



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS:

**PRUEBAS CATALÍTICAS DE TRANSESTERIFICACIÓN CON
MATERIALES MESOPOROSOS Y SU CARACTERIZACIÓN.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:

RICARDO HERNÁNDEZ LABASTIDA

DIRECTOR:

Dr. VICTOR VARELA GUERRERO

TOLUCA, MÉXICO.

FEBRERO 2014



INDICE

RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	7
1.1 MATERIALES POROSOS.....	9
1.1.1 PROCESO DE ELABORACIÓN (SOL-GEL)	11
1.1.2 PARTÍCULAS MESOPOROSAS SBA-15.....	14
1.1.3 PARTÍCULAS MESOPOROSAS MCM-41.....	16
1.1.4 PARTÍCULAS MESOPOROSAS SBA-15 Y MCM-41.....	19
1.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL.....	20
1.2.1 REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	22
1.2.1.1 PROCESOS CATALÍTICOS DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	24
1.2.1.1.1 CATÁLISIS ÁCIDA.....	24
1.2.1.1.2 CATÁLISIS BÁSICA.....	26
1.3 BIODIESEL.....	29
1.3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL.....	32
1.3.1.1 VENTAJAS.....	32

1.3.1.2 DESVENTAJAS.....	34
1.4 BIODIESEL EN MÉXICO.....	35
1.4.1 LEGISLACIÓN EXISTENTE.....	36
OBJETIVO.....	37
JUSTIFICACIÓN.....	38
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	40
2.1 BASE DE CÁLCULO.....	49
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	63
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71
DEFINICIONES.....	75
SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	83

PRUEBAS CATALÍTICAS DE TRANSESTERIFICACIÓN CON MATERIALES MESOPOROSOS Y SU CARACTERIZACIÓN.

Palabras clave: Energías alternativas, Combustibles fósiles, Aceites vegetales, Aceites animales, Biodiesel, Catalizador, Partículas mesoporosas, Transesterificación Catalizadores heterogéneos, Ácido, Base, Nanopartículas, Mesoestructura, Petróleo, Petrodiesel.

RESUMEN.- El presente trabajo, propone la utilización de los materiales mesoporosos SBA-15 y MCM-41 como catalizadores heterogéneos sustituto del hidróxido de sodio para llevar a cabo la reacción de transesterificación del aceite de canola para la producción de biodiesel, muestra el proceso de filtración como método de separación de las partículas mesoporosas SBA-15 y MCM-41 del producto final y demuestra que las partículas mesoporosas SBA-15 y MCM-41 poseen la característica de que al ser separados pueden ser reutilizadas en otra reacción de transesterificación sin que disminuya su potencial catalítico.

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo cuenta con cinco capítulos referentes al estudio de las partículas mesoporosas SBA-15 y MCM-41 como catalizador en la transesterificación del aceite de canola.

En el capítulo uno denominado “generalidades” se presenta las diferencias y los motivos considerados al elegir a las partículas mesoporosas SBA-15 y MCM-41 como catalizadores, el método empleado para la obtención de las partículas mesoporosas, el método de producción del biodiesel y la diferencia entre las catálisis ácida y básica en la transesterificación de aceites, seguido de una descripción sobre que es el biodiesel en el México actual.

En el capítulo dos denominado “metodología” se presentan los cálculos y los pasos que se siguieron en las pruebas catalíticas hechas a las partículas mesoporosas SBA-15 y MCM-41.

En el capítulo tres denominado “resultados” se presentan los resultados obtenidos durante la fase de experimentación de los catalizadores.

En el capítulo cuatro denominado “análisis y discusión de resultados” se presenta el análisis de cada uno de los resultados obtenidos durante la fase de experimentación, cuales son las condiciones y el por qué las partículas mesoporosas SBA-15 y MCM-41 son buenos catalizadores para llevar a cabo la reacción de transesterificación de aceites.

En el capítulo cinco denominado “conclusiones” se presenta la conclusión de toda la información y los resultados obtenidos en el trabajo.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.

Uno de los objetivos más apreciados de la catálisis heterogénea es, no sólo acelerar los procesos donde interviene, sino hacer que éstos sean altamente selectivos ya que simplifica el aislamiento y la purificación del producto final.²

Los puntos activos de la superficie son “puntos de fuerzas descompensadas” donde por contacto se activan las moléculas, y casi siempre están relacionadas a cargas no compensadas, defectos de red e irregularidades estructurales las cuales a veces se forman al azar y otras son formadas intencionadamente.²

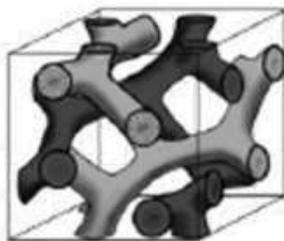
El desarrollo de materiales mesoporosos ordenados fue visto con gran entusiasmo en el área de la catálisis heterogénea. Los materiales mesoporosos ordenados en general y partículas de sílices mesoporosas en particular, siguen siendo un tema de investigación.³

El punto que surge es que los materiales mesoporosos adecuadamente funcionalizados dará como resultado diversos modelos interesantes en el área de catálisis para los estudios fundamentales, y en algunos casos ofrecen nuevas posibilidades tanto en catalizadores homogéneos como en heterogéneos³. A este respecto, numerosos laboratorios han informado la síntesis y ensayo catalítico de materiales mesoporosos ordenados con grupos orgánicos únicos⁴ (se muestran algunos ejemplos en la figura 1.1).

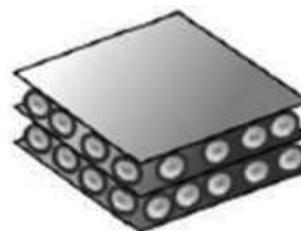
Recientemente ha habido un gran interés en el desarrollo de catalizadores heterogéneos para producir biodiesel, una de las ventajas que se buscan incluyen la simplificación de la separación de los productos de reacción y la reutilización de los catalizadores.



MCM-41



MCM-48



MCM-50

Figure 1.1 *Partículas de estructuras mesoporosas.*²

1.1 MATERIALES POROSOS.

La porosidad de un material se podría definir como la medida de sus espacios vacíos, esto es, de los poros que lo constituyen. Esta definición claramente permite imaginar el papel de un poro como un pasadizo o camino entre la superficie externa e interna de un sólido, permitiendo el paso de gases o vapores, dentro, a través o fuera del propio sistema poroso.²

Los materiales porosos se clasifican según la IUPAC, en función del tamaño de poro, de la siguiente manera:

- Materiales microporosos: Aquéllos que presentan un diámetro de poro inferior a 20Å.
- Materiales mesoporosos: Aquéllos que presentan un diámetro de poro comprendido entre 20 y 500Å.
- Materiales macroporosos: Aquéllos que presentan un diámetro de poro superior a 500Å.

Un factor importante en la síntesis de las mesoestructuras ordenadas son las interacciones atractivas entre el surfactante y el precursor inorgánico. Por ello, las investigaciones sobre materiales mesoporosos han sido enfocadas a comprender y a utilizar las interacciones inorgánico-orgánicas. Una posible forma de clasificar este tipo de interacciones es considerar que la cabeza polar del surfactante se enlaza al precursor inorgánico. En la figura 1.2 se muestran algunos ejemplos de partículas mesoporosas.

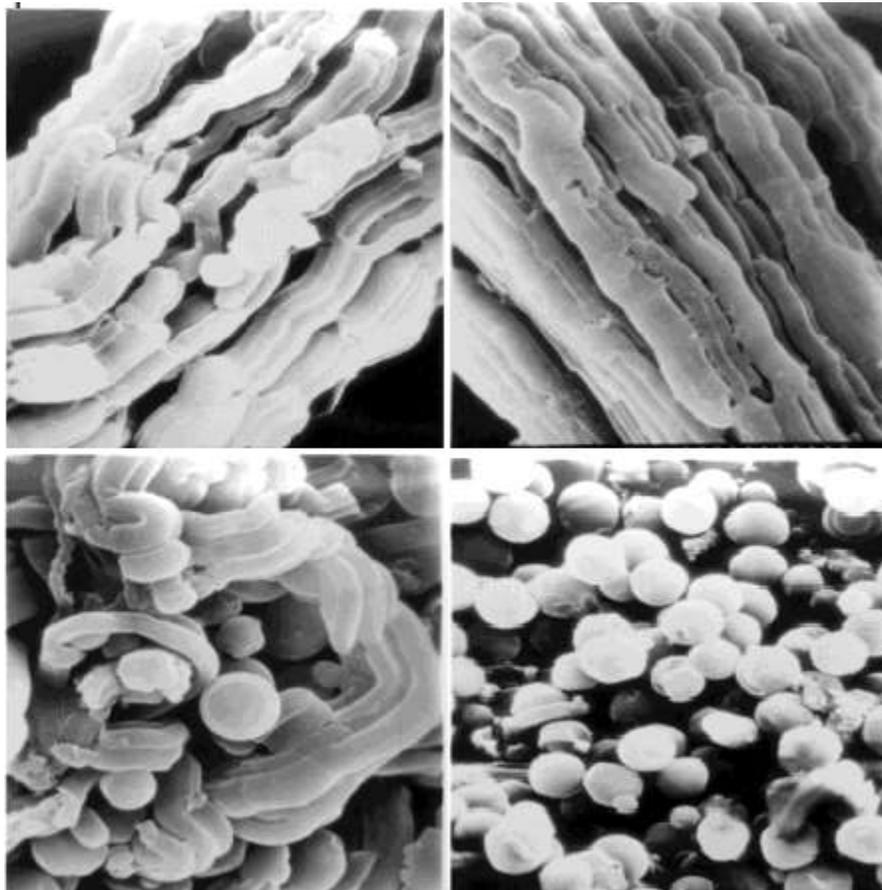


Figure 1.2 *Imágenes de partículas mesoporosas obtenidas con el SEM.*⁷

1.1.1 PROCESO DE ELABORACIÓN (SOL-GEL).

El denominado proceso sol-gel bajo el cual se lleva a cabo la síntesis de las mesoestructuras inorgánicas ordenadas se basa en la hidrólisis y policondensación de precursores de tipo alcóxido metálico, $M(OR)_n$ (siendo R un grupo alquilo, comúnmente metilo o etilo). En el caso de las sílices mesoestructuradas ordenadas, tales como MCM-41, los precursores más ampliamente empleados son $Si(OCH_3)_4$ (tetrametoxisilano, TMOS) y $Si(OCH_2CH_3)_3$ (tetraetoxisilano, TEOS). Debido a su inmiscibilidad en agua, es frecuente la adición de un co-disolvente (alcohol) como agente homogeneizador. Sin embargo, el propio alcohol es generado como un subproducto durante la reacción de hidrólisis de los alcóxidos silanos, por lo que es suficiente homogeneizar el sistema inicial de fases separadas para que no sea necesaria la adición del alcohol.⁷

Cuando se requiere que el proceso de hidrólisis ocurra de forma rápida y completa, es un ácido o una base la que actúa como catalizador del proceso. En ambos casos la reacción ocurre por ataque nucleófilo de un átomo de oxígeno de una molécula de agua al átomo de silicio, como se ilustra en las figuras 1.3 y 1.4, respectivamente.

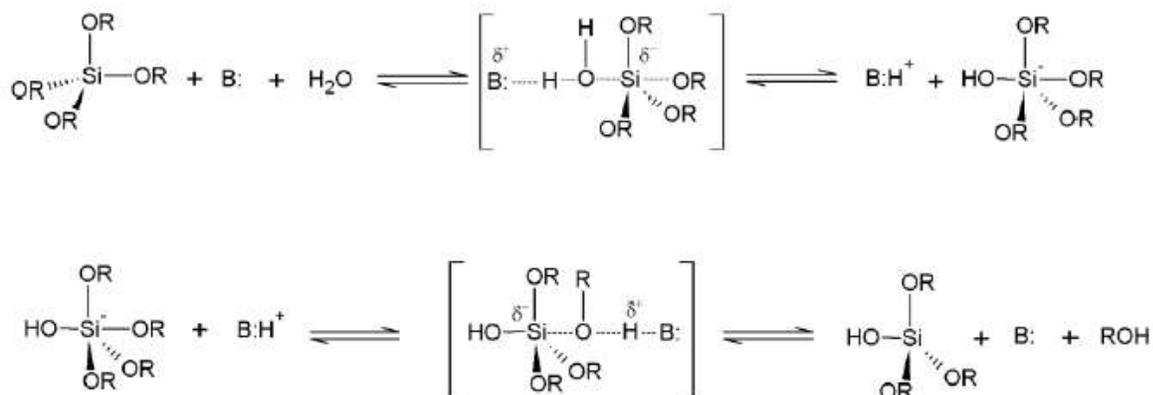


Figure 1.3 *Hidrólisis de alcoxisilanos catalizado por bases.*

La hidrólisis de alcoxisilanos catalizado por bases (Figura 1.3) es un proceso de dos etapas en la que se forma un intermedio pentacoordinado. De acuerdo a un mecanismo tipo $\text{S}_{\text{N}}2$, un grupo alcoxi es reemplazado por un grupo hidroxilo con inversión del tetraedro de silicio. La hidrólisis catalizada por ácidos (Figura 1.4) también se produce probablemente vía un mecanismo tipo $\text{S}_{\text{N}}2$. En este caso, el grupo alcoxi saliente es previamente protonado de manera que se retira densidad electrónica del átomo de silicio, haciéndolo más electrofílico y, por lo tanto, más susceptible al ataque nucleofílico por el agua.⁷

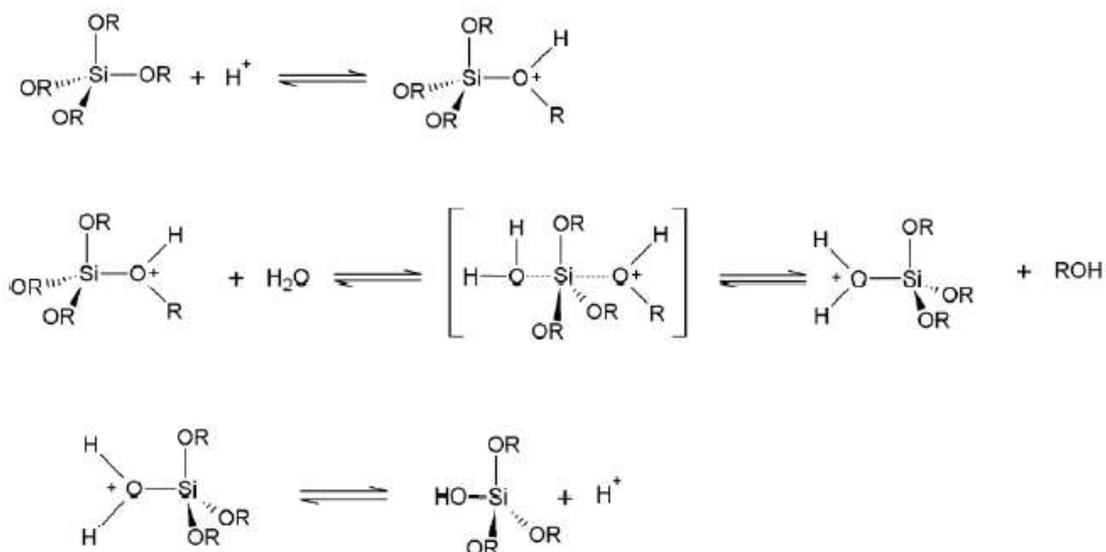


Figure 1.4 Hidrólisis catalizada por ácidos.

En una etapa posterior, las moléculas de silano hidrolizadas condensan y forman enlaces siloxano, como ilustra la Figura 1.5. La condensación también tiene lugar por medio de una reacción entre una molécula de alcoxilano y un grupo silanol.⁷

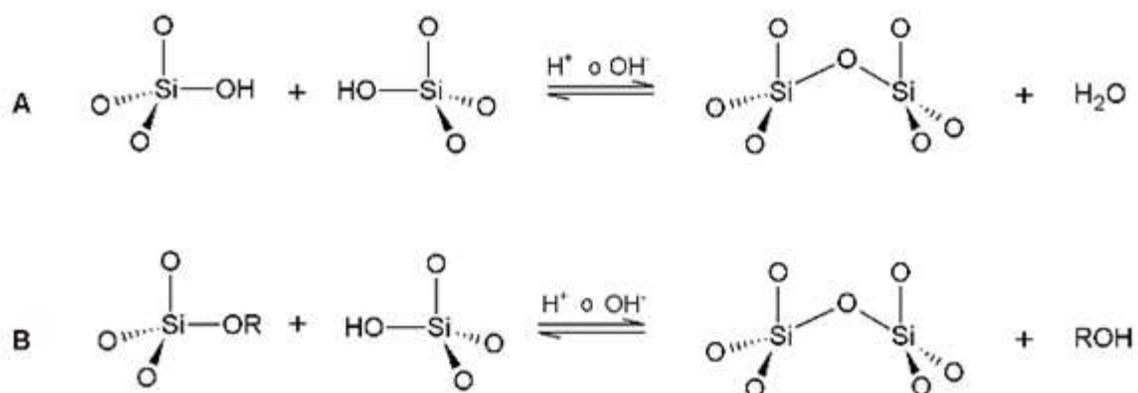


Figure 1.5 Condensación de las moléculas de silano hidrolizadas y formación de los enlaces siloxano,

1.1.2 PARTÍCULAS MESOPOROSAS SBA-15.

El desarrollo de las partículas SBAs ha puesto un gran avance dentro de la familia de los sólidos mesoporosos ordenados. Estos se logran sintetizar usando copolímeros de tres bloques no iónicos comerciales como surfactantes, lograron desarrollar materiales silícicos ordenados con mesoporos grandes, en el rango de 4.5-30nm y paredes más gruesas de 3.0-7.0nm. Estos nuevos sólidos mesoestructurados se designaron como materiales SBA, acrónimo de Santa Bárbara, la Universidad donde fue desarrollado por primera vez.²

La sílice SBA-15 (“Santa Bárbara Amorphus”) es un material mesoporoso que posee un ordenamiento hexagonal cuyo tamaño de poro puede alcanzar los 30nm en 2 dimensiones, este material mesoporoso se sintetiza bajo condiciones fuertemente ácidas y este arreglo puede ser controlado por las condiciones de síntesis y factores como el tipo de copolímero usado en la obtención de SBA-15.⁸

Sus mesoporos ordenados y conectados hexagonalmente facilitan la difusión en toda la estructura, lo cual representa una ventaja para procesos de catálisis, así como el encapsulamiento de fármacos o de nanopartículas magnéticas para distintas aplicaciones.

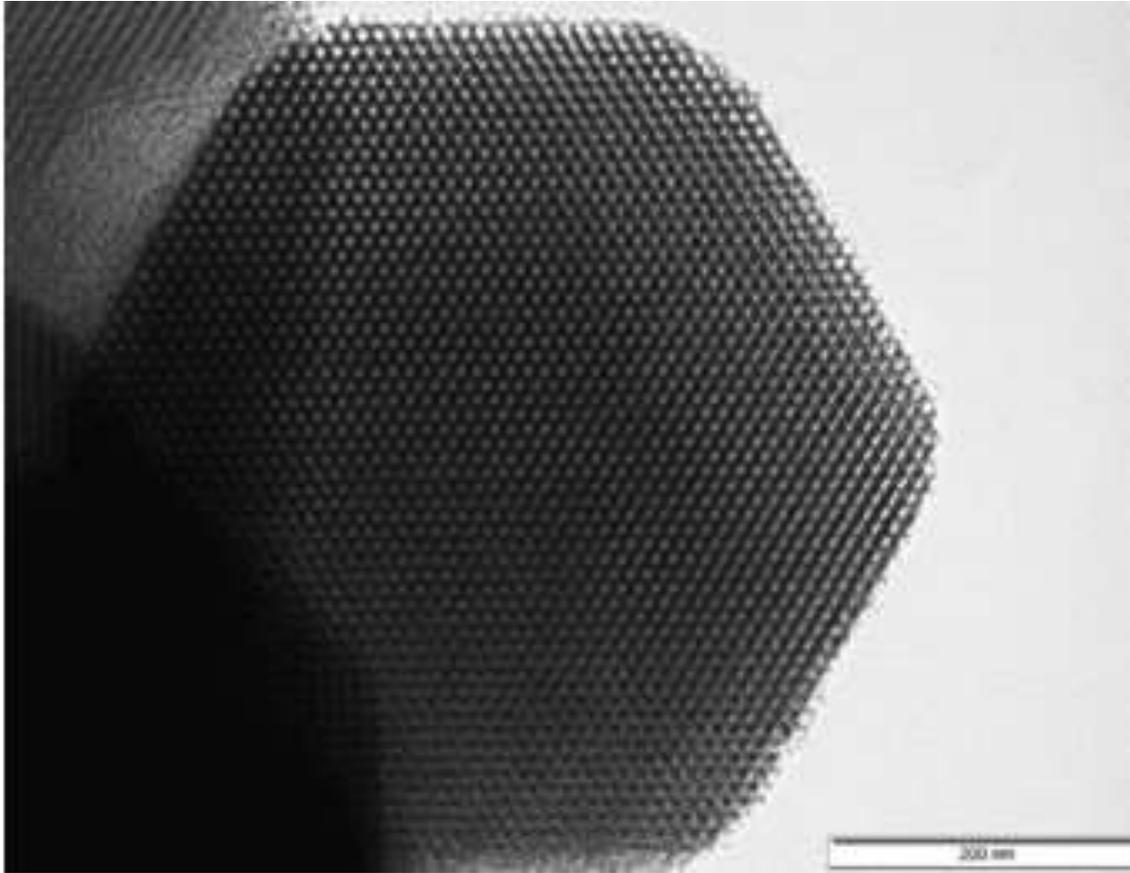


Figura 1.6 Imagen en el TEM a 200nm de las partículas mesoporosas SBA-15.¹⁹

1.1.3 PARTÍCULAS MESOPOROSAS MCM-41.

Los sólidos mesoporosos como la MCM-41 tienen un gran atractivo para la catálisis ya que sus cavidades permiten el paso de moléculas de gran tamaño y pueden servir como soporte de diversos materiales. Sin embargo, a diferencia de las zeolitas, presentan poca estabilidad hidrotérmica y actividad catalítica, lo cual se atribuye a la naturaleza amorfa de sus paredes.⁹

Las partículas MCM-41 pueden ser preparadas en un amplio intervalo de diámetros de poros, que van desde 20 a 100Å, esto varía dependiendo del catión surfactante alquiltrimetilamonio que se emplee.¹⁰

Las partículas MCM-41 desarrollan un carácter de acidez en los tratamientos de activación y puede sobrellevar intercambios iónicos, efectos muy importantes en su uso como catalizador o soporte catalítico.

En el caso de la MCM-41 consiste en una formación hexagonal de micelas cilíndricas en las cuales las cadenas hidrocarbonadas hidrofóbicas se reúnen en el centro formando el corazón de la micela, mientras que los grupos polares se orientan hacia la superficie, en contacto con el medio acuoso. Tras la adición del precursor inorgánico, éste interacciona con la micela, creando paredes inorgánicas entre el ordenamiento hexagonal de las micelas cilíndricamente agregadas (Figura 1.71).¹¹

Tras la calcinación, el surfactante se elimina fuera de los poros, dejando un material mesoporoso formado por cilindros huecos en un ordenamiento hexagonal (Figura 1.71).²

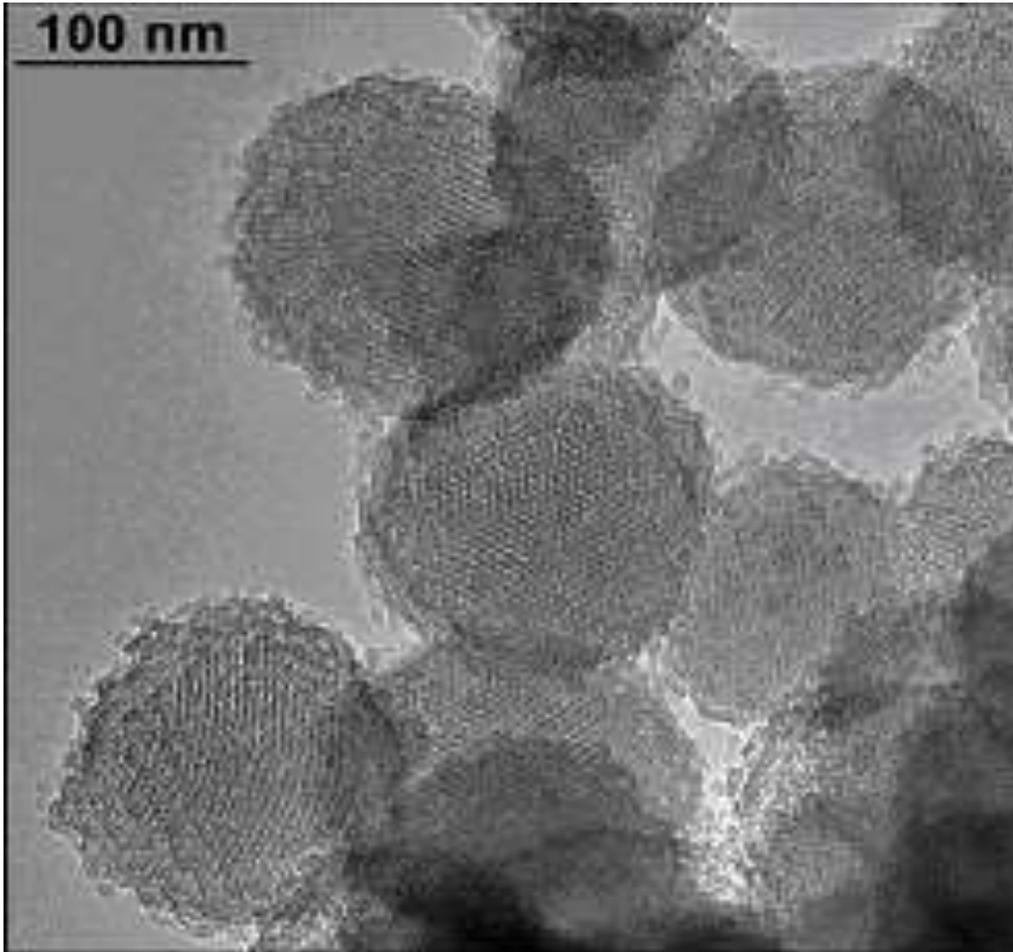


Figura 1.7 Imagen en el TEM a 100nm de las partículas mesoporosas MCM-41.¹⁸

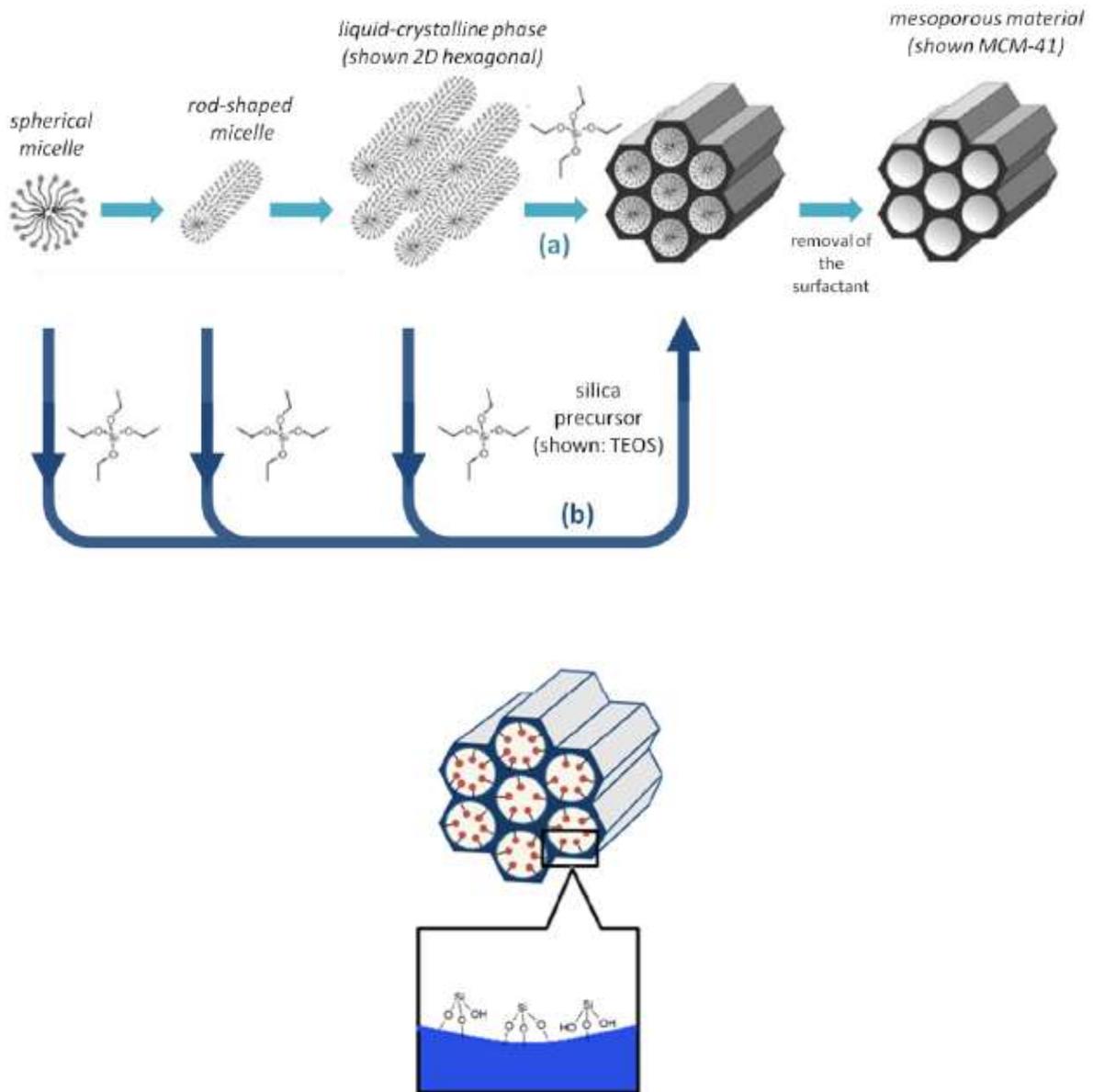


Figura 1.71 Formación de las estructuras mesoporosas MCM-41.¹

1.1.4 PARTÍCULAS MESOPOROSAS SBA-15 Y MCM-41.

A pesar de que, SBA-15 y MCM-41, son materiales similares con igual mesoestructura hexagonal 2D, el material SBA-15 tiene poros grandes y paredes más gruesas que la MCM-41; las paredes de estos dos sólidos son bastante diferentes. Más explícitamente, las paredes porosas de SBA-15 están formadas por una enorme cantidad de microporos intraestructurales internos e incluso pequeños mesoporos, mientras que esto no es así para la MCM-41.

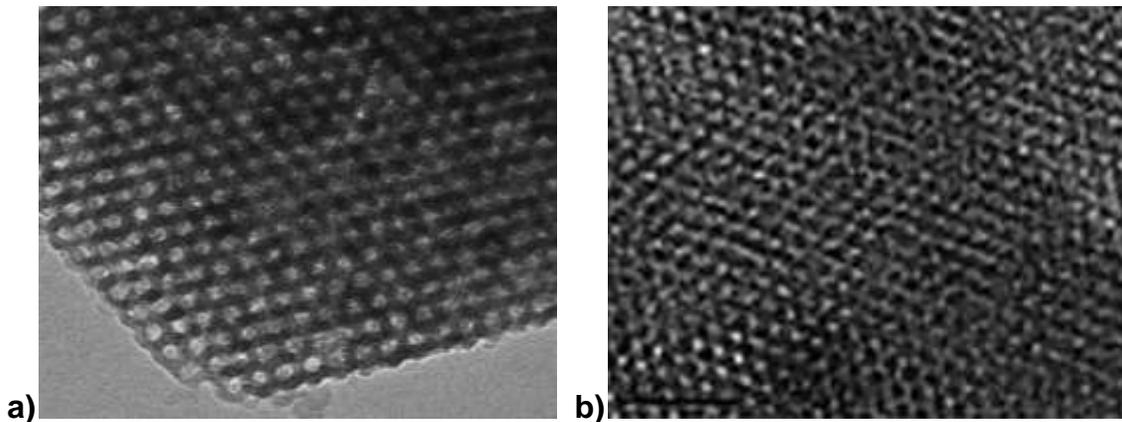


Figure 1.8 Se muestra imágenes obtenidas del TEM a 50 nm.

a) *Partículas mesoporosas SBA-15.*²⁰

b) *Partículas mesoporosas MCM-41.*²¹

1.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL.

En el citado proceso se produce la reacción de las tres cadenas de ácidos grasos (cadenas ésteres) de cada molécula de triglicérido, con un alcohol, produciéndose la separación de estas cadenas de la molécula de glicerina.¹²

Esta separación necesita temperatura y un potente catalizador básico, como un hidróxido, o acida para que la reacción sea completa.¹²

En la Figure 1.81 se presenta un diagrama que explica el proceso que conlleva la producción del biodiesel.

Finalmente, las cadenas ésteres se convertirán en biodiesel, con la característica de que retiene moléculas de oxígeno en su constitución, lo que le otorgará interesantes propiedades en la combustión.¹²

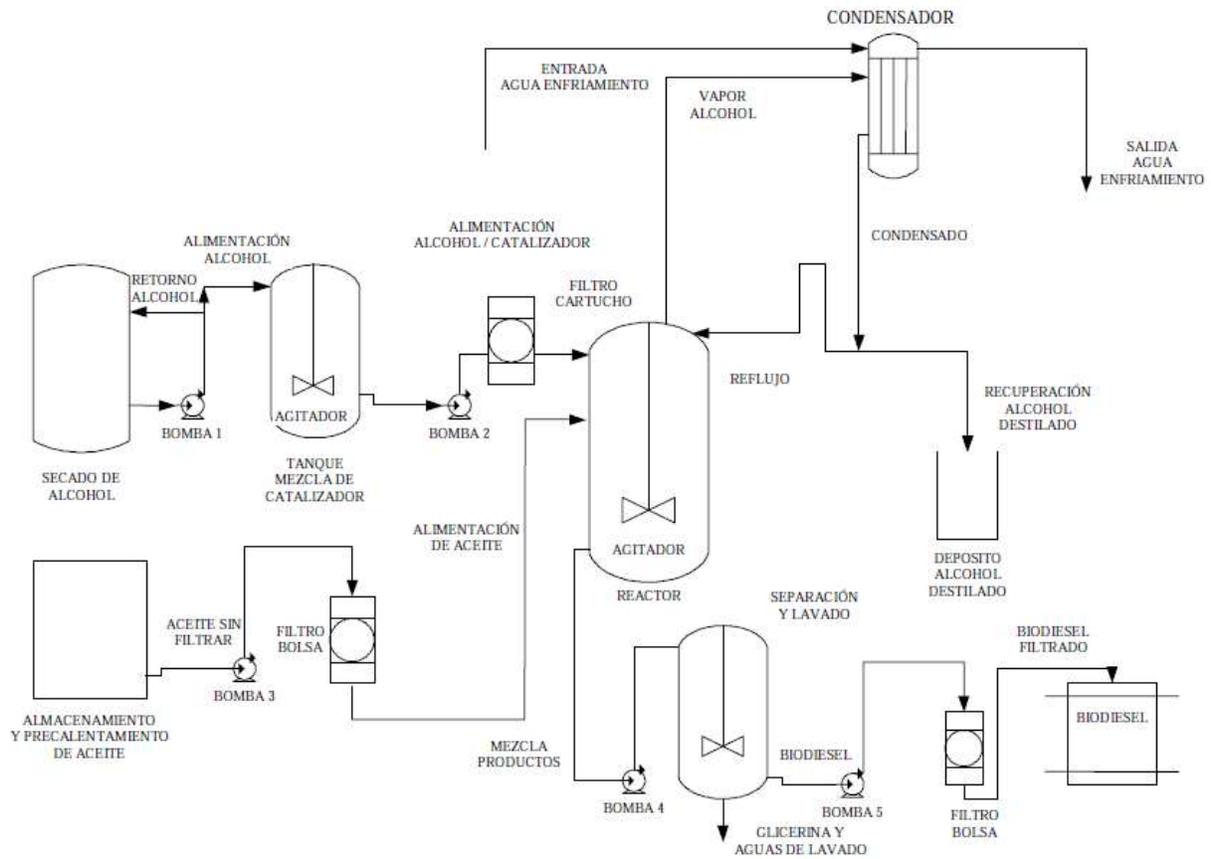


Figure 1.81 Diagrama de proceso del biodiesel a nivel industrial.¹²

1.2.1 REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.

El proceso para la obtención de ésteres etílicos puede hacerse directamente a partir de las grasas y aceites por transesterificación o a partir de los ácidos grasos realizando primero el desdoblamiento de la grasa a alta presión y temperatura y posteriormente la esterificación con etanol. Este último proceso es más complejo, costoso y requiere un mayor consumo de energía, es por ello que se busca hacer con catalizadores.¹³

La transesterificación conduce al desdoblamiento de los triglicéridos de la grasa generando el éster de interés y glicerina como subproducto¹⁴ tal y como se muestra en la figura 1.9.

En el citado proceso se produce la reacción de las tres cadenas de ácidos grasos (cadenas ésteres) de cada molécula de triglicérido, con un alcohol, produciéndose la separación de estas cadenas de la molécula (figura 1.9).¹³

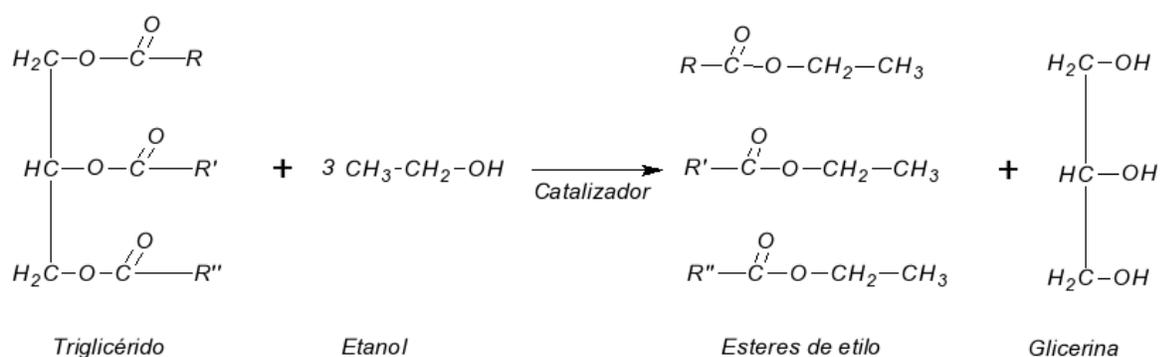


Figure 1.9 Se muestra la reacción de transesterificación en forma general.

La transesterificación (figura 1.9) se lleva a cabo usualmente en fase líquida y uno de los reactantes es parcialmente soluble y se disuelve poco a poco al progresar la

reacción (el aceite es parcialmente soluble en etanol). La reacción es reversible y para favorecer el equilibrio hacia la formación de productos se hace necesario incrementar el exceso de uno de los reactivos o retirar alguno de los productos generados.¹³

Para que durante la reacción se logre una alta conversión, es necesario tener en exceso al alcohol y adicionar un catalizador que aumenta la velocidad de reacción; estos catalizadores que favorecen a la reacción pueden ser de naturaleza básica o ácida.

Los catalizadores durante la reacción son necesarios ya que sin ellos el proceso de transesterificación necesitaría temperaturas cercanas a 250 °C y una presión muy alta.¹³

1.2.1.1 PROCESOS CATALÍTICOS DE TRANSESTERIFICACIÓN.

1.2.1.1.1 CATÁLISIS ÁCIDA.

Los catalizadores ácidos son efectivos pero requieren un intervalo de tiempo extremadamente largo y temperaturas superiores a 100°C para su acción. Se usan en transesterificación (figura 1.9), cuando los aceites poseen grados de acidez muy altos y que perjudican la acción de los catalizadores alcalinos (acidez mayor a 10 %). La humedad de las materias primas no restringe su uso como en la catálisis básica aún cuando los rendimientos de la reacción se ven favorecidos si el agua no está presente.¹³

Se emplean ácido sulfúrico, clorhídrico y ácidos sulfónicos; recientemente en los procesos con aceites crudos de acidez muy alta, se están empleando resinas ácidas que permiten altas conversiones de los ácidos libres y adicionalmente ayudan a la transesterificación de los triglicéridos como se observa en la figura 2.0; esta operación corresponde a una etapa inicial de preesterificación, seguida de una transesterificación con catalizador básico.¹³

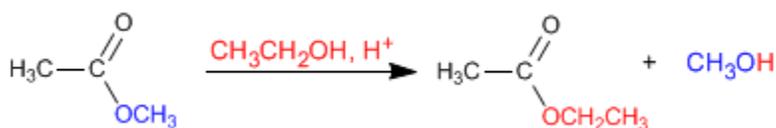
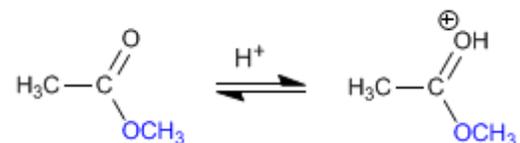
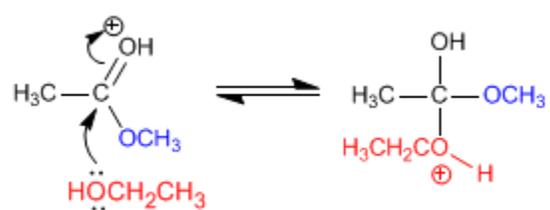


Figure 2.0 *Reacción general de transesterificación de catálisis ácida.*

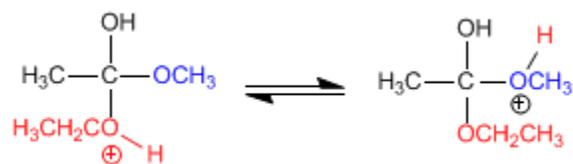
Protonación del éster



Adición nucleófila del alcohol al carbonilo



Equilibrio ácido-base, que transforma el metóxido en buen grupo saliente (metanol).



Eliminación de metanol

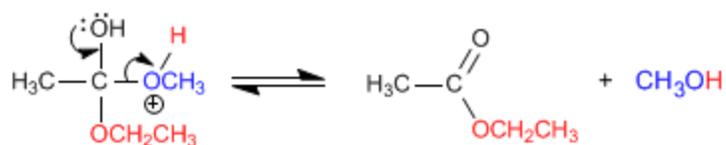


Figure 2.1 Reacción de transesterificación de catálisis ácida.

1.2.1.1.2 CATÁLISIS BÁSICA.

Los catalizadores básicos son los más usados, y dentro de estos, el KOH, NaOH, Carbonatos de sodio y potasio. Los hidróxidos poseen la mayor aplicación industrial pues son económicos y muy efectivos. Dan buenos resultados siempre y cuando el contenido de agua en el medio de reacción sea mínimo y la acidez para los aceites sea menor al 1%, ya que contenidos superiores tienden a formar jabones y geles que inhiben la capacidad catalítica de las bases, y evitan la separación del glicerol de la mezcla reactante.¹³

Los catalizadores como KOH y NaOH se emplean en proporciones variadas, que oscilan entre 0.5 y 1.5 % en peso del aceite, encontrándose para la mayoría de las reacciones de transesterificación (figura 2.2) con aceites refinados 1% como la cantidad óptima, sin embargo, con aceites de elevada acidez se recomienda ajustar este valor aún cuando esta práctica puede llevar a formación de jabones y emulsiones que reducen el rendimiento de la reacción.¹³

Para el metilato de sodio se recomiendan valores entre 0.3 y 0.5 % en peso con respecto al aceite, este catalizador es altamente efectivo aunque más costoso que los hidróxidos, las condiciones de reacción deben ser cuidadosas ya que con aceites no refinados puede generar subproductos que disminuyen la calidad y rendimiento de la reacción.¹³

El metanol y etanol suelen emplearse en excesos de 6:1 molar y se ha comprobado que el uso de elevados excesos de alcohol, son adecuados cuando se emplean aceites con alto contenido de ácidos grasos libres; a pesar de estas ventajas los excesos

mayores a 6:1 impiden la decantación de la glicerina y se hace necesario retirar el alcohol en exceso por destilación para que se logre la separación.¹³

Se han hecho investigaciones en condiciones de temperatura en las cuales puede llevarse a cabo la transesterificación de aceites; las temperaturas recomendadas van desde la del ambiente, hasta la de ebullición del alcohol empleado, esto depende del catalizador que se emplee ya que dependiendo del tipo de catalizador cambiara el tiempo de reacción, en la figura 2.2 se muestra la reacción en forma general de transesterificación en medio básico.



Figure 2.2 Reacción general de transesterificación de catálisis básica.

Adición nucleófila del agua al carbonilo



Eliminación de metanol

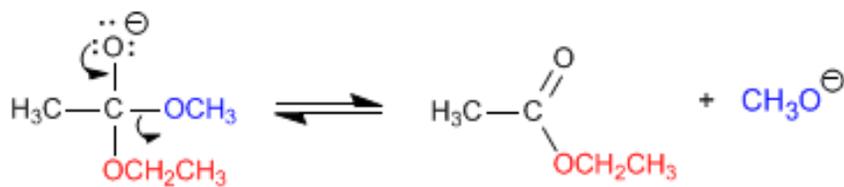


Figure 2.3 *Reacción de transesterificación de catálisis básica.*

1.3 BIODIESEL.

El biodiesel es un sustituto de combustible diesel renovable. Se puede fabricar mediante la combinación química de cualquier aceite o grasa natural con un alcohol tal como metanol o etanol, en la Figure 1.81 se presenta un diagrama de producción industrial del biodiesel. El metanol ha sido el alcohol más comúnmente utilizado en la producción comercial de biodiesel.¹³

Puede ser producido a partir de distintas fuentes de aceite, tales como, soja, colza, girasol, maní y grasas animales.¹⁵

Biodiesel europeo está formado en su mayor parte a partir de aceite de colza que es un primo del aceite de canola.¹³

Químicamente constituyen ésteres de alquilo, de metilo y de etilo, con cadenas largas de ácidos grasos. Estas cadenas, al estar oxigenadas, le otorgan al motor una combustión mucho más limpia.

En la actualidad existe un aumento sin precedentes en el interés y la demanda de biodiesel y otros combustibles derivados de la biomasa renovable, sin embargo, los aceites vegetales o de semillas puras son caros y constituyen entre el 70 % y el 85 % del coste total de producción del biodiesel, los costos varían dependiendo del tipo de materia primas que se emplee y de el lugar de elaboración como se muestra en la figura 2.6. Lodos de depuradora municipal está ganando terreno en los EE.UU. y alrededor del mundo como materia prima para la producción de biodiesel de lípidos.

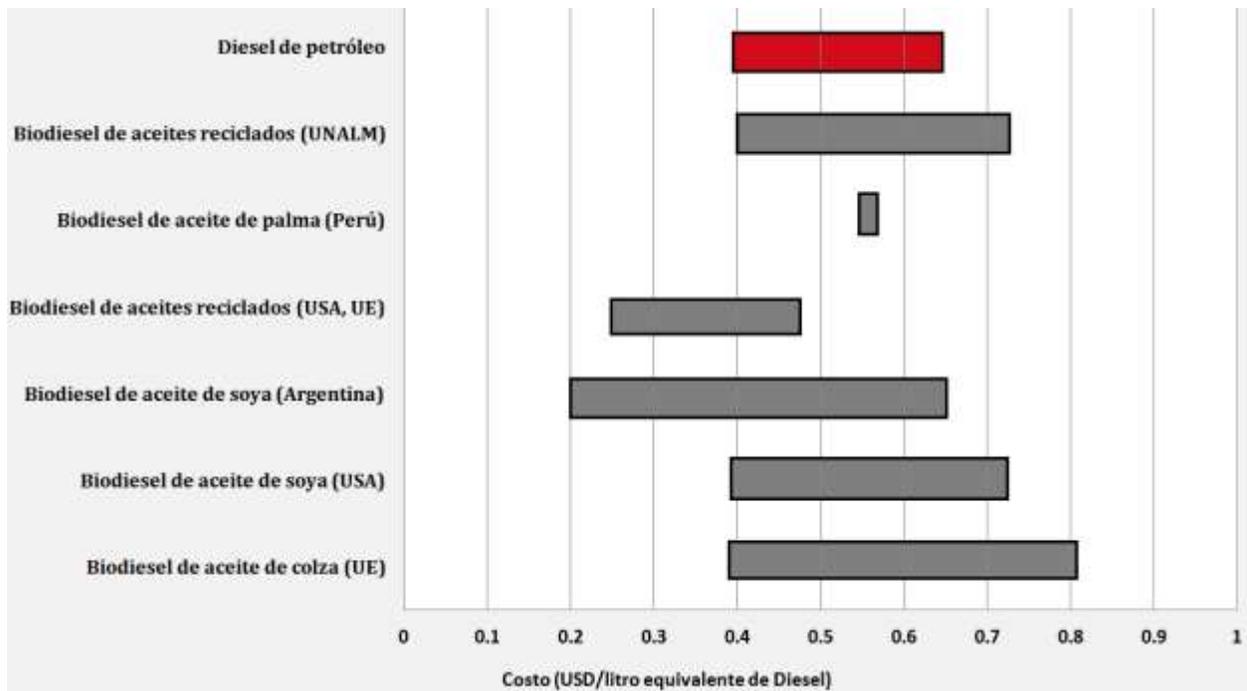


Figure 2.6 Costo de la producción de Biodiesel.²²

Este combustible puede utilizarse puro o en mezclas de diferentes concentraciones con el diesel derivado del petróleo. Las mezclas más comunes son las B20 que está conformado por un 20% de biodiesel y 80% de diesel de origen fósil, las B5 que está conformado por un 5% de biodiesel y 95% de diesel de origen fósil, así como la B20 que está conformado por un 20% de biodiesel con un 80% de diesel de origen fósil y que pueden usarse generalmente sin modificar el motor, sin embargo también se puede emplear un 100% de biodiesel pero para ser empleado con éxito es necesario ciertas modificaciones al motor que le permitan evitar problemas de mantenimiento y de desempeño.¹⁶

Cuando es utilizado como aditivo, sus concentraciones normalmente no superan el 5%.

Físicamente es un líquido que puede tener un color que puede ir desde un tono amarillo claro hasta uno oscuro y que es prácticamente inmisible en el agua; además de tener una viscosidad similar a la del diesel que se obtiene del petróleo, se puede mezclar con éste con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes de los vehículos automotores con motores de ciclo Diesel.¹⁶

El biodiesel típico tiene un punto de ignición de 150°C y una densidad de 0.88 g/cm³.¹⁶

1.3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL.

1.3.1.1 VENTAJAS.

- Es el único combustible alternativo que funciona en cualquier motor diesel convencional.¹⁶
- Puede usarse puro o mezclarse en cualquier proporción con el diesel de petróleo.¹²
- El biodiesel puede extender la vida útil de los motores porque posee mejores cualidades lubricantes que el combustible tradicional, mientras que el consumo, encendido, rendimiento y torque del motor se mantienen prácticamente en sus valores normales.¹⁶
- Se puede obtener a través de fuentes renovables, así como de aceites reciclados.¹⁵
- El ciclo biológico en la producción y su uso de biodiesel reduce aproximadamente en 80% las emisiones de anhídrido carbónico, y casi 100% las de dióxido de azufre, la combustión disminuye en 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados, y entre 75-90% en los hidrocarburos

aromáticos, además, proporciona significativas reducciones en la emanación de partículas y de monóxido de carbono. Según el tipo de motor, puede producir un decremento en emisión de óxidos nitrosos, contiene 11% de oxígeno en peso y no tiene azúfre.¹²

- Reduce en un alto porcentaje los riesgos de contraer cáncer.¹²
- Es seguro de manipular y transportar ya que tiene un punto de inflamación de aproximadamente 150° C, mientras que el petrodiesel alcanza los 50° C.¹²
- Es biodegradable.¹⁶
- Puede hacerse a partir de cultivos que abundan en nuestro país.¹³
- Generación de fuentes de trabajo en las comunidades rurales, que van desde las plantaciones hasta las instalaciones de conversión del aceite.¹³
- Mayor estabilidad energética, pues proporciona una protección contra la dependencia del petróleo.¹³

1.3.1.2 DESVENTAJAS.

- Al ser el biodiesel un mejor solvente ataca toda aquella pieza construida a partir de caucho o goma, por ejemplo las mangueras y juntas de motor.¹⁶
- El empleo de mezclas con más de 30% de biodiesel puede presentar problemas de solidificación en frío, lo que obstruiría el sistema de alimentación de combustible del motor.¹⁶
- No se puede almacenar por mucho tiempo, más de 21 días, debido a que se degrada.¹⁶
- Precios poco competitivos frente a los derivados fósiles y el enfrentamiento de cultivos energéticos, que también son empleados como cultivos alimenticios, lo que producen una situación poco deseada al entremezclar el mercado alimenticio con el de los combustibles, distorsionando los precios y creando un impacto desfavorable en el mercado.¹³

1.4 BIODIESEL EN MÉXICO.

En México se tiene muy poca experiencia con el uso del biodiesel, dentro de los proyectos de biodiesel destaca el de la planta de biodiesel de Grupo Energéticos en Cadereyta, Nuevo León que produce este biocombustible a partir de aceites y grasas recicladas de la cafetería del Instituto Tecnológico de Monterrey, la producción de ésta planta es de 300m³ al mes, aunque según su directivo puede llegar a los 600m³ al mes. Con esta producción se abastece de una mezcla B20 a un autobús de transporte de personal, así como a dos vehículos compactos propiedad del Instituto.¹⁶

Otro proyecto es el de la Universidad Vasconcelos de Oaxaca, en el que producen una mezcla B20 a partir de aceites vegetales de desecho, en la etapa demostrativa se tiene una producción de 3.6 m³ al mes de biodiesel el cual es consumido por un autobús propiedad de la Universidad.¹⁶

Según el estudio “Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México” menciona que una alternativa para la introducción y empleo de biodiesel en México se puede basar en materias primas de bajo costo, como es el caso de los aceites y grasas recicladas. Y que a un mediano plazo se requerirán esquemas de incentivos para llegar a una meta de sustituir de entre el 2% al 5% del diesel proveniente del petróleo.¹⁶

1.4.1 LEGISLACIÓN EXISTENTE.

Los países de América Central, América del sur y del Caribe utilizan las normas de la ASTM International como lenguaje común en el comercio, lo que los ayuda a garantizar la seguridad y la calidad.

En la siguiente tabla se enumeran las especificaciones establecidas para el biodiésel.

Propiedad	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de Ensayo
Contenido en éster	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Densidad a 15°C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675, EN ISO 12185
Viscosidad a 40°C	mm ² /g	3,50	5,00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120	-	prEN ISO 3679
Contenido de azufre	mg/kg	-	10,0	prEN ISO 20846, prEN ISO 20884
Residuo de carbón (en 10% de residuo destilado)	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Índice de cetano		51,0		EN ISO 5165
Contenido de cenizas sulfatadas	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosión de la tira de cobre (3h a 50°C)	Clasificación	Clase 1		EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación 110°C	Horas	6,0	-	EN 14112
Índice de ácido	mg KOH/g		0,50	EN 14104
Índice de yodo	g de yodo/100g		120	EN 14111
Éster de metilo de ácido linoléico	% (m/m)		12,0	EN 14103
Contenido de metanol	% (m/m)		0,20	EN 14110
Contenido en monoglicéridos	% (m/m)		0,80	EN 14105
Contenido en diglicéridos	% (m/m)		0,20	EN 14105
Contenido en triglicéridos	% (m/m)		0,20	EN 14105
Glicerol libre	% (m/m)		0,02	EN 14105, EN 14106
Glicerol total	% (m/m)		0,25	EN 14105
Metales del grupo I (Na+K)	mg/kg		5,0	EN 14108, EN 14109
Metales del grupo II (Ca+Mg)	mg/kg		5,0	prEN 14538
Contenido de fósforo	mg/kg		10,0	EN 14107

Fuente: Wearcheckiberica. Boletín Mensual, septiembre 2004

OBJETIVO.

Comprobar que las partículas mesoporosas SBA-15 y MCM-41 tienen actividad catalítica para llevar a cabo la transesterificación del aceite de Canola con un costo bajo en la producción de la misma.

JUSTIFICACIÓN.

El presente trabajo se escogió al observar la gran gama de aplicaciones que tienen las partículas mesoporosas SBA-15 y MCM-41 como catalizadores y la creciente demanda que ha ido en aumento significativamente en la última década por el del biodiesel como sustituto del combustible diesel no renovable, como se conoce comúnmente, su proceso de elaboración es relativamente sencillo, es mediante la combinación química de cualquier aceite o grasa natural ya sean de origen animal o vegetal con un alcohol ya sea metanol o etanol en presencia de un catalizador y de calor, este proceso se le conoce comúnmente con el nombre de transesterificación.

El metanol es el alcohol más comúnmente utilizado en la producción comercial de biodiesel, sin embargo por sus características químicas logra ser tóxico y de la misma forma al no ser manipulado de la forma correcta puede ser dañino tanto para las personas como para el medioambiente.

El presente trabajo, propone la utilización de materiales mesoporosos SBA-15 y MCM-41, como catalizadores heterogéneos para llevar a cabo la reacción de transesterificación del aceite de canola, esto nace debido a que hoy en día el método de producción de biodiesel utiliza como catalizador el hidróxido de sodio, el cual al término de la reacción es muy difícil de separar de la fase acuosa y requiere una gran cantidad de agua por lo que aumenta significativamente el costo en el proceso de producción de biodiesel, esto hace que sea necesario encontrar un mejor proceso en el que la remoción del catalizador no solo sea posible, si no que sea mucho más simple,

que tenga una capacidad catalítica similar a la de el hidróxido de sodio y que pueda ser reutilizado sin que pierda su carácter catalítico, de este modo se busca lograr disminuir los costos y gastos de producción del biodiesel.

El proceso actual de producción requiere porcentajes de catalizador que oscila entre un 0.5% a 1.5%, en peso de la materia prima, aquí se propone la utilización del un porcentaje menor al 0.5% en peso convirtiendo este proceso en una atracción económica sustentable.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.

El presente trabajo presenta el estudio de dos catalizadores mesoporosos, el MCM-41 y SBA-15, los cuales fueron donados por el Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable (CCIQS).

El aceite usado fue de Canola ya previamente procesado de marca Capullo.

Las reacciones se llevaron a cabo en un matraz de bola a presión atmosférica y a una temperatura de 60°C constante, se usó agitador magnético para mantener el sistema de forma homogénea y un refrigerante para condensar el etanol que se lograba volatilizar (figura 3.0).

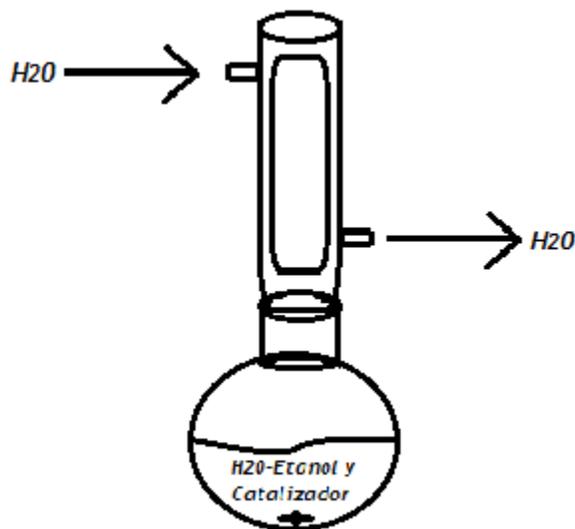


Figura 3.0 Diagrama de la instalación del equipo para la reacción de transesterificación.

Como se observa en el apartado "1.2.1.1.2 CATÁLISIS BÁSICA" del capítulo No. 1, el rango del catalizador que se emplea en las reacciones de transesterificación es de 0.5% al 1.5% en peso, en este trabajo se usó una cantidad muy baja de catalizador ya que se busca minimizar los costos de producción, por lo que se empleó 0.2 gramos de partículas mesoporosas MCM-41 y SBA-15 como catalizador, lo cual es equivalente al 0.2% en peso.

Como se observa en el apartado "2.1 BASE DE CÁLCULO" a la reacción se le adicionó 23.28 gramos de etanol puro y 76.72 gramos de aceite de Canola, esta reacción se llevó a cabo por 2 horas a una temperatura de 60°C, para lograr que el sistema se mantuviera homogéneo se empleó un agitador magnético.

La separación de las partículas mesoporosas se llevó a través de un filtrado como se observa en la figura 3.1.



Figura 3.1 *Filtrado del producto al salir del reactor.*

Al ser separado, el catalizador mesoporoso ya sea MCM-41 ó SBA-15 del producto, se lavó con etanol puro y se secó en la plancha de calentamiento como se muestra en la Figura 3.2.



A)



B)

Figura 3.2 Secado de las partículas mesoporosas MCM-41 y SBA-15 al ser lavadas con etanol.

El producto de la reacción ya separado del catalizador se metió al rotovapor para separar el etanol que no reacciona en la transesterificación a una temperatura de 80°C (figura 3.3).

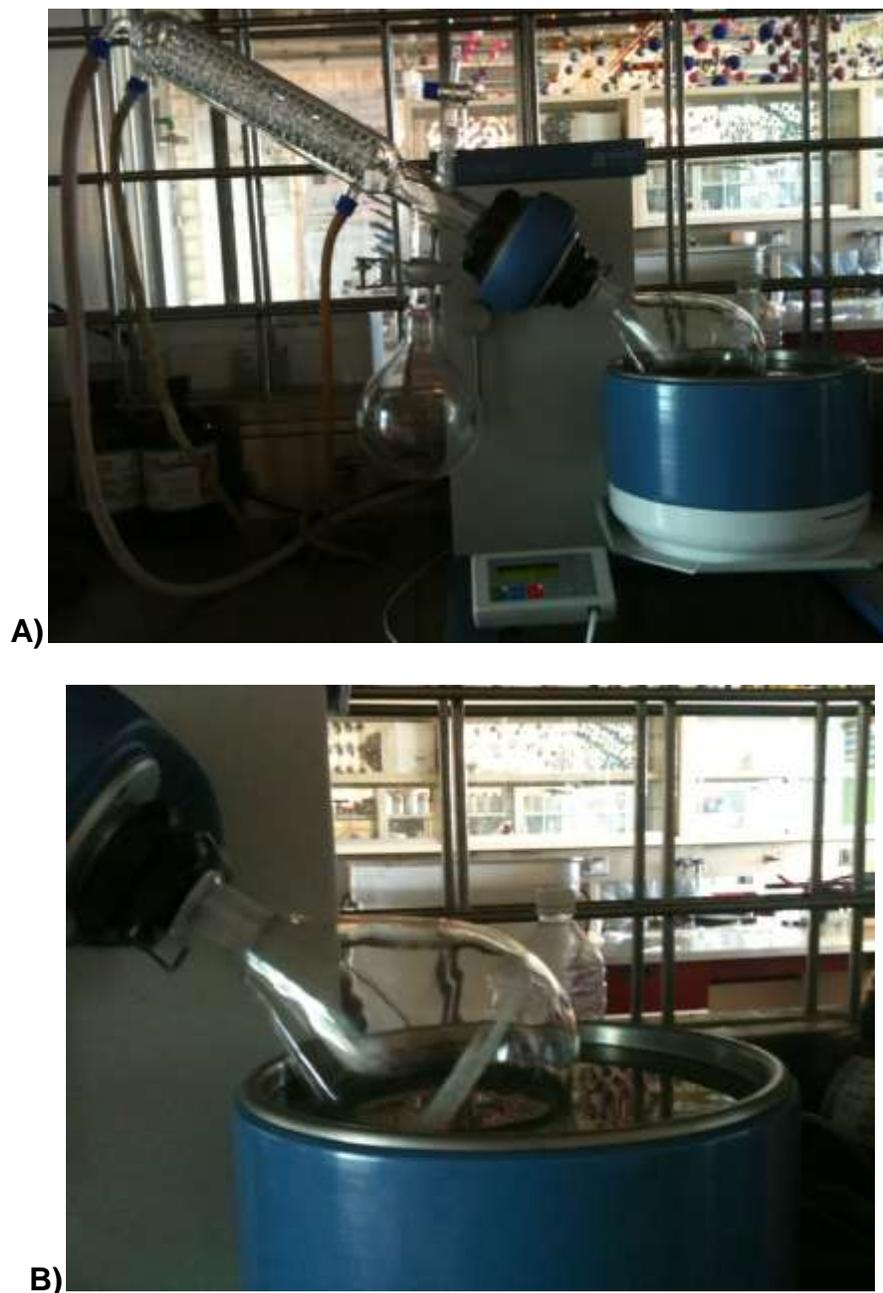


Figura 3.3 Rotovapor en el proceso de separación del etanol por destilación.

Al salir del rotovapor, se lavó el producto en un embudo de separación con 50 mililitros de diclorometano y 50 mililitros de agua; se agitó hasta que quedó relativamente homogéneo, como se muestra en la figura 3.4.



Figura 3.4 *El producto en un embudo de separación con 50 mililitros de diclorometano y 50 mililitros de agua.*

Se dejó reposar hasta que se separaron las dos fases, la fase inferior era el producto con diclorometano y la fase superior era simplemente la fase acuosa con la glicerina que se formó como subproducto, como se observa en la figura 3.5, estas fases al ser separadas, se desechó la fase acuosa y la fase del producto se volvió a lavar con 50 mililitros de diclorometano y 50 mililitros de agua, este paso se repitió hasta que la fase acuosa ya no presentó espuma.



Figura 3.5 *Las dos fases separadas.*

A nuestro producto se sometió a destilación en el rotovapor para recuperar el diclorometano (figura 3.6).



Figura 3.6 Rotovapor en el proceso de separación del diclorometano por destilación.

Al salir del rotovapor se le agregó una pequeña cantidad de sulfato de sodio para retirar la humedad que pudo haber quedado y se mandó al laboratorio de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) para su análisis.

Este procedimiento se repitió en todas las pruebas de transesterificación.

Los resultado de la Resonancia Magnética Nuclear se analizaron para observar los espectros de los esteres etílicos que se formaron (figura 3.7).

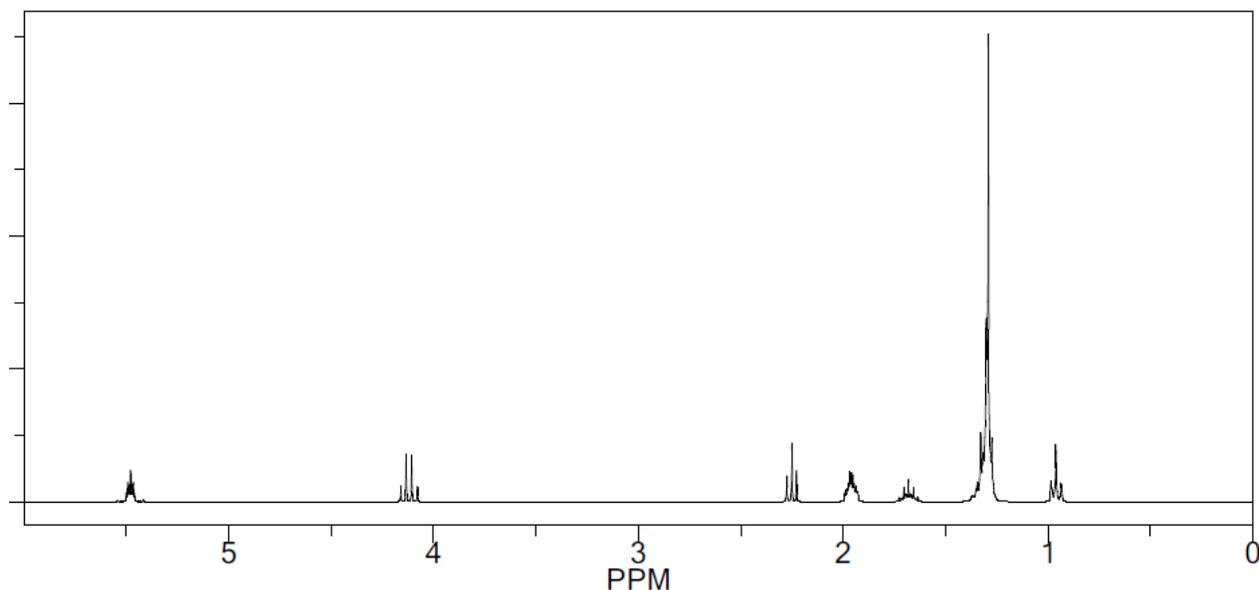


Figura 3.7 Espectro del Éster Etílico.¹⁷

Con el espectro obtenido del análisis de Resonancia Magnética Nuclear, se pudo calcular la conversión que tuvo la reacción transesterificación con el área bajo la curva de los protones del etileno y del glicerol.¹⁷

$$100\% * \left(\frac{5 * (pe)}{5 * (pe) + 6 * (pg)} \right) = \text{Conversión en \%}$$

Donde:

(pe)= Protones de etileno (de 5.1 a 5.5 ppm).

(pg)= Protones de glicerol. (de 4 a 4.4 ppm)

2.1 BASE DE CÁLCULO.

El aceite de canola está compuesto por

Composición	Peso Molecular	% de Composición
Omega 6	278.69 g/mol	20%
Acido Linoleico	278.43 g/mol	10%
Omega 9	282 g/mol	60%

Omega 6

$$278.69 \text{ g/mol} \frac{20\%}{100\%} = 55.938 \text{ g/mol}$$

Acido Linoleico

$$278.43 \text{ g/mol} \frac{10\%}{100\%} = 27.843 \text{ g/mol}$$

Omega 9

$$282 \text{ g/mol} \frac{60\%}{100\%} = 169.200 \text{ g/mol}$$

Para saber de que está formada la molécula del aceite de canola:

$$55.938 \text{ g/mol} + 27.843 \text{ g/mol} + 169.200 \text{ g/mol} = 252.981 \text{ g/mol}$$

Como son triglicéridos, por lo que:

$$252.981 \text{ g/mol} * 3 = 758.943 \text{ g/mol}$$

Como se manejó cinco moléculas de etanol por cada una de aceite (5:1) y sabemos que el etanol pesa 46.068g/mol:

$$(46.068\text{g/mol} \cdot 5) = 230.35\text{g/mol}$$

Como se quiere hacer 100g en peso de la muestra total:

Para el aceite de Canola.

$$(100\text{g}) \cdot \left(\frac{758.943\text{g/mol}}{230.35\text{g/mol} + 758.943\text{g/mol}} \right) = 76.7156949\text{g}$$

Para el etanol.

$$(100\text{g}) \cdot \left(\frac{230.35\text{g/mol}}{230.35\text{g/mol} + 758.943\text{g/mol}} \right) = 23.28430505\text{g}$$

Se ocupó la cantidad de 0.2 gramos de catalizador para la reacción de transesterificación y se sabe que el peso de la muestra total es de 100 gramos, por lo que:

$$(0.2\text{g}/100\text{g}) \cdot (100\%) = 0.2\%$$

Para determinar los porcentajes de reacción durante la transesterificación se usaron los resultados de los análisis obtenidos en Resonancia Magnética Nuclear, en la figura 3.8 se observa el resultado de la Resonancia Magnética Nuclear del producto No. 1, usando las partículas mesoporosas MCM-41 como catalizador.

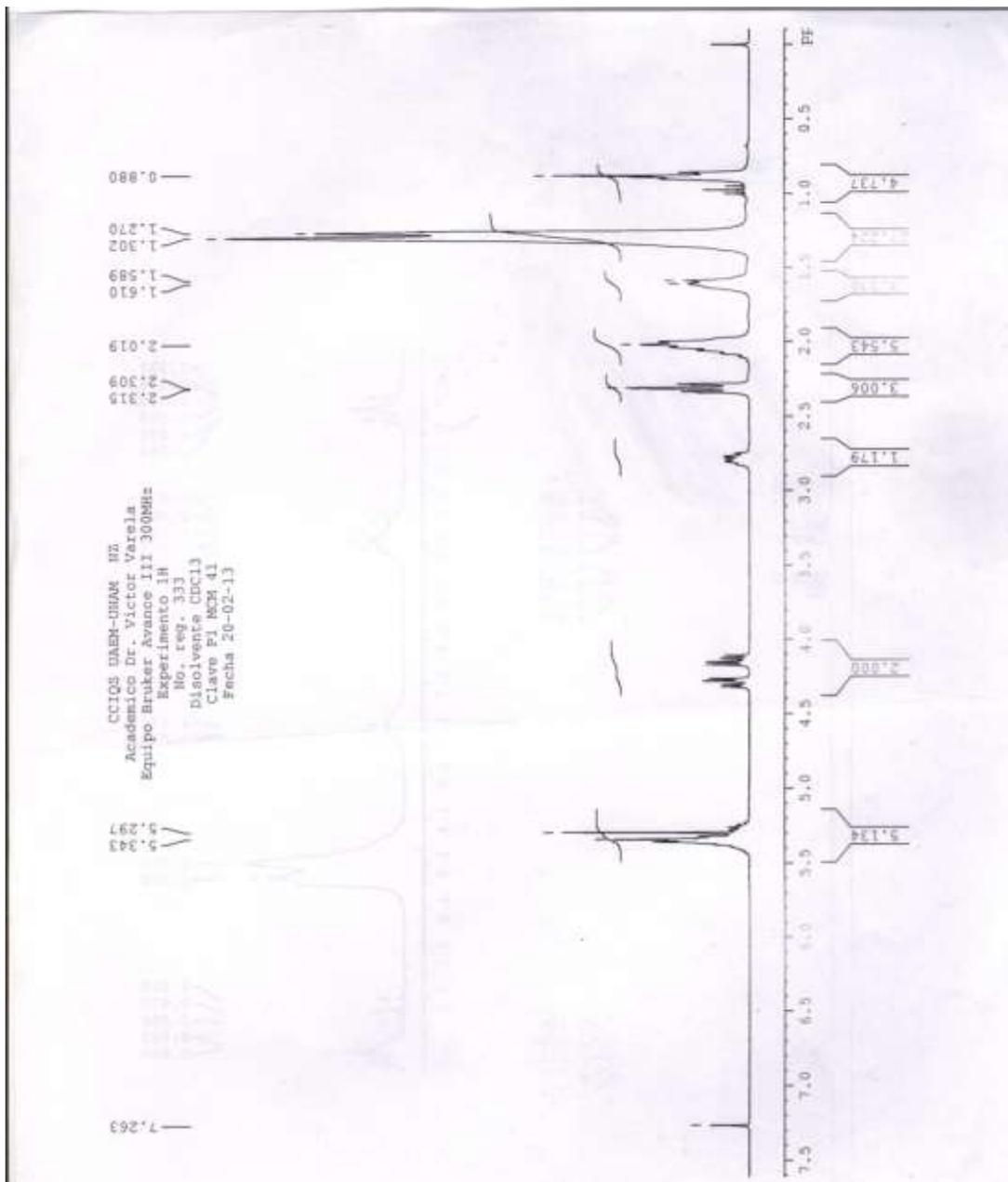


Figura 3.8 Resonancia Magnética Nuclear del producto No. 1, usando las partículas mesoporosas MCM-41 como catalizador.

Usando la ecuación para determinar el porcentaje de reacción (CAPÍTULO 2) se usaron los valores bajo la curva para los protones de etileno (**pe**) de 5.134 y de protones de glicerol (**pg**) de 2.000 provenientes de la figura 3.8, a continuación se observa los cálculos correspondientes para determinar el porcentaje de reacción.

Protones de etileno (**pe**)= 5.134

Protones de glicerol (**pg**)=2.000

$$100\% * \left(\frac{(5 * (5.134))}{(5 * (5.134) + 6 * (2.000))} \right) = 68.144412\%$$

Usando la ecuación para determinar el porcentaje de reacción (CAPÍTULO 2) se usaron los valores bajo la curva para los protones de etileno (**pe**) de 4.471 y de protones de glicerol (**pg**) de 2.001 provenientes de la figura 3.9, a continuación se observa los cálculos correspondientes para determinar el porcentaje de reacción.

Protones de etileno (**pe**)= 4.471

Protones de glicerol (**pg**)=2.001

$$100\% * \left(\frac{(5 * (4.471))}{(5 * (4.471) + 6 * (2.001))} \right) = 65.0592241\%$$

En la figura 3.10 se observa el resultado de la Resonancia Magnética Nuclear del producto No. 3 obtenido de la transesterificación del aceite de Canola, usando las partículas mesoporosas MCM-41 como catalizador.

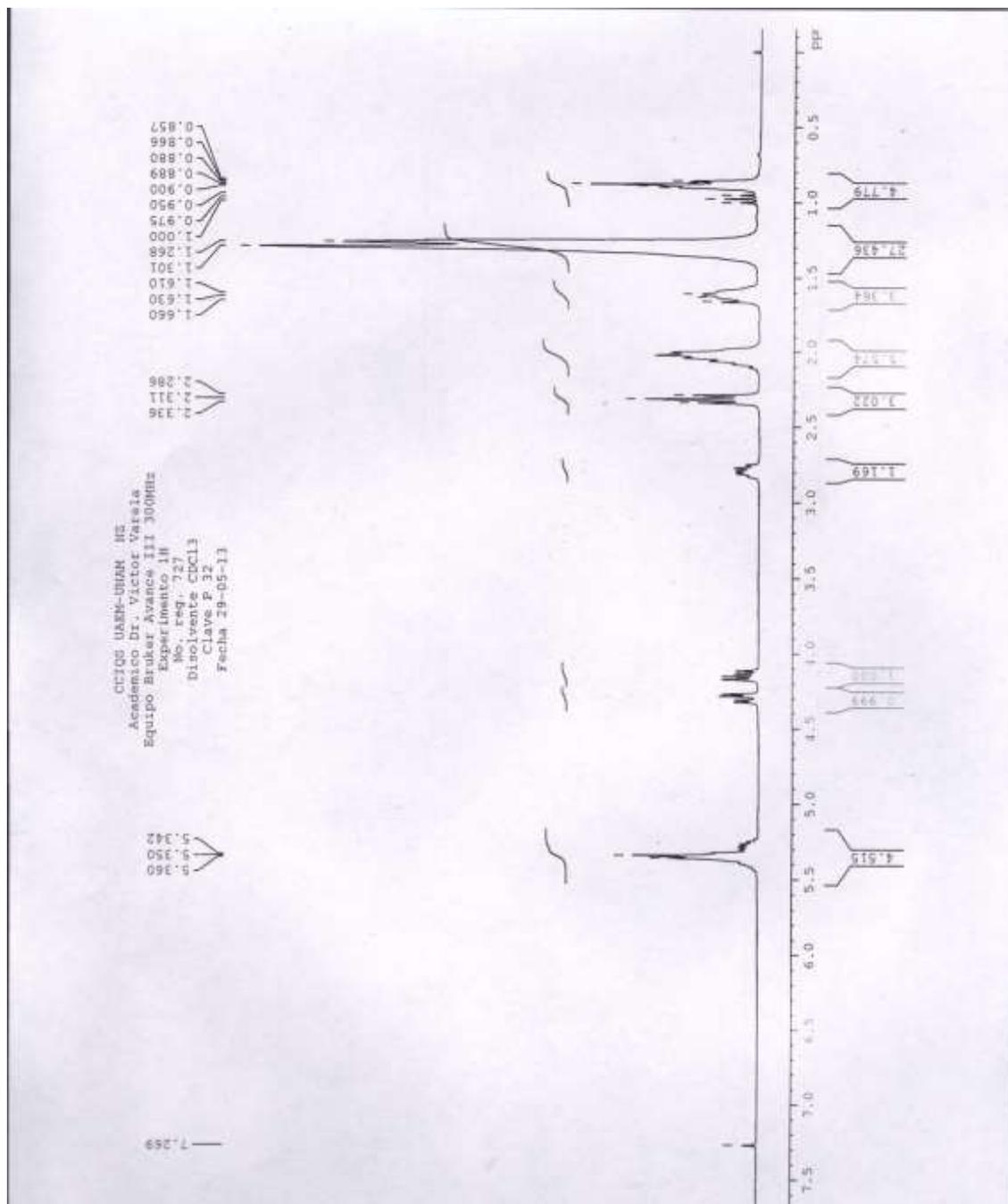


Figura 3.10 Resonancia Magnética Nuclear del producto No. 3, usando las partículas mesoporosas MCM-41 como catalizador.

Usando la ecuación para determinar el porcentaje de reacción (CAPÍTULO 2) se usaron los valores bajo la curva para los protones de etileno (**pe**) de 4.515 y de protones de glicerol (**pg**) de 1.999 provenientes de la figura 3.10, a continuación se observa los cálculos correspondientes para determinar el porcentaje de reacción.

Protones de etileno (**pe**)= 4.515

Protones de glicerol (**pg**)=1.999

$$100\% * \left(\frac{(5 * (4.515))}{(5 * (4.515) + 6 * (1.999))} \right) = 65.30417426\%$$

En la figura 3.11 se observa el resultado de la Resonancia Magnética Nuclear del producto No. 4 obtenido de la transesterificación del aceite de Canola, usando las partículas mesoporosas SBA-15 como catalizador.

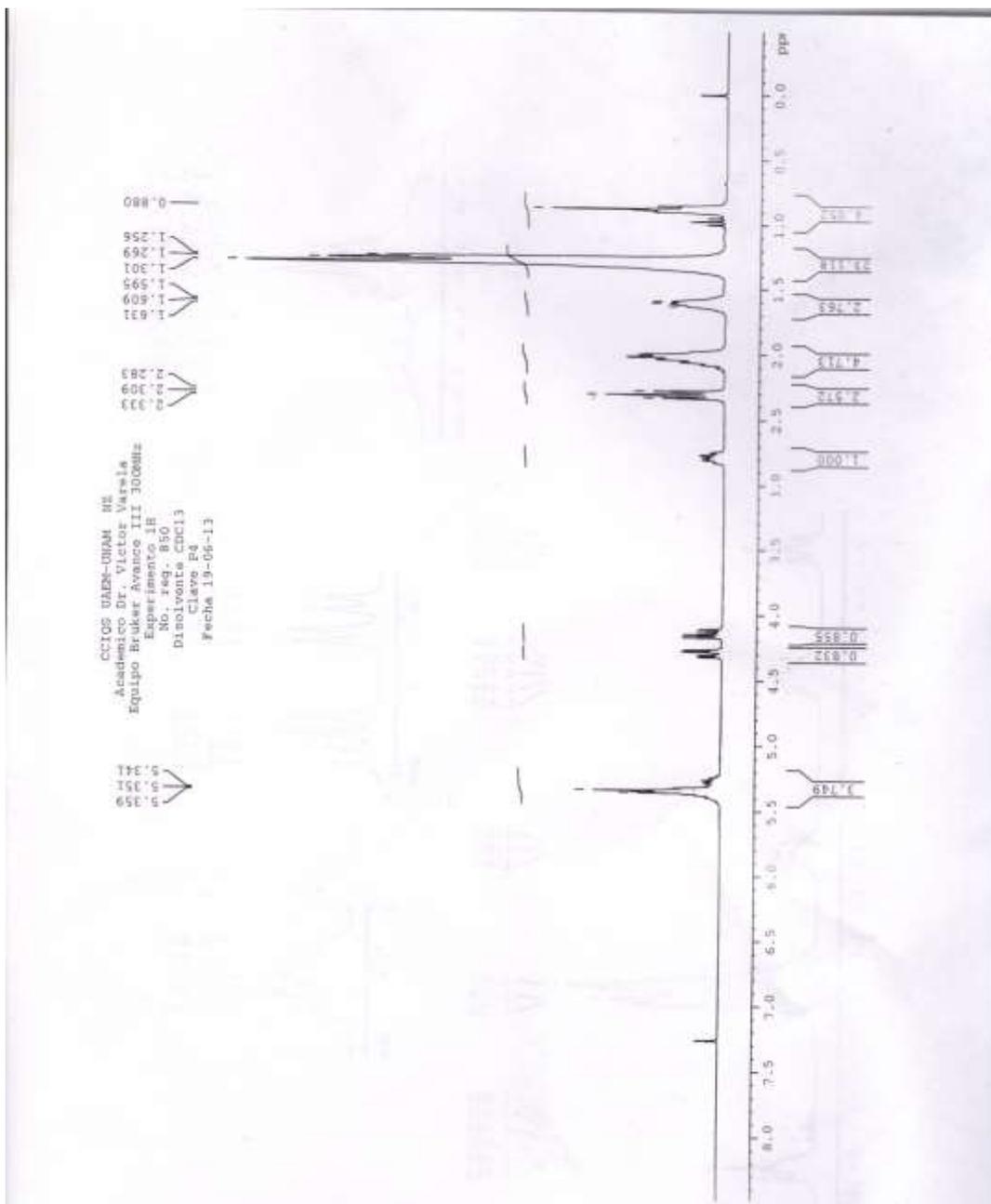


Figura 3.11 Resonancia Magnética Nuclear del producto No. 4, usando las partículas mesoporosas SBA-15 como catalizador.

Usando la ecuación para determinar el porcentaje de reacción (CAPÍTULO 2) se usaron los valores bajo la curva para los protones de etileno (**pe**) de 3.749 y de protones de glicerol (**pg**) de 1.687 provenientes de la figura 3.11, a continuación se observa los cálculos correspondientes para determinar el porcentaje de reacción.

Protones de etileno (**pe**)= 3.749

Protones de glicerol (**pg**)=1.687

$$100\% * \left(\frac{(5 * (3.749))}{(5 * (3.749) + 6 * (1.687))} \right) = 64.93573977\%$$

En la figura 3.12 se observa el resultado de la Resonancia Magnética Nuclear del producto No. 5 obtenido de la transesterificación del aceite de Canola, usando las partículas mesoporosas MCM-41 como catalizador.

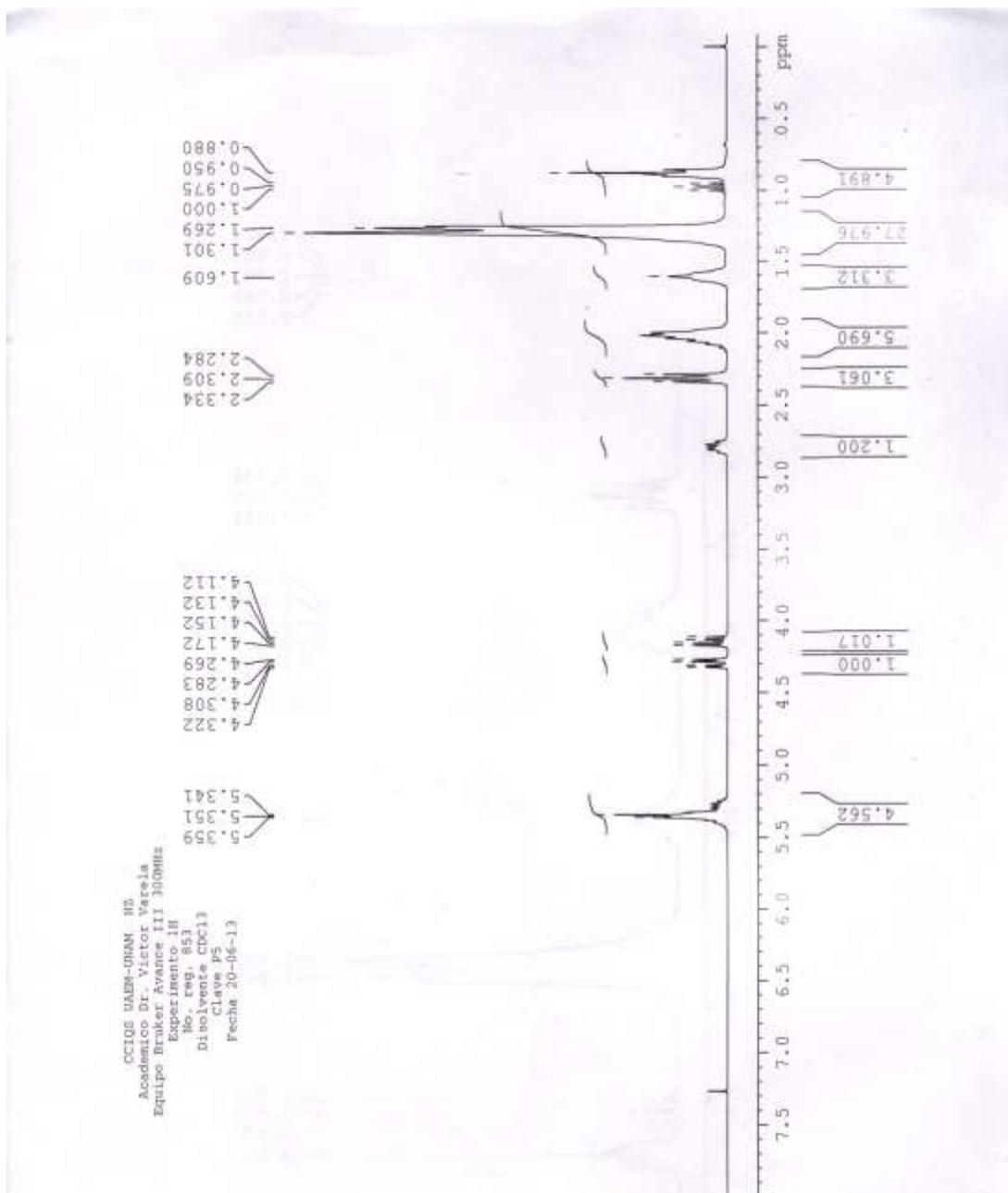


Figura 3.12 Resonancia Magnética Nuclear del producto No. 5, usando las partículas mesoporosas MCM-41 como catalizador.

Usando la ecuación para determinar el porcentaje de reacción (CAPÍTULO 2) se usaron los valores bajo la curva para los protones de etileno (**pe**) de 4.562 y de protones de glicerol (**pg**) de 2.017 provenientes de la figura 3.12, a continuación se observa los cálculos correspondientes para determinar el porcentaje de reacción.

Protones de etileno (**pe**)= 4.562

Protones de glicerol (**pg**)=2.017

$$100\% * \left(\frac{(5 * (4.562))}{(5 * (4.562) + 6 * (2.017))} \right) = 65.33570119\%$$

En la figura 3.13 se observa el resultado de la Resonancia Magnética Nuclear del producto No. 6 obtenido de la transesterificación del aceite de Canola, usando las partículas mesoporosas SBA-15 como catalizador.

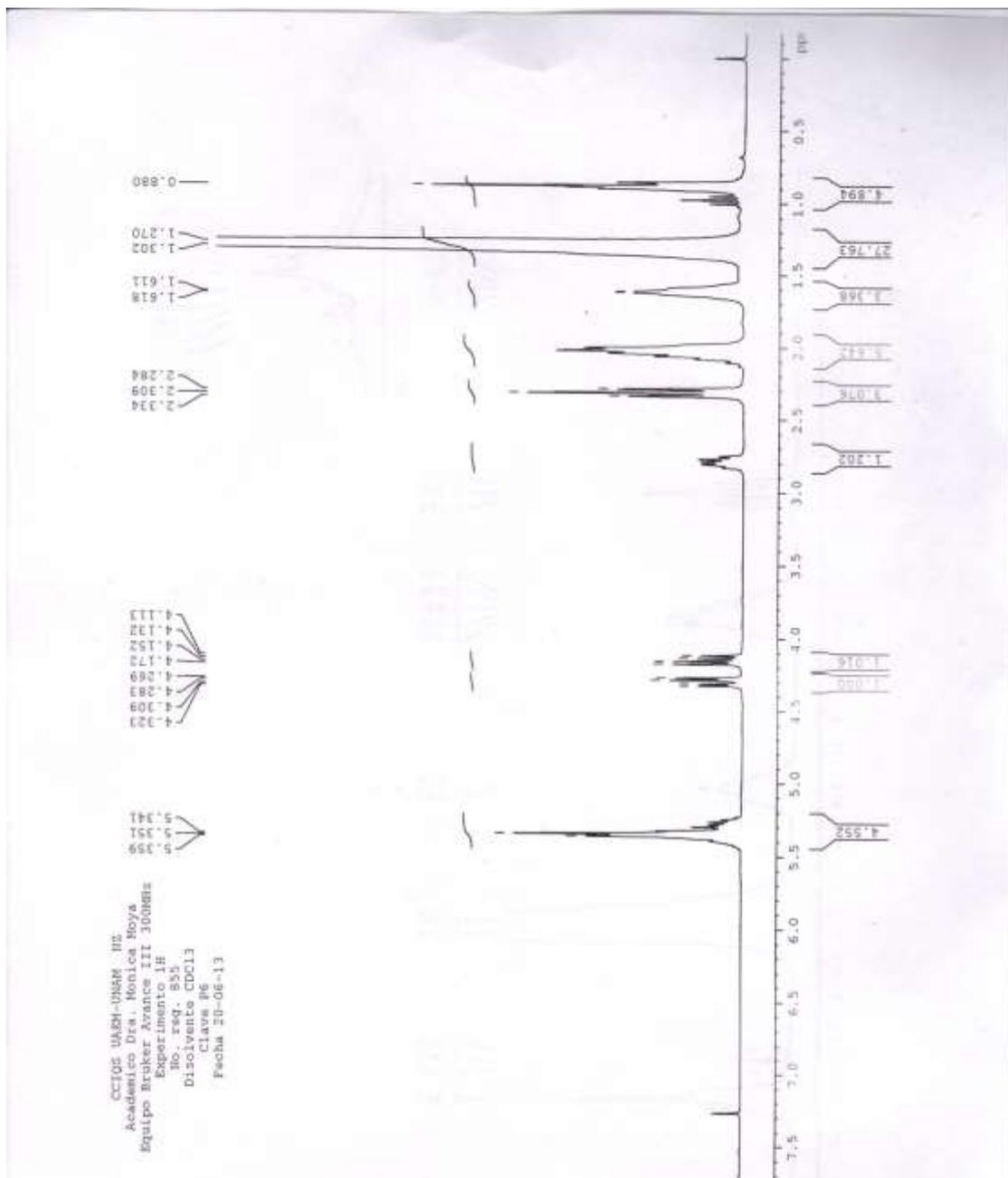


Figura 3.13 Resonancia Magnética Nuclear del producto No. 6, usando las partículas mesoporosas SBA-15 como catalizador.

Usando la ecuación para determinar el porcentaje de reacción (CAPÍTULO 2) se usaron los valores bajo la curva para los protones de etileno (**pe**) de 4.552 y de protones de glicerol (**pg**) de 2.016 provenientes de la figura 3.13, a continuación se observa los cálculos correspondientes para determinar el porcentaje de reacción.

Protones de etileno (**pe**)= 4.552

Protones de glicerol (**pg**)=2.016

$$100\% * \left(\frac{(5 * (4.552))}{(5 * (4.552) + 6 * (2.016))} \right) = 65.29722286\%$$

CAPÍTULO 3. RESULTADOS.

Cantidad de aceite de Canola (Capítulo2).	76.7156949g
Cantidad de etanol (Capítulo2).	23.28430505g
Porcentaje de catalizador de 0.2 gramos (Capítulo2).	0.2%
% Conversión de la prueba 1 con el catalizadorMCM-41 (Capítulo 2 y figura 3.8)	68.144412%
% Conversión de la prueba 2 con el catalizador SBA-15 (Capítulo 2 y figura 3.9)	65.0592241 %
% Conversión de la prueba 3 con el catalizadorMCM-41 (Capítulo 2 y figura 3.10)	65.30417426%

% Conversión de la prueba 4 con el catalizador SBA-15 (Capítulo 2 y figura 3.11)	64.93573977%
% Conversión de la prueba 5 con el catalizador MCM-41 (Capítulo 2 y figura 3.12)	65.33570119%
% Conversión de la prueba 6 con el catalizador SBA-15 (Capítulo 2 y figura 3.13)	65.29722286%

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En la prueba número 1 se usó 0.2 gramos de las partículas mesoporosas MCM-41 (CAPÍTULO 2) para llevar a cabo la transesterificación del aceite de canola en las condiciones de 60°C y se obtuvo una conversión del 68.1% (CAPÍTULO 2 y CAPÍTULO 3), esto nos dice que las partículas mesoporosas MCM-41 tienen un carácter catalítico muy bueno para llevar a cabo la transesterificación.

La separación de las partículas mesoporosas MCM-41 del producto en la prueba 1 se llevo con éxito, ya que el producto filtrado (CAPÍTULO 2) no presentó residuos del catalizador, esto nos indica que el catalizador al ser sólido, su separación es más fácil que la del Hidróxido de Sodio que se disuelve con el producto y requiere una gran cantidad de agua para su separación.

En la prueba número 2 se uso 0.2 gramos de las partículas mesoporosas SBA-15 (CAPÍTULO 2) para llevar a cabo la transesterificación del aceite de canola en las condiciones de 60°C y se obtuvo una conversión del 65% (CAPÍTULO 2 y CAPÍTULO 3), esto nos dice que las partículas mesoporosas SBA-15 tienen un carácter catalítico muy bueno al igual que las partículas mesoporosas MCM-41 para llevar a cabo la transesterificación.

La separación de las partículas mesoporosas SBA-15 del producto en la prueba 2 se llevo con éxito, de la misma forma que las partículas mesoporosas MCM-41 en la

prueba 1, ya que el producto de la prueba 2 al ser filtrado (CAPÍTULO 2) no presentó residuos del catalizador, esto nos indica que el catalizador al ser sólido, su separación es más fácil que la del Hidróxido de Sodio.

En la prueba número 3 se uso 0.2 gramos de las partículas mesoporosas MCM-41 (CAPÍTULO 2) para llevar a cabo la transesterificación del aceite de canola en las condiciones de 60°C y se obtuvo una conversión del 65.3% (CAPÍTULO 2 y CAPÍTULO 3), esto nos dice que las partículas mesoporosas MCM-41 no solo tienen un carácter catalítico muy bueno para llevar a cabo la transesterificación como se observó en la prueba número 1, si no que al ser reutilizados no pierden su función catalítica.

La separación de las partículas mesoporosas MCM-41 del producto en la prueba 3 se llevó con éxito, ya que el producto de la prueba 2 al ser filtrado (CAPÍTULO 2) no presentó residuos del catalizador, esto nos indica que efectivamente los materiales mesoporosos MCM-41 se logran separar por un proceso de filtración simple.

En la prueba número 4 se usó 0.2 gramos de las partículas mesoporosas SBA-15 (CAPÍTULO 2) para llevar a cabo la transesterificación del aceite de canola en las condiciones de 60°C y se obtuvo una conversión del 64.9% (CAPÍTULO 3), esto nos dice que las partículas mesoporosas SBA-15 no solo tienen un carácter catalítico muy bueno para llevar a cabo la transesterificación como se observó en la prueba número 2,

si no que al ser reutilizados no pierden su función catalítica al igual que las partículas mesoporosas MCM-41.

La separación de las partículas mesoporosas SBA-15 del producto en la prueba 4 se llevó con éxito, ya que el producto de la prueba 4 al ser filtrado (CAPÍTULO 2) no presentó residuos del catalizador, esto nos indica que efectivamente los materiales mesoporosos SBA-15 se logran separar por un proceso de filtración al igual que las partículas mesoporosas MCM-41.

En la prueba número 5 se uso 0.2 gramos de las partículas mesoporosas MCM-41 (CAPÍTULO 2) para llevar a cabo la transesterificación del aceite de canola en las condiciones de 60°C y se obtuvo una conversión del 65.3% (CAPÍTULO 3), esto nos dice que las partículas mesoporosas MCM-41 logran mantener su función catalítica en diferentes pruebas sin importar que sea reutilizado y que los catalizadores mesoporosos MCM-41 logra ser separado por completo por el proceso de filtración (CAPÍTULO 2), esto se observa al analizar que los resultados de las pruebas 1, 3 y 5 no presentan un cambio considerable, demostrando que la cantidad de catalizador usado es constante.

En la prueba número 6 se uso 0.2 gramos de las partículas mesoporosas SBA-15 (CAPÍTULO 2) para llevar a cabo la transesterificación del aceite de canola en las condiciones de 60°C y se obtuvo una conversión del 65.3% (CAPÍTULO 3), esto nos dice que las partículas mesoporosas SBA-15 logran mantener su función catalítica en

diferentes pruebas sin importar que sea reutilizado y que los catalizadores mesoporosos SBA-15 logran ser separados por el proceso de filtración por completo (CAPÍTULO 2) al igual que las partículas mesoporosas MCM-41, esto se observa al analizar que los resultados de las pruebas 2, 4 y 6 no presentan un cambio considerable, demostrando que la cantidad de catalizador usado es constante.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN.

Las partículas mesoporosas MCM-41 poseen un carácter catalítico muy bueno para llevar a cabo la reacción transesterificación, esto se observa en los resultados de las pruebas de transesterificación, ya que se mantuvieron entre el 65% y 68% con una cantidad de catalizador MCM-41 de 0.2% en peso.

Las partículas mesoporosas SBA-15, de la misma forma que las partículas mesoporosas MCM-41 poseen un carácter catalítico muy bueno para llevar a cabo la reacción transesterificación, esto se observa en los resultados de las pruebas de transesterificación, ya que se mantuvieron entre el 64% y 65% con una cantidad de catalizador SBA-15 de 0.2% en peso.

Las partículas mesoporosas MCM-41 al ser catalizadores sólidos, pueden ser separadas en su totalidad del producto fácilmente mediante un proceso de filtración simple a diferencia del hidróxido de sodio.

Las partículas mesoporosas SBA-15, de la misma forma que las partículas mesoporosas MCM-41 al ser catalizadores sólidos, pueden ser separadas en su totalidad del producto fácilmente mediante un proceso de filtración simple a diferencia del hidróxido de sodio.

Las partículas mesoporosas MCM-41 pueden ser reutilizadas en las reacciones de transesterificación sin que disminuyan su función catalítica, de esta forma se logra disminuir los costos de producción en la reacción.

Las partículas mesoporosas SBA-15 de la misma forma que las partículas mesoporosas MCM-41 pueden ser reutilizadas en las reacciones de transesterificación sin que disminuyan su función catalítica de esta forma se logra disminuir los costos de producción en la reacción.

De acuerdo a las normas establecidas por el ASTM (1.4.1 LEGISLACIÓN EXISTENTE), el biodiesel obtenido durante la experimentación no tiene las características necesarias para poder ser empleado en los motores de combustión interna, esto se debe a que la conversión de esteres que se obtuvieron requiere un mínimo del 96.5%, por lo tanto, a pesar de que las partículas mesoporosas MCM-41 y SBA-15 contiene un carácter catalítico muy bueno para llevar a cabo la transesterificación si es necesario utilizar una cantidad igual o mayor al 0.5% en peso de partículas mesoporosas MCM-41 como catalizador para llevar a cabo la reacción de Transesterificación y alcanzar la conversión mínima de 96.5% de esteres.

BIBLIOGRAFÍA.

- (1) Kargbo, D. M. Biodiesel Production from Municipal Sewage Sludges. *Energy & Fuels* 2010. 24. Pág. 2791-2793.
- (2) Esquivel, M. Síntesis, caracterización y aplicaciones de materiales periódicos mesoporosos organosilícicos. UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, Facultad de Ciencias, Departamento de Química Orgánica 2011. Pág. 14-32
- (3) Guerrero, V. V.; Shantz, D. F. Amine-Functionalized Ordered Mesoporous Silica Transesterification Catalysts. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2009. 48. Pág. 10375.
- (4) Wang, Q. Q.; Guerrero, V. V.; Ghosh, A.; Yeu, S.; Lunn, J. D.; Shantz, D. F. Catalytic properties of dendron–OMS hybrids. *Journal of Catalysis.* 2010. 269. Pág. 15,-16.
- (5) Alarcon, R. A.; Guerrero, L. A.; Pino, J. A. Temporal Blurring: A Privacy Model for OMS Users. In *User Modeling.* Berlin 2005. Vol. 3538. Pág. 417 - 421.
- (6) Yoo, Y.; Varela-Guerrero, V.; Jeong, H.-K. Isoreticular metal– organic frameworks and their membranes with enhanced crack resistance and moisture stability by surfactant-assisted drying. *Langmuir* 2011. Vol 27. Pág. 2652 - 2654.
- (7) Peña, J. D.; Cardona, E. M.; Marín, J. M.; Rios, L. A. Producción de Sílice Mesoporosa Empleando Monoestearato de Glicerol como Porógeno Oleoquímico. *Información tecnológica* 2009, Vol. 20. Pág. 67 - 71.

(8) Ascanio, M.; Quiñones, J.; Mantilla, J. Síntesis y Caracterización de Sílice Mesoporosa SBA-15 para Encapsular Partículas Magnéticas. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Física. Pág. 1 - 2.

(9) Aguirre, F.; Rodríguez, P.; Sosa, E.; Uzcátegui, Á.; Villarroel, M.; Imbert, F. Síntesis y caracterización de tamices moleculares mesoporosos del tipo MOR/MCM41. Revista de la Sociedad Química del Perú 2008. Vol. 74. Pág. 291 - 295.

(10) Montoya, J. A.; Schifter, I.; Valtierra, J. M.; Vázquez, A.; Moreno, G. R. Una novedosa síntesis y la caracterización básica de la estructura mesoporosa MCM-41. Journal of the Mexican Chemical Society 1997. Vol. 41. Pág. 115 - 117.

(11) Aguirre, F.; Rodríguez, P.; Síntesis y caracterización de tamices moleculares mesoporosos del tipo MOR/MCM41. Rev. Soc. Quím. Perú 2008. Vol.74 Pág. 291 - 295.

(12) Stratta, J. BIOCOMBUSTIBLES: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel. Argentina. 2000. Pág. 3 - 13.

(13) Cantor, L. Q.; Prieto, O. M. Dimensionamiento y montaje de un reactor piloto para la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales gastados. Bogota 2003. Pág. 25 - 41.

(14) Cifuentes Guerrero, Obtención de biodiesel a partir de aceite usado de cocina por transesterificación en dos etapas, con dos tipos de alcoholes. UNIVERSIDAD LIBRE FACULTAD DE INGENIERIA MAESTRIA EN INGENIERIA CON ENFASIS EN ENERGIAS ALTERNATIVAS M. F. 2010. Pág. 15 - 27.

(15) Sheehan, J.; Camobreco, V.; Duffield, J.; Graboski, M.; Shapouri, H. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Final report, National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US), 1998. Pág. II - VII

(16) GONZÁLEZ, M. V. & CONAE. 2007. COMISION NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGIA, Dirección de Ahorro de Energía en el Transporte, Biodiesel, (CONAE) 2007. Pág. 1 - 11.

(17) Yosirine Quetzalli, S. R. Desarrollo de membranas Catalíticas para la producción de biodiesel. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO, Facultad de Química, Ingeniería Química, mayo 2013. Pág. 74 - 79.

(18) <http://store.zecasin.ro/SBA-15.html>

(19) <http://www.crmd.cnrs-orleans.fr/Page-personnelle-de-Marie-Louise>

(20) <http://www.kofo.mpg.de/en/research/service-departements/chemical-crystallography-and-electron-microscopy->

(21) <http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/cy/c3cy00598d>

(22) <http://www.monografias.com/trabajos58/produccion-biodiesel/produccion-biodiesel2.shtml>

DEFINICIONES.

- Acidez: Exceso de iones de hidrógeno en una disolución acuosa, en relación con los que existen en el agua pura.
- Ácido: Sustancia que en disolución aumenta la concentración de iones de hidrógeno y se combina con las bases para formar las sales.
- Ácidos grasos: Biomolécula de naturaleza lipídica formada por una larga cadena hidrocarbonada lineal, de diferente longitud o número de átomos de carbono, cuyo extremo hay un grupo carboxilo.
- Ácidos grasos libres: Son ácidos grasos que tienen un grupo ácido pero que no están unidos a un alcohol.
- Alcalinos: Son aquellos que están situados en el grupo 1 de la tabla periódica. Todos tienen un solo electrón en su nivel energético más externo, con tendencia a perderlo, con lo que forman un ion monopositivo.
- Amorfa: Sin forma regular o bien determinada.

- Ataque nucleófilo: Es una reacción de adición donde en un compuesto químico un enlace π es eliminado mediante la adición de un nucleófilo, creándose dos nuevos enlaces covalentes.
- Átomo: Cantidad menor de un elemento químico que tiene existencia propia y se consideró indivisible. Se compone de un núcleo, con protones y neutrones, y de electrones orbitales, en número característico para cada elemento químico.
- Base: Sustancia que en disolución aumenta la concentración de iones hidroxilo y se combina con los ácidos para formar sales.
- Biodegradable: Dicho de un compuesto químico; Que puede ser degradado por acción biológica.
- Biomasa: Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
- Catálisis ácida: Es el proceso por el cual una reacción química es catalizada debido a la participación de un ácido.

- Catálisis básica: Es el proceso por el cual una reacción química es catalizada debido a la participación de una base.
- Catalizador: Cuerpo capaz de producir la transformación catalítica, ayudando a que se lleve a cabo una reacción química.
- Catálisis heterogénea: Es un término químico que describe la catálisis cuando el catalizador está en una fase diferente a los reactivos.
- Copolímeros: Macromolécula compuesta por dos o más monómeros o unidades repetitivas distintas, que se pueden unir de diferentes formas por medio de enlaces químicos.
- Defectos de red: Es cualquier perturbación en la periodicidad de la red molecular.
- Densidad: Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3).
- Densidad electrónica: Es probabilidad de encontrar un electrón en una cierta región del átomo.

- Destilación: Es la operación de separar, mediante vaporización y condensación en los diferentes componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada una de las sustancias.
- Electrófilo: Un electrófilo es un reactivo químico atraído hacia zonas ricas en electrones que participa en una reacción química aceptando un par de electrones formando un enlace con un nucleófilo.
- Energías alternas: Son aquellas fuentes de energía planteadas como alternativa a las tradicionales clásicas.
- Esteres: Compuesto orgánico que resulta de sustituir un átomo de hidrógeno de un ácido por un radical alcohólico.
- Extracción: Es un procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interfase.
- Hidrólisis: Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

- Inmiscibilidad: Incapacidad de algunos líquidos para mezclarse en cualquier proporción.
- Intercambios iónicos: Es un intercambio de iones entre dos electrolitos o entre una disolución de electrolitos y un complejo.
- Materiales macroporosos: Aquéllos que presentan un diámetro de poro superior a 500Å.
- Materiales mesoporosos: Aquéllos que presentan un diámetro de poro comprendido entre 20 y 500Å.
- Materiales microporosos: Aquéllos que presentan un diámetro de poro inferior a 20Å.
- Micelas: Se denomina micela al conjunto de moléculas que constituye una de las fases de los coloides.
- Moléculas: Unidad mínima de una sustancia que conserva sus propiedades químicas. Puede estar formada por átomos iguales o diferentes.
- Nanopartículas: Es una partícula microscópica con por lo menos una dimensión menor que 100nm.

- Partículas mesoporosas: Materiales que contienen poros que miden de 2 a 50nm.
- Petrodiesel: Es el gasóleo extraído del petróleo.
- Policondensación: Es un proceso de polimerización donde distintas sustancias reaccionan para crear uno o más monómeros, los cuales se unirán entre si para formar un dímero.
- Poro: Intersticio que hay entre las partículas de los sólidos de estructura discontinua.
- Precursores: Es una sustancia indispensable o necesaria para producir otra mediante una reacción química. Son los compuestos químicos que constituyen una primera etapa en un proceso químico y que actúan como sustrato en las etapas posteriores.
- Presión: Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie. Su unidad en el Sistema Internacional es el pascal.
- Purificación: Es el proceso físico o químico mediante el cual se retiran las impurezas de un medio.

- **Reacción:** Transformación de unos compuestos químicos en otros.
- **Renovable:** Que puede renovarse.
- **Sílices:** Mineral formado por silicio y oxígeno. Si es anhidro, forma el cuarzo y, si está hidratado, el ópalo.
- **Solvente:** Dicho de una sustancia: Que puede disolver y producir con otra una mezcla homogénea.
- **Soporte catalítico:** Soporte para formar catalizadores con determinadas formas o tamaños.
- **Surfactante:** Sustancia que reduce la tensión superficial de un líquido, y que sirve como agente humectante o detergente.
- **Temperatura:** está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como energía cinética, que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones.

- **Transesterificación:** Es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.
- **Viscosidad:** Propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas.
- **Zeolitas:** Son minerales aluminosilicatos microporosos que destacan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse reversiblemente.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.

- B100: Está conformado por un 100% de biodiesel.
- B2: Está conformado por un 20% de biodiesel y 80% de diesel de origen fósil.
- B20: Está conformado por un 20% de biodiesel con un 80% de diesel de origen fósil.
- B5: Está conformado por un 5% de biodiesel y 95% de diesel de origen fósil.
- CAP: Política Agrícola en Común.
- CCIQS: Centro en Conjunto de Investigación de Química Sustentable.
- MCM-41: (Mobile Crystalline Material) - 41
- RMN: Resonancia Magnética Nuclear
- SBA: Acrónimo de Santa Bárbara.
- SBA-15: (Acrónimo de Santa Bárbara) - 15