

UCUENCA

Facultad de Ciencias Químicas
Ingeniería Química

Obtención de un catalizador de óxido de cinc a partir de pilas C-Zn usadas para la elaboración de biodiesel con aceite vegetal reciclado.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico

Autoras:

Domenica Paulina Seminario Calle
CI: 0104713458
Correo electrónico: domepau1170@gmail.com

Melissa Isabel Ortega Maldonado
CI: 0106817331
Correo electrónico: meli61097@gmail.com

Directora:
Ing. Verónica Patricia Pinos Vélez. PhD
CI: 0103550711

Cuenca, Ecuador

1 de junio de 2022

RESUMEN

En la presente investigación se elaboró un catalizador de óxido de cinc a partir de pilas usadas de cinc soportado en carbono para elaboración de biodiesel con aceite vegetal reciclado. Para llevar a cabo este proceso primero se recolectaron pilas Zn-C de la empresa ETAPA EP, se desmantelaron y se separaron cada uno de sus componentes (cinc, óxido de manganeso y barra de carbón). La carcasa de cinc fue sometida a un proceso de hidrólisis que constó de lixiviación ácida, purificación, cristalización y calcinación teniendo como resultado un catalizador de óxido de cinc. Paralelamente, la barra de carbón fue sometida a un tratamiento con ácido nítrico. Luego, el catalizador fue impregnado en la barra mediante evaporación de solventes. Posteriormente, se realizó un pre tratamiento de filtrado, lavado y secado del aceite vegetal reciclado obtenido, igualmente, de la empresa ETAPA EP. Para la obtención de biodiesel se realizó la transesterificación del aceite vegetal tratado con etanol empleando una relación molar 6:1; la reacción se realizó en agitación constante durante una hora a 230° C. Se evaluaron dos catalizadores de óxido de cinc al 5% P/P uno másico y otro soportado en carbono.

Los catalizadores fueron caracterizados mediante el espectrofotómetro de UV-visible, el cual midió el tamaño de la partícula. La pureza del óxido de cinc se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica, dando como resultado un 98.49 % de pureza. Además, el rendimiento del proceso de obtención del catalizador fue de 56 %. Asimismo, se realizó un análisis BET (Brunauer, Emmett y Teller) para conocer el área superficial y tamaño de poro de la barra de carbón, obteniendo un área superficial de 1.927 m²/g y volumen de poro de 0.7894 cm³/g. Para el biodiesel, se realizó un análisis de poder calorífico, contenido de agua, viscosidad, densidad y rendimiento; teniendo como resultados 37 553 J/g, 0.005%, 4.1887 mm²/s, 0.8916 g/cm³ y 70.908 %. Los resultados de los parámetros ya mencionados se encuentran dentro del rango de las normativas de la INEN 2482, ASTM B 100 y EN 590. Los resultados fueron comparados con un blanco el cuál no cumplió los parámetros antes mencionados según las normativas, el rendimiento del blanco fue de un 5 %.

En esta investigación se obtuvo un catalizador de alta pureza capaz de optimizar el proceso de obtención de biodiesel, mejorando el rendimiento de la reacción de transesterificación en comparación con el blanco. Se obtuvo el mejor resultado al usar el

UCUENCA

catalizador soportado en la densidad, viscosidad y rendimiento de la reacción, pero no siendo así con el poder calorífico. El rendimiento del biodiesel es comparable con los resultados de otros autores que usan catalizadores similares.

Palabras Clave: Aceite reciclado. Biodiesel. Catalizador. Óxido de cinc. Pilas Zn-C.

ABSTRACT

In the present research work supported zinc oxide catalyst was made out of spent Zn-C batteries in order to elaborate biodiesel with recycled vegetable oil. To carry out this process recollection of batteries were made first at the company ETAPA EP, after they were dismantled and their components were separated (zinc, manganese oxide and carbon rod). The zinc casing had a hydrolysis process that consisted of acid lixiviation, purification, crystallization and calcination; resulting in a zinc oxide catalyst out of this process. The carbon rod was treated with nitric acid. Then the catalyst was impregnated in the rod by solvent evaporation. After, recycled vegetable oil had a treatment also obtained from ETAPA EP; which consisted of filtering, washing and drying. In order to obtain biodiesel treated vegetable oil and ethanol was used in a molar ratio of (6:1), the reaction took at 230°C for 1 hour with constant agitation. The zinc oxide was used as a catalyst in 5% W/W both supported and unsupported.

Catalyst was characterized by UV-Visible spectrophotometer, which measured the particle size. Zinc oxide purity was determined by an atomic absorption spectrophotometer resulting in 98.49%. In addition, yield of the catalyst production was 56%. Likewise, BET (Brunauer, Emmett y Teller) analysis has been done in order to know the superficial area and pore size of the carbon rod, obtaining 1.927 m²/g and 0.7894 cm³/g respectively. In biodiesel samples, calorific power, water quantity, viscosity, density and yield were determinate. Having as results 37 553 J/g, 0.005%, 4.1887 mm²/s, 0.8916 g/cm³ and 70.908% respectively. All of those results are within in the range given by the regulations INEN 2482, ASTM B 100 and EN 590. It is worth to say that blank did not meet the aforementioned parameters by the regulations, additionally its yield was of 5%.

The research showed that a high purity catalyst was obtained and the process can be optimized to improve the yield. The catalyst doesn't need size reduction because the pores' support are in macro scale. A better result was obtained at density, viscosity and reaction yield when a supported catalyst was used, but not so with calorific power. Biodiesel yield was higher compared with other authors that used the same catalyst.

Keywords: Batteries Zn-C. Biodiesel. Catalyst. Recycled oil. Zinc oxide.

Tabla de contenido

RESUMEN	2
ABSTRACT.....	4
ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
CLAÚSULAS.....	11
AGRADECIMIENTOS	15
DEDICATORIA.....	16
INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS	19
1. MARCO TEÓRICO	20
1.1. Reciclaje de pilas y aceites	20
1.1.1. Generalidades de pilas	20
1.1.1.1. Clasificación de pilas	20
1.1.1.2. Tipos de pilas.....	21
1.1.1.3. Reciclaje de pilas.....	23
1.1.1.4. Métodos de obtención del cinc de las pilas	25
1.1.2. Generalidades del aceite.....	26
1.1.2.1. Aceites minerales	26
1.1.2.2. Aceites vegetales	26
1.1.2.3. Consecuencias de una mala gestión	26
1.1.1.4. Reciclaje de aceite	27
1.2. Biodiesel, catalizador y alcohol.	28
1.2.1. Generalidades de Biodiesel.....	28
1.2.2. Obtención de Biodiesel	29
1.2.3. Materia empleada para la obtención de biodiesel	29
1.2.3.1. Triglicéridos	29
1.2.3.2. Catalizador.....	31
1.2.3.2.1. Catalizadores homogéneos	31
1.2.3.2.2. Catalizadores Heterogéneos	32
1.2.3.3. Alcohol.....	32
1.2.4. Parámetros que influyen en la reacción de transesterificación	32
1.2.5. Normativa para la calidad del biodiesel	34

1.3. Métodos de caracterización de catalizadores, biodiesel y seguimiento de la reacción.	37
1.3.1. Métodos de caracterización de Óxido de Cinc	37
1.3.1.1. <i>Pureza por Absorción Atómica</i>	37
1.3.1.2. <i>Tamaño de partícula por UV-Visible</i>	37
1.3.2. Métodos de caracterización del Carbón	38
1.3.2.1. <i>Tamaño de poro y Área superficial (Método BET)</i>	38
1.3.3. Métodos de caracterización del Aceite	40
1.3.3.1. <i>Método para determinación de ácidos grasos del aceite</i>	40
1.3.3.2. <i>Método para densidad del aceite</i>	41
1.3.3.3. <i>Método para viscosidad del aceite</i>	42
1.3.3.4. <i>Método para contenido de Agua en el aceite</i>	42
1.3.4. Métodos de caracterización del Biodiesel	43
1.3.4.1. <i>Método para determinación de Poder Calorífico</i>	43
1.3.4.2. <i>Método para determinación de Densidad en Biodiesel</i>	43
1.3.4.3. <i>Método para Viscosidad en Biodiesel</i>	44
1.3.4.4. <i>Método para Cantidad de agua en Biodiesel</i>	44
1.3.4.5. <i>Método para Rendimiento en Biodiesel</i>	44
2. METODOLOGÍA	45
2.1. Obtención y tratamiento de subproductos	45
2.1.1. Obtención de Óxido de Cinc	45
2.1.2. <i>Carbón</i>	49
2.1.2.1. Tratamiento del carbón	49
2.1.2.2. Impregnación de carbón	49
2.1.3. Tratamiento del Aceite	50
2.1.4. Obtención del Biodiesel	51
2.2. Caracterización de productos obtenidos	52
2.2.1. Caracterización de Óxido de Cinc	52
2.2.1.1. <i>Pureza de óxido de cinc</i>	52
2.2.1.2. <i>Tamaño de partícula</i>	52
2.2.1.3. <i>Rendimiento de la reacción</i>	53
2.2.2. Caracterización de Carbón	53
2.2.2.1. <i>Tamaño de poro y Área superficial</i>	53
2.2.3. Caracterización de Aceite	53
2.2.3.1. <i>Derivatización de la muestra de aceite</i>	53
2.2.3.2. <i>Determinación de ácidos grasos en el Aceite</i>	57

UCUENCA

2.2.3.3.	<i>Densidad del Aceite</i>	57
2.2.3.4.	<i>Viscosidad del Aceite</i>	57
2.2.3.5.	<i>Determinación de agua en Aceite</i>	59
2.2.4.	<i>Biodiesel</i>	60
2.2.4.1.	<i>Poder calorífico de Biodiesel</i>	60
2.2.4.2.	<i>Densidad de Biodiesel</i>	60
2.2.4.3.	<i>Viscosidad de Biodiesel</i>	61
2.2.4.4.	<i>Cantidad de agua de Biodiesel</i>	61
2.2.4.5.	<i>Rendimiento de Biodiesel</i>	61
2.3.	Análisis estadístico	61
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
3.1.	Resultados y discusión de Óxido de Cinc	62
3.1.1.	Pureza de óxido de cinc obtenida	62
3.1.2.	Tamaño de partícula obtenido	63
3.1.3.	Rendimiento de óxido de cinc obtenido	65
3.2.	Resultados y discusión de Carbón	65
3.2.1.	Tamaño de poro y Área superficial obtenidos.....	65
3.3.	Resultados y discusión de Aceite	66
3.3.1.	Ácidos grasos determinados en el aceite	66
3.3.2.	Cantidad de Agua determinada en el aceite.....	67
3.3.3.	Densidad determinada del aceite.....	67
3.3.4.	Viscosidad determinada del aceite.....	68
3.4.	Biodiesel	69
3.4.1.	Poder calorífico determinado de biodiesel	69
3.4.2.	Densidad determinada de biodiesel	70
3.4.3.	Viscosidad determinada de biodiesel	71
3.4.4.	Cantidad de agua determinada en biodiesel.....	72
3.4.5.	Rendimiento obtenido en biodiesel.....	72
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA	78
	REFERENCIAS	90
	ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Esquema de una pila Zn-C</i> , tomado de commons.wikimedia.org.....	23
Figura 2: <i>Disposición final de pilas</i> , tomado de (Pilataxi, 2020).....	24
Figura 3: <i>Esquema de una pila Zn-C</i>	25
Figura 4: <i>Esquema de procesos de reciclaje de pilas</i>	25
Figura 5: <i>Reacción de Transesterificación</i> , tomado de (Sánchez Cruz, 2017).....	29
Figura 6: <i>Tipos de catalizadores homogéneos, Autoría propia</i> , tomado de (Changmai et al. , 2020; Thangaraj et al., 2019).....	31
Figura 7: <i>Tipos de catalizadores heterogéneos, Autoría propia</i> , tomado de (Bohlouli & Mahdavian, 2021; Cabello, Rincon, et al., 2016).....	32
Figura 8: <i>Clasificación de isotermas</i> , tomado de (Ambroz et al., 2018).....	40
Figura 9: <i>Contenedor de pilas recicladas</i>	45
Figura 10: <i>Desmantelamiento de pilas</i>	45
Figura 11: <i>Lixiviación con ácido clorhídrico</i>	46
Figura 12: <i>Lixiviación con ácido sulfúrico</i>	46
Figura 13: <i>Filtración de impurezas</i>	47
Figura 14: <i>Cristales de óxido de cinc</i>	48
Figura 15: <i>Solución de hidróxido de cinc</i>	48
Figura 16: <i>Óxido de cinc obtenido</i>	49
Figura 17: <i>Barras de carbón en ácido nítrico</i>	49
Figura 18: <i>Barras de carbón impregnada con óxido de cinc</i>	50
Figura 19: <i>Separación del aceite lavado del agua</i>	50
Figura 20: <i>Mezcla de catalizador no soportado con etanol</i>	51
Figura 21: <i>Mezcla de catalizador soportado con etanol</i>	51
Figura 22: <i>Separación de fases usando catalizador no soportado</i>	52
Figura 23: <i>Secado del estándar interno</i>	54
Figura 24: <i>Incubación de las muestras</i>	54
Figura 25: <i>Mezclado y aparición del precipitado</i>	55
Figura 26: <i>Incubación y enfriamiento de las muestras</i>	55
Figura 27: <i>Centrifugación de las muestras</i>	56
Figura 28: <i>Fase orgánica</i>	56
Figura 33: <i>Viscosímetro de Ostwald con termómetros en inmersión</i>	58
Figura 34: <i>Viscosímetro de Ostwald con límites</i>	58
Figura 29: <i>Titulador Mettler Toledo</i>	59
Figura 30: <i>Cantidad de muestra de aceite inyectada</i>	59

UCUENCA

Figura 31: Medición del poder calorífico de muestras.	60
Figura 32: Medición de la densidad de las muestras.	61
Figura 35: Óxido de cinc obtenido con formación de cristales de sulfato de cinc.	62
Figura 36: Óxido de cinc obtenido sin formación de cristales de sulfato de cinc	63

Tabla 1. <i>Composición de pilas Zn-C tipo D.</i>	22
Tabla 2. <i>Clasificación del biodiesel según su generación.</i>	29
Tabla 3. <i>Perfil de ácidos grasos presentes en mezclas de aceites vegetales reciclados en México.</i>	30
Tabla 4. <i>Condiciones de la reacción de transesterificación</i>	33
Tabla 5. <i>Requisitos del Biodiesel</i>	34
Tabla 6. <i>Requisitos de viscosidad del biodiesel</i>	44
Tabla 7. <i>Parámetros para el uso del cromatógrafo.</i>	57
Tabla 8. <i>Resultados de obtención de óxido de cinc</i>	62
Tabla 9. <i>Resultados de análisis en UV visible de la muestra de ZnO.</i>	63
Tabla 10. <i>Resultados en porcentaje de cantidad de nano partículas de ZnO</i>	65
Tabla 11. <i>Resultados de análisis del carbón por método BET</i>	66
Tabla 12. <i>Pesos de ácidos grasos presentes en la muestra de aceite</i>	66
Tabla 13. <i>Resultados de densidad de aceite reciclado</i>	67
Tabla 14. <i>Resultados de viscosidad del aceite reciclado</i>	68
Tabla 15. <i>Resultados de análisis de ésteres de ácidos grasos de muestra</i>	69
Tabla 16. <i>Resultados del poder calorífico de las muestras de biodiesel</i>	69
Tabla 17. <i>Resultados de la densidad de las muestras de biodiesel</i>	70
Tabla 18. <i>Resultados de la viscosidad de las muestras de biodiesel</i>	71
Tabla 19. <i>Resultados de análisis de ésteres de ácidos grasos de la muestra MC1.</i>	73
Tabla 20. <i>Resultados de rendimiento de muestras de biodiesel</i>	73

CLAÚSULAS

Yo, Domenica Paulina Seminario Calle en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Obtención de un catalizador de óxido de cinc a partir de pitas C-Zn usadas para la elaboración de biodiesel con aceite vegetal reciclado", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 1 de junio de 2022



Doménica Paulina Seminario Calle
CI:0104713458

UCUENCA

Yo, Melissa Isabel Ortega Maldonado en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Obtención de un catalizador de óxido de cinc a partir de pitas C-Zn usadas para la elaboración de biodiesel con aceite vegetal reciclado", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 1 de junio de 2022



Melissa Isabel Ortega Maldonado

C.I: 0106817331

UCUENCA

Domenica Paulina Seminario Calle, autora del trabajo de titulación "Obtención de un catalizador de óxido de cinc a partir de pitas C-Zn usadas para la elaboración de biodiesel con aceite vegetal reciclado", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 1 de junio de 2022



Doménica Paulina Seminario Calle
CI:0104713458

UCUENCA

Melissa Isabel Ortega Maldonado, autora del trabajo de titulación "Obtención de un catalizador de óxido de cinc a partir de pitas C-Zn usadas para la elaboración de biodiesel con aceite vegetal reciclado", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 1 de junio de 2022



Melissa Isabel Ortega Maldonado

C.I: 0106817331

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra tutora Ing. Verónica Pinos. PhD por su amistad, tiempo, paciencia, conocimientos, apoyo y orientación a lo largo del desarrollo de esta investigación. Sin su ayuda no habiéramos podido continuar.

A la Ing. Verónica Saetama, a la Dra. Johanna Ortiz PhD, de igual forma a todos los docentes que formaron parte de esta tesis que gracias a sus conocimientos y ayuda en el laboratorio hemos podido realizar tanto la parte práctica como teórica de este trabajo

Melissa y Domenica

UCUENCA

DEDICATORIA

A mi amada madre, Nube Calle, quien siempre me ha brindado su apoyo incondicional, me ha dado ejemplo de trabajo y ha hecho grandes esfuerzos para que pueda seguir adelante.

A mi padre, Marcelo Seminario, quien siempre quiso lo mejor para mí y me brindó la mejor educación.

A mi abuelo, Luis Calle, quien siempre ha estado pendiente de mi bienestar, me ha inculcado a ser una profesional, me ha brindado su cariño y que con sus historias siempre me saca una sonrisa

A mis tíos Pedro, Cecilia, Jovita y Jaime quienes a pesar de la distancia siempre me han acompañado y apoyado en todas las etapas de mi vida.

A mi mascota Máximo que a pesar que dormido me acompañó todas las noches en la redacción de la tesis y fue mi apoyo emocional.

A Henry, quien me ha apoyado en momentos difíciles y ha estado conmigo en momentos felices.

Domenica

UCUENCA

A Dios por darme fuerza de avanzar para conseguir cada una de mis metas deseadas.

A mis amados padres, Rubén y Silvia quienes se han sacrificado durante todos estos años para darme lo mejor. Son mi ejemplo a seguir, sin ellos no sería la persona que soy hoy en día. Para mí son y serán lo más importante que Dios me pudo dar.

A mi abuelita, Bertha que a pesar de no estar junto a mí me dejó sus valores como persona, sus enseñanzas y recuerdos que para mí son un tesoro invaluable. Estaría muy orgullosa de este logro y me hubiera encantado compartirlo junto a ella.

A mi querido hermano, que siempre ha estado apoyándome en todo momento.

A todos mis amigos y seres queridos.

Melissa

INTRODUCCIÓN

Las pilas son dispositivos portátiles que se usan para obtener energía eléctrica, lo cuales la mayoría son desechables. Se ha visto en los últimos años que el consumo de pilas ha ido en aumento. Según el INEC (2020) el 83.04 % de las familias ecuatorianas usan pilas, lo que equivale a 16.8 millones de personas. En la ciudad de Cuenca se reciben en los puntos de recolección alrededor de 35-40 kg de pilas por cada mes (O. Chicaiza, comunicación personal, 4 de agosto de 2021). Estas contienen metales pesados, los cuales al no ser tratados de una manera adecuada pueden causar problemas graves hacia la salud de la población y de contaminación de la biosfera.

Actualmente, ETAPA EP es el organismo encargado de la gestión de estos desechos en la ciudad de Cuenca. Dicho organismo somete a las pilas a tratamientos para estabilizarlas y finalmente mezclarlas con concreto para confinarlas (O. Chicaiza, comunicación personal, 4 de agosto de 2021).

Por otra parte, el aceite vegetal comestible es un triglicérido que se puede obtener de cualquier planta, el cual es ampliamente usado por la población. Según Vásconez, (2018) en Ecuador se desechan 54 millones de litros de aceite al año donde el 70 % es vegetal. En la ciudad de Cuenca se recolectan aproximadamente 60 galones mensuales de dicho aceite (O. Chicaiza, comunicación personal, 2021). La mala gestión en la disposición final del aceite puede conllevar cambios negativos en el aire, suelo y agua. Esto se debe a que dicha sustancia contiene elementos tóxicos que pueden llegar a ser cancerígenos y provocar lesiones cerebrales, mutaciones, entre otros (ETAPA, 2015a). Al igual que en las pilas, ETAPA EP es el organismo encargado de la gestión de este desecho. El proceso que se da es la recolección del aceite y almacenamiento, actualmente no cuenta con un tratamiento para su disposición final (O. Chicaiza, comunicación personal, 2021).

El problema con respecto a las pilas es buscar un proceso alternativo de disposición final ya que el actual conlleva uso de mucho espacio físico. Con respecto al aceite es necesario realizar un tratamiento ya que al momento no se cuenta con ninguno. Con los problemas encontrados se plantea que a partir de los componentes de las pilas recicladas de carbono

UCUENCA

cinc se obtengan catalizadores. Dichos subproductos pueden tener un uso industrial como la producción de biodiesel a partir de la transesterificación de aceite vegetal reciclado.

OBJETIVOS

Objetivo General.

Preparar catalizadores a partir de pilas recicladas de cinc-carbono para la obtención de biodiesel a base de aceite vegetal reciclado.

Objetivos Específicos.

- Preparar y caracterizar catalizadores de óxido de cinc soportados.
- Pretratar el aceite vegetal reciclado.
- Preparación y caracterización del biodiesel con los catalizadores elaborados usando el aceite vegetal pretratado

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Reciclaje de pilas y aceites

1.1.1. Generalidades de pilas

Una pila es un dispositivo que por medio de una reacción electroquímica de óxido-reducción convierte la energía química en eléctrica. Esta se compone de una o más celdas conectadas en serie o paralelo, esto varía según el voltaje de salida deseado. Las celdas se componen de un ánodo, un cátodo y un electrolito. El cátodo es el electrodo oxidativo, el cual acepta electrones del circuito externo y es reducido durante la reacción electroquímica. Por otro lado, el ánodo es el reductor el cual brinda electrones al circuito externo y es oxidado durante la reacción electroquímica. El electrolito es el conductor iónico el cumple la función de ser el medio para el transporte de la carga como iones, dentro de la celda entre el ánodo y el cátodo.

A diferencia de otras fuentes de energía como los combustibles conlleva algunos beneficios como una mayor eficiencia en la conversión y no sufren de las limitaciones del ciclo de Carnot (Linden & Reddy, 2001).

1.1.1.1. Clasificación de pilas

(Linden & Reddy, 2001) clasifican a las pilas según su capacidad para ser recargadas en primarias no recargables, secundarias o recargables y pilas de reserva.

a) Pilas Primarias:

Estas pilas por su composición no es posible recargarlas por lo que una vez descargadas se descartan (Bolívar, 2020). En caso de ser recargadas pueden causar fugas y dar lugar a explosiones (Philips, 2017). Estas pilas son de bajo costo, livianas, fácil de usar, la vida útil de la carcasa es larga, no requieren mantenimiento, y puede ser usado en una gran variedad de dispositivos tales como juguetes, relojes, linternas, entre otros (Linden & Reddy, 2001).

b) Pilas Secundarias:

Estas pilas tras descargarse pueden volver a su condición inicial después de ser cargadas eléctricamente, este proceso puede repetirse cientos de veces (Pérez, 2019). Este tipo de pilas muestra ventajas con respecto a las primarias como una alta densidad de poder, elevado índice de carga, baja temperatura de funcionamiento. Por otro lado, muestra

algunas desventajas como menor retención de carga. Se usa como un dispositivo para almacenar energía y como batería primaria luego de ser recargada (Linden & Reddy, 2001).

c) Pilas de Reserva:

Se trata de una pila primaria en la cual previa a su activación se elimina el electrolito para eliminar la auto descarga y así tener un tiempo de vida más largo (Linden & Reddy, 2001). Este tipo de pilas se usa cuando se necesitan condiciones especiales cuando no se puedan usar las pilas activas como por ejemplo en misiles, torpedos, batería auxiliar de vehículos, entre otros (Yuasa, 2014).

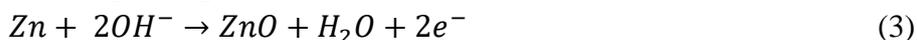
1.1.1.2. Tipos de pilas

a) Pilas alcalinas

Contienen ánodo de zinc y cátodo de dióxido de manganeso y carbono. El electrolito es una solución líquida de hidróxido de potasio o manganeso, este es un álcali, de ahí el nombre de la pila (Chuquichanga & León, 2019).

- Electroquímica de pilas alcalinas

Para la generación de electricidad primero el cátodo de dióxido de manganeso se reduce mientras que el ánodo de cinc se oxida según la reacción (1). Mientras se da esta reacción se consume agua y se produce un ion hidroxilo (reacción 2). Simultáneamente se consume el ion hidroxilo y se produce agua (reacción 3).



(Energizer Brands, 2018)

b) Pilas Cinc-Carbono

Se distinguen dos tipos, LeClanché y cloruro de cinc. Su diferencia se basa en el electrolito, por un lado, las pilas tipo LeClanché son una mezcla de cloruro de cinc y cloruro de amonio en agua, por otro lado, las segundas, como su nombre lo indica tienen como electrolito al cloruro de cinc. Ambas pilas tienen un ánodo de cinc, un electrodo de grafito y un cátodo de dióxido de manganeso (Chuquichanga & León, 2019). En la tabla 1 se ve su composición en porcentaje de las pilas tipo Zn-C.

Tabla 1

Composición de pilas Zn-C tipo D.

Componente	Porcentaje
Cinc (ánodo)	16.68%
Dióxido de manganeso (cátodo)	29%
Carbón	5.71%
Mercurio	0.01%
Cadmio	0.08 %
Cloruro de amonio (electrolito)	25.76%
Plástico y otros	22.76%

Nota: (Cardoso & Rivero, 2012; Majharul et al., 2012)

A partir de la tabla 1 se pueden identificar los componentes de la pila.

- **Ánodo:** Es una aleación de cinc de alta pureza que también nos sirve para contener los materiales de la pila.
- **Cátodo:** Es una mezcla de óxido de manganeso y carbón conductor.
- **Electrodo:** Compuesto de carbón, es el recolector de la corriente catódica.
- **Separadores:** De papel estucado, tiene la finalidad de evitar la migración de los componentes.
- **Terminales:** Positivos y negativos, de acero cromado.
- **Cubierta exterior:** De plástico, su función es aislar la pila y evitar la pérdida de sus componentes (Energizer Brands, 2018).

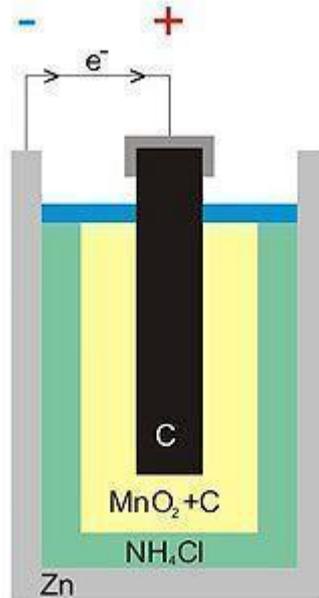
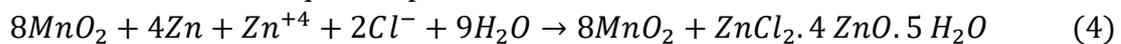


Figura 1: Esquema de una pila Zn-C, tomado de commons.wikimedia.org

- Electroquímica pilas Zinc Carbono



1.1.1.3. Reciclaje de pilas

Como se muestra en la Tabla 1 las pilas contienen metales pesados. Estos al no ser tratados de una manera adecuada pueden causar problemas graves hacia la salud de la población y de contaminación de la biosfera (Panero et al., 1995). Entre los problemas a la salud se han registrado daños al cerebro, riñones, feto, bioacumulación, problemas en los sistemas neurológicos, entre otros (Cardoso & Rivero, 2012). Mientras que, con respecto a la biosfera se ha registrado que las pilas de carbono cinc pueden contaminar hasta tres mil litros de agua, además que por la presencia de mercurio se forma metilmercurio, el cual es bioacumulable (Cardoso & Rivero, 2012). La contaminación se da cuando por una mala disposición final las pilas entran en contacto con cuerpos receptores de agua, vías, parques entre otros; esto provoca que con el paso del tiempo pierdan su cubierta protectora y derramen su contenido tóxico (ETAPA, 2015). Según (Pilataxi, 2020) En el país existe una mala gestión de pilas como se muestra en la figura 2 ya que la mayoría de la población deposita las pilas con desechos comunes.



Figura 2: Disposición final de pilas, tomado de (Pilataxi, 2020).

Por dichas razones los gobiernos de países alrededor del mundo buscan concientizar a la población para que las pilas no terminen en contacto con el medio ambiente y también cuentan con programas para reciclaje de pilas que generalmente consta en la recuperación de cinc y manganeso (Boddula, 2020).

Actualmente, ETAPA EP es el organismo encargado de la gestión de estos desechos en la ciudad de Cuenca (ETAPA, 2015). Dicho organismo somete a las pilas a tratamientos para estabilizarlas con cal y finalmente mezclarlas con concreto para confinarlas como se observa en la Figura 3.

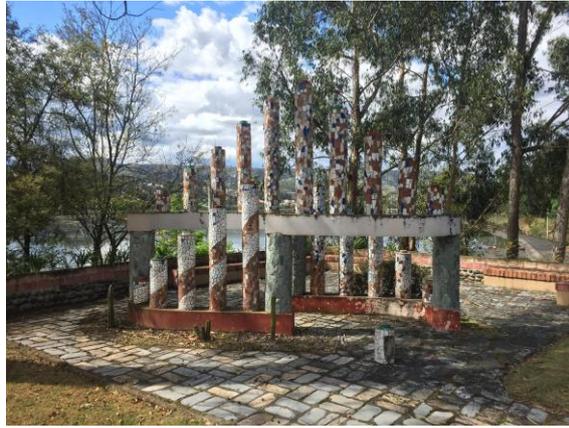


Figura 3: Monumento elaborado con cemento y pilas recicladas.

Nota. Autoría propia

1.1.1.4. Métodos de obtención del cinc de las pilas

Los procesos para dicho reciclaje son los hidrometalúrgicos, pirometalúrgicos, de Batenus y de Recupyl. Aunque los más comunes son los hidro y pirometalúrgicos (Chuquichanga & León, 2019). En la figura 4 se muestran cómo se recupera el zn a través de los métodos de reciclaje mencionados anteriormente (Falco, 2013; Ferella et al., 2008; Gobierno de Chile, 2011; Martínez et al., 2008).

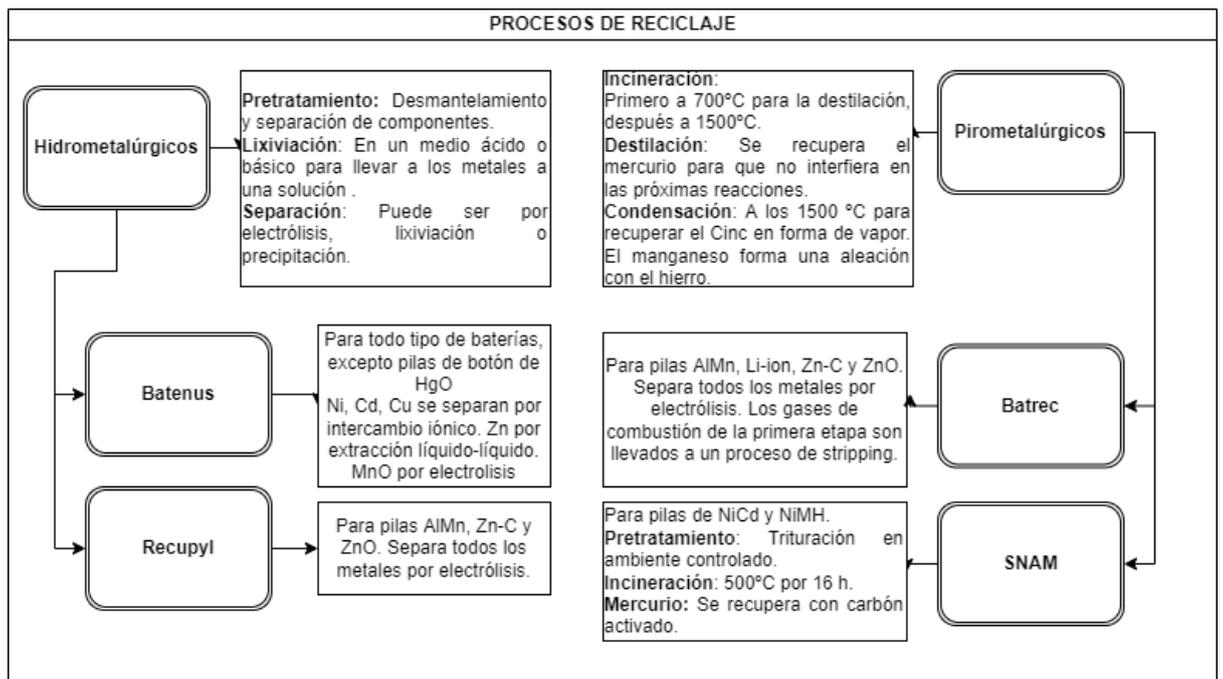


Figura 4: Esquema de procesos de reciclaje de pilas.

Nota. Autoría Propia.

1.1.2. Generalidades del aceite

El aceite es un producto que es usado principalmente como combustible o producto alimenticio, este puede tener un origen vegetal o animal. Está constituido principalmente por triésteres de ácidos grasos y glicerol denominados triglicéridos. El aceite puede estar formado por uno o más triglicéridos. En caso de que la mezcla sea sólida a temperatura ambiente (20 °C) se considera una grasa, caso contrario si se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente es un aceite. En estos dos casos tanto la grasa como el aceite tienen la misma composición solo que difiere en su apariencia física (Wade, 2012).

1.1.2.1. Aceites minerales

Denominados aceites bases, aceites bases minerales o aceites bases lubricantes. Son sustancias químicas obtenidas por destilación del petróleo. Están constituidos por una mezcla compleja de hidrocarburos como: parafínicos, naftenos, y aromáticos de cadena tanto lineal como ramificada. Existe una gama amplia de productos que contienen aceites minerales incluyendo aceites de motor, fluidos de transmisión, aceites para engranajes, aceites agrícolas, tintas de impresión, aceites para neumáticos, etc (Humans, 2012).

1.1.2.2. Aceites vegetales

Los aceites vegetales como su nombre lo indica son de origen vegetal. Generalmente, los lípidos de los alimentos están conformados por ácidos grasos de cadena lineal saturados o insaturados. En función de los ácidos grasos se puede tener aceites procedentes de semillas, aceites de coco, palma, soja, etc (Durán Agüero, 2015).

1.1.2.3. Consecuencias de una mala gestión

A nivel mundial la producción de aceites vegetales ha aumentado a lo largo de los años alcanzando 195 millones de toneladas de aceite vegetal (Nanda et al., 2019). Según la Organización Mundial de la Salud 1 litro de aceite contamina 1000 litros de agua (Casallas et al., 2018). En Ecuador se desechan alrededor de 54 millones de litros de aceite siendo el 70% aceite vegetal (Vásconez, 2018)

Por lo general, los aceites vegetales son desechados por el drenaje, generando malos olores y proliferación de microorganismos dañinos para la salud. Además, disminuyen el

UCUENCA

rendimiento del drenaje y produce un aumento en el consumo energético de alrededor del 25 % en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Güerre, 2018).

A su vez los aceites vegetales usados al llegar a la superficie de los cuerpos de agua se propagan rápidamente generando reacciones de oxidación y fotoquímicas. Así mismo, al mezclarse el aceite con el agua la demanda bioquímica de oxígeno tendrá un aumento significativo (Foo et al., 2021). Como consecuencia de esto la flora y fauna de los ecosistemas acuáticos se verá afectada de forma directa (López et al., 2019).

Por otro lado, no solo existe un impacto negativo a las zonas acuíferas sino también al suelo. El derrame directo de los aceites vegetales al suelo ocasiona erosión, pérdidas de fertilidad del suelo, destrucción de hábitats, etc. Hay casos en el que los aceites vegetales son desechados directamente en la basura, terminando en los rellenos sanitarios. Esto contribuye a la generación y filtración de los lixiviados en el suelo (Ministerio del ambiente, 2017).

La materia orgánica presente en los residuos sólidos de los desechos urbanos forma un lixiviado. El mismo contiene todo tipo de sustancias nocivas pudiendo ser tóxicas y cancerígenas. Tanto la lluvia como la humedad de estos residuos aceleran el proceso de lixiviados. A su vez pueden infiltrarse hasta llegar a zonas donde existen aguas subterráneas, que es un recurso hídrico importante para el ser humano (Ministerio del ambiente, 2017).

1.1.1.4. Reciclaje de aceite

Debido al impacto negativo que ocasiona al medio ambiente los aceites residuales se ha buscado alternativas, siendo una de ellas la recolección de los mismos. Para esto ETAPA EP ha implementado un proyecto denominado “Programa de recolección de aceites usados.” El cual consiste en recolectar los aceites usados que generan alrededor de 650 mil locales y de los puntos de acopio ubicados en toda la ciudad de Cuenca (Rpublicas, 2018). Una vez recolectado el aceite residual es llevado a la planta de tratamiento de aguas residuales en el sector de Ucubamba. En este centro se realiza un tratamiento primario al aceite. El cual consiste en separar el agua y luego traspasar el aceite a un tanque de almacenamiento. Sin embargo, aún no se cuenta con una disposición final para el aceite vegetal usado (Rpublicas, 2018).

1.2. Biodiesel, catalizador y alcohol.

1.2.1. Generalidades de Biodiesel

Diésel es un término usado para el aceite combustible destilado, el cual es usado comúnmente para el funcionamiento de motores de vehículos de encendido por compresión (U.S. EIA, 2021). Dicho combustible ha tratado de ser reemplazado los últimos años ya que se trata de un recurso no renovable y que emite contaminantes como sulfuro, nitrógeno, óxidos de carbón, entre otros (Yaakob et al., 2013). El biodiesel es una de las alternativas más atractivas ya que presenta baja cantidad de emisiones, no es tóxico, es biodegradable y puede ser usado en cualquier motor a diésel convencional (ASTM International, 2015). Se denomina biodiesel a un biocombustible en estado líquido conformado por ésteres monoalquílicos con un origen biológico pudiendo ser este animal o vegetal (Castillo, 2018).

Según (USEPA, 2013) para considerar un producto como biodiesel se debe cumplir tres condiciones: ser un combustible renovable, ser un diésel a base de biomasa y ser un biocombustible avanzado.

- Combustible renovable: “un combustible producido de biomasa renovable que es usado para reducir la cantidad de combustibles fósiles”, además debe mostrar una disminución de emisiones al menos de un 20 % en comparación con los combustibles fósiles (USEPA, 2013).
- Biocombustible avanzado: “un combustible renovable diferente del etanol”, debe presentar emisiones menores al 50 % con respecto a los combustibles fósiles (USEPA, 2013).
- Diésel a base de biomasa: Incluye tanto a biodiesel elaborados con y sin monoalquil ésteres. Sus emisiones deben ser al menos 50 % menos y no puede ser reprocesado con combustibles fósiles como materia prima (Farm Energy, 2019b).

Adicionalmente el biodiesel se clasifica por generación como se puede ver en la tabla 2 (Farm Energy, 2019a).

Tabla 2

Clasificación del biodiesel según su generación.

Generación	Materia Prima
Primera Generación	<ul style="list-style-type: none"> ○ Etanol proveniente de azúcar o de almidón. ○ Grasas animales y aceites vegetales.
Segunda Generación	<ul style="list-style-type: none"> ○ Materiales lignocelulósicos como pasto o viruta.
Tercera Generación	<ul style="list-style-type: none"> ○ Algas
Cuarta Generación	<ul style="list-style-type: none"> ○ Otra tecnología considerada como nueva

Nota. Autoría Propia.

1.2.2. Obtención de Biodiesel

Existen varios métodos para la obtención del biodiesel a partir de aceites vegetales como mezcla, micro emulsificación y transesterificación. El más usado es la transesterificación (Yaakob et al., 2013). Que es la reacción entre el aceite (triglicéridos) y alcohol (metanol, etanol, hexano, propanol, butanol, entre otros.) en presencia de un catalizador se obtienen metil ésteres y glicerina, ver figura 5.

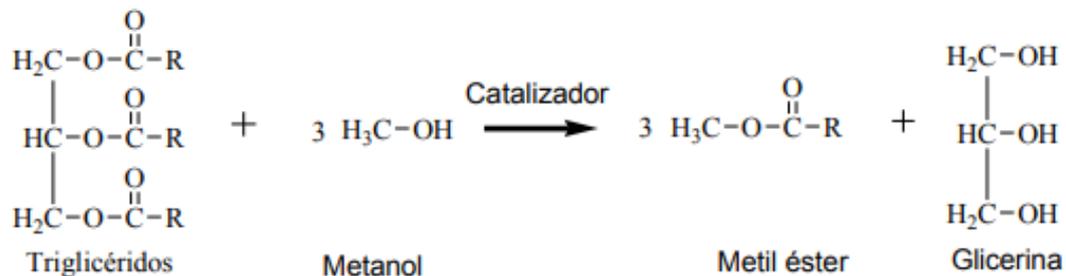


Figura 5. Reacción de Transesterificación, tomado de (Sánchez Cruz, 2017)

1.2.3. Materia empleada para la obtención de biodiesel

1.2.3.1. Triglicéridos

Según la ASTM el biodiesel es un mono alquil éster de ácidos grasos derivado de materias primas renovables como aceites vegetales y grasas animales (ASTM, 2015).

Según (Gopan et al., 2020) los aceites vegetales son triglicéridos extraídos de una planta, los más usados son los de maíz, girasol y palma. Para la elaboración del biodiesel se puede

UCUENCA

usar aceites vegetales reciclados como materia prima ya que la mayoría de estos contienen ácidos grasos con un contenido parecido de carbón (C14-C18) a la mezcla de hidrocarburos del diésel (C15-C18) (Gopan et al., 2020). También se ha observado que se puede usar una mezcla de dichos aceites con altos porcentajes de conversión (Frag et al., 2011).

Por otro lado, se puede elaborar biodiesel a partir de grasas animales, pero solo puede ser usado en climas cálidos ya que su punto de nube es muy alto (50-60 °F). Las grasas al igual que el aceite vegetal tiene un contenido de carbón parecido al biodiesel (Frag et al., 2011). Además del aceite reciclado se puede obtener biodiesel a partir de algas las cuales tienen altas tasas de crecimiento, pero bajo porcentaje de rendimiento (Yaşar, 2020).

El perfil de los ácidos grasos en aceites usados que se encuentra en la tabla 3 (Tacias Pascacio et al., 2016b) donde se pueden apreciar los triglicéridos.

Tabla 3

Perfil de ácidos grasos presentes en mezclas de aceites vegetales reciclados en México.

Fórmula	Ácido graso	Triglicérido	Cantidad (%)
C16:0	Palmítico	Tripalmitina	10.89
C16:1	Palmitoleico	Tripalitoleína	0.80
C18:0	Esteárico	Triestearina	4.40
C18:1	Oléico	Trioleína	48.59
C18:2	Linoleico	Trilinoleína	27.46
C18:3	Linoléico	Trilinoleína	6.46
C20:0	Araquídico	Triaraquidina	0.30
C20:1	Gadoleico	Trigadoleína	0.76

Nota. Autoría Propia.

1.2.3.2. Catalizador

Es una sustancia cuya concentración modifica proporcionalmente la velocidad de reacción sin que sea consumida o modificada en el proceso. Para la obtención de biodiesel se pueden usar tanto catalizadores homogéneos como heterogéneos. Los catalizadores homogéneos son los más usados (Cabello, Rincón, et al., 2016). Con respecto a los catalizadores heterogéneos presenta algunas ventajas como separación fácil del producto, favorece la eliminación de agua en el lavado del biodiesel, las reacciones de esterificación, transesterificación se llevan a cabo simultáneamente y porcentajes de conversión altos cuando se tienen los parámetros óptimos (Cabello, Rincón, et al., 2016).

1.2.3.2.1. Catalizadores homogéneos

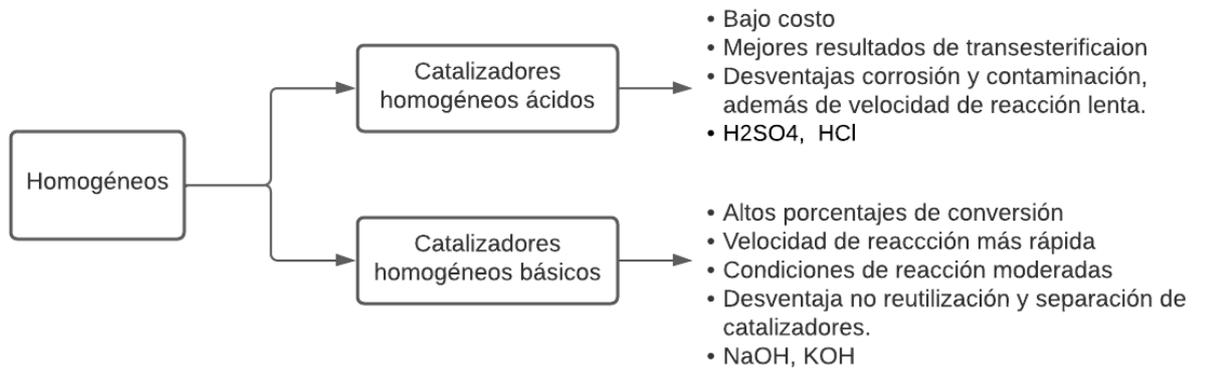


Figura 6. Tipos de catalizadores homogéneos, Autoría propia, tomado de (Changmai et al., 2020; Thangaraj et al., 2019) .

1.2.3.2.2. Catalizadores Heterogéneos

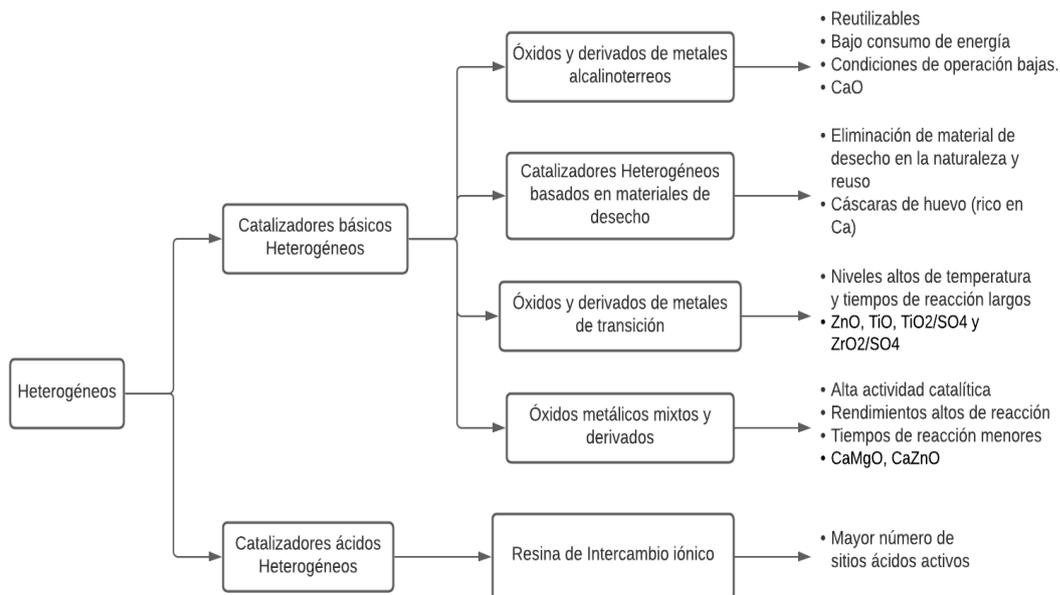


Figura 7. Tipos de catalizadores heterogéneos, Autoría propia, tomado de (Bohlouli & Mahdavian, 2021; Cabello, Rincon, et al., 2016)

1.2.3.3. Alcohol

Son alcoholes alifáticos monohídricos primarios y secundarios que constan de 1-8 átomos de carbón. Según (Musa, 2016) pueden ser usados para elaborar biodiesel metanol, etanol, propanol, butanol, isopropanol, tert-butanol, alcoholes ramificados y octanol. Aunque los más usados son etanol y metanol, ya que con respecto a los antes mencionados son menos costosos y más fáciles de obtener. Particularmente el metanol es el predilecto ya que minimiza el tiempo de reacción por su cadena corta (Yaakob et al., 2013).

1.2.4. Parámetros que influyen en la reacción de transesterificación

Chozhavendhan et al., (2020) y Verma & Sharma, (2016) señalan que los parámetros que influyen en la reacción de transesterificación para la obtención de biodiesel son:

- La relación entre el aceite y el alcohol: Para que se lleve a cabo la reacción el cual debe estar en un rango de 6:1 alcohol aceite cuando se trata de una mezcla de aceite con nanopartículas (Gebremariam et al., 2017). Por otro lado, si se realiza

una transesterificación supercrítica se recomiendan valores de 12:1 - 10:1 (Chozhavendhan et al., 2020).

- Afinidad del alcohol con el aceite: Para que reaccione de una manera adecuada con el tipo de aceite que se tiene. Además, influye en la viscosidad, oxidación y lubricación del biodiesel.
- La temperatura de reacción: Optimiza el tiempo de reacción. Adicionalmente, si se excede el punto óptimo se acelera la saponificación. Gebremariam et al., (2017) señalan que la temperatura óptima es 60 °C.
- Cantidad de catalizador: Para tener un máximo rendimiento. La cantidad varía según el tipo de catalizador y si este es homogéneo o heterogéneo, cuando se tiene óxido de cinc se recomienda agregar el 5% P/P (Castellar et al., 2014).
- Tipo de catalizador: Separación, afinidad con la materia prima.
- Tipo de aceite: Cantidad de ácidos grasos disponibles para reaccionar por molécula de alcohol.
- Tipo de alcohol: Farag et al., (2011) señala que mientras mayor sea el peso molecular del alcohol usado el porcentaje de conversión disminuye, por lo que se recomienda el uso de metanol.
- Velocidad de agitación: En su punto óptimo se tiene un mayor porcentaje de rendimiento, si es mayor favorece la formación de jabones. Gebremariam et al., (2017) recomienda una velocidad de 300 rpm.
- Tamaño del catalizador: Si este se encuentra en la escala nano favorece la conversión de los triglicéridos (Chozhavendhan et al., 2020).

Tabla 4

Condiciones de la reacción de transesterificación

Triglicérido	Alcohol	Catalizador	Condiciones de reacción	Rendimiento, %	Fuente
Mezcla de aceites usados	Metanol	Hidróxido de potasio	t: 8 minutos v: 1500 rpm p: 50% r:6:1	70	(Milano et al., 2022)
Aceite de rábano	Etanol	Hidróxido de potasio	t: 60 min v:600 rpm p: 5% r:7:1	80	(Fadhil et al., 2019)

Aceite de almendras	Etanol	Hidróxido de potasio	t: 60 min v:300 rpm p: 7% r: 7:1	81.10	(Al-Tikrity et al., 2017)
Mezcla de aceites usados	Metanol	Hidróxido de sodio	t: 60 min v:500 rpm p: 1% r:9:1	98	(Fangfang et al., 2021)
Mezcla de aceites usados	Metanol	Hidróxido de sodio	t: 60 min v:300 rpm p: 0.75% r:12:1	91.8	(Sivarethina mohan et al., 2022)
Mezcla de aceites usados	N-hexano	Óxido de calcio	t: 3.5 h v:500 rpm p: 0.75% r:12:1	95.57	(Sipayung & Budiyono, 2022)
Mezcla de aceites usados	Etanol	Óxido de cinc con óxido de cobre	t: 2 h v:500 rpm p: 5% r: 9:1	93.5	(Guo et al., 2022)

t: tiempo de reacción, v: velocidad en revoluciones por minuto, p: porcentaje de catalizador respecto al aceite, r: relación alcohol aceite.

Nota. Autoría Propia.

Se puede obtener biodiesel a partir de aceite vegetal de cocina reciclado con catalizadores y alcohol por medio de una transesterificación variando diferentes parámetros como la temperatura, la concentración de catalizador y el tiempo de reacción (Sahar et al., 2018).

1.2.5. Normativa para la calidad del biodiesel

En el país el instituto INEN es el encargado de normalizar productos, por esta razón se toma como referencia la normativa 2489, en la tabla 5 se muestra los requisitos que debe cumplir el biodiesel.

Tabla 5

Requisitos del Biodiesel

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
-------------------	---------------	---------------	---------------	-------------------------

UCUENCA

Densidad a 15°C	kg/m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	120	-	ASTM D 93
Punto de turbidez	°C		Reportar	
Agua y sedimento	%	-	0.005	ASTM D 1796
Contenido de agua	mg/kg	-	500	ASTM D 95
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	3.5	5	ASTM D 445
Cenizas sulfatadas	%(m/m)	-	0.02	ASTM D 874
Contenido de azufre	mg/kg	-	10	ASTM D 1552
P. carbón residual	%	-	0.05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	-	3	ASTM D 130
Número de cetano	-	49	-	ASTM D 613
Temperatura de destilación	°C	--	360	ASTM D 1160

UCUENCA

al 90%
recuperado

P. glicerina libre	%	-	0.02	ASTM D 6584
P. glicerina total	%	-	0.25	ASTM D 6584
P. contenido de ésteres	%	96.5	-	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100 g	-	120	EN 14111
P. contenido de metanol	%	-	0.2	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	-	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na+K)	mg/kg	-	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca+Mg)	mg/kg	-	5	prEN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	-	0.5	ASTM D 664

Nota. Tomado de, (INEN, 2013).

P: peso

1.3. Métodos de caracterización de catalizadores, biodiesel y seguimiento de la reacción.

1.3.1. Métodos de caracterización de Óxido de Cinc

1.3.1.1. Pureza por Absorción Atómica

Se puede determinar la cantidad de óxido de cinc en una muestra midiendo la cantidad de cinc por medio de absorción atómica.

La espectrofotometría de absorción atómica, también llamada (AA) es una técnica instrumental que nos permite determinar la cantidad de un elemento conocido (Pérez, 2013). Esta consta en atomizar la muestra aplicándola a la llama, la muestra queda nebulizada en un gas oxidante para luego ser mezclado con un gas de combustión. Dichos gases arrastran los átomos por el haz de detección en donde se mide la cantidad de luz absorbida (Castellanos & Velandia, 2018).

De acuerdo con la medición de la cantidad de luz absorbida, se puede hacer una determinación cuantitativa de la cantidad de analito. El uso de fuentes de luz especiales y una cuidadosa selección de las longitudes de onda permiten determinar elementos específicos (Gaitán, 2004). Con frecuencia, la técnica de absorción atómica se utiliza en la determinación del contenido de metales.

1.3.1.2. Tamaño de partícula por UV-Visible

Para la determinación de tamaño de nanopartículas de óxido de cinc generalmente se usan las técnicas de dispersión de luz, difracción de rayos X, microscopía electrónica de transmisión (Aquino & Osorio, 2018; Lu et al., 2018). Aunque también se puede determinar con el uso de un UV visible en un rango entre 200 -1000 nm, en donde si se tiene un pico de absorción en 370 nm se considera que el tamaño de partículas de ZnO se encuentran en un rango de 200 - 1000 nm (Khorsand & Razali, 2011). Por otro lado, si se tiene un rango de absorción entre 288 - 439.8 nm se puede usar la ecuación 5.

$$x = \frac{y-359.53}{0.936} \quad (5)$$

Donde:

x: Tamaño de partícula (nm)

y: Longitud de onda de absorción

1.3.2. Métodos de caracterización del Carbón

1.3.2.1. Tamaño de poro y Área superficial (Método BET)

El método BET (Brunauer-Emmett-Teller) consiste en medir el área superficial de un material micro/mesoporosos mediante la adsorción de moléculas de un gas en específico en la superficie sólida. La cantidad de gas absorbido en el material absorbente está estrechamente relacionada con el área superficial. La teoría de BET se basa en la adsorción multicapa y se usa gases que no reaccionan químicamente con la superficie del material. Por lo general se usa nitrógeno como el adsorbato. Además de que en este método se realiza a la temperatura de ebullición del nitrógeno. Sin embargo, se puede hacer uso de otros adsorbatos para la medición del área superficial a diferentes temperaturas y escalas como es el argón, dióxido de carbono y agua (Nasrollahzadeh et al., 2019).

La teoría de BET se encuentra relacionada con la teoría de Langmuir. Donde las moléculas de gas van a formar una adsorción de monocapa. Por lo que todas las moléculas están en contacto con la superficie del material adsorbente. Esto se produce gracias a que todas las moléculas se encuentran juntas de tal forma que en la superficie del sólido están esparcidas. Pero en una adsorción multicapa al formarse más de una capa de gas no todas las moléculas están en contacto con la capa superficial del sólido (Ambroz et al., 2018).

Como resultado se produce una interacción en fase de vapor entre las moléculas de gas. Es decir que esta interacción es parecida a una interacción gas-sólido. Al formarse las capas de las moléculas la presión aumenta cuando se da una condensación. Una vez que se haya dado la adsorción monocapa y posterior adsorción de la multicapa en las paredes de los poros se produce condensación capilar. Es decir que los poros se llenan de gas condensado. Estas interacciones de líquido-vapor se producen por debajo de la presión de saturación del líquido (Ambroz et al., 2018).

En la teoría de BET se usa la ecuación de langmuir ya que se supone que todas las capas formadas por las moléculas se encuentran en equilibrio por lo tanto la ecuación de BET es la siguiente (Ambroz et al., 2018):

$$\frac{\frac{P}{P_0}}{n\left(1-\frac{P}{P_0}\right)} = \frac{1}{n_m C} + \frac{C-1}{(n_m C)\left(\frac{P}{P_0}\right)} \quad (6)$$

Donde n es la cantidad de gas adsorbido a una presión relativa (P/P_0), n_m es la capacidad de la monocapa para absorber el gas, P es la presión, P_0 es la presión de saturación de la sustancia que se adsorbe a una temperatura de adsorción y C es la constante de BET.

La isoterma de BET se caracteriza de la siguiente forma (Raja & Barron, 2021):

I) La isoterma tipo I se basa en una adsorción monocapa. Si P/P_0 es menor a 1 y c mayor a 1 entonces se tiene una isoterma tipo I. Los materiales microporosos que tienen un tamaño de poro menor a 2 nm suelen dar este tipo de isoterma.

II) La isoterma tipo II se obtiene si c es mayor a 1 en la ecuación de BET. Es la isoterma más común que se obtiene a través de este método. Los microporos del adsorbente se llenan de gas. Empieza la formación de las multicapas que se dan a presiones medianas. A altas presiones se tiene una condensación capilar.

III) Isoterma tipo III se obtiene cuando c es menor que 1 y existe formación multicapa. Al no tener asíntota en la curva no hay formación de monocapa por lo tanto no es posible realizar un análisis BET.

IV) Isoterma tipo IV se da cuando existe condensación capilar. Los gases se depositan en los poros capilares del adsorbente a una presión inferior a la de saturación. En zonas de menor presión se forma una monocapa a continuación de formación de multicapas. Los materiales que tienen un diámetro entre 2 a 50 nm tienen este tipo de isoterma.

V) Isoterma V se observa en rango bajos de P/P_0 . Debido a las bajas interacciones entre el adsorbente y el adsorbato. Son muy similares a las isotermas tipo IV pero no son aplicables al análisis BET.

VI) Isoterma VI se observa en materiales que no son porosos pero uniformes. Esta forma una curva escalonada que dependerá del material, gas y temperatura.

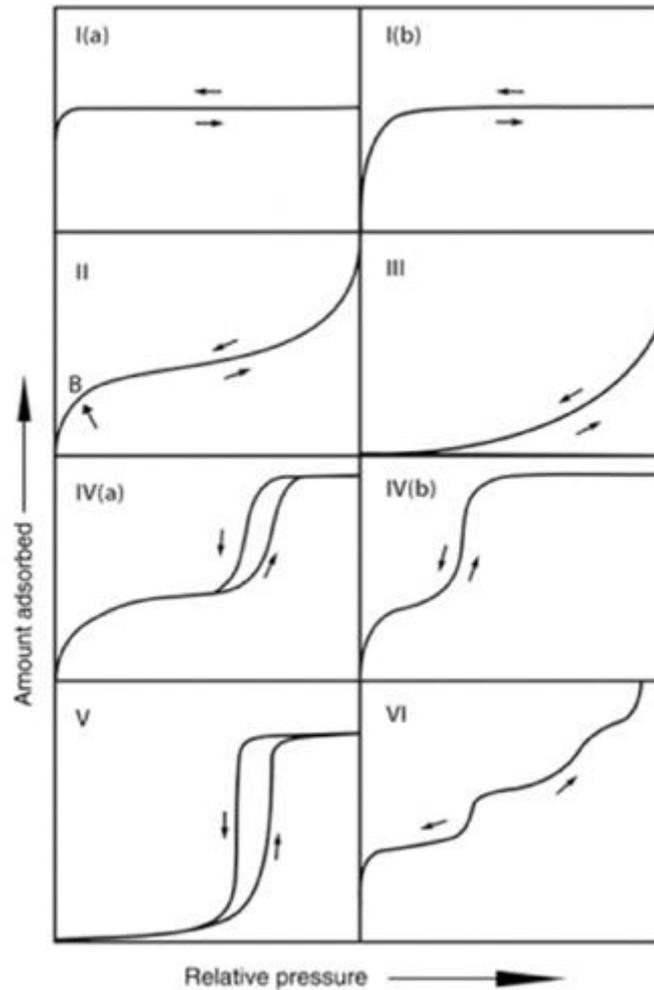


Figura 8. Clasificación de isothermas, tomado de (Ambroz et al., 2018)

1.3.3. Métodos de caracterización del Aceite

1.3.3.1. Método para determinación de ácidos grasos del aceite

El cromatógrafo de gases es un método versátil, en el cual se puede realizar varias determinaciones de diferente naturaleza y comportamiento químico. Se puede hacer uso del cromatógrafo de gases para identificar los diferentes ácidos grasos presentes en una muestra (Chitue-de-Assunção-Nascimento et al., 2013). Para realizar el análisis en el cromatógrafo primero se realiza un tratamiento (derivatización) a la muestra para poder obtener la concentración de los analitos de interés.

El equipo consta en un inyector donde la muestra es inyectada. El inyector se encarga de volatilizar la muestra y esta se incorpora al gas portador que pasa por la columna. El gas

portador conduce a la muestra por la columna, en esta sección la columna cumple el rol de contener la fase estacionaria y realizar la separación de los componentes de la muestra (Pablo Fuentes Soriano, 2019).

Hay que tomar en cuenta que la fase estacionaria debe ser la adecuada para obtener una buena separación. También se toma en cuenta la temperatura de la columna. Para ello se hace uso de un horno que mantendrá la temperatura en la columna. Finalmente llega a un detector conectado a la salida de la columna (Pablo Fuentes Soriano, 2019). Existen diferentes tipos de detectores usados en el cromatógrafo como ionización de llama, captador de electrones, conductividad térmica, etc (Miriam, 2005).

El detector de ionización a la llama (FID) produce iones a partir de los compuestos que salen de la columna y se queman en la llama de hidrógeno. Para detectar los iones se usa una placa colectora que se coloca encima de la llama (Hage, 2018). Los iones son atraídos hacia la placa colectora y a su vez chocan induciendo una corriente. La corriente generada es proporcional a los iones contenidos en la combustión de la muestra (Chaulya & Prasad, 2016). El flujo de corriente es amplificado y grabado. El FID por lo general se expresa en base al peso de los compuestos orgánicos (Miriam, 2005).

1.3.3.2. Método para densidad del aceite

Se define a la densidad como el cociente entre la masa de un cuerpo y su volumen. Para las unidades de la densidad se considera que para la masa viene dado en kilogramos (Kg) mientras que para el volumen en metros cúbicos (m^3) entonces se tendrá Kg/m^3 (Herrera & Vélez, 2008). Para la medición de la densidad se hace uso de un picnómetro limpio y seco, el cual debe ser pesado (m_0). Luego el picnómetro se llena con agua destilada y se pesa registrando el peso como m_1 . Para la medición de la muestra se realiza el mismo procedimiento que con el agua destilada. Solo se reemplaza el agua por la muestra. El peso será la muestra m_2 (INEN, 2012).

$$\rho m = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * \rho a \quad (7)$$

Donde

ρm : Densidad de la muestra

m_0 : Peso del picnómetro vacío

m_1 : Peso del picnómetro con agua

m_2 : Peso del picnómetro con la muestra

ρ_a : Densidad del agua

1.3.3.3. Método para viscosidad del aceite

La determinación de la viscosidad cinemática según la ASTM, (2021) se realiza en un viscosímetro Ubbelohde usando el método de Ostwald. Este consiste en colocar la muestra en dicho viscosímetro y medir el tiempo en el cual el fluido recorre un rango delimitado por un límite superior y uno inferior. Obtenido el tiempo se aplica la ecuación 8 para determinar la viscosidad dinámica.

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\delta_1 t_1}{\delta_2 t_2} \quad (8)$$

Donde

η_{1y2} : Viscosidad de diésel y agua

δ_{1y2} : Densidad de diésel y agua

t_{1y2} : Tiempo de diésel y agua

Para obtener la viscosidad cinemática se aplica la ecuación 9.

$$\mu = \frac{\rho}{\eta} \quad (9)$$

μ : Viscosidad cinemática

ρ : Densidad

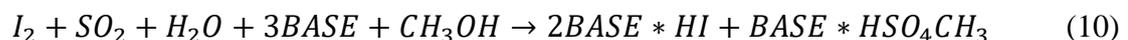
η : Viscosidad dinámica

1.3.3.4. Método para contenido de Agua en el aceite

La cantidad de agua en el aceite se puede realizar por medio del método Karl Fisher. Este método se basa en medir la cantidad de agua presente en una muestra mediante una valoración volumétrica o calorimétrica (Koch et al., 2007).

- Valoración volumétrica

Por medio de una valoración volumétrica como su nombre lo indica se basa en medir el volumen agregado y el contenido de agua. Este método se basa en que el contenido de yodo en los reactivos de Karl Fisher, reacciona de forma cuantitativa y selectivamente con el agua. Esto se ve representado a través de la siguiente fórmula (Mitsubishi Chemical Corporation, 2004):



Por medio del equipo de Karl Fischer se puede tener directamente el porcentaje de agua presente en la muestra (Mitsubishi Chemical Corporation, 2004).

- Valoración calorimétrica

Se basa en una oxidación electrolítica mediante una solución de iones de yoduro agregada a la muestra. Esta solución electrolítica reacciona con el agua presente en la muestra. Una vez terminado el proceso lo que se detecta es el exceso de yodo generado. Según las leyes de Faraday el yodo se genera en proporción a la cantidad de electricidad. Por lo que la cantidad de agua puede determinarse mediante la siguiente fórmula (Mitsubishi Chemical Corporation, 2004):

$$\text{Contenido de humedad (ppm)} = \frac{\text{Valor medido (ug)}}{\text{Cantidad de muestra(g)}} \quad (11)$$

1.3.4. Métodos de caracterización del Biodiesel

1.3.4.1. Método para determinación de Poder Calorífico

Para medir la cantidad de calor que se obtiene en una combustión se denomina poder calorífico. El poder calorífico de un combustible se entiende que es la cantidad de calor que se produce tras la combustión completa de un kilogramo de dicho combustible. La unidad del poder calorífico es cal/kg de combustible. Se tiene un poder calorífico inferior cuando el vapor de agua no ha condensado mientras que se tiene un poder calorífico superior cuando todos los productos obtenidos después de la combustión a una temperatura baja para que el vapor de agua se haya condensado. La diferencia de esto será igual al calor desprendido por la condensación del agua (Herrera & Vélez, 2008). Esta medición se hace con una bomba calorimétrica donde se quema el biodiesel y se controla las temperaturas antes y después de la combustión (Arias et al., 2011).

1.3.4.2. Método para determinación de Densidad en Biodiesel

La mayor parte de los combustibles ya sean obtenidos a partir de aceites vegetales o de grasas son más densos y menos compresibles que el combustible fósil (diésel). Así mismo mientras mayor densidad, mayor será la energía térmica (García-Muentes et al., 2018). Para la determinación de la densidad del biodiesel se hará por el método del picnómetro descrito en el numeral 3.2.

1.3.4.3. Método para Viscosidad en Biodiesel

La viscosidad se caracteriza por su resistencia a fluir debido a las fuerzas de fricción entre las capas internas del fluido (Fernández, 2018). De igual forma que en el aceite la viscosidad se midió por el método de Ostwald descrito en el numeral 3.3. Los valores de viscosidad que puede tener el biodiesel depende de la normativa que se consulte como se puede observar en la tabla 6.

Tabla 6

Requisitos de viscosidad del biodiesel

Norma	Mínimo (mm²/s)	Máximo (mm²/s)
ASTM B 100	1.9	6.0
EN 590	3.5	5.0
INEN 2489	3.5	5.0

Nota. Autoría Propia.

1.3.4.4. Método para Cantidad de agua en Biodiesel

Al igual que en el aceite se mide por titulación Fischer mencionado en el literal 1.3.3.4.

1.3.4.5. Método para Rendimiento en Biodiesel

Se determina la cantidad de ácidos grasos por cromatografía de gases como el caso del aceite. Luego se aplica la fórmula 12.

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Peso total de metil ésteres}}{\text{Peso total del aceite}} * 100\% \quad (12)$$

2. METODOLOGÍA

2.1. Obtención y tratamiento de subproductos

2.1.1. Obtención de Óxido de Cinc

a) Recolección de pilas

Se recolectaron las pilas de las bodegas de la empresa ETAPA ubicadas en Ucubamba. Para tener una muestra homogénea se recogieron pilas que cumplan con las siguientes características: marca Eveready, tipo D, Super Heavy Duty (Zn-C).



Figura 9: Contenedor de pilas recicladas

Nota. Autoría Propia.

b) Desmantelamiento de Pilas

Se realizó esta operación como se puede observar en la figura 10. Cabe mencionar que la reducción de tamaño se realizó hasta obtener escamas de 2x2 mm aproximadamente.



Figura 10: Desmantelamiento de pilas

Nota. Autoría Propia.

c) Lixiviación ácida

UCUENCA

Se pesaron 115.6 g de escamas y se colocaron en un Erlenmeyer junto con 250 mL de ácido clorhídrico al 37 % por 35 minutos en la estufa a 100 °C aproximadamente, luego se agregaron 50 mL más y se esperó una hora manteniéndola en calentamiento. Con esto se obtuvo cloruro de cinc como se muestra en la ecuación 13.

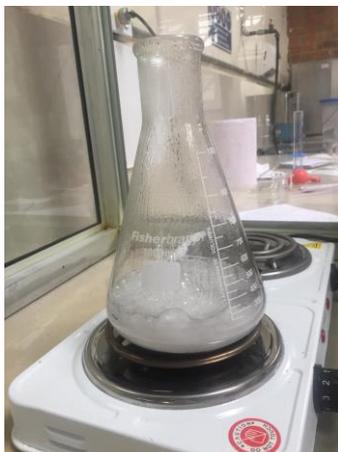


Figura 11: Lixiviación con ácido clorhídrico

Nota. Autoría Propia.

Posteriormente se dejó enfriar ligeramente la solución para colocar 250 mL de ácido sulfúrico al 50%. La solución se dejó en calentamiento por 40 minutos a 100 °C aproximadamente. Para así obtener sulfato de cinc (14).

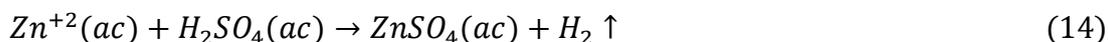


Figura 12: Lixiviación con ácido sulfúrico

Nota. Autoría Propia.

d) Eliminación de impurezas

Se disolvió la solución obtenida con 500 mL de agua destilada y se lleva a ebullición. Posteriormente se filtra la solución para eliminar impurezas.



Figura 13: Filtración de impurezas.

Nota. Autoría Propia.

e) Purificación

Se preparó una solución extractiva con 160 g de cloruro de amonio con 400 mL de amoniaco aforado a 1 L. Se agregaron 100 mL de esta solución al filtrada y se lleva a ebullición. Luego se filtró esta solución.

f) Formación de cristales de cinc

A partir de este punto se realizaron dos procedimientos diferentes para la obtención del óxido de cinc. El primero que se llamó proceso A consistió en dejar enfriar el filtrado a temperatura ambiente por 24 horas la solución para que se formen los cristales de sulfato de cinc. Se filtró para separar los cristales del líquido. Mientras que en el segundo proceso que se nombró proceso B se usó la solución obtenida de sulfato de cinc sin tratar.

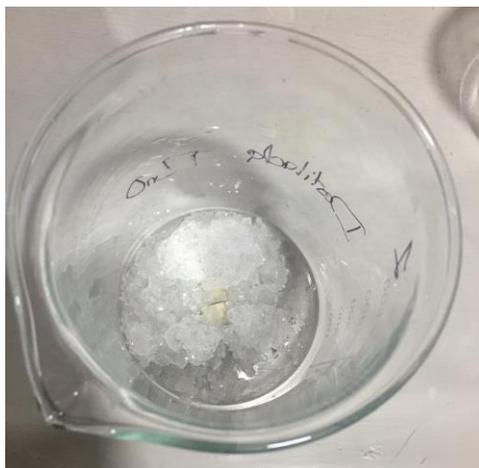


Figura 14: Cristales de óxido de cinc

Nota. Autoría Propia.

g) Obtención de hidróxido de cinc

Se preparó una solución de hidróxido de sodio al 30 % y se agregó a los cristales y a la solución hasta tener un pH de 6.5 para tener hidróxido de cinc (15).

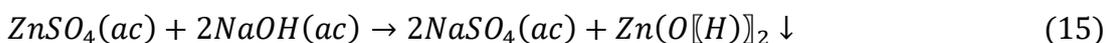


Figura 15: Solución de hidróxido de cinc

Nota. Autoría Propia.

h) Calcinación

Se dejó reposar la solución por media hora para filtrar con papel Whatman 45. Una vez filtrada toda la solución se llevaron los filtros a crisoles y se calcinaron en una mufla a 900 °C durante 6 horas (16). Se usó el método de volumetría para determinar el rendimiento del proceso. Finalmente se dejó enfriar en un desecador y con un mortero se redujo el tamaño.





Figura 16: Óxido de cinc obtenido

Nota. Autoría Propia.

2.1.2. Carbón

2.1.2.1. Tratamiento del carbón

Las barras de carbón se extrajeron de las pilas, luego se sumergieron en una solución de ácido nítrico al 30 % por 24 h para su activación.



Figura 17: Barras de carbón en ácido nítrico

Nota. Autoría Propia.

Posteriormente se procedió a lavar los carbones con agua destilada hasta obtener un pH neutro, lo que indica la ausencia del ácido. Una vez obtenido este pH se deja secar a 110°C en la estufa por 12 horas para eliminar el agua residual.

2.1.2.2. Impregnación de carbón

Una vez tratado el carbón se procedió a impregnar con el óxido de cinc obtenido al 20 % respecto al peso del carbón. Para esto se pesó el óxido de cinc, se colocó en un vaso de precipitación con agua y se agitó por 15 minutos a 300 rpm. Luego se incorporó el carbón, se elevó la temperatura a 230 °C y se continuó con la agitación hasta que se evaporó completamente el solvente.



Figura 18: Barras de carbón impregnada con óxido de cinc

Nota. Autoría Propia.

Posteriormente se lavó la barra impregnada con agua destilada hasta que el agua de lavado sea transparente. Finalmente se dejó secar en la mufla a 110 °C por 12 horas para eliminar el agua destilada.

2.1.3. Tratamiento del Aceite

Se obtuvo el aceite reciclado de las piscinas de la empresa ETAPA EP. Se filtró la muestra para eliminar contaminantes grandes como residuos de comida. Luego se hizo un lavado de aceite. Para esto se calentaron las mismas cantidades de agua y de aceite hasta los 80 °C, posteriormente se mezcló el aceite en el agua con agitación y se colocó en decantadores para la separación de fases. Finalmente se separó el aceite lavado y se secó en la estufa para eliminar restos de agua a 115 °C por 4 horas.



Figura 19: Separación del aceite lavado del agua

Nota. Autoría Propia.

UCUENCA

2.1.4. Obtención del Biodiesel

Para elaborar el biodiesel se usó el catalizador soportado y no soportado, para los dos casos se usó una relación molar 6:1 de etanol/aceite y el 5 % en peso de catalizador sin soporte y 1% soportado. Primero en un vaso de precipitación se colocó el catalizador con el alcohol y se dejó en agitación a 300 rpm a 60 °C por 20 minutos. Luego se colocó el aceite pretratado continuando con la misma agitación y temperatura por 1 hora. Este procedimiento se realizó por triplicado tanto en la obtención de biodiesel con catalizador soportado como con los no soportados.



Figura 20: Mezcla de catalizador no soportado con etanol

Nota. Autoría Propia.



Figura 21: Mezcla de catalizador soportado con etanol

Nota. Autoría Propia.

Posteriormente se colocó en un balón de decantación para que se separen las fases, luego de 3 horas se separó el biodiesel de la glicerina.



Figura 22: Separación de fases usando catalizador no soportado.

Nota. Autoría Propia.

El diesel obtenido para eliminar restos de catalizador se lavó con agua y se filtró con papel Whatman N 42. Finalmente se secó a 80°C por 15 minutos.

2.2. Caracterización de productos obtenidos

2.2.1. Caracterización de Óxido de Cinc

2.2.1.1. Pureza de óxido de cinc

Se determinó la cantidad de óxido de cinc por medio de la caracterización de cantidad de cinc en la muestra. Esto se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica Thermo Scientific iCE 3000 con una lámpara de cinc en el laboratorio de Química ubicado en la Universidad del Azuay. Se usó como blanco agua destilada. Para la preparación de las muestras primero se tomó 1 g de muestra de óxido de cinc y se disolvió en 250 mL de HCl para luego aforar a 1L con agua para obtener la solución patrón. Posteriormente se tomó 1 mL de esta solución y se aforó otra vez a 1L. Luego se calibró el equipo usando un estándar con 4 concentraciones 0.125, 0.250, 0.5 y 1 ppm Zn. Finalmente se colocó la muestra en el equipo y se midió la concentración de cinc.

2.2.1.2. Tamaño de partícula

Para la determinación de tamaño se usó espectrofotómetro de UV-Visible Thermo Scientific GENESYS 30 y una cubeta de cuarzo. Se trabajó en una longitud de onda entre

UCUENCA

200-1000 nm. Se utilizó como blanco etanol al 98%. Para la medición se preparó un patrón con óxido de cinc Atenas 0.1 % P/P con etanol y se dispersó en un centrifugador por 15 minutos. Para las muestras se preparó una solución 0.1 %P/P muestra/etanol, se dispersó y se elaboraron soluciones al 10 %, 25 %, 40 %, 50 % y 75 %. Se calibró el equipo con el blanco y se tomaron mediciones del patrón y las muestras.

2.2.1.3. Rendimiento de la reacción

Se pesó la cantidad de escamas de cinc, luego se pesaron los crisoles vacíos en los cuales se incineraron las muestras de hidróxido de cinc. Posteriormente se pesaron los crisoles con las muestras después de haber obtenido óxido de cinc. Para determinar la cantidad de muestra se restó el peso de los crisoles vacíos de los crisoles con las muestras. Finalmente se aplicó la ecuación 17.

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Peso óxido de cinc}}{\text{Peso escamas de cinc}} * 100\% \quad (17)$$

2.2.2. Caracterización de Carbón

2.2.2.1. Tamaño de poro y Área superficial

Se usó la técnica BET en el equipo NOVA 2200e Quantachrome en el laboratorio de Ingeniería de reactores y catálisis para determinar el tamaño de poro del carbón. El procedimiento se muestra en el Anexo 1.

2.2.3. Caracterización de Aceite

2.2.3.1. Derivatización de la muestra de aceite

Se derivatizó la muestra de aceite para usarla en el cromatógrafo de gases.

a) Incubación y enfriamiento

En un tubo se pesó 0.0240 g de muestra de aceite. Además, se pesó 0.0213 g de estándar interno (ácido nonadecanoico). Con el estándar se procedió a colocarlo en un balón de aforo y aforar con cloroformo. Luego se llevó a un proceso de secado con nitrógeno en estado gaseoso.



Figura 23: Secado del estándar interno

Nota. Autoría Propia.

Una vez secado el estándar se agregó 0.7 ml de KOH (10 M) y 5.3 ml de metanol. Este mismo proceso se lo realizó a la muestra de aceite. Las dos muestras fueron llevadas a incubación durante una hora y media a 55 °C con agitación de 5 segundos cada 20 minutos usando un vortex. Finalizado el tiempo de incubación se dejó en enfriamiento a temperatura ambiente.



Figura 24: Incubación de las muestras

Nota. Autoría Propia.

b) Mezclado

A las muestras se les agregó 0.58 ml de H₂SO₄ (12 M) y se realizó un mezclado rotacional hasta que aparezca un precipitado.

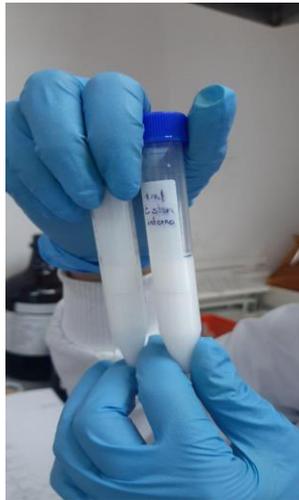


Figura 25: Mezclado y aparición del precipitado

Nota. Autoría Propia.

c) Incubación y enfriamiento

Se procedió a incubar nuevamente las muestras por una hora y media a 55 °C con agitación de 5 segundos cada 20 minutos. Para luego enfriarlas hasta temperatura ambiente.



Figura 26: Incubación y enfriamiento de las muestras

Nota. Autoría Propia.

d) Mezclado y centrifugado

Se agregó 3 ml de hexano a las muestras y se mezcló con un vortex durante 5 minutos. Una vez realizada la mezcla se procedió a centrifugar por 10 minutos a 3500 rpm. En esta etapa se observa una fase acuosa y un sobrenadante.



Figura 27: Centrifugación de las muestras

Nota. Autoría Propia.

e) Remoción de agua

Se retiró el sobrenadante de las muestras y se colocó en tubos que contenían 1 mm de capa de Na_2SO_4 . Luego se traspasaron las muestras de los tubos a una jeringa y se colocaron en viales. Teniendo así lista la fase orgánica usada en el cromatógrafo.



Figura 28: Fase orgánica

Nota. Autoría Propia.

2.2.3.2. Determinación de ácidos grasos en el Aceite

Se determinó el ácido graso en mayor presencia en el cromatógrafo de gases Agilent Technologies 6890N network CG systems en el laboratorio de Análisis Instrumental. Las condiciones que se usaron en el cromatógrafo se presentan en la tabla 7:

Tabla 7

Parámetros para el uso del cromatógrafo

Inyector	Columna	Horno	Detector	Gas
250°C Split 40:1, v=1ul	Aplent CP7487 60mx250umx2u m °C max	100 °C 8°C/min hasta 180°C (9 min) 2°C/min hasta 230 °C 230 (6 min)	250°C	H2 220 °C Vf=15 mL/min

Nota. Autoría Propia

Para inyectar la muestra se hizo una dilución 1:10 muestra estándar interno.

2.2.3.3. Densidad del Aceite

Para la determinación de la densidad del aceite vegetal residual se usó un picnómetro de 5 ml. Primero se pesó vacío, luego el picnómetro con agua destilada y finalmente con la muestra de aceite. Se registraron los pesos como m_0 , m_1 , m_2 respectivamente para aplicar la fórmula (8).

2.2.3.4. Viscosidad del Aceite

Para medir la viscosidad del aceite primero se determinó la del agua, se colocó 10 mL de agua destilada en el viscosímetro de Ostwald, el cual se sumergió en un recipiente junto con un termómetro y se sometió a calentamiento como se muestra en la figura 33.

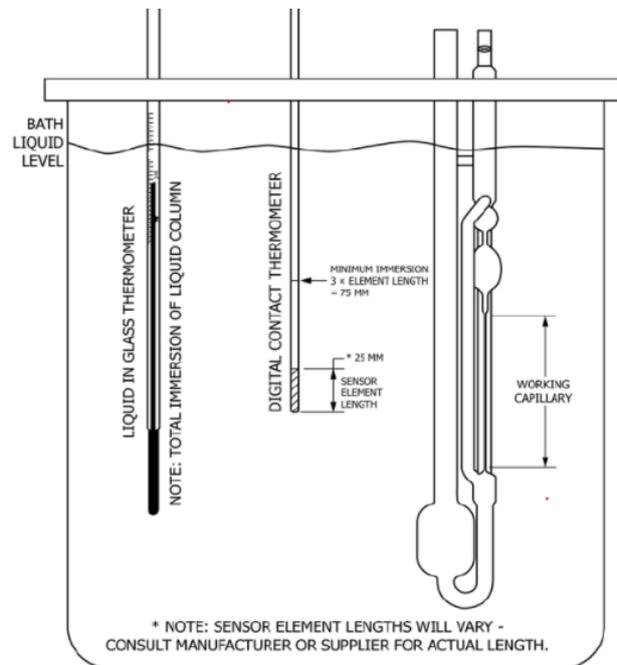


Figura 33: Viscosímetro de Ostwald con termómetros en inmersión

Nota. (ASTM, 2021)

Luego se absorbió el líquido hasta que se encontró en el límite superior A, se dejó caer hasta el límite inferior B (figura 34), se cronometró el tiempo y se midió la temperatura. Se repitió el proceso con agua a temperatura ambiente y con la muestra de aceite tratada. Para calcular la viscosidad se usó la ecuación 9.

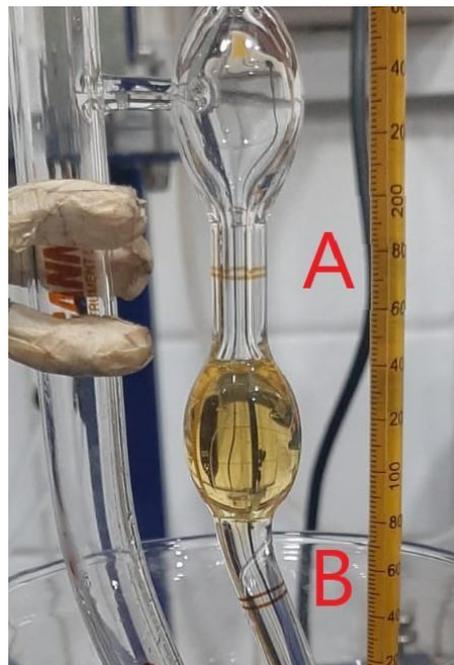


Figura 34: Viscosímetro de Ostwald con límites

Nota. Autoría propia

2.2.3.5. Determinación de agua en Aceite

Para la determinación de este parámetro se usó el titulado Mettler Toledo easy KFV. Ya que es una muestra oleosa se usó como disolvente un solvente de grasas.



Figura 29: Titulador Mettler Toledo

Nota. Autoría Propia.

Primero se midió 1 mL de muestra en una jeringa, se pesó en un vaso de precipitación y se encendió la balanza. Luego se colocó esta cantidad en el equipo y la jeringa se volvió a colocar en la balanza para pesar la cantidad de muestra que se inyectó.



Figura 30: Cantidad de muestra de aceite inyectada

Nota. Autoría Propia.

UCUENCA

El equipo comenzó a agregar de manera automática indicador de yodo mientras se tenía agitación constante. Cuando se consumió toda el agua presente en la muestra el electrodo de platino determina el punto final de la valoración y se muestra el porcentaje en la pantalla.

2.2.4. Biodiesel

2.2.4.1. Poder calorífico de Biodiesel

Para la medición del poder calorífico de las muestras se usó la bomba calorimétrica IKA C 201. Este procedimiento fue realizado en el laboratorio de Termodinámica y Fisicoquímica.



Figura 31: Medición del poder calorífico de muestras.

Nota. Autoría Propia.

2.2.4.2. Densidad de Biodiesel

Para la determinación de la densidad de las muestras de biodiesel se aplicó el mismo procedimiento descrito en el paso 2.3.3.



Figura 32: Medición de la densidad de las muestras.

Nota. Autoría Propia.

2.2.4.3. Viscosidad de Biodiesel

Para minimizar el efecto que puedan tener los procesos térmicos anteriores se realizó un pretratamiento donde se calentaron las muestras por 1h a 60 °C. Posteriormente se agitó por 20 segundos para homogeneizar la muestra. Después se aplicó el procedimiento descrito en el literal 2.3.4.

2.2.4.4. Cantidad de agua de Biodiesel

Se determinó por titulación Fisher siguiendo el literal 2.2.3.

2.2.4.5. Rendimiento de Biodiesel

Se determinó la cantidad de ácidos grasos presentes en las muestras de biodiesel para esto se siguió los pasos 2.3.1. y 2.3.2. Las condiciones del cromatógrafo fueron las mismas descritas en la tabla 6. Para inyectar la muestra en el cromatógrafo de gases las muestras se diluyeron con una relación 1:2 (muestra: hexano). El blanco al tener menor cantidad de etil ésteres se inyectó sin diluir y dentro del equipo se realizó una dilución 1:2.

2.3. Análisis estadístico

Se determinó la desviación estándar cuando se tenían al menos tres medidas para determinar la dispersión con respecto a la media. Primero se verificó si la distribución de

UCUENCA

los datos era normal para los datos obtenidos de la densidad, viscosidad y rendimiento del biodiesel. Esto se realizó usando el método Shapiro Wilks en Excel con el complemento XrealStats. En todos los casos se confirmó una distribución normal. Para los test de significancia se empleó la prueba t-student para medias para dos muestras con varianzas iguales o desiguales, dependiendo del caso. En cada caso, se analizó el valor de p de una cola con respecto al nivel de significancia (α) de 5 %.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados y discusión de Óxido de Cinc

3.1.1. Pureza de óxido de cinc obtenida

Se realizaron los cálculos en el Anexo 1 y se muestran los resultados en la tabla 8.

Tabla 8

Resultados de obtención de óxido de cinc

Muestra	Partes por millón de cinc	Cantidad de cinc en la muestra (g)	Porcentaje de óxido de cinc (%)	Coloración
Proceso A	0.8075	0.99	98.49	Blanco (Figura 21)
Proceso B	0.7729	0.96	95.5	Amarillento (Figura 22)

Nota. Autoría Propia



Figura 35: Óxido de cinc obtenido con formación de cristales de sulfato de cinc.

Nota. Autoría Propia.



Figura 36: Óxido de cinc obtenido sin formación de cristales de sulfato de cinc

Nota. Autoría Propia.

Como se muestra en la tabla 8 el porcentaje de óxido de cinc en la muestra son mayores en el proceso A que en el B. Además, en el proceso B se observa una coloración diferente por lo que se supone que existe una mayor cantidad de impurezas. Por dichas razones se considera que la formación de cristales de sulfato de cinc mejora el proceso de obtención de cinc obteniendo un mayor rendimiento y una menor cantidad de impurezas. Se usó el óxido de cinc obtenido en el proceso A para los procesos posteriores. El porcentaje de pureza del óxido de cinc es mayor comparado con autores que realizaron un procedimiento con los mismos reactivos como (Chuquichanga & León, 2019) que obtuvieron un 86%. Por otro lado es menor cuando se usa otra metodología u otros reactivos como (Nath et al., 2018) que obtuvo un 99.69% de pureza.

3.1.2. Tamaño de partícula obtenido

La gráfica de longitud de onda vs absorbancia de las muestras en el UV-Visible se muestra en el anexo 2 y los resultados en la tabla 9.

Tabla 9

Resultados de análisis en UV visible de la muestra de ZnO

Muestra	Abs (263)	Abs (388)
óxido de cinc estándar	1.128	1.261
etanol (blanco)	0	0
etanol 75%	0.728	0.7950

etanol 50%	0.5190	0.6150
etanol 40%	0.4140	0.490
etanol 30%	0.3140	0.3730
etanol 25%	0.25	0.291
óxido de cinc obtenido	0.369	0.257

Nota. Autoría Propia

Para determinar el tamaño de las nano partículas se tomó en cuenta los picos 263 y 388, para la longitud de onda de 388 se aplica la ecuación 5.

$$\lambda = \frac{388 - 379.53}{0.9637} = 8.79 \text{ nm}$$

Por lo que se tienen partículas con tamaño de 8.79 nm, luego se realizó la curva de calibración del equipo a esta longitud de onda para determinar la cantidad de nanopartículas con este tamaño. Con la ecuación de la curva se reemplaza el valor obtenido como se muestra a continuación. Ver detalle de la curva de calibración en el anexo 3.

$$x = \frac{y - 0.0308}{1.0815}$$
$$x = \frac{0.257 - 0.0308}{1.0815} = 0.2092$$

Para aplicar la ecuación 5 la longitud de onda debe ser mayor a 379.53 por lo que no se puede usar el valor de absorción de 263 y se toma en cuenta lo dicho por Khorsand. Por lo que se tienen partículas en un tamaño entre 200-1000 nm. Igualmente se realiza la curva de calibración a dicha longitud que se encuentra en el anexo 4 y se realizan los cálculos. Los resultados se muestran en la tabla 10.

$$x = \frac{y + 0.0202}{1.0919}$$
$$x = \frac{0.369 + 0.0401}{0.8117} = 0.5040$$

Tabla 10

Resultados en porcentaje de cantidad de nano partículas de ZnO

Tamaño de 1-10 nm (%)	Tamaño rango de 200-1000 nm (%)	Total (%)
20.92	50.40	71.32%

Nota. Autoría Propia

Según la tabla 10 se tiene en la muestra un 20.92 % de partículas que se encuentran en la escala nanométrica. El otro 79.08 % se encuentra en escala macrométrica, por lo que la reducción de tamaño no fue homogénea. El coeficiente de regresión lineal en los dos casos se considera alto, por lo que se puede decir que se tiene una curva de calibración confiable.

3.1.3. Rendimiento de óxido de cinc obtenido

El peso de los 12 crisoles, crisoles con muestra y muestra se muestra en el anexo 5. Se restaron estos pesos y se obtuvo el peso de la muestra de óxido de cinc obtenido de 65.20 g. Luego se usó la ecuación 17 para calcular el rendimiento.

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{65.620 \text{ g}}{116,756} * 100\% = 56.2026\%$$

El proceso de obtención de óxido de cinc tuvo un rendimiento del 56.2026 %. Este porcentaje es mayor a los realizados al igual que este trabajo con hidrólisis y con pilas Zn-C, como (Chuquichanga & León, 2019) que reporta un 54.7 % de rendimiento, siendo este un proceso optimizado para un mayor rendimiento. Por otro lado el porcentaje es menor al realizado con pilas alcalinas como de (Alvarado et al., 2010) con un 66.42 % o de (Deep et al., 2016) con un 95% o con un proceso de recuperación diferente como (Abid et al., 2017) que usó la electrodeposición obteniendo un 65% . Por lo que para obtener un mayor rendimiento se sugiere optimizar el proceso de obtención.

3.2. Resultados y discusión de Carbón

3.2.1. Tamaño de poro y Área superficial obtenidos

Los valores del volumen de poro y del área superficial se muestran en la tabla 11.

Tabla 11

Resultados de análisis del carbón por método BET

Descripción	Valor
Área Superficial ($\frac{m^2}{g}$)	1.927
Volumen de poro (cm^3/g)	0.789409302

Nota. Autoría Propia

Según Sing (1984) la distribución de poros va desde macro poros mayores a 50 nm, meso poros entre 2 a 50 nm y micro poros menores a 2 nm. En este caso, el carbón es meso poroso según el informe indicado en el Anexo 6.

3.3. Resultados y discusión de Aceite

3.3.1. Ácidos grasos determinados en el aceite

El ácido graso que se encontró en mayor cantidad fue el C18:2, es decir ácido linoleico como se muestra en el anexo 7. En la tabla 12 se encuentran los porcentajes y los pesos de los ácidos grasos de la muestra. Ver detalle en anexo 8.

Tabla 12

Pesos de ácidos grasos presentes en la muestra de aceite

AG	Porcentaje	Peso ácidos grasos (g/mol)
C 16:0	4.153%	4.2591
C 18:0	1.433%	1.6311
C 18:1	7.909%	9.1216
C 18:2	11.294%	12.6597
C 24:0	5.753%	8.4828
Total	30.542%	36.15

Los ácidos grasos presentes en mayor cantidad en la muestra son el linoleico (18:2) y el oleico (18:1). Estos ácidos grasos generalmente son los más comunes cuando se tiene aceite residual, ya que estos están presentes en la mayoría de aceites vegetales de consumo en la cocina (Tacias et al., 2016).

3.3.2. Cantidad de Agua determinada en el aceite

La cantidad de agua tras haber realizado la determinación por triplicado fue de 0.15% como se muestra en el anexo 9.

La cantidad de agua registrada en el aceite reciclado fue menor en comparación con lo reportado por (Herrera & Velez, 2008) que fue de 1.2 % y mayor con respecto a (Alvarez, 2013) que registró un 0.0039%. La cantidad de agua en el aceite reciclado para elaborar biodiesel debe estar entre 0.1 % - 0.3 % (Sánchez & Rojas, 2017), por lo que la muestra cumplió los rangos establecidos. Si se tiene un valor mayor al 0.3 % se puede dar la hidrólisis de los ésteres alquílicos y disminuir el rendimiento de la reacción (Ordoñez et al., 2013). La desviación estándar de 0 nos muestra que el proceso de determinación de agua en el aceite es reproducible y que todos los datos se encuentran en el promedio.

3.3.3. Densidad determinada del aceite

Tabla 13

Resultados de densidad de aceite reciclado

Picnómetro	Densidad (g/cm³)	Promedio (g/cm³)	Desviación estándar
1	0.9253	0.9646	0.0213
	0.985		
	0.9585		
2	0.9619	0.9646	0.0213
	0.9811		
	0.9671		

Nota. Autoría Propia

Para determinar la densidad se utilizó la ecuación 7 como se muestra en el anexo 10. Se realizó este procedimiento por triplicado en cada picnómetro, luego se obtuvo un promedio de estos datos como se muestra en la tabla 13, para más detalle ver anexo 11.

El valor promedio es mayor al reportado por (Lopez et al., 2015) de 0.921 g/ml y (Rodríguez et al., 2017) con un 0.9119 g/cm³. Mientras la especificación dada por la norma ASTM D 1298 para la densidad de los aceites vegetales usados es de 0.96 g/cm³. Por lo tanto, la densidad registrada está dentro de lo especificado y comparado con otras literaturas no hay una diferencia significativa con respecto al valor de la densidad. El valor de la desviación estándar nos demuestra que los valores de la densidad se encuentran poco dispersos de acuerdo a la media, por lo que se tiene un proceso consistente.

3.3.4. Viscosidad determinada del aceite

La viscosidad de la muestra de aceite se presenta por triplicado en la tabla 14, se muestra con mayor detalle en el anexo 12.

Tabla 14

Resultados de viscosidad del aceite reciclado

Nº medición	Viscosidad cinemática 40°C (mm ² /s)	Promedio (mm ² /s)	Desviación estándar
1	48.2059		
2	58.5417	50.9117	6.7002
3	45.9874		

Nota. Autoría Propia

El valor promedio de la viscosidad es mayor al registrado por (Rodríguez et al., 2017) que fue de 42.2 mm²/s pero menor al máximo registrado por (Rosales & Torrestiana, 2016) que fue de 31.00 hasta 52.00 mm²/s. Altos valores de viscosidad podrían tener un efecto negativo en el rendimiento de la reacción. Debido a que una mayor viscosidad dificulta el contacto entre moléculas del aceite y el alcohol dando una disminución en la conversión de triglicéridos (Leung & Guo, 2006).

3.4. Biodiesel

Ya que se realizó por triplicado la obtención del biodiesel usando catalizador soportado y no soportado y se tiene el blanco se cuentan con 7 muestras y se usa la nomenclatura que se muestra en la tabla 15.

Tabla 15

Resultados de análisis de ésteres de ácidos grasos de muestra

Catalizador	Nº muestra	Nomenclatura
Soportado	1	MC1
	2	MC2
	3	MC3
Sin soporte	1	MS1
	2	MS2
	3	MS3
Blanco		B

Nota. Autoría Propia

3.4.1. Poder calorífico determinado de biodiesel

Los resultados del poder calorífico de las muestras de biodiesel se presentan en la tabla 16, se muestra con más detalle en el anexo 13.

Tabla 16

Resultados del poder calorífico de las muestras de biodiesel

Descripción	Valor (J/g)
Con catalizador soportado	37 553
Con catalizador no soportado	38 924

El poder calorífico de la muestra elaborada con el catalizador no soportado tiene un aumento de 1 371 J/g con respecto al soportado. El poder calorífico de las dos muestras es mayor a las registradas por (Rodríguez et al., 2017) de 37 255 J/g y (Tondo et al., 2017) de 35 912 J/g los cuales usan diferentes catalizadores. Esto se puede dar a que según Gavhane et al., (2020) el óxido de cinc se usa como aditivo en los motores a diésel para aumentar su poder calorífico, por lo que se puede tener trazas del catalizador en el biodiesel.

3.4.2. Densidad determinada de biodiesel

Los resultados de la densidad se muestran en la tabla 17, se muestra con más detalles en el anexo 14.

Tabla 17

Resultados de la densidad de las muestras de biodiesel

Catalizador	Muestra	Densidad (g/cm³) 15 ° C	Promedio (g/cm³) 15 ° C	Desviación estándar
Soportado	MC1	0.8614	0.8916	0.0273
	MC2	0.8984		
	MC3	0.9149		
No Soportado	MS1	0.8537	0.8798	0.0237
	MS2	0.8853		
	MS3	0.9002		
Blanco	B	0.93	0.93	

PV: Peso del picnómetro vacío. PA: Peso del picnómetro con agua. PD: Peso del picnómetro con biodiesel.

Nota. Autoría Propia

La norma INEN 1489 establece que la densidad del biodiesel se debe encontrar entre 860 - 900 kg/m³, por lo que las dos muestras tanto la soportada como la que se encontraron dentro de la norma. Sin embargo, el blanco se encuentra fuera de este rango y con un valor más cercano a la densidad del aceite, por lo que se podría suponer que no se tuvo una transesterificación completa. Mientras que la desviación estándar tanto del soportado es baja por lo que se considera un proceso reproducible y datos confiables. La distribución de los datos es normal y la varianza de los datos era igual, por lo que se determinó la prueba t para dos muestras con varianzas iguales. El valor de significancia (p) en una cola de 0.301 es mayor a (α), lo que indica que no se tiene una diferencia estadísticamente significativa, ver en más detalle en anexo 15.

3.4.3. Viscosidad determinada de biodiesel

Para la muestra MC1 luego de haber determinado el tiempo en el que la muestra de diésel transcurre los límites en el viscosímetro a 40 °C, se aplicó la ecuación 10 para determinar la viscosidad dinámica como se muestra en el anexo 16. Se realizaron estos cálculos con todas las muestras y el resultado se muestra en la tabla 18.

Tabla 18

Resultados de la viscosidad de las muestras de biodiesel

Catalizador	Nomenclatura	Viscosidad dinámica a 40°C (kg/ms)	Viscosidad cinemática 40°C (mm²/s)	Promedio (mm²/s)
Soportado	MC1	0.0359	4.084	4.1887
	MC2	0.0379	4.3079	
	MC3	0.0365	4.1488	
No Soportado	MS1	0.0313	3.5105	3.5042
	MS2	0.0319	3.5778	
	MS3	0.0320	3.5891	
Blanco	B	0.362	37.5281	37.5281

Nota. Autoría Propia

La viscosidad del biodiesel es mayor a la del diésel y menor al aceite usado como materia prima (Ramírez, 2013). La viscosidad del diésel en promedio tiene un valor de $3.40 \text{ mm}^2/\text{s}$ a 40°C (García et al., 2020). Por lo que la muestra no soportada tiene un valor más cercano al diésel, esta al ser baja podría causar fugas de combustible y disminuir la eficiencia del motor en el que se use (Fernández, 2018). Sin embargo, las dos muestras cumplen con los rangos establecidos por las normativas INEN 2482, ASTM B 100 y EN 590.

En el caso del blanco tiene un valor mucho más alto que el máximo establecido en las normativas ($6 \text{ mm}^2/\text{s}$), pero es menor a la viscosidad del aceite ($50.9117 \text{ mm}^2/\text{s}$). Este aumento de la viscosidad del blanco se debe a que no se completó la reacción de transesterificación y solo reaccionó una parte de los glicéridos. (Sanchez, 2021). Además, no se podría usar como combustible puesto que viscosidades mayores al valor máximo establecido por las normas, podría provocar problemas en el motor como una combustión incompleta (Fernández, 2018).

La distribución de los datos es normal y la varianza de los datos era igual, por lo que se determinó la prueba t para dos muestras con varianzas iguales. El valor de significancia (p) en una cola de 0.0015 es menor a (α), por lo que, si se confirma una diferencia significativa, ver más detalle en anexo 17.

3.4.4. Cantidad de agua determinada en biodiesel

La cantidad de agua se muestra en el anexo 18, esta cumple con lo establecido con las normativas INEN 2482, ASTM B 100 y EN 590, ya que se tiene un máximo de 0,005 % de agua en el biodiesel.

3.4.5. Rendimiento obtenido en biodiesel

De la muestra MC1 se obtuvieron los porcentajes de ésteres de ácidos grasos que se muestra en la tabla 19. Para determinar el rendimiento del biodiesel, primero se determinó el peso de los metil ésteres presentes en la muestra que se muestra en la tabla 19, ver con más detalle en anexo 19. Para determinar el rendimiento del biodiesel, primero se determinó el peso de los metil ésteres presentes en la muestra que se muestra en la tabla 20. Luego se aplica la ecuación 10 con el peso de ácidos grasos del aceite como se muestra en el anexo 20 y se determina el rendimiento. Se realizaron los mismos cálculos con las otras muestras. La tabla de resultados y los cromatogramas de las otras muestras se puede observar en los anexos 22-27.

Tabla 19

Resultados de análisis de ésteres de ácidos grasos de la muestra MC1

FAME	Porcentaje, %	Peso ácidos grasos
C 14:0	0.1779	0.0457
C 16:0	9.1598	3.2819
C 18:0	3.1150	1.2517
C 18:1	20.7836	8.3904
C 18:2	29.8583	11.714
C 18:3	0.8728	0.3341
C 24:0	3.7012	1.9169
Total	63.9675	26.93

Nota. Autoría Propia.

Tabla 20

Resultados de rendimiento de muestras de biodiesel

Catalizador	Muestra	Rendimiento	Promedio (%)
Soportado	MC1	74.5134	70.9088
	MC2	68.9701	
	MC3	69.2430	
Sin soporte	MS1	61.5621	65.3656
	MS2	71.9964	
	MS3	62.5384	
B		0.5663	0.5663

Nota. Autoría Propia

En la tabla 4 se muestra que el rendimiento obtenido de la muestra soportada es mayor a lo registrado por (Milano et al., 2022) con un 70 % usando como catalizador hidróxido de potasio, no siendo el caso de la muestra no soportada. Por otro lado, el rendimiento obtenido de las dos muestras es menor como lo muestran Fangfang et al., (2021); Sipayung & Budiyo, (2022) y Sivarethinamohan et al., (2022) que obtuvieron un rendimiento de 98 %, 91.8 % y 95.57 % usando como catalizador hidróxido de sodio y óxido de calcio respectivamente.

Ahora cuando se usa óxido de cinc el rendimiento obtenido es mayor al registrado por Diaz et al., (2008) de 49.78 %. Por otro lado, cuando se tiene una mezcla de óxido de cinc con óxido de cobre se muestra un aumento en el rendimiento ya que Guo et al., (2022) y Puspa & Soe'eib, (2017) presentaron un rendimiento de 92.29 % y 81.4 % respectivamente.

A pesar que se tienen mejores resultados cuando se usan catalizadores diferentes al óxido de cinc, según Dasta et al., (2022) este es el catalizador más apropiado para la obtención de biodiesel ya que disminuye el tiempo y temperatura necesarias para la síntesis. Además, se puede mejorar el rendimiento combinando el óxido de cinc con otros compuestos.

El valor del rendimiento de la muestra soportada es mayor a la no soportada para confirmar la diferencia se determinó la distribución de los datos siendo esta normal y la varianza de los datos era igual. Por lo que se determinó la prueba t para dos muestras con varianzas desiguales. El valor de significancia (p) en una cola de 0.2392 es mayor a (α), por lo que, no se tiene una diferencia significativa, ver más detalle en anexo 21.

CONCLUSIONES

Tras haber realizado el trabajo de investigación se puede concluir que:

- Se obtuvo óxido de cinc a partir del cinc de las pilas cinc-carbono, con un rendimiento del 56 % y una pureza del 98 %. Se preparó un catalizador soportado al 5 % de óxido de cinc sobre una varilla de carbono también reciclada de la pila.
- El aceite reciclado fue filtrado para eliminar impurezas, lavado con agua a 80 °C y se secado. Para realizar su caracterización se usó un cromatógrafo de gases, determinándose que el ácido graso en estaba en mayor proporción es el linoleico (18:2) con un 11.294 %. La cantidad de agua se determinó por titulación Fischer teniendo un valor de 0.15 %, demostrándose que el secado de la muestra fue eficiente. Se midió la densidad en un picnómetro obteniéndose un valor de 0.9646 g/cm³. La viscosidad se determinó en un viscosímetro de Ostwald teniendo un valor de 50.9117 mm²/s. Tanto la viscosidad como la densidad se encontraban dentro de lo establecido por la normativa ASTM para aceites reciclados para elaborar biodiesel.
- Se obtuvo biodiesel con el aceite vegetal pre tratado y etanol a una proporción 6:1, para acelerar la reacción se usó el catalizador soportado y el sin soportar que tenía como fase activa al óxido de cinc. La muestra de biodiesel elaborada con el catalizador soportado mostró mejores resultados respecto a la densidad, viscosidad y porcentaje de rendimiento de la reacción, pero no respecto al poder calorífico. Esto se puede dar por la presencia de trazas de óxido de cinc. La determinación de la cantidad de agua, viscosidad y densidad fue la misma que en el caso del aceite, obteniendo los siguientes valores 0.005 %, 0.8916 g/cm³ y 4.1887 mm²/s, respectivamente. Estos parámetros se encuentran en los rangos determinados por las normativas para el biodiesel INEN 2482, ASTM B 100 y EN 590. La determinación del poder calorífico se realizó en una bomba calorimétrica. Para obtener el rendimiento de la reacción de transesterificación se inyectó la muestra en un cromatógrafo de gases y se comparó con los valores obtenidos con el aceite vegetal reciclado. El blanco mostró características como densidad y viscosidad similares al aceite.

UCUENCA

- El catalizador obtenido favoreció la generación de biodiesel a partir de aceite vegetal reciclado y etanol. Esto se evidenció en el rendimiento de la reacción ya que cuando se usó se obtuvo un rendimiento de la reacción del 70.91 % en comparación del blanco no catalizado donde se obtuvo un rendimiento del 0.5 %.
- Al comparar los rendimientos entre las reacciones catalizadas se encontró que el rendimiento y la viscosidad no fueron significativamente diferentes; si se encontraron diferencias por densidad. El catalizador soportado permitió recuperar más fácilmente el catalizador.
- Se transformaron dos residuos considerados como pasivos ambientales en productos de valor agregado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda determinar las impurezas que se encuentran en el cromatograma ya que las mismas se encuentran presentes en el aceite vegetal reciclado y en el biodiesel.
- Realizar más estudios con el biodiesel para determinar si este podría funcionar en un motor de combustión.
- Determinar si se encuentran trazas del catalizador en las muestras de biodiesel tanto las soportadas como las que no.
- Optimizar los procesos de obtención de óxido de cinc y de biodiesel.

BIBLIOGRAFÍA

- Abid Charef, S., Affoune, A. M., Caballero, A., Cruz-Yusta, M., & Morales, J. (2017). Simultaneous recovery of Zn and Mn from used batteries in acidic and alkaline mediums: A comparative study. *Waste Management*, 68, 518–526. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.048>
- Al-Tikrity, E. T. B., Fadhil, A. B., & Ibraheem, K. K. (2017). Biodiesel production from bitter almond oil as new non-edible oil feedstock. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(7), 649–656. <https://doi.org/10.1080/15567036.2016.1243172>
- Alvarado, E., González, E., & Mendoza, O. (2010). *Propuesta de un método para la recuperación de zinc de pilas alcalinas usadas bajo el enfoque de producción más limpia*. Universidad del Salvador.
- Alvarez, J. A. A. (2013). *Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio*.
- Ambroz, F., Macdonald, T. J., Martis, V., & Parkin, I. P. (2018). Evaluation of the BET Theory for the Characterization of Meso and Microporous MOFs. *Small Methods*, 2(11), 1800173. <https://doi.org/10.1002/smtd.201800173>
- Aquino, P., & Osorio, A. (2018). *Caracterización de nanopartículas de ZnO sintetizadas por el método de precipitación y su evaluación en la incorporación en pinturas esmalte*. PUCP.
- Arias, D., Teuta, & Jaime Parra Plazas. (2011). Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100/04 y medición de poder calorífico. *AVANCES Investigación En Ingeniería*, 8.
- ASTM. (2015). *Chapter 5 | Biodiesel*. <https://www.astm.org/mnl120170046.html>
- Boddula, R. (2020). *Zink Batteries: Basics, Developments, and Applications*.
- Bohlouli, A., & Mahdavian, L. (2021). Catalysts used in biodiesel production: A review. *Biofuels*, 12(8), 885–898. <https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1558836>

- Bolívar, G. (2020, May 25). Tipos de pilas, características y reacciones. *Lifeder*.
<https://www.lifeder.com/tipos-de-pilas/>
- Cabello, C., Rincón, S., & Zepeda, A. (2016). *Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiesel*. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Cardoso, G., & Rivero, E. (2012). *Revisión y análisis de las características del manejo ambiental de pilas y baterías en Bolivia*. Fdocuments.Ec.
<https://fdocuments.ec/document/revision-y-analisis-de-las-caracteristicas-del-manejo.html>
- Casallas I.D., Carvajal E., Mahecha E., Castrillon C., Gomez H., Lopez C., & Malagon-Romero D. (2018). Pretreatment of waste cooking oils for biodiesel production. *Chemical Engineering Transactions*, 65, 385–390.
<https://doi.org/10.3303/CET1865065>
- Castellanos, I., & Velandia, J. (2018). Aplicaciones y generalidades de un espectrofotómetro de absorción atómica AA-700 de Shimadzu. EAN.
- Castellar, G., Angulo, E., & Cardoso, B. (2014). Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. 2, 12, 93–95.
- Castillo, F. (2018). *Caracterización teórica de parámetros del biodiésel y estudio de algunas emisiones*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Changmai, B., Vanlalveni, C., Prabhakar Ingle, A., Bhagat, R., & Lalthazuala Rokhum, S. (2020). Widely used catalysts in biodiesel production: A review. *RSC Advances*, 10(68), 41625–41679. <https://doi.org/10.1039/D0RA07931F>
- Chaulya, S. K., & Prasad, G. M. (2016). Chapter 3—Gas Sensors for Underground Mines and Hazardous Areas. In S. K. Chaulya & G. M. Prasad (Eds.), *Sensing and Monitoring Technologies for Mines and Hazardous Areas* (pp. 161–212). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803194-0.00003-9>
- Chitue, J., Lafargue-Pérez, D. F., Díaz-Velázquez, D. M., Barrera-Vaillant, L. N., Marrero-Delange, D. D., & Varela-Hernández, I. K. (2013). Análisis

- cromatográfico del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. crudo y refinado. 8.
- Chozhavendhan, S., Vijay Pradhap Singh, M., Fransila, B., Praveen Kumar, R., & Karthiga Devi, G. (2020). A review on influencing parameters of biodiesel production and purification processes. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 1–2, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2020.04.002>
- Chuquichanga, E., & León, D. (2019). *Obtención de óxido de zinc a partir de pilas zinc carbono desechables*.
- Deep, A., Sharma, A. L., Mohanta, G. C., Kumar, P., & Kim, K.-H. (2016). A facile chemical route for recovery of high quality zinc oxide nanoparticles from spent alkaline batteries. *Waste Management*, 51, 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.033>
- Díaz, D. (2006). *Evaluación de las propiedades de superficie del óxido de zinc y su actividad catalítica en la transesterificación de aceite de palma con metanol*. 112.
- Díaz, D., Camargo, G., & Molano, M. (2008). *Evaluación de catalizadores de óxido de zinc y su actividad catalítica en la reacción de transesterificación para la producción de biodiésel*. 299–305.
- Díaz, M., & Rocha, K. (2005). Cuantificación de ácidos grasos trans por cromatografía de gases en pan blanco e integral de la Planta de Procesamiento de Granos de Zamorano. 61.
- Energizer Brands. (2018). *Energizer Carbon Zinc Battery Handbook and Application Manual*.
- ETAPA. (2015). *Programa de recolección de pilas*. ETAPA. <https://www.etapa.net.ec/informacion/gestion-ambiental/gestion-ambiental-urbana/programa-de-recoleccion-de-pilas>
- Fadhil, A. B., Sedeeq, S. H., & Al-Layla, N. M. T. (2019). Transesterification of non-edible seed oil for biodiesel production: Characterization and analysis of

- biodiesel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41(7), 892–901. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1520367>
- Falco, M. (2013). *Optimización de un proceso biohidrometalúrgico de recuperación de metales de pilas alcalinas y de cinc-carbón agotadas*. Universidad Nacional de La Plata.
- Fangfang, F., Alagumalai, A., & Mahian, O. (2021). Sustainable biodiesel production from waste cooking oil: ANN modeling and environmental factor assessment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46, 101265. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101265>
- Farag, H. A., El-Maghraby, A., & Taha, N. A. (2011). Optimization of factors affecting esterification of mixed oil with high percentage of free fatty acid. *Fuel Processing Technology*, 92(3), 507–510. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.11.004>
- Farm Energy. (2019a). *What Generation Is Your Biodiesel? – Farm Energy*. <https://farm-energy.extension.org/what-generation-is-your-biodiesel/>
- Farm Energy. (2019b, April 3). *Animal Fats for Biodiesel Production*. <https://farm-energy.extension.org/animal-fats-for-biodiesel-production/>
- Ferella, F., De Michelis, I., & Vegliò, F. (2008). Process for the recycling of alkaline and zinc–carbon spent batteries. *Journal of Power Sources*, 183(2), 805–811. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.05.043>
- Fernández, K. C. (2018). *Caracterización teórica de parámetros del biodiésel y estudio de algunas de sus emisiones*. 98.
- Foo, W. H., Chia, W. Y., Tang, D. Y. Y., Koay, S. S. N., Lim, S. S., & Chew, K. W. (2021). The conundrum of waste cooking oil: Transforming hazard into energy. *Journal of Hazardous Materials*, 417, 126129. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126129>
- Fuentes, P. (2019). Determinación de ácidos grasos por cromatografía de gases para

la diferenciación de nueces (*Juglans regia*) según su origen [Universidad de Cadiz].

https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/22384/TFM_Fuentes_Pablo_2020.pdf?sequence=1

- García, I. X., Cantos-Macías, M., González-Maimó, A. V., García-Rodríguez, I. X., Cantos-Macías, M., & González-Maimó, A. V. (2020). Viscosidad de la mezcla Fuel oil-Diésel al 8 % para generadores de vapor. *Ingeniería Mecánica*, 23(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-59442020000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- García-Muentes, S. A., Lafargue-Pérez, F., Labrada-Vázquez, B., Díaz-Velázquez, M., & Sánchez del Campo-Lafita, A. E. (2018). Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la *Jatropha curcas* L. en la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Química*, 30(1), 142–158.
- Gavhane, R., M. Kate, A., Pawar, A., Safaei, M. R., M. Soudagar, M. E., Mujtaba Abbas, M., Muhammad Ali, H., R Banapurmath, N., Goodarzi, M., Badruddin, I. A., Ahmed, W., & Shahapurkar, K. (2020). Effect of Zinc Oxide Nano-Additives and Soybean Biodiesel at Varying Loads and Compression Ratios on VCR Diesel Engine Characteristics. *Symmetry*, 12(6), 1042. <https://doi.org/10.3390/sym12061042>
- Gebremariam, S. N., Marchetti, J. M., Gebremariam, S. N., & Marchetti, J. M. (2017). Biodiesel production technologies: Review. *AIMS Energy*, 5(3), 425–457. <https://doi.org/10.3934/energy.2017.3.425>
- Gobierno de Chile. (2011). *Diagnóstico producción, importación y distribución y el manejo de los residuos de pilas*.
- Gopan, S., Rajan, A., & Beemaraj, R. K. (2020). Review of Bio-diesel production from waste cooking oil and analyze the IC engine performance. *Materials Today: Proceedings*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.373>

- Güerre, A. A. (2018). La eficiencia de la responsabilidad ampliada del productor en la gestión de aceites usados con diferenciación del producto. *Studies of Applied Economics*, 36(3), 789–810. <https://doi.org/10.25115/eea.v36i3.2553>
- Guo, M., Jiang, W., Ding, J., & Lu, J. (2022). Highly active and recyclable CuO/ZnO as photocatalyst for transesterification of waste cooking oil to biodiesel and the kinetics. *Fuel*, 315, 123254. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123254>
- Hage, D. S. (2018). Chromatography. In *Principles and Applications of Clinical Mass Spectrometry* (pp. 1–32). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816063-3.00001-3>
- Herrera, J., & Velez, J. (2008). *Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel)*. Universidad tecnológica de Pereira facultad de tecnología.
- Humans, I. W. G. on the E. of C. R. to. (2012). Mineral oils, untreated or mildly treated. In *Chemical Agents and Related Occupations*. International Agency for Research on Cancer. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304428/>
- INEN. (2012). *Aceites y grasas de origen animal y vegetal determinación de la densidad relativa*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_35-1.pdf
- INEN. (2013). *Biodiesel. Requisitos*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2482.pdf>
- Khorsand, A., & Razali, R. (2011). *Synthesis and characterization of a narrow size distribution of zinc oxide nanoparticles*.
- Koch, M., Tenbohlen, S., Blennow, J., & Hoehlein, I. (2007). *Reliability and Improvements of Water Titration by the Karl Fischer Technique*. 6.
- Lafont, J. J., Páez, M. S., & Torres, Y. C. (2011). Análisis Químico de Mezclas Biodiesel de Aceite de Cocina Usado y Diesel por Espectroscopia Infrarroja. *Información tecnológica*, 22(4), 35–42. <https://doi.org/10.4067/S0718->

- Leung, D. Y. C., & Guo, Y. (2006). Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, *87*(10), 883–890. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.06.003>
- Linden, D., & Reddy, T. (2001). *Handbook of Batteries*. McGraw Hill Professional.
- Lopez, L., Bocanegra, J., & Romero, D. M. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. *1*, 19.
- López-Cruz, K., Rojas-Vargas, J., & Bogantes-Sánchez, J. (2019). Gestión integral de los residuos de aceite vegetal de cocina en las sodas del Campus Omar Dengo de la Universidad Nacional de Costa Rica. *Uniciencia*, *33*(1), 18–29.
- Lu, P. J., Fang, S. W., Cheng, W. L., Huang, S. C., Huang, M. C., & Cheng, H. F. (2018). Characterization of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in sunscreen powder by comparing different measurement methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, *26*(3), 1192–1200. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.010>
- Manchado, J. A. S., Franco, M. A., González, C. F., & Serrano, V. G. (2017). Meso- y macroporosidad en materiales carbonosos preparados por tratamiento térmico y químico de materiales lignocelulósicos.: Adsorción de Cu(II) y Zn(II). *Boletín del Grupo Español del Carbón*, *45*, 8–15.
- Majharul, H., Khan, A., Khan, M., & ASW, K. (2012). Characterization of Spent Household Zinc-Carbon Dry Cell Batteries in the Process of Recovery of Value Metals. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, *11*. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2012.116047>
- Martínez, C., Neftalí, M., Rojas-Valencia, M., & Moreno, U. (2008). *Aplicación de métodos basados en la hidrometalurgia para el tratamiento y reciclaje de pilas alcalinas y zinc-carbón*.
- Milano, J., Shamsuddin, A. H., Silitonga, A. S., Sebayang, A. H., Siregar, M. A.,

- Masjuki, H. H., Pulungan, M. A., Chia, S. R., & Zamri, M. F. M. A. (2022). Tribological study on the biodiesel produced from waste cooking oil, waste cooking oil blend with *Calophyllum inophyllum* and its diesel blends on lubricant oil. *Energy Reports*, 8, 1578–1590. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.059>
- Ministerio del ambiente. (2017). *Documento Soporte Tecnico ACU*. <http://www.andi.com.co/Uploads/Documento%20Soporte%20Tecnico%20ACU%20-Ajustes%20-29-09-17.pdf>
- Mitsubishi Chemical Corporation. (2004). *Karl Fisher Reagents Technical Manual*. Mitsubishi Chemical Corporation. https://mcckf.com/english/wp-content/uploads/2019/11/manual_E.pdf
- Musa, I. A. (2016). The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.06.007>
- Nanda, S., Rana, R., Hunter, H. N., Fang, Z., Dalai, A. K., & Kozinski, J. A. (2019). Hydrothermal catalytic processing of waste cooking oil for hydrogen-rich syngas production. *Chemical Engineering Science*, 195, 935–945. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.10.039>
- Nasrollahzadeh, M., Atarod, M., Sajjadi, M., Sajadi, S. M., & Issaabadi, Z. (2019). Plant-Mediated Green Synthesis of Nanostructures: Mechanisms, Characterization, and Applications. In *Interface Science and Technology* (Vol. 28, pp. 199–322). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00006-7>
- Nath, M. R., Ahmed, A. N., Gafur, M. A., Miah, M. Y., & Bhattacharjee, S. (2018). ZnO nanoparticles preparation from spent zinc–carbon dry cell batteries: Studies on structural, morphological and optical properties. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 6(3), 262–270. <https://doi.org/10.1080/21870764.2018.1507610>
- Ordoñez, B. M., Chaves, L. C., Rodríguez-Pérez, W., Murcia, M. A., & Alvarado, E. R.

(2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina.

Revista Colombiana de Biotecnología, 15(1), 61–70.

Pablo Fuentes Soriano. (2019). *Determinación de ácidos grasos por cromatografía de gases para la diferenciación de nueces (juglans regia) según su origen*

[Universidad de Cadiz].

https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/22384/TFM_Fuentes_Pablo_2020.pdf?sequence=1

Panero, S., Romoli, C., Achilli, M., Cardarelli, E., & Scrosati, B. (1995). Impact of household batteries in landfills. *Journal of Power Sources*, 57(1), 9–12.

[https://doi.org/10.1016/0378-7753\(95\)02230-9](https://doi.org/10.1016/0378-7753(95)02230-9)

Philips. (2017). *Pilas primarias*. Philips. [https://www.philips.com.co/c-](https://www.philips.com.co/c-f/XC000012118/¿se-pueden-recargar-las-baterías-primarias-de-philips)

[f/XC000012118/¿se-pueden-recargar-las-baterías-primarias-de-philips](https://www.philips.com.co/c-f/XC000012118/¿se-pueden-recargar-las-baterías-primarias-de-philips)

Pilataxi, C. (2020). *Módulo de información ambiental en hogares* (p. 15) [Boletín

técnico]. INEC. chrome-

[extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2](https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.ecuadorencifras.gob.ec%2Fdocumentos%2Fweb-inec%2FEncuestas_Ambientales%2FHogares%2FHogares%25202019%2FBO)

[F%2Fwww.ecuadorencifras.gob.ec%2Fdocumentos%2Fweb-](https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.ecuadorencifras.gob.ec%2Fdocumentos%2Fweb-inec%2FEncuestas_Ambientales%2FHogares%2FHogares%25202019%2FBO)

[inec%2FEncuestas_Ambientales%2FHogares%2FHogares%25202019%2FBO](https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.ecuadorencifras.gob.ec%2Fdocumentos%2Fweb-inec%2FEncuestas_Ambientales%2FHogares%2FHogares%25202019%2FBO)

[L_TEC_AMB_ESPND_2019_11.pdf&chunk=true](https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.ecuadorencifras.gob.ec%2Fdocumentos%2Fweb-inec%2FEncuestas_Ambientales%2FHogares%2FHogares%25202019%2FBO)

Raja, P. M. V., & Barron, A. R. (2021). *BET Surface Area Analysis of Nanoparticles*.

Rice University.

[https://batch.libretexts.org/print/url=https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Physical_Methods_in_Chemistry_and_Nano_Science_\(Barron\)/02%3A_Physical_and_Thermal_Analysis/2.03%3A_BET_Surface_Area_Analysis_of_Nanoparticles.pdf](https://batch.libretexts.org/print/url=https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Physical_Methods_in_Chemistry_and_Nano_Science_(Barron)/02%3A_Physical_and_Thermal_Analysis/2.03%3A_BET_Surface_Area_Analysis_of_Nanoparticles.pdf)

Ramírez, L. F. (2013). Density and viscosity of biodiesel as a function of temperature:

Empirical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19(C), 652–

665.

- Rodríguez, D., Ávila, J., & Romero, D. M. (2017). *Obtención de biodiesel a partir de mezclas de aceite de cocina usado y aceite de higuera*. 9.
- Rodríguez, R. (2017). *Obtención de biodiesel a partir de mezclas de aceite usado de cocina y aceite de palma*. 75.
- Rosales Quintero, A., & Torrestiana Sánchez, B. (2016). Evaluación y caracterización de grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiesel: Un caso de estudio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(3), 303–313. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.05>
- Rpublicas. (2018). Alcaldía busca reducir grados de contaminación con el aceite usado. *Cuenca*. <http://www.cuenca.gob.ec/?q=content/alcald%C3%ADa-busca-reducir-grados-de-contaminaci%C3%B3n-con-el-aceite-usado>
- Sahar, Sadaf, S., Iqbal, J., Ullah, I., Bhatti, H. N., Nouren, S., Habib-ur-Rehman, Nisar, J., & Iqbal, M. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable Cities and Society*, 41, 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.037>
- Sanchez, E. (2021). *Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales empleando catalizadores sólidos nanoestructurados*. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba.
- Sánchez Rodríguez, L. A., & Rojas Huertas, P. A. (2017). *Producción de biodiesel a partir de mezclas de aceite de palma (RBD) con aceites usados de cocina (ACU), utilizando como catalizadores carbones activados sulfonados a partir de cuscú de cacao y PET*. <https://doi.org/10.2682>
- Sethia, G., & Sayari, A. (2016). Activated carbon with optimum pore size distribution for hydrogen storage. *Carbon*, 99, 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.12.032>
- Sipayung, R. & Budiyo. (2022). Optimization of biodiesel production from used cooking oil using modified calcium oxide as catalyst and N-Hexane as solvent.

Materials Today: Proceedings. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.562>

Sivarethinamohan, S., Hanumanthu, J. R., Gaddam, K., Ravindiran, G., & Alagumalai, A. (2022). Towards sustainable biodiesel production by solar intensification of waste cooking oil and engine parameter assessment studies. *Science of The Total Environment*, 804, 150236.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150236>

Tacias, V., Rosales Quintero, A., Torrestiana Sánchez, B., Tacias Pascacio, V. G., Rosales Quintero, A., & Torrestiana Sánchez, B. (2016). Evaluación y caracterización de grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel: Un caso de estudio. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(3), 303–313. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.05>

Thangaraj, B., Solomon, P. R., Muniyandi, B., Ranganathan, S., & Lin, L. (2019). Catalysis in biodiesel production—A review. *Clean Energy*, 3(1), 2–23. <https://doi.org/10.1093/ce/zky020>

Tondo, Wellington Lucas, Gurgacz, Flavio, Santos, Reginaldo Ferreira, Werncke, Ivan, Klajn, Felipe Fernandes, & Lenz, Anderson Miguel. (2017). *Biodiesel as fuel for boilers*. 39. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v39i5.29501>

Universidad del País Vasco. (2019). Pilas y baterías. Campus de Álava. <https://www.ehu.eus/es/web/araba/campus-iraunkorra-pilak-eta-bateriak>

U.S. EIA. (2021, July 29). *Diesel fuel explained* -. <https://www.eia.gov/energyexplained/diesel-fuel/>

USEPA. (2013). *Renewable Fuels Standard 2 (RFS2)*. <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OAR-2005-0161-3249>

Vásconez, L. (2018). *Convenios en cinco ciudades del Ecuador para reciclar aceites usados*. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/convenios-ciudades-ecuador-reciclar-aceites.html>

- Vélez, J. A. (2008). Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (Biodiesel).
<https://core.ac.uk/reader/71395470>
- Verma, P., & Sharma, M. P. (2016). Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1063–1071. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.054>
- Wade, J. (2012). *Química organica Vol 2 Wade 7ma pdf* (Septima, Vol. 2).
https://www.academia.edu/35359955/Quimica_organica_Vol_2_Wade_7ma_pdf
- Yaakob, Z., Mohammad, M., Alherbawi, M., Alam, Z., & Sopian, K. (2013). Overview of the production of biodiesel from Waste cooking oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 184–193. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.016>
- Yaşar, F. (2020). Comparison of fuel properties of biodiesel fuels produced from different oils to determine the most suitable feedstock type. *Fuel*, 264, 116817. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116817>
- Yuasa. (2014). Explicación de las baterías para baterías auxiliares de automoción. Yuasa. <https://www.yuasa.es/informacion/automocion-comercial-servicios-nautica/explicacion-de-las-baterias-para-automocion-de-reserva-y-auxiliares/>

REFERENCIAS

- ASTM. (2021, diciembre 20). Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity). <https://www.astm.org/d0445-21.html>
- Chozhavendhan, S., Vijay Pradhap Singh, M., Fransila, B., Praveen Kumar, R., & Karthiga Devi, G. (2020). A review on influencing parameters of biodiesel production and purification processes. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 1–2, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2020.04.002>
- Dasta, P., Pratap Singh, A., & Pratap Singh, A. (2022). Zinc oxide nanoparticle as a heterogeneous catalyst in generation of biodiesel. *Materials Today: Proceedings*, 52, 751–757. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.143>
- Diaz, D. (2006). *Evaluación de las propiedades de superficie del óxido de zinc y su actividad catalítica en la transesterificación de aceite de palma con metanol*. 112.
- Fangfang, F., Alagumalai, A., & Mahian, O. (2021). Sustainable biodiesel production from waste cooking oil: ANN modeling and environmental factor assessment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46, 101265. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101265>
- Farag, H. A., El-Maghraby, A., & Taha, N. A. (2011). Optimization of factors affecting esterification of mixed oil with high percentage of free fatty acid. *Fuel Processing Technology*, 92(3), 507–510. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.11.004>
- Gavhane, R., M. Kate, A., Pawar, A., Safaei, M. R., M. Soudagar, M. E., Mujtaba Abbas, M., Muhammad Ali, H., R Banapurmath, N., Goodarzi, M., Badruddin, I. A., Ahmed, W., & Shahapurkar, K. (2020). Effect of Zinc Oxide Nano-Additives and Soybean Biodiesel at Varying Loads and Compression Ratios on VCR Diesel Engine Characteristics. *Symmetry*, 12(6), 1042.

- Gebremariam, S. N., Marchetti, J. M., Gebremariam, S. N., & Marchetti, J. M. (2017). Biodiesel production technologies: Review. *AIMS Energy*, 5(3), 425–457. <https://doi.org/10.3934/energy.2017.3.425>
- Guo, M., Jiang, W., Ding, J., & Lu, J. (2022). Highly active and recyclable CuO/ZnO as photocatalyst for transesterification of waste cooking oil to biodiesel and the kinetics. *Fuel*, 315, 123254. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123254>
- INEC (2020). *Módulo de información ambiental en hogares* (p. 15) [Boletín técnico]. INEC.
- Puspa, N., & Soe'eib, S. (2017). *Alumina supported zinc oxide catalyst for production of biodiesel from kesambi oil and optimization to achieve highest yields of biodiesel*. <https://doi.org/10.1007/s41207-017-0043-8>
- Sing, K. S. W. (1985). Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984). *Pure and Applied Chemistry*, 57(4), 603-619. <https://doi.org/10.1351/pac198557040603>
- Sipayung, R. & Budiyo. (2022). Optimization of biodiesel production from used cooking oil using modified calcium oxide as catalyst and N-Hexane as solvent. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.562>
- Sivarethinamohan, S., Hanumanthu, J. R., Gaddam, K., Ravindiran, G., & Alagumalai, A. (2022). Towards sustainable biodiesel production by solar intensification of waste cooking oil and engine parameter assessment studies. *Science of The Total Environment*, 804, 150236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150236>
- Verma, P., & Sharma, M. P. (2016). Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1063–1071. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.054>

ANEXOS

Anexo 1. Seminario D (2022) *Cálculos de partes por millón de cinc a porcentaje en la muestra obtenida.*

Con el proceso A se obtuvieron 0.8075 partes por millón de cinc, con esto se realizaron los cálculos de la cantidad y porcentaje de óxido de cinc en la muestra.

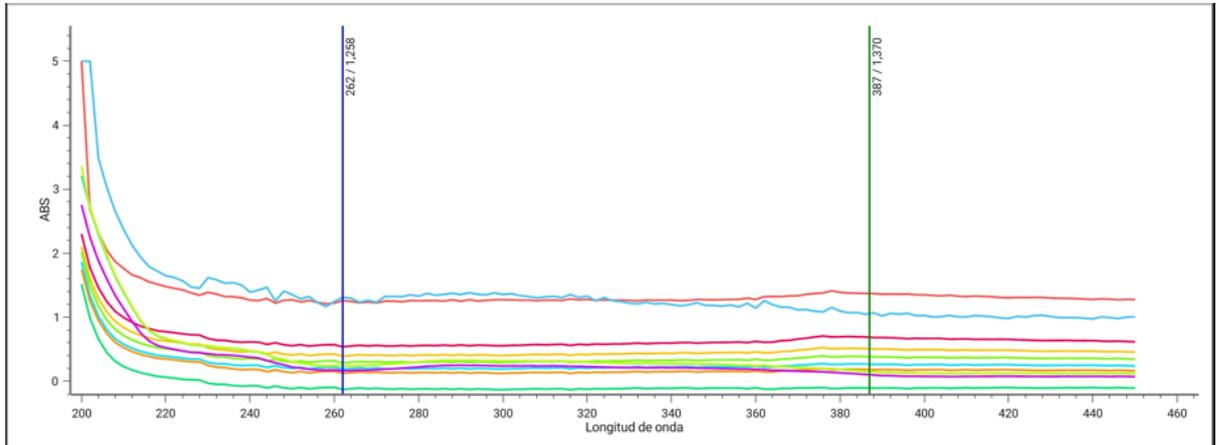
$$0.8075 \text{ ppm Zn} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ mL}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1.00513 \text{ g}} = 0.8034 \frac{\text{ug}}{\text{g}}$$

$$0.8075 \frac{\text{g Zn}}{\text{g muestra}} * 100 = 80.75\% \text{ Zn en muestra}$$

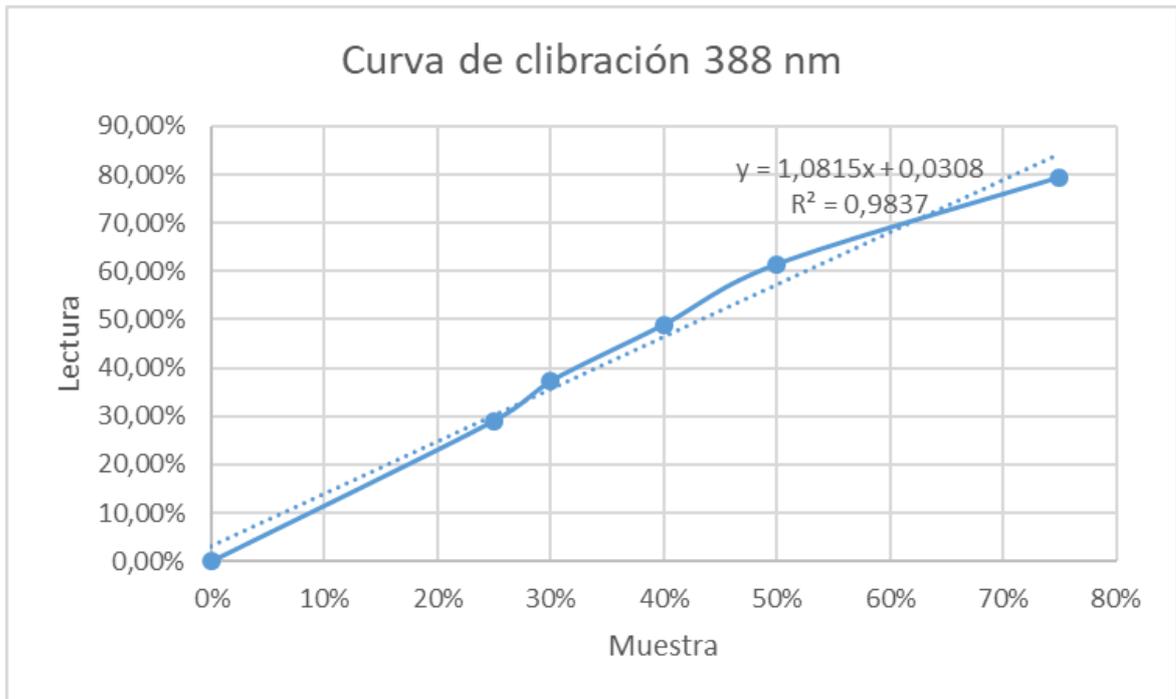
Zn	ZnO
65.38	81.38
0.8034	x
x= 0.99 g	
1.00513	100
0.99	x
98.49%	

Ya que la muestra fue de 1.00513 el porcentaje de pureza es 98.49 %, se realizaron los mismos cálculos con el proceso B y los resultados se muestran en la tabla 8.

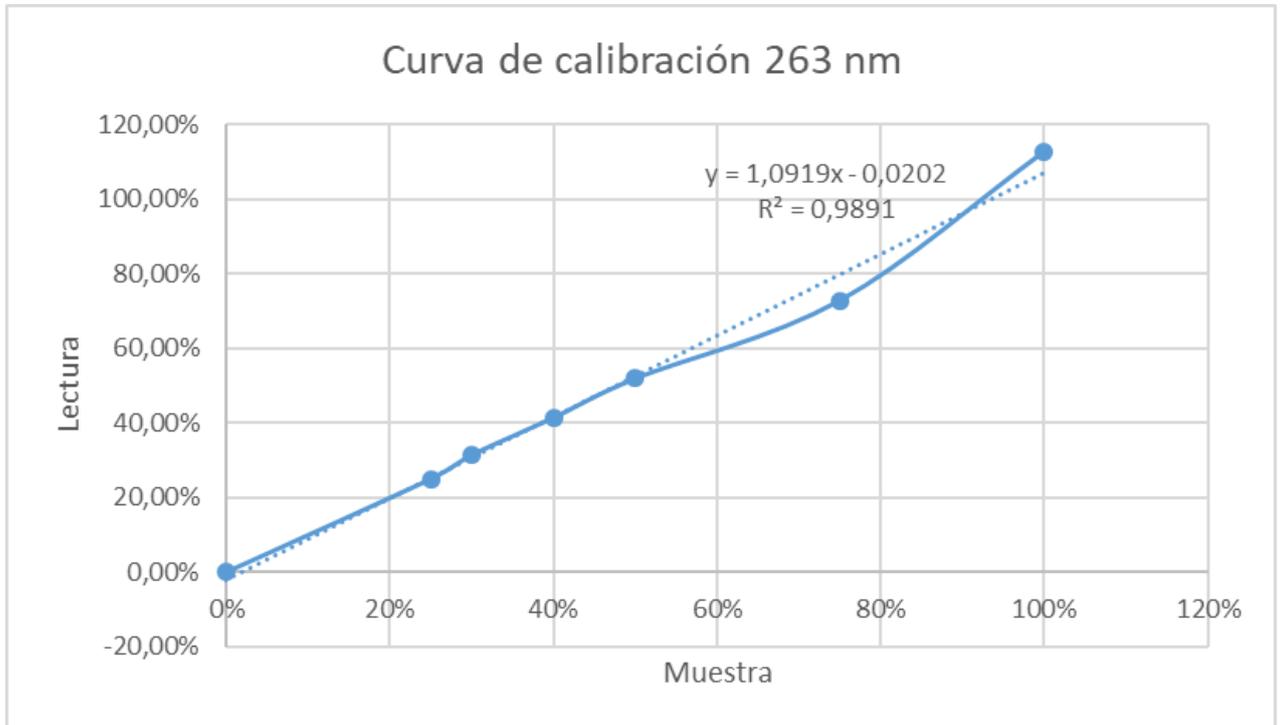
Anexo 2. Seminario D (2022) *Gráfica de longitud de onda vs absorbancia de muestra con diferentes diluciones en el UV-Visible.*



Anexo 3. Seminario D (2022) Curva de calibración de UV-Visible a 388 nm



Anexo 4. Seminario D (2022) Curva de calibración de UV-Visible a 263 nm.



Anexo 5. Seminario D (2022) *Peso del óxido de cinc obtenido*

N°	PC (g)	PC+M (g)	PM (g)
1	57.569	65.826	8.257
2	55.954	63.562	7.608
3	49.864	58.228	8.364
4	40.155	50.594	10.439
5	32.314	33.622	1.308
6	30.113	34.373	4.26
7	55.413	60.38	4.967
8	29.996	33.576	3.58
9	38.656	44.611	5.955
10	39.745	43.585	3.84
11	56.96	60.751	3.791
12	39.927	43.178	3.251
Total			65.620

PC: Peso del crisol vacío. PC+M: Peso del crisol con la muestra. PM: Peso de muestra

	GRUPO DE INGENIERÍA DE REACTORES, CATÁLISIS Y TECNOLOGÍAS DEL MEDIO AMBIENTE	INFORME ANÁLISIS ÁREA SUPERFICIAL DE CARBÓN	
	Fecha de presentación del Informe: 05-01-2022	Fecha de aprobación:	Responsables: Ing. Lourdes Jara

INFORME DE ÁREA SUPERFICIAL DE MUESTRA ORGÁNICA

1. Preliminares

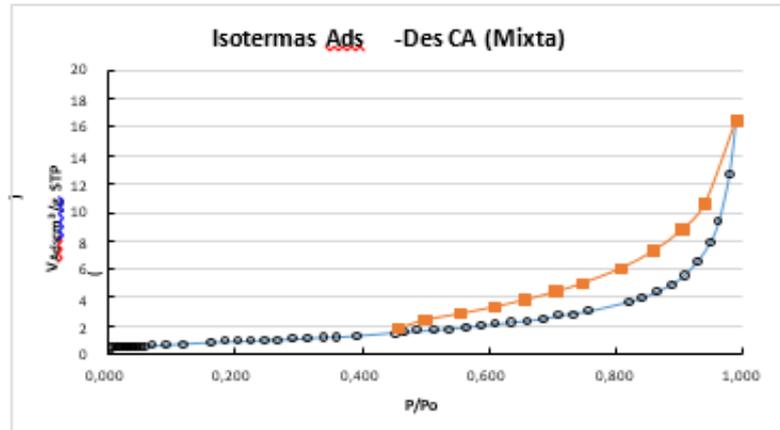
En el presente informe de resultados se presenta el valor del área superficial BET de la siguiente muestra:

MUESTRA	DESCRIPCIÓN
BET-PHSC-C	MUESTRA CARBONO EN PILA

La muestra fue desecada a 105°C por un periodo de 24 horas antes de la obtención de las isotermas de adsorción con N₂ gaseoso. Los resultados presentados fueron sometidos a un test de coherencia que constó de tres etapas:

- Evolución de Q_{ads} con P/P_0 :** Para aprobar esta etapa, Q_{ads} debe mostrar una tendencia incremental a medida que aumenta P/P_0 .
- Determinación del valor de P/P_0 estadístico de monocapa:** Este resultado debe estar comprendido entre el valor máximo y mínimo de P/P_0 en el rango de datos seleccionado.
- Prueba de Rouquerol:** El valor de P/P_0 estadístico de monocapa no debe presentar una desviación mayor al 10% con respecto al valor calculado de P/P_0 de monocapa experimental en el rango de datos seleccionado.

2. Resultados-C



a) Evolución de Q_{ads} con P/P_0 :

BET-PHSC-C

Tabla 1. Rango de datos seleccionado.

(P/Po)	Q Ads (cm ³ /g STP)	Qads(1-P/Po)
0,051	0,5173	0,49093115
0,057	0,5261	0,495996032
0,069	0,5531	0,515197716
0,093	0,6104	0,553594345
0,117	0,6834	0,60357478
0,162	0,7918	0,663883126
0,183	0,8374	0,683850986

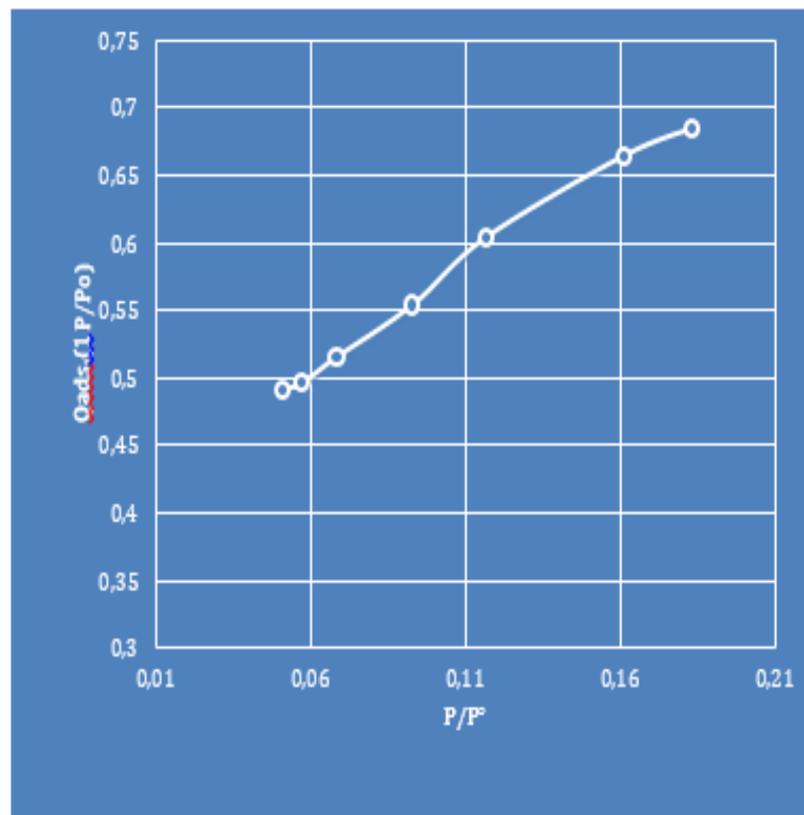


Figura 1. Gráfica de Qads vs. P/P0

Se evidencia una tendencia incremental de Qads con respecto a P/P0. Se aprueba esta etapa.

b) **Determinación del valor de P/P0 estadístico de monocapa:**

Tabla 2. Determinación de P/P0 estadístico de monocapa

C =		26,59
Gamme de P /Po		
	Min. =	0,0510
	Max. =	0,183364
$(P/Po)_{mono} = 1/(C^{1/2}+1) =$		0,1624

c) **Prueba de Rouquerol**

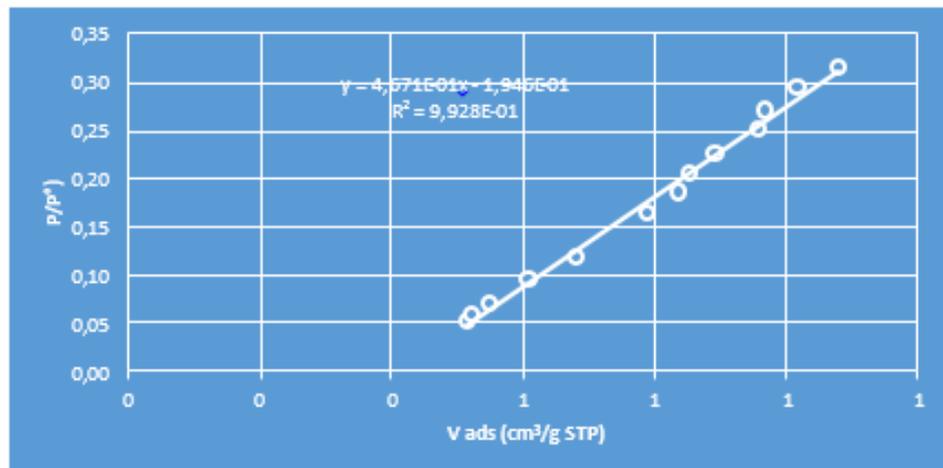


Figura 2. Gráfica del rango de datos seleccionado con su coeficiente de regresión.

Se evidencia que P/P_0 estadístico de monocapa se encuentra en el rango de P/P_0 seleccionado. Se aprueba esta etapa.

<i>Datos BET:</i>		
$V_{monocapa} =$	0,789409302	cm^3/g STP
$C =$	26,587	
	$(P/P^s)_{monocapa} =$	0,1622
<i>$(P/P_0)_{monocapa}$ estadística según Rouquerol</i>		
	$(P/P^s)_{monocapa} = 1 / (C^{1/2} + 1) =$	0,1624
Desviación entre los valores $(P/P^s)_{monocapa} =$		0,2

Se evidencia que existe un 0.2 % de desviación. Se aprueba esta etapa.

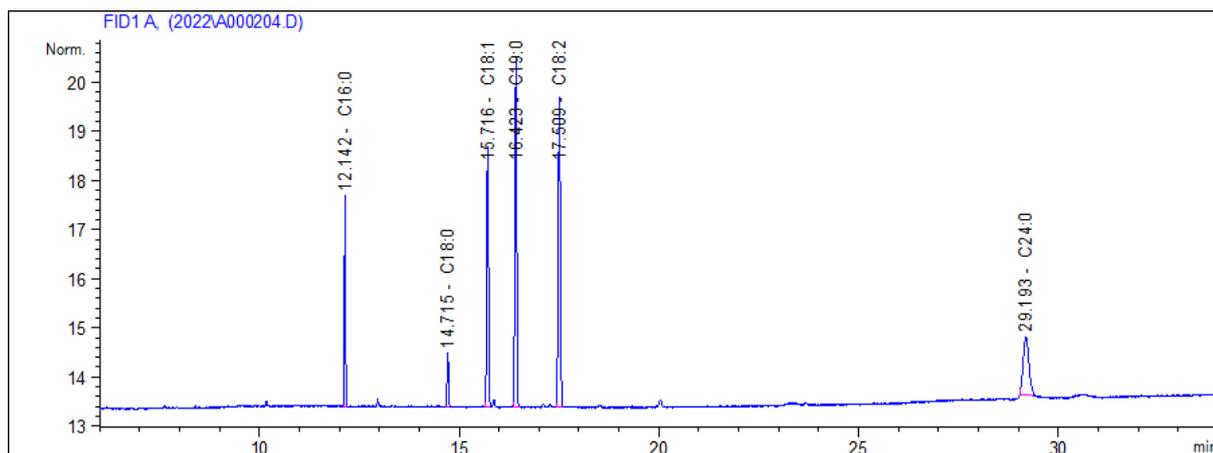
d) Área superficial obtenida

Después de aprobar el test de coherencia, el área superficial obtenida fue de $1,927 m^2/g$, lo que se concluye que se trata de un material macroporoso.

Anexo 7. Seminario D (2022) Resultados de análisis y cromatograma de ácidos grasos en el aceite.

# Pico	Tiempo de retención	Área	Porcentaje	AG
1	12.14212704	8.50667	3.731%	C 16:0
2	14.71544075	2.93615699	1.288%	C 18:0
3	15.71567726	16.2006493	7.105%	C 18:1
4	16.42327499	23.1800251	10.166%	C 19:0
5	17.50858879	23.1337204	10.146%	C 18:2
6	29.19278526	11.7841949	5.168%	C 24:0
7	34.92672729	28.6935596	12.584%	X
8	37.73838806	65.4051819	28.684%	X
9	40.42876434	48.1779289	21.129%	X

Nota. Autoría Propia



Anexo 8. Seminario D (2022) *Porcentaje y peso de ácidos grasos presentes en el aceite reciclado.*

AG	Porcentaje	Cantidad en 1ug	Cantidad* factor dilución	Peso molecular	Peso ácidos grasos (g/mol)
C 16:0	4.153%	0.04	0.016611503	256.4	4.2591
C 18:0	1.433%	0.01	0.005733616	284.48	1.6311
C 18:1	7.909%	0.08	0.031636014	288.33	9.1216
C 18:2	11.294%	0.11	0.045174652	280.24	12.6597
C 24:0	5.753%	0.06	0.023011729	368.63	8.4828
Total	30.542%	0.31	0.122167513	1478.08	36.15

Anexo 9. Seminario D (2022) *Cantidad de agua presente en el aceite reciclado*

Muestra	Porcentaje (%)	Promedio (%)	Desviación estándar
1	0.15		
2	0.15	0.15	0
3	0.15		

Anexo 10. Seminario D (2022) *Cálculo para determinación de la densidad del aceite.*

$$\rho_m = \frac{(19.5362 - 14.8940)g}{(20.1096 - 14.8940)g} * 1.046 \frac{g}{cm^3} = 0.9253 \frac{g}{cm^3}$$

Anexo 11. Seminario D (2022) Determinación de la densidad del aceite reciclado.

Picnómetro	PV (g)	PA (g)	PAV (g)	Densidad (g/cm³)	Promedio (g/cm³)	Desviación estándar
1	14.894	20.1096	19.5362	0.9253		
	14.9053	20.1747	19.8364	0.985		
	14.9302	20.1487	19.7061	0.9585	0.9646	0.0213
2	9.0816	14.3957	13.9568	0.9619		
	9.1631	14.3953	14.06	0.9811		
	9.0804	14.5325	13.9833	0.9671		

PV: Peso del picnómetro vacío, PA: Peso del picnómetro con agua, PAV: Peso del picnómetro con aceite

Anexo 12. Seminario D (2022) Determinación de la viscosidad del aceite reciclado.

N° medición	Viscosidad dinámica 40°C (kg/ms)	Viscosidad cinemática 40°C (mm²/s)	Promedio (mm²/s)	Desviación estándar
1	0.4650	48.2059	50.9117	6.7002
2	0.5647	58.5417		
3	0.4436	45.9874		



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Cliente: Tesis CIQ
Atención: Melissa Ortega
Teléfono: 0969076347

RESULTADOS

Muestra 01: Biomasa
Identificación: M1 5%
Fecha de recepción: 09 de marzo de 2022
Fecha de análisis: 10 de marzo de 2022

Parámetro	Método	Equipo	Resultado	Unidades
Poder Calorífico	Directo	Bomba Calorimétrica IKA C 201	37,553	J/g

Resultado: Treinta y siete mil quinientos cincuenta y tres (Joules por gramo.)

Condiciones del análisis: Peso muestra= 0.4170 g
Temperatura inicial del sistema= 20.5687 °C

Muestra 02: Biomasa
Identificación: Té
Fecha de recepción: 09 de marzo de 2022
Fecha de análisis: 10 de marzo de 2022

Parámetro	Método	Equipo	Resultado	Unidades
Poder Calorífico	Directo	Bomba Calorimétrica IKA C 201	38,924	J/g

Resultado: Treinta y ocho mil novecientos veinticuatro (Joules por gramo.)

Condiciones del análisis: Peso muestra= 0.3477 g
Temperatura inicial del sistema= 20.2312 °C

Observaciones: Muestra líquida, se mide 0.5ml y luego se pesa.



DIANA ALEXANDRA
CRIOLLO AYALA

Ing. Alexandra Criollo A.
Analista Laboratorio Físico Química

Cuenca, 10 de marzo del 2022

Catalizador	Muestra	PV (g)	PA(g)	PD (g)	Densidad (g/cm ³) 15 °C	Promedio (g/cm ³) 15 °C	Desviación estándar
Soportado	MC1	14.894	20.1096	19.2013	0.8614	0.8916	0.0273
	MC2	14.9053	20.1747	19.3974	0.8984		
	MC3	14.9302	20.1487	19.5048	0.9149		
No Soportado	MS1	9.0816	14.3957	13.3504	0.8537	0.8798	0.0237
	MS2	9.1631	14.3953	13.5896	0.8853		
	MS3	9.0804	14.5325	13.5817	0.9002		
Blanco	B	9.1011	14.3954	13.7511	0.93	0.93	

PV: Peso del picnómetro vacío. PA: Peso del picnómetro con agua. PD: Peso del picnómetro con biodiesel

UCUENCA

Anexo 15. Seminario D (2022) *Determinación de distribución de datos y prueba t para dos muestras con varianzas iguales de los datos de la densidad del biodiesel.*

	<i>Soportado</i>	<i>Sin Soporte</i>
W-stat	0.95334185	0.95877847
p-value	0.58418257	0.60952401
alpha	0.05	0.05
normal	yes	yes

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0,89156667	0,87973333
Varianza	0,00075058	0,0005638
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0,00065719	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0,56533536	
P(T<=t) una cola	0,30102427	
Valor crítico de t (una cola)	2,13184679	
P(T<=t) dos colas	0,60204853	
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511	

Anexo 16. Seminario D (2022) *Cálculos para la determinación de viscosidad cinemática del biodiesel.*

Primero se determinó la viscosidad dinámica

$$\eta_1 = \frac{\delta_1 t_1 \eta_2}{\delta_2 t_2}$$
$$\eta_1 = \frac{(0.8916 \frac{g}{mL})(679.8 s)(0.653 \frac{g}{mS})}{(1.057 \frac{g}{mL})(10.41 s)} * \frac{1kg}{1000 g} = 0.0359 \frac{kg}{ms}$$

Luego se determinó la viscosidad cinemática con la ecuación 11.

$$\mu = \frac{0.03590 \frac{kg}{mS}}{0.8916 \frac{g}{mL}} * \frac{1000 g}{1 kg} * \frac{1 m^3}{10^6 mL} = 4.084 \frac{mm^2}{s}$$

Anexo 17. Seminario D (2022) *Determinación de distribución de datos y prueba t para dos muestras con varianzas iguales de los datos de la viscosidad del biodiesel.*

	<i>Soportado</i>	<i>Sin Soporte</i>
W-stat	0.94417285	0.855283
p-value	0.54443404	0.25468219
alpha	0.05	0.05
normal	yes	yes

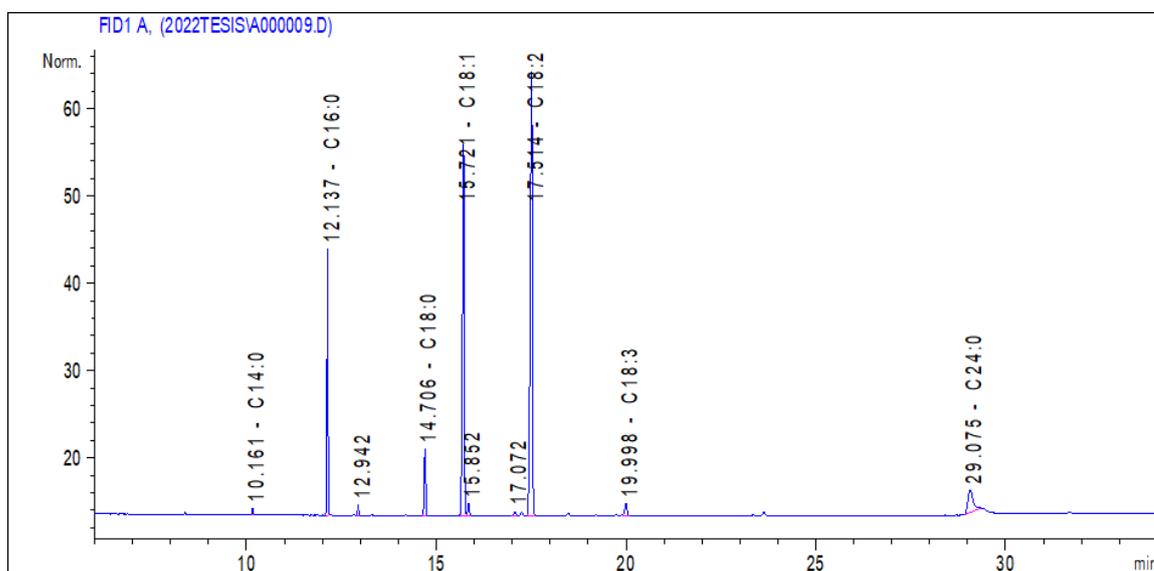
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	4,180233333	3,55913333
Varianza	0,013273843	0,00180582
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	8,760447389	
P(T<=t) una cola	0,001566232	
Valor crítico de t (una cola)	2,353363435	
P(T<=t) dos colas	0,003132464	
Valor crítico de t (dos colas)	3,182446305	

Anexo 18. Seminario D (2022) *Determinación de la cantidad de agua del biodiesel obtenido.*

Catalizador	Nomenclatura	Porcentaje	Promedio	Desviación estándar
Soportado	MC1	0.003		
	MC2	0.003	0.003	0
	MC3	0.003		
No Soportado	MS1	0.003		
	MS2	0.003	0.003	0
	MS3	0.003		

Anexo 19. Seminario D (2022) *Resultado y cromatograma de análisis de ésteres de ácidos grasos de la muestra MC1*

# Pico	Tiempo de retención	Área	Porcentaje	FAME
1	10.16087151	1.19913268	0.178%	C 14:0
2	12.13694096	61.7317085	9.160%	C 16:0
3	12.94176865	2.60998273	0.387%	X
4	14.70561028	20.9934196	3.115%	C 18:0
5	15.72098446	140.068665	20.784%	C 18:1
6	15.85162067	4.38330412	0.650%	X
7	17.07224464	1.8513968	0.275%	X
8	17.51370621	201.226761	29.858%	C 18:2
9	19.99845886	5.8819437	0.873%	C 18:3
10	29.07496452	24.9437904	3.701%	C 24:0
11	34.85079956	17.131731	2.542%	X
12	37.09533691	89.0697784	13.216%	X
13	40.17757797	102.846626	15.261%	X



UCUENCA

Anexo 20. Seminario D (2022) *Porcentaje y peso de ácidos grasos en el biodiesel y cálculo de rendimiento*

FAME	Porcentaje	Cantidad en 1ug	Cantidad* factor dilución	Peso molecular	Peso ácidos grasos
C 14:0	0.1779%	0.002	0.0002	228.37	0.0457
C 16:0	9.1598%	0.092	0.0128	256.4	3.2819
C 18:0	3.1150%	0.031	0.0044	284.48	1.2517
C 18:1	20.7836%	0.208	0.0291	288.33	8.3904
C 18:2	29.8583%	0.299	0.0418	280.24	11.714
C 18:3	0.8728%	0.009	0.0012	278.43	0.3341
C 24:0	3.7012%	0.037	0.0052	368.63	1.9169
Total	63.9675%	0.68	0.09	1984.88	26.93

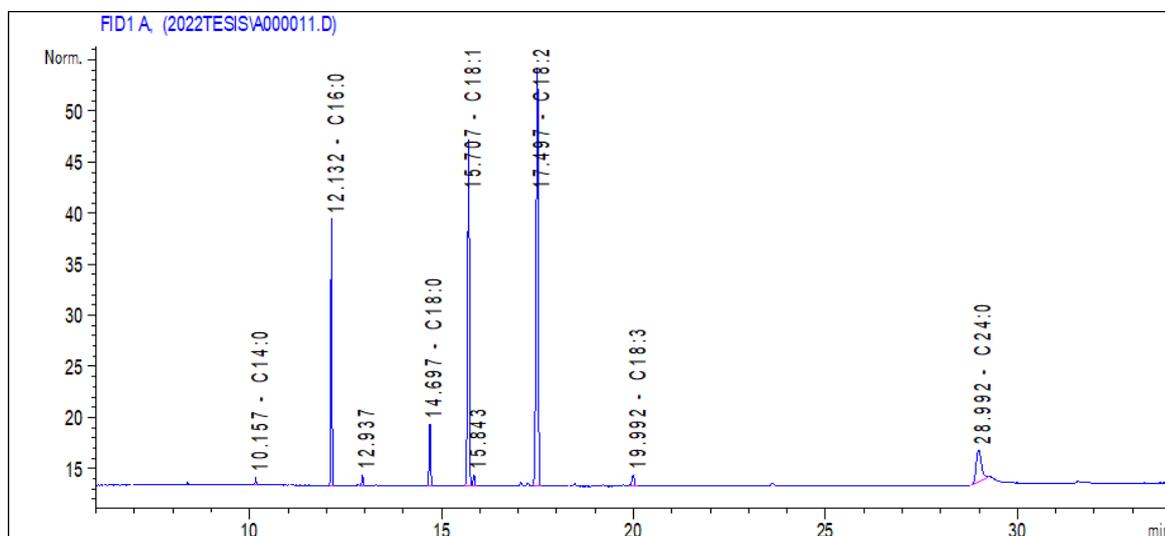
$$\%Rendimiento = \frac{26.94}{36.15} * 100 = 74.51\%$$

Anexo 21. Seminario D (2022) *Determinación de distribución de datos y prueba t para dos muestras con varianzas iguales de los datos del rendimiento del biodiesel.*

	<i>Soportado</i>	<i>Sin Soporte</i>
W-stat	0.94417285	0.855283
p-value	0.54443404	0.25468219
alpha	0.05	0.05
normal	yes	yes

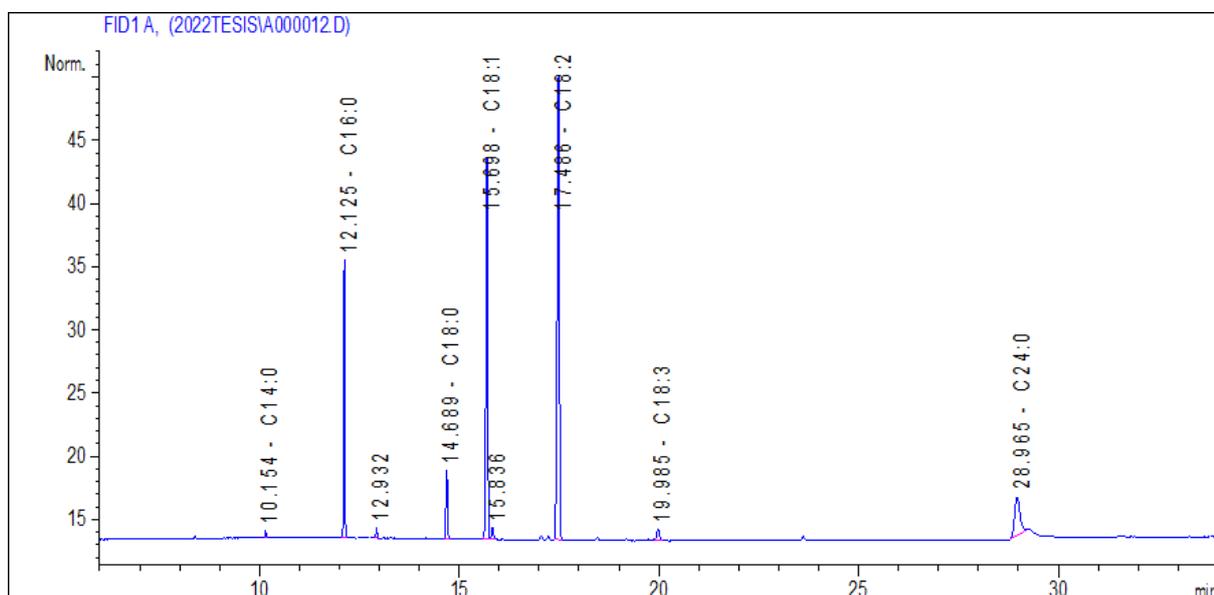
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	4,180233333	3,55913333
Varianza	0,013273843	0,00180582
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	8,760447389	
P(T<=t) una cola	0,001566232	
Valor crítico de t (una cola)	2,353363435	
P(T<=t) dos colas	0,003132464	
Valor crítico de t (dos colas)	3,182446305	

# Pico	Tiempo de retención	Área	Porcentaje	FAME
1	10.1573467	1.14877999	0.192%	C 14:0
2	12.1316557	52.283699	8.722%	C 16:0
3	12.9373817	2.2034421	0.368%	X
4	14.6971188	16.4735565	2.748%	C 18:0
5	15.7072573	110.361366	18.411%	C 18:1
6	15.842988	3.20410943	0.535%	X
7	17.4967117	158.276443	26.404%	C 18:2
8	19.9915867	4.61438513	0.770%	C 18:3
9	28.9918938	29.7111568	4.957%	C 24:0
10	34.7607918	14.4149837	2.405%	X
11	36.9899902	86.3961716	14.413%	X
12	37.4902611	13.4051914	2.236%	X
13	40.0832443	106.943817	17.841%	X



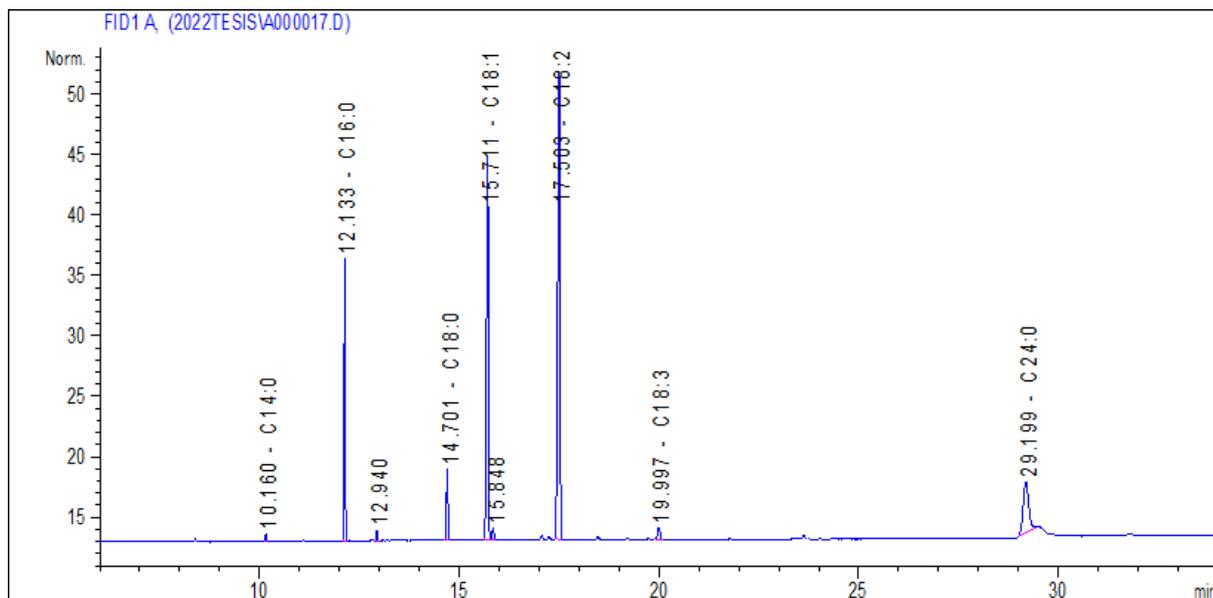
Anexo 23. Seminario D (2022) *Resultados de análisis y cromatograma de ésteres de ácidos grasos de la muestra MC3.*

# Pico	Tiempo de retención	Área	Porcentaje	FAME
1	10.1535215	0.88580376	0.150%	C 14:0
2	12.1250877	43.7857628	7.435%	C 16:0
3	12.9323568	1.82550561	0.310%	X
4	14.6894789	14.8563633	2.523%	C 18:0
5	15.6978874	97.5544128	16.565%	C 18:1
6	15.8356352	2.80824018	0.477%	X
7	17.4863853	139.231339	23.642%	C 18:2
8	19.9846134	4.0805974	0.693%	C 18:3
9	28.9652214	28.6723309	4.869%	C 24:0
10	34.7347679	13.3600092	2.269%	X
11	36.9660378	104.74675	17.786%	X
12	37.4559326	20.5501213	3.490%	X
13	40.0455589	116.554924	19.792%	X



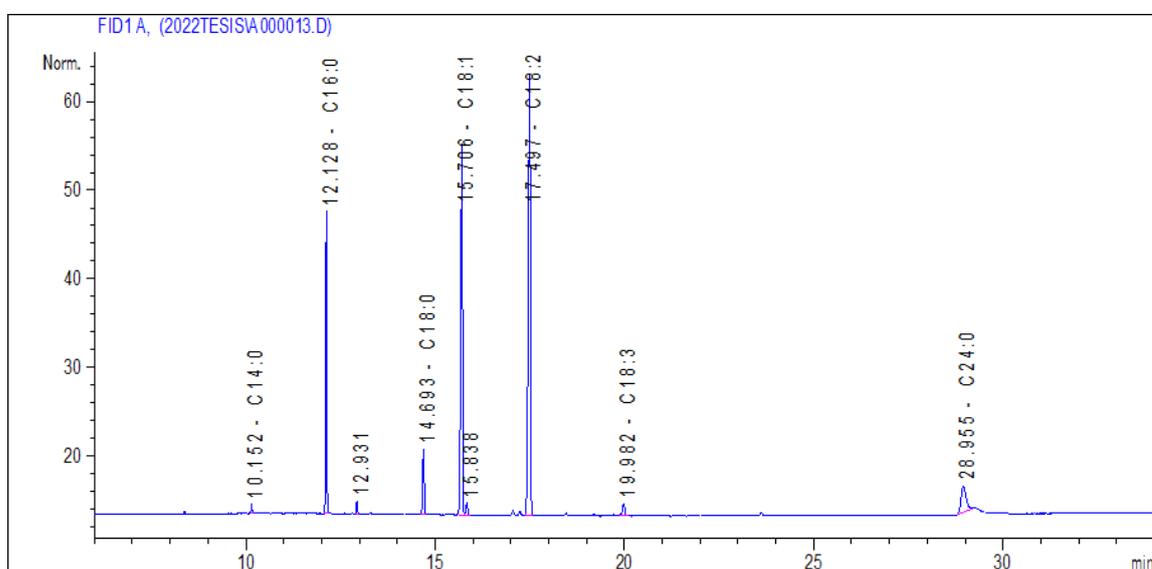
Anexo 24. Seminario D (2022) *Resultados de análisis y cromatograma de ésteres de ácidos grasos de la muestra MS1.*

# Pico	Tiempo de retención	Área	Porcentaje	FAME
1	10.1601934	0.96453476	0.146%	C 14:0
2	12.1333866	47.1589317	7.134%	C 16:0
3	12.9404526	1.98164606	0.300%	X
4	14.7008381	15.9229593	2.409%	C 18:0
5	15.7110901	104.854881	15.861%	C 18:1
6	15.847518	3.00034952	0.454%	X
7	17.5025806	149.283951	22.582%	C 18:2
8	19.9973488	4.33100271	0.655%	C 18:3
9	29.1992435	40.6504555	6.149%	C 24:0
10	34.9908638	20.955822	3.170%	X
11	37.2274284	127.139923	19.232%	X
12	40.3143044	144.841019	21.910%	X



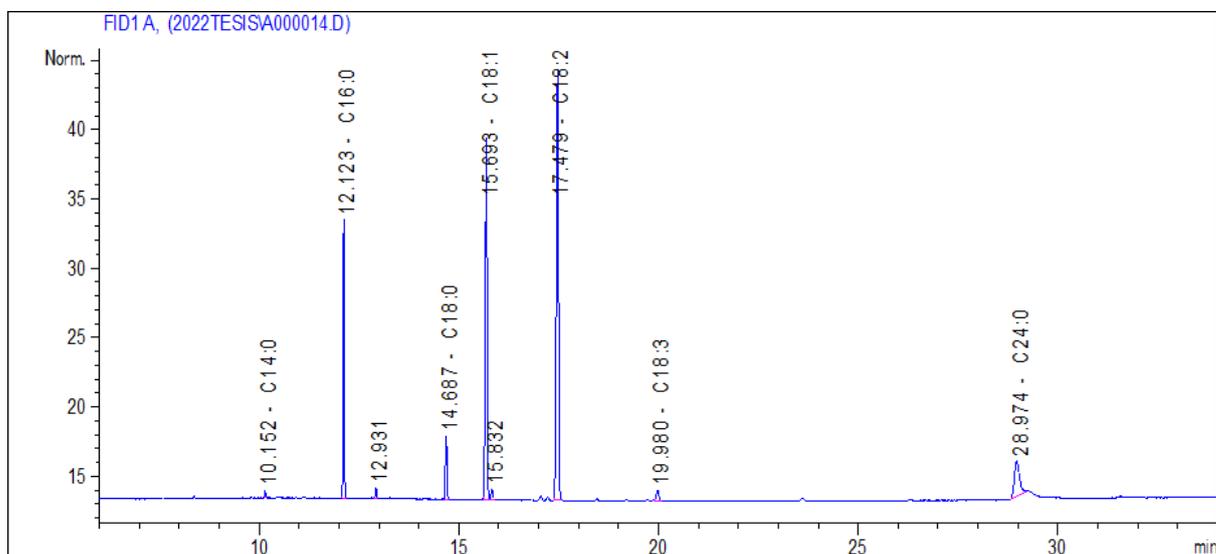
Anexo 25. Seminario D (2022) *Resultados de análisis y cromatograma de ésteres de ácidos grasos de la muestra MS2*

# Pico	Tiempo de retención	Área	Porcentaje	FAME
1	10.1518774	1.60718036	0.228%	C 14:0
2	12.1282778	69.6252747	9.874%	C 16:0
3	12.9314928	2.97131014	0.421%	X
4	14.6927538	20.5693722	2.917%	C 18:0
5	15.7060347	138.181503	19.597%	C 18:1
6	15.8379068	4.06409073	0.576%	X
7	17.4965019	198.043396	28.086%	C 18:2
8	19.981945	5.71347141	0.810%	C 18:3
9	28.9545879	27.4014626	3.886%	C 24:0
10	34.7270737	13.8917665	1.970%	X
11	36.9651451	96.1043167	13.629%	X
12	37.4531593	5.70871449	0.810%	X
13	40.0483894	121.251129	17.195%	X



Anexo 26. Seminario D (2022) *Resultados de análisis y cromatograma de ésteres de ácidos grasos de la muestra MS3.*

# Pico	Tiempo de retención	Área	Porcentaje	FAME
1	10.1519079	0.9034813	0.181%	C 14:0
2	12.1233873	40.2933426	8.094%	C 16:0
3	12.9309444	1.73898995	0.349%	X
4	14.6865101	12.3985786	2.491%	C 18:0
5	15.6925335	82.6606216	16.605%	C 18:1
6	15.83218	2.40866423	0.484%	X
7	17.4786377	118.043205	23.713%	C 18:2
8	19.9798393	3.49771285	0.703%	C 18:3
9	28.9735775	22.9042511	4.601%	C 24:0
10	34.7520103	12.9382992	2.599%	X
11	36.9977837	89.2862167	17.936%	X
12	40.0807457	110.723991	22.243%	X



Anexo 27. Seminario D (2022) *Resultados de análisis y cromatograma de ésteres de ácidos grasos de la muestra B.*

# Pico	Tiempo de retención	Área	Porcentaje	FAME
1	12.1234627	10.3959255	9.851%	C 16:0
2	14.6868801	5.26565886	4.990%	C 18:0
3	15.6790962	9.07885838	8.603%	C 18:1
4	17.4613667	14.350955	13.599%	C 18:2
5	37.0192986	28.8686008	27.355%	X
6	40.1183395	37.5730553	35.603%	X

