)85.
- [7] P. Briot, M. Primet, *Appl. Catal.* 69(1991)301.
- [8] P.L. Haack, K. Otto, *Catal. Lett.* 34 (1995)31.
- [9] C.A. Mueller, M. Maciejewski, R.A. Koepfel, A. Baiker, *Catal* 47(1999)245.
- [10] H. Widjaja, K. Sekizawa. K. Eguchi, H. Arai, *Catal. Today* 35(1997)197.
- [11] F.H. Ribeiro, M. Chow, R.A. Dalla Betta, *J. Catal.* 146(1994)537.
- [12] T.R. Baldwin, R. Burch, *Appl. Catal.* 66(1990)337.
- [13] SmH. Oh, P.J. Mitchell, R.M. Siewert, *J. Catal.* 146(1994)537.
- [14] R. Burch, F.J. Urbano, *Appl. Catal. A.* 124 (1995)121.
- [15] J.N. Carstens, S.C. Su, A:T: Bell, *J. Catal.* 176 (1998)136.
- [16] R.J. Farrauto, J.K. Lampert, M.C. Hobson, E.M. Waterman, *Appl. Catal. B,* 6(1995)263.
- [17] R. Burch, *Catal.Today* 35 (1997)27.
- [18] M. Belgued, P. Pareja, A. Amariglio, H. Amariglio, *Nature* 352 (1991) 789.
- [19] R.F. Hicks, H. Qi, M.L. Young, R.G. Lee, *J. Catal.* 122(1990)295
- [20] M.G.C. Fijimoto, F.H. Riberio, E. Iglesia, *J. Catal.* 179(1998)431.
- [21] m. Lyubovsky, R. Weber, L. Pfeferle, in: *Proceedings of the 26th International Symposium on Combustion Vol. 1, 1996, p. 1779.*
- [22] Y. Yazawa, H. Yoshida, S. –I. Komai, A. Satsuma, T. Hattori, *Appl. Ctal. B* 19 (1998)261.
- [23] G.W. Graham, D. Konig, B.D. Poindexter, J.T. Remillard, W.H. Weber, *Top. Catal.* 8 (1999) 35.

-
- [24] D. König, W.H. Weber, B.D. Poindexter, J.R. McBride, G.W. Graham, K. Otto, Catal. Lett. 29 (1994) 329.
- [25] V.R. Choudhary, S. Banerjee, Catal. Lett., Submitted for publication.
- [26] K.-I. Fujimoto, F.H. Riberio, M. Avalos, E. Iglesia, J. Catal. 179 (1998) 431.
- [27] R.J. Ferrauto, M.C. Hobson, T. Kennelly, E.M. Waterman, Appl. Catal. A 81 (1992) 227.
- [28] C.A. Mueller, M. Maciejewski, Koepfel, A. Baiker, J. Catal. 166 (1997) 36.
- [29] C.A. Mueller, M. Maciejewski, R.A. Koepfel, R. Tschan, A. Baiker, J. Phys Chem. 100 (1996) 2006.
- [30] A.K. Datye, J. Bravo, T.R. Nelson, P. Atanasova, M. Lyubovsky, L. Pfefferle. Appl. Catal. A 197 (200) 179.
- [31] Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México (SENER-BID-GTZ) Task C: Biodiesel production and end-use in Mexico; Task D: Potentials in relation to sustainability criteria Task E: Rationales, drivers and barriers for biodiesel market introduction; Task F: Synthesis and recommendations Pag. 571-574.
- [32] Evaluación del desempeño de biodiesel a partir de aceites usados de los residuos domésticos: una revisión. Basheer Hasan Diya'uddeen
AR Abdul Aziz 1 ,
WMAW Daud 2 ,
MH Chakrabarti 3 ,
- [33] Descripción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado Volúmen 18, febrero 2013, páginas 184-193.
- [34] Potencial de biodiesel a partir de aceite de cocina usado en Mexico
[Claudia Sheinbaum-Pardo](#), [Andrea Calderón-Irazoque](#), [Mariana Ramírez-Suárez](#). Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 México DF, México Pag. 3-7
- [35] Una revisión de los nuevos procesos de producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado.
Amin Talebian-Kiakalaieh

Tampoco Aishah Amin Saidina

Hossein Mazaheri