



**Universidad de  
Concepción del  
Uruguay**

**“OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE  
DESECHOS DE GRASA DE POLLO”**

---

**Facultad de Ciencias Médicas**

**Centro Regional Rosario**

**FORTE JULIA**

Tesis presentada para completar los requisitos del plan de estudios de  
la Licenciatura en Bromatología.

**DIRECTOR DE TESIS: VERONICA GLADINÉ**

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
HIPÓTESIS.....	11
OBJETIVOS.....	12
ANTECEDENTES.....	13
MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
EXPERIMENTACIÓN .....	17
SELECCIÓN DE VARIABLES .....	17
PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL.....	19
RESULTADOS ESPERADOS .....	19
CARACTERÍSTICAS A TENER EN CUENTA .....	20
TRABAJO DE CAMPO .....	21
1: OBTENCIÓN DEL ACEITE DE POLLO .....	24
1.1 FUNDICIÓN .....	24
1.2 ENFRIAMIENTO .....	26
1.3 SEPARACIÓN DEL ACEITE.....	26
1.4 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN .....	30
2: TRANSESTERIFICACIÓN .....	32
2.1 CON METANOL .....	33
2.1.1 CON METANOL (1) .....	33
2.1.2 CON METANOL (1') .....	35
2.1.3 CON METANOL (2) .....	42
2.1.4 CON METANOL (3) .....	42
2.1.5 CON METANOL (4) .....	43
2.1.6 CON METANOL (5) .....	44
2.2 CON ETANOL .....	51
2.2.1 CON ETANOL (1) .....	51
2.2.2 CON ETANOL (2) .....	52
2.2.3 CON ETANOL (3) .....	53
COMPROBACIÓN DEL BIODIESEL .....	55
ALMACENAMIENTO .....	63
USOS DEL BIODIESEL .....	64
EVOLUCIÓN DEL BIODIESEL .....	65
CONCLUSIÓN .....	67
BIBLIOGRAFÍA .....	69
ANEXOS .....	74

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Imagen 1: Pesaje de la grasa en balanza digital.....	24
Imagen 2: Muestras de grasa en estufa a 75°C .....	24
Imagen3: Muestra 1 y 2 a las 19:30hs .....	25
Imagen 4: Muestra 3, 4 y 5 a las 19:30hs.....	25
Imagen 5: Separación de grasa fundida con embudo y gasa.....	26
Imagen 6: Aceite de pollo.....	28
Imagen 7: Medición de pH a aceite de pollo mediante tiras reactivas .....	28
Imagen 8: Hidróxido de sodio en perlas.....	30
Imagen 9: Na(OH) para sol con etanol.....	31
Imagen 10: Na(OH) para sol con metanol.....	31
Imagen 11: Transesterificación en proceso.....	33
Imagen 12: Ampolla de decantación conteniendo biodiesel y glicerina.....	34
Imagen 13: Medición de pH del biodiesel con tiras reactivas .....	35
Imagen 14: Solución de agua destilada con ácido acético.....	36
Imagen 15: Lavado con agua acidificada.....	37
Imagen 16: Lavado con agua destilada .....	37
Imagen 17: Lavados sucesivos del biodiesel .....	38
Imagen 18: Biodiesel lavado y seco.....	39
Imagen 19: Muestra de biodiesel gelatinizada.....	53
Imagen 20: Cromatograma de la muestra de biodiesel analizada.....	61
Imagen 21: Biodiesel y glicerina en refrigeración .....	63

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Exportaciones Argentina de biodiesel de los últimos años .....	10
Gráfico 2: Esquema general de producción de biodiesel .....	11
Gráfico 3: Reacción de transesterificación desarrollada .....	16
Gráfico 4: Pollerías seleccionadas con la grasa recolectada en cada encuentro.....	22
Gráfico 5: Diagrama de flujo de elaboración de biodiesel .....	23
Gráfico 6: Producción de Biodiesel.....	23
Gráfico 7: Contenido en gramos de cada muestra .....	25
Gráfico 8: Materia prima utilizada en cada proceso y cantidad de biodiesel obtenido....	45
Gráfico 9: Relación entre materia prima, reactivo y producto final .....	46
Gráfico 10: Extracciones del producto. ....	47
Gráfico 11: Parámetros físicos de cada muestra.... ..	47
Gráfico 12: Comparación de parámetros físicos de cada muestra .....	48
Gráfico 13: Proyección de obtención de biodiesel .....	49
Gráfico 14: Conversión de grasa a biodiesel en Kg.....	49
Gráfico 15: Proyección de obtención de biodiesel a seis y doce meses .....	50
Gráfico 16: Obtención de biodiesel aplicado a seis y doce meses.....	50
Gráfico 17: Parámetros del biodiesel con unidad y cantidad máxima/mínima .....	56
Gráfico 18: Valores obtenidos de los ensayos químicos de las muestras de biodiesel..	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: La producción de biodiesel creció casi 50% en 2016 .....	74
Anexo 2: Usarán 25% de biodiesel en el combustible de 400 colectivos de Rosario....	75
Anexo 3: En Rosario, utilización de biodiesel en colectivos.....	77
Anexo 4: Explicación de viscosidad y Ley de Stokes .....	80
Anexo 5: Cálculo de la densidad del aceite de pollo según ecuación matemática .....	85
Anexo 6: Cálculo de la viscosidad del aceite de pollo según ecuación de Stokes.....	86
Anexo 7: Cálculo de viscosidad del biodiesel según ley de Stokes .....	88
Anexo 8: Ensayos del biodiesel.....	89
Anexo 9: Índice de acidez o Valor ácido (IA): .....	92
Anexo 10: Índice de saponificación .....	93

## RESUMEN

Este trabajo de investigación estuvo enfocado en realizar un estudio experimental en la ciudad de Rosario, aprovechando residuos de avícolas, como materia prima para obtener un nuevo producto final.

Se tomó como punto de partida los desechos de pollo producidos en distintos espacios de la ciudad, los cuales fueron aprovechados en la posterior generación de combustible: BIODIESEL.

Sumado a esto se modificó uno de los reactivos utilizados, para comparar la correcta obtención del biodiesel, el porcentaje de conversión y la calidad del mismo.

Una vez cumplido el objetivo, se llevaron a cabo ensayos físicos y químicos aplicados a las diferentes muestras, a fin de ser comparados con los valores que arrojan las normas internacionales. Los valores obtenidos coinciden con los establecidos por las normas, por lo que se concluye que se obtuvo un producto final, correcto y de calidad.

Por último, se generó una proyección a futuro de la cantidad de desechos de pollo que se obtiene, de una muestra representativa, y la cantidad de biodiesel que se podría obtener a partir de ellos.

Se tomaron como muestra tres pollerías de la ciudad de Rosario, con la recolección diaria de tres encuentros en cada una de ellas y se estableció una proyección de conversión a biodiesel a seis y doce meses.

## INTRODUCCIÓN

La gran demanda energética que se produce actualmente a nivel mundial, ocasiona que la humanidad afronte una grave problemática en este sentido. Esto genera un elevado y peligroso agotamiento de los recursos naturales, en especial el de los combustibles fósiles, conjuntamente con el gran daño ambiental producido por la contaminación del aire y el calentamiento global, que genera dicha explotación.

Esto lleva a pensar en la búsqueda de nuevas alternativas, muchas de las cuales no dejan de ser perjudiciales para nuestro entorno y ambiente, evidenciándose, por ejemplo, un aumento de la deforestación de bosques nativos, el desplazamiento de cultivos alimentarios y de ganadería y una gran e irreversible destrucción de la biodiversidad como consecuencia de la comercialización masiva de los combustibles.

Esta situación demanda urgentemente nuevas fuentes de energía, basadas en procesos sustentables, energías renovables y procesos que no dañen nuestro medioambiente.

Actualmente, todas las formas de producir energía tienen algún efecto sobre el ambiente, sin embargo, algunas de ellas pueden perjudicar menos que otras, tal es el caso de los biocombustibles como el **biodiesel**.

Entendiendo que los aceites vegetales son la principal materia prima para la producción de biodiesel y que los principales materiales oleaginosos utilizados derivan de la palma, colza y soja, además del girasol, coco, cacahuate, oliva, mostaza, entre otros, se correlaciona directamente con un elevado costo de la materia prima, que contribuye del 50 al 90% del precio de producción del biodiesel, lo que ha obstaculizado la comercialización del biocombustible, motivo por el que se ha propuesto el uso de aceites y grasas de descarte.

*“El interés cada vez mayor que despierta el uso del biodiesel como fuente de combustible se debe entre otros aspectos a que es biodegradable, no tóxico y con bajo perfil de emisiones contaminantes. Tiene una alta densidad energética (alto poder calorífico), pueden ser manejados, transportados y almacenados de manera simple, pues es líquido, no es inflamable ni explosivo; es el único combustible líquido que la*

*naturaleza ofrece directamente, sin que sean necesarios procesos complejos y onerosos de transformación o acondicionamiento (Cabello, 2006). Es por ello que la producción de biocombustibles ha ido creciendo constantemente con el fin de solucionar las problemáticas de contaminación ambiental y costos crecientes de combustibles fósiles. Estos biocombustibles se pueden obtener de aceites vegetales como del maíz (bioetanol), coco o girasol, o de grasas animales como de pollo o borrego para producir biodiesel". (Producción de biodiesel a partir de grasa animal utilizando catálisis heterogénea. Revista Iberoamericana de ciencias. RelbCi – Septiembre 2015 – www.reibci.org)*

*"El biodiesel consiste en un monoalquil- ésteres de alcoholes de cadena corta, usualmente etanol y metanol, con ácidos grasos de cadena larga obtenidos a partir de biomasa renovable que es capaz de sustituir al diesel derivado de petróleo como combustible". (Biodiesel a partir de micro algas; Universidad Nacional Autónoma de México, Año 2009, Vol. 13, pag.39)*

*"La transesterificación de los aceites vegetales fue desarrollada en 1853 por el científico Patrick Duffy, muchos años antes de que el primer motor diesel funcionase, pero fue en 1912, cuando se pensó en el uso de aceites vegetales como los sustitutos del petróleo y el carbón de nuestros días". (Biodicel7, blogspot, año 2010).*

Como citamos anteriormente, la revista Iberoamericana de ciencias, en un artículo sobre la producción de biodiesel, da a conocer que el mismo, se puede definir cómo un combustible alternativo obtenido a partir de grasas animales o aceites vegetales, ya sean sin usar o quemados y que dicha obtención se realiza por una reacción química llamada **transesterificación** u otro proceso que se denomina **esterificación**. El producto final está mezclado con un alcohol (por lo regular metanol) y puede ser usado en vehículos ya sea en ciertas proporciones diesel-biodiesel o haciendo modificaciones al motor, sí es que se quiere usar solo (EPA, 2007; DOF, 2008; SAGARPA, 2011).

Los beneficios del biodiesel ya son bastante conocidos: no contamina (supone una drástica reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera, con un 90 % de reducción del CO<sub>2</sub>, un 50% en monóxidos de carbono, un 65% en partículas y un 100%

en óxidos de azufre); es un producto renovable y biodegradable; y se obtiene a partir de lípidos naturales (es decir, no depende de un suministro de petróleo).

Muchos estudios realizados demuestran que la utilización del biodiesel genera grandes beneficios a nuestro medioambiente, ya que presenta un balance óptimo en el ciclo del carbono, evitando la acumulación de dióxido de carbono en el ambiente. Las emisiones son mucho menores en comparación con el diesel, pero el dato de color es su bajo contenido de azufre, por lo que se convierte en la mejor opción al ser usado como aditivo en el diesel. Actualmente, en muchos países, ya se han desarrollado legislaciones que imponen el uso obligatorio del biodiesel en mezcla con el gasoil.

Como es un líquido obtenido a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo, mediante procesos industriales, ofrece gran variedad de opciones.

Presenta ventajas frente al diesel derivado del petróleo ya que se obtiene a partir de fuentes renovables, antes mencionadas.

Este trabajo de investigación estuvo orientado a la obtención de biodiesel a partir de grasas animales de descarte, centrándonos en las grasas provenientes de los pollos, con idea de reutilización y aprovechamiento de recursos.

Según información recabada en el diario "La Nación", en el artículo "Los desafíos del biodiesel en la Argentina", publicado por Rodrigo Herrera Vegas el día 10 de Julio de 2011, los tres mayores productores de biodiesel son Alemania, Francia, e Italia. Expresa que la obtención de un combustible o el otro dependen estrictamente de la química de las plantas. Con algunas se obtiene alcohol y con otras biodiesel.

Según el ingeniero Víctor Castro, director ejecutivo de CARBIO (Cámara Argentina de Biocombustibles) *"Argentina ocupa el cuarto lugar mundial en producción de biodiesel desde el año pasado. Una hazaña nada despreciable considerando que empezó a producirlo en el año 2007. Algunos se preguntarán porque recién ahora y la respuesta es simple: "Gracias a China".*

La principal materia prima con la cuál se elabora el biodiesel es el aceite de soja, producto que se exportaba a China. De un día para otro, China abandonó las importaciones del aceite y las cerealeras se encontraron con una gran producción sin demanda, lo que se resolvió gracias a las nuevas legislaciones Europeas que obligan al viejo continente a realizar cortes que hoy alcanzan el 7 por ciento en su diesel. Corte, significa que el diesel es parte fósil y parte bio. Por ejemplo, un diesel B7 contiene 93% de fósil y 7% de Bio. "Este 7% en Europa se logra en una buena proporción comprando nuestro biodiesel".

En el cuadro adjunto se muestran las toneladas de biodiesel exportada por Argentina en los últimos años:

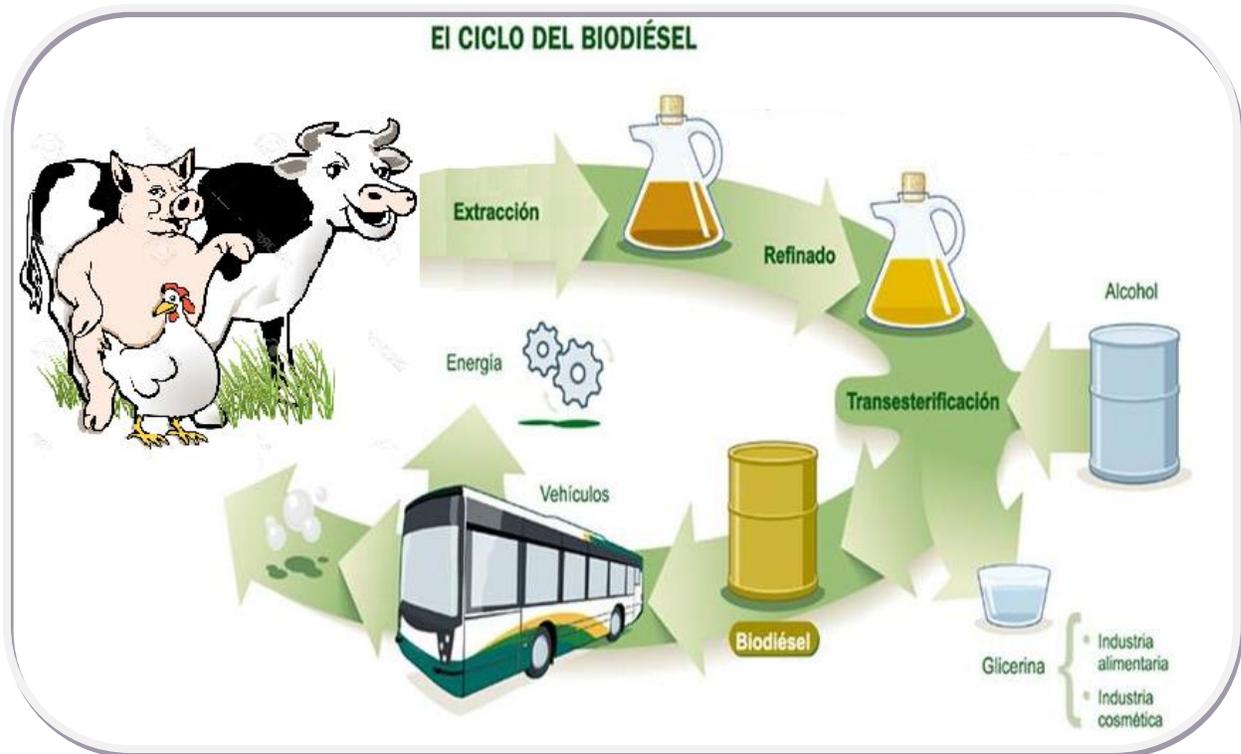
<b>Exportaciones de Biodiesel de Argentina en toneladas</b>					
	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>Enero</b>	50,2	42.980,4	25.288,0	153.916,3	111.267,7
<b>Febrero</b>	103,3	24.419,6	49.301,9	111.096,5	96.839,5
<b>Marzo</b>	98,6	55.717,3	67.903,6	69.118,3	114.534,7
<b>Abril</b>	383,0	55.426,4	86.779,8	107.824,9	108.822,6
<b>Mayo</b>	2.344,3	41.230,4	90.638,6	80.998,5	140.890,9
<b>Junio</b>	4.084,1	26.189,4	98.145,6	142.724,9	
<b>Julio</b>	62,3	63.374,7	133.033,4	99.267,6	
<b>Agosto</b>	17.144,9	82.729,1	126.652,3	141.729,5	
<b>Septiembre</b>	29.540,0	115.619,4	142.346,7	84.731,4	
<b>Octubre</b>	29.817,8	117.012,5	98.716,4	129.718,2	
<b>Noviembre</b>	14.624,8	47.494,5	108.910,4	111.401,6	
<b>Diciembre</b>	70.111,7	52.598,4	121.946,8	130.979,2	
<b>Total</b>	<b>168.364,9</b>	<b>724.792,2</b>	<b>1.149.663,4</b>	<b>1.363.506,9</b>	<b>572.355,3</b>

**Gráfico 1.** Exportaciones Argentina de biodiesel de los últimos años.

Fuente: CARBIO.

El único subproducto de la reacción es la glicerina que luego de ser refinada se vende a empresas de consumo masivo que la utilizan en productos como la pasta de dientes y el jabón.

A continuación, se adjunta un esquema, simplificado, de las etapas que se deben cumplir en la elaboración del biodiesel:



**Gráfico 2.** Esquema general de producción de biodiesel.

## HIPÓTESIS

¿Es posible la obtención de biodiesel a partir de la grasa de pollo de descarte de frigoríficos, supermercados, fraccionadoras y/o distribuidoras de la ciudad de Rosario, Santa Fe?

¿Se puede optimizar el proceso mediante la modificación de variables y llegar a un mayor rendimiento del mismo?

En caso de ser posible su obtención, se deja la tesis a disposición de futuras investigaciones.

## OBJETIVOS

El **objetivo general** de este trabajo de investigación es:

- Llegar a la corroboración o refutación de la hipótesis planteada, es decir la de obtener biodiesel a partir de la grasa de pollo, mediante experimentación.

Es por eso que se pensó en los siguientes **objetivos específicos**:

- Lograr la colaboración por parte de las industrias elaboradoras, fraccionadoras y/o distribuidoras de alimentos cárnicos, principalmente de pollos, de la ciudad de Rosario, que generan gran cantidad de desperdicios grasos, los cuales son utilizados principalmente como alimento para el ganado, pero que pueden ser utilizadas como materia prima para dicho proceso.
- Llevar a cabo la experimentación con modificación de uno de los solventes utilizados en el proceso, a fin de comparar el rendimiento del biodiesel obtenido en cada caso.

Se plantearon, además, diferentes **objetivos a futuro**:

- Se dejará a disposición de futuras investigaciones nuestro trabajo, a fin de analizar la composición del combustible obtenido para poder definir su utilización en determinados motores, generalmente, de uso agrícola. También se propone como un objetivo general adicional, la modificación de dicho biodiesel para la obtención de uno que sea de uso múltiple.
- Se dispondrá el trabajo de investigación a las diferentes industrias que puedan hacer uso y sacar provecho del mismo, para así, conjuntamente, contribuir a la sociedad en general y al ambiente en el que vivimos.

## ANTECEDENTES

### En Argentina

- La Municipalidad de Gualeguaychú recolecta el aceite que se usa en los restaurantes y rotiserías de la ciudad para freír comida. Luego se lo convierte en biodiesel y se lo mezcla con combustible en una proporción de 20 y 80 respectivamente, para ser usado en los vehículos de la Comuna.
- En Rosario se propuso la obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado por alumnas de la Facultad regional de Rosario (UTN) y luego la evaluación de calidad y factibilidad de su utilización en una unidad productiva.
- *"La producción de biodiesel creció 46,9% en nuestra ciudad, en 2016, respecto al año anterior y las exportaciones se duplicaron". (Anexo 1)*
- *"Usarán 25% de biodiesel en el combustible de 400 colectivos de Rosario". (Anexo 2)*
- *"En Rosario, avanza la prueba piloto sobre la utilización de 'biodiesel 100% en colectivos". (Anexo 3)*

### En el mundo

- España: La finalidad de este trabajo es la obtención de biodiesel a partir de aceite usado de la cocina de la Escuela Naval Militar. Esto se realizará mediante una reacción de transesterificación, utilizando metanol como alcohol, y un catalizador básico, concretamente el hidróxido de potasio.
- Colombia: Obtención de biodiesel a partir de micro algas, ya que poseen alto contenido de glucolípidos haciendo posible que sean fuentes alternativas de energía.
- Colombia: Grasa del pollo como materia prima del biodiesel: dado que el consumo de este animal no incluye sus grasas, investigadores de la Universidad de Colombia trabajan en generar biodiesel con dichos residuos.

## MATERIALES Y METODOS

Esta investigación es de carácter longitudinal y experimental, ya que se procedió al desarrollo de un nuevo producto en Argentina. Es prospectiva ya que los datos se registraron a medida que se obtuvieron, siendo a la vez, un estudio observacional.

De los residuos que se obtienen de las aves de corral podemos enumerar: la sangre (2 % del peso vivo), las plumas (7- 10 %) y la cabeza, los pies y las vísceras no comestibles (resto de los sólidos).

Nuestro residuo de interés fue aquel del cual pudiéramos extraer grasas, que serviría como materia prima para la fabricación de biodiesel.

Los materiales y métodos utilizados en este trabajo de investigación, fueron los mencionados o aconsejados en las diferentes bibliografías consultadas tanto online, las cuales se encuentran citadas al finalizar el documento, como libros impresos relacionados al tema.

Se solicitó la colaboración por parte de expertos en química para obtener así, los fundamentos teóricos que se convirtieron en pilares para la realización de la presente tesina.

En un sentido amplio, el biodiesel implica tres grupos diferentes de reacciones:

- Reacción de un éster con un alcohol (transesterificación),
- Reacción de un éster con un ácido carboxílico (acidólisis)
- Reacción de un éster con otro éster (interesterificación).

El presente trabajo de investigación comprende el estudio de la metanólisis de grasas para obtener ésteres metílicos de ácidos grasos, comprendidos en el proceso de **transesterificación o alcoholísis**. Esta es la vía más empleada para producirlo, ya que es la más económica, ofreciendo ventajas como: elevada conversión (98%) con pocas reacciones secundarias, reducido tiempo de reacción y conversión directa a éster sin pasos intermedios.

*“La disminución del tiempo destinado a cocinar, la necesidad y el hábito de dar preferencia a los "alimentos hechos" y/o a pollo troceado, son factores atentamente acompañados por la industria avícola.*

*Hoy, el 50% del pollo es troceado. Esto deriva directamente en un aumento de sobras de piel, cuya utilización industrial tiene una serie de limitaciones. Estas limitaciones están relacionadas con su elevado contenido en grasa y su susceptibilidad a la oxidación lipídica. De modo que la utilización directa de esta piel en productos cárnicos podrá comprometer su "shelf life" debido a las alteraciones de color, aroma y sabor, bien como sus propiedades nutritivas.*

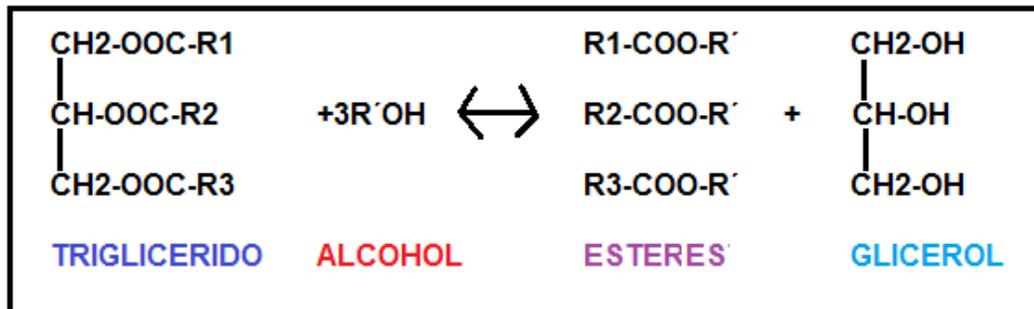
*La piel de pollo presenta en su constitución, además de grasa, proteínas cuya principal constituyente es el colágeno que podría ser utilizado después de su extracción. La separación de la grasa y obtención del colágeno de la proteína como ACPP (aislado de colágeno de la piel de pollo) se puede llevar a cabo con agua, alcohol etílico y éter sulfúrico en diferentes temperaturas.*

*El aislado del colágeno obtenido de la piel de pollo puede ocasionalmente sustituir a las proteínas extensoras convencionales debido a su disponibilidad en las industrias de procesamiento de pollos y debido a su composición”, expresaron C. S. Rosa, N. N. Terra, Ernesto H. Kubota, en el artículo “Obtención de aislado de colágeno de la piel de pollo” publicado en la Revista de tecnología e higiene de los alimentos, (ISSN 0300-5755, N° 334, 2002, págs. 67-72).*

Es decir, que, de los desechos del pollo, podríamos obtener las grasas, a partir de las cuales obtendríamos biodiesel, aislado de colágeno para sustituir proteínas y el resto de la materia orgánica sería destinada a la producción de forraje. Por lo tanto, el aprovechamiento de nuestra materia prima sería de forma completa.

El punto de partida de nuestro trabajo de campo sería la utilización únicamente de la grasa del pollo, para llevar a cabo la reacción de **transesterificación** de la misma, en la cual, una molécula de triglicéridos, componente mayoritario en una grasa, reacciona con un alcohol, generalmente ligero, bajo la acción de un catalizador, para producir una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina.

Esta reacción de grasas animales con alcoholes ligeros consta de tres etapas consecutivas reversibles en las que el triglicérido es convertido consecutivamente en diglicéridos, monoglicéridos y glicerina. Tal como se muestra a continuación:



**Gráfico 3.** Reacción de transesterificación desarrollada.

Es por ello que una vez obtenida la grasa del pollo, componente de nuestro interés, fue sometida a un proceso de lavado y escurrido para eliminar impurezas y posteriormente se llevó a fundición en un horno a 75°C por una hora y media, obteniéndose aceite de pollo. El aceite obtenido presentó un color amarillo intenso y transparente. Luego se llevó a cabo un proceso llamado hibernación o descerado, que tenía por objeto enfriar la grasa obtenida a 7°C durante 8 horas, con la finalidad de separar por precipitado las gomas y mucílagos para mejorar su apariencia.

Para este estudio experimental se requirió de un catalizador. El mismo, es un compuesto que acelera una reacción química. Lo hace mediante la formación de enlaces con las moléculas reaccionantes al permitir que estos se conviertan en un producto, que se separa del catalizador, y lo deja inalterado tal que está disponible para la siguiente reacción. De hecho, se puede describir la reacción catalítica como un evento cíclico en el que el catalizador participa y se recupera en su forma original al final del ciclo. El catalizador más utilizado a nivel mundial es hidróxido de sodio, **NaOH**, por ser el más económico, pero puede también utilizarse KOH (hidróxido de potasio).

Además se requería de un alcohol para la reacción. Por lo general, se utiliza **metanol** porque reacciona más rápidamente con los triglicéridos. Pero puede utilizarse también

etanol. El tiempo de reacción varía entre 60 minutos y una hora y media para el 95% de conversión aproximadamente. La temperatura de la reacción es de 60°C, con una agitación de 300 rpm.

Se procedió a separar el biodiesel y la glicerina formada, mediante el uso de centrifugas o ampollas de decantación. Luego de separar la misma, el éster fue lavado para eliminar jabones y otros subproductos de reacción indeseados.

Se procedió la investigación experimental en un laboratorio con la exclusiva intención de efectuar la elaboración del combustible.

## EXPERIMENTACIÓN

Teniendo en cuenta el procedimiento general para la obtención de biodiesel descrito en el marco teórico, algunas de las variables que inciden en la calidad de este son:

- la pureza de los reactivos,
- la relación molar alcohol/grasa animal,
- tipo y cantidad de catalizador,
- agitación,
- temperatura
- tiempo de reacción.

## SELECCIÓN DE VARIABLES

### **Grasa de pollo:**

Se tomó como materia prima la grasa de pollo, destinada como descarte de las pollerías y frigoríficos seleccionados, a la cual se le realizó el pre-tratamiento detallado anteriormente para proceder a la transesterificación.

**Catalizador:**

Los catalizadores que se emplean comúnmente en el proceso de transesterificación son básicos tales como el hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. El elegido para llevar a cabo la reacción fue el hidróxido de sodio, ya que presenta una mayor accesibilidad al público en general y es más económico.

**Alcohol:**

Según la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) y Las Naciones Unidas (2007), el proceso de producción de biodiesel necesita de un alcohol para la reacción. Los alcoholes por excelencia para la producción de biodiesel son el metanol y el etanol, en particular el metanol que por sus propiedades físico-químicas, reacciona más rápidamente con los triglicéridos, acelerando la reacción y en la mayoría de los países es más económico que el etanol.

En nuestro trabajo de investigación, llevamos a cabo la reacción de obtención de biodiesel con ambos alcoholes para comparar el rendimiento del combustible obtenido, manteniendo constantes las demás variables.

**Tiempo de reacción:**

Darnoko y Cheryan (2000), y Keera, El Sabagh y Taman (2011), encontraron que la reacción de transesterificación es muy rápida, y cerca del 80% de la conversión tiene lugar en los primeros 30 minutos, después de la primera hora se alcanza entre el 93 y el 98% de conversión, se obtiene el mejor rendimiento luego de hora y media, por lo cual se tomó este valor fijo.

**Temperatura de reacción:**

Según Darnoko y Cheryan (2000) la temperatura para llevar a cabo la obtención de biodiesel es de 60°C, teniendo en cuenta que el punto de ebullición del metanol es 64°C.

**Agitación:**

Según lo reportado por Darnoko y Cheryan (2000) es adecuado un valor entre 120-600 rpm, se tomó de 300 rpm.

## **PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL**

El procedimiento para la obtención de biodiesel, incluyó los siguientes pasos:

- 1) preparación del metóxido, (pre-tratamiento)
- 2) reacción de transesterificación,
- 3) separación del biodiesel y la glicerina por decantación,
- 4) lavado del biodiesel y secado.

## **RESULTADOS ESPERADOS**

Con la finalización de este trabajo de investigación, se esperaba llegar a la corroboración de la hipótesis planteada y así poder obtener un combustible de utilidad, bajo una idea innovadora, tomando un desecho como materia prima, ayudando, no solo al productor a eliminar su descarte, sino también a obtener un combustible de forma sustentable, protegiendo los recursos naturales y el medioambiente.

Si bien en la ciudad de Rosario, se ha planteado dicha problemática, los combustibles de este tipo obtenidos, fueron partiendo de aceites vegetales de descarte. Es por eso que se planteaba un trabajo original, ya que, establecería un nuevo punto de partida, que no se había considerado hasta el día de hoy, en nuestra ciudad.

Por otro lado, se planteaba la idea de poder plasmar esta tesina en la realidad de la ciudad, para que todas las industrias que se sintieran incluidas puedan implementarlo en sus establecimientos y así ser pioneros en la reutilización de descarte de grasa animal para obtención de biodiesel.

Además, se deja el trabajo abierto a futuras investigaciones.

## CARACTERÍSTICAS A TENER EN CUENTA

Para la evaluación de la calidad del biodiesel se determinaron propiedades como:

### Viscosidad

Puede determinarse la viscosidad cinética y luego calcular la viscosidad dinámica, según:

- norma PN-EN ISO 3104, mediante viscosímetro.
- utilizando el método de la esfera descendente de la ecuación de "Stokes". (Método utilizado en nuestra tesina, ver bibliografía en **Anexo 4**) Se dispone la fuente consultada, para ampliar información en caso de ser necesario: <http://viscosidadvsqz-adrian.blogspot.com/>
- Su viscosidad cinemática en general está entre 1,9 y 6,0 cSt.

### Densidad

Puede evaluarse de las siguientes maneras:

- mediante aerómetro de acuerdo a la norma en ISO 3675 a 15°C.
- usando el método de oscilación con tubo tipo U según norma PN-EN ISO 12185, ASTM D 4052.

Las normas ASTM: fundadas en 1898, ASTM International (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo. En ASTM se reúnen productores, usuarios y consumidores, entre otros, de todo el mundo, para crear normas de consenso voluntarias. Estas normas son utilizadas y aceptadas mundialmente y abarcan áreas tales como metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, medio ambiente, productos para consumidores, dispositivos y servicios médicos y productos electrónicos. (<https://www.astm.org/>)

- mediante la ecuación matemática: densidad=masa/volumen (Método utilizado en nuestra tesina)
- Su densidad es de aproximadamente 0,878 kg/L a 15°C.

### **Análisis de contenido de ácidos grasos** (por cromatografía)

La Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS, por sus siglas en inglés) es una técnica analítica dedicada a la separación, identificación y cuantificación de mezclas de sustancias volátiles y semivolátiles. La separación de dichas sustancias depende de la diferente distribución de las sustancias estudiadas entre las fases móvil y estacionaria que conforman el sistema. Una vez separadas las sustancias son fragmentadas y analizadas en función de su patrón de fragmentación, el cual puede ser comparado con información contenida en una base de datos de espectros de masas para su identificación preliminar. El biodiesel será analizado de forma cualitativa empleando GC/MS, que permitirá por un lado separar los ésteres metílicos mediante cromatografía de gases y su posterior identificación mediante la técnica de espectrometría de masas.

Dicha información fue obtenida de un trabajo de investigación denominado: “Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa de origen animal”, publicado por Tovar, Benitez, Villabona Ortiz y Rodriguez, el 17 de enero de 2013, en la Universidad de Caldas, Colombia.

## **TRABAJO DE CAMPO**

El trabajo de campo se inició con un proceso de selección de pollerías/frigoríficos de la ciudad de Rosario. La selección fue destinada a pequeñas/medianas empresas, que presenten como descarte, grasa de pollo, nuestra materia prima de interés.

Nos enfocamos en ellas, principalmente, porque suelen eliminar la grasa de pollo como residuo en los contenedores comunitarios, ya que, no tienen un proceso posterior de reciclado del mismo.

Y aunque fuera lógico pensar que las empresas más grandes son las que contienen mayor cantidad de este "residuo", las mismas ya tienen un destino claro y presentan un proceso posterior de reciclado de la misma, generalmente como forraje.

Se seleccionaron tres de ellas, a las cuales se les realizó una visita semanal durante tres semanas, procediendo a la recolección de la grasa de pollo, de la jornada diaria de cada uno.

El objetivo de esto, fue obtener una muestra representativa de la cantidad de grasa que se genera por semana y así realizar una estimación de la cantidad de biodiesel que podría obtenerse, por mes, a partir de este desecho.

Se expone a continuación el listado de las mismas con información detallada de cada una:

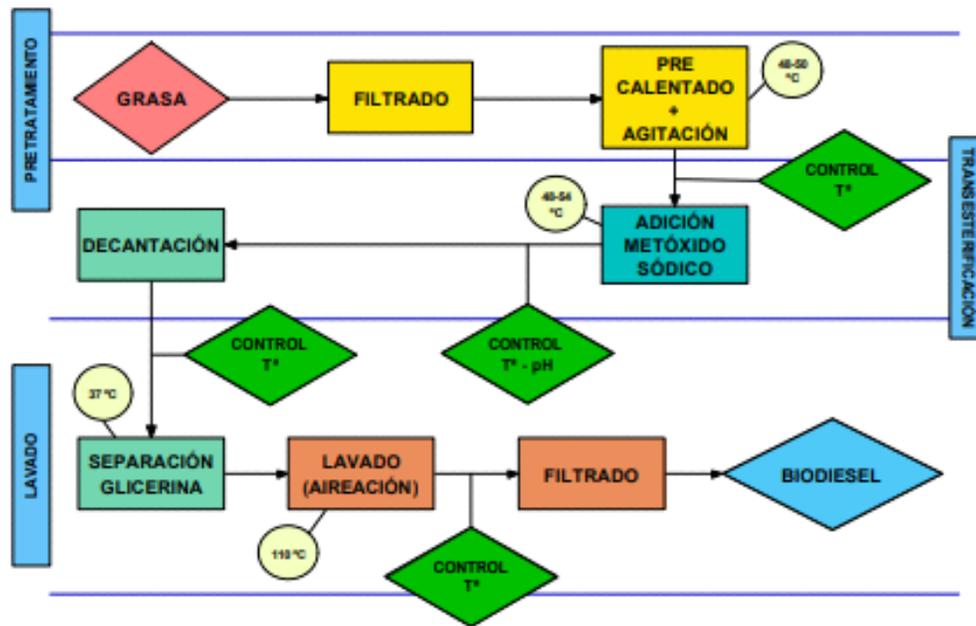
1. Pollería los Hermanitos, Falucho 298 bis
2. Granja y Pollería Gorriti, Gorriti 995
3. Pollería la Tinaja, AV. Alberdi 821

Pollería		Gorriti	La Tinaja	Los hermanitos
Cantidad de grasa (gr)	1er encuentro	6	8	6,7
	2do encuentro	5,7	7,3	6
	3er encuentro	4,9	7,9	5,25

**Gráfico 4.** Pollerías seleccionadas con la grasa recolectada en cada encuentro.

Una vez obtenida la grasa de pollo, se procedió a la experimentación, mencionada anteriormente.

A continuación, se expone el diagrama de flujo del proceso.



**Gráfico 5.** Diagrama de flujo de elaboración de biodiesel.

“Estequiométricamente, el rendimiento másico de la reacción es aproximadamente igual a uno, por lo que se obtiene la misma masa de biodiesel que de aceite vegetal inicial. Además la estequiometría entre el alcohol y la glicerina es similar en términos másicos, requiriéndose en principio una cantidad de alcohol igual al 10% del aceite (en masa)”, expreso Federico Ganduglia en el IICA, en Octubre del 2009.



**Gráfico 6.** Producción de Biodiesel. Fuente: Informes ISF 2.

## 1:OBTENCIÓN DEL ACEITE DE POLLO

La primer etapa para la obtención del biodiesel fue el **PRE-TRATAMIENTO** de la materia prima en 2 pasos consecutivos:

### 1.1 FUNDICIÓN EN ESTUFA A 75°C.



**Imagen 1.** Pesaje de la grasa en balanza digital.



**Imagen 2.** Muestras de grasa en estufa a 75°C

Este procedimiento se llevó a cabo con 9 muestras. Las dos primeras, contenían únicamente grasa de pollo, mientras que las demás contenían todo el descarte (piel, pelos, restos de carne, etc). Esto se hizo para visualizar la diferencia en el rendimiento y en la calidad del aceite obtenido, pero a los fines prácticos de la tesis se pusieron a fundir el conjunto de desechos.

A continuación, se expresa el contenido en gramos de desechos de cada muestra con su tiempo correspondiente de ingreso a la estufa:

Muestra	Contenido en gr	Ingreso a estufa en hs
1	301	15:45
2	244	15:47
3	483	15:50
4	228	15:50
5	261	15:53
6	522	15:54
7	425	15:56
8	168	16:43
9	205	16:45

**Gráfico 7.** Contenido en gramos de cada muestra

Se controlaron las muestras a las 19,30hs y se observó como la grasa contenida en cada muestra comenzó a fundirse. Puede verse como adquiere un color amarillo intenso y una consistencia mas líquida, como se muestra a continuación:



**Imagen 3.** Muestra 1 y 2 a las 19:30hs



**Imagen 4.** Muestra 3, 4 y 5 a las 19:30hs

## 1.2 ENFRIAMIENTO A TEMPERATURA AMBIENTE POR 8HS.

Una vez retiradas las muestras de la estufa, se dejaron enfriar para favorecer la separación de fases y luego poder obtener la mayor cantidad de grasa de pollo fundida.

Lo primero que se hizo, fue separar las fases con un embudo utilizando una gasa como filtro. Esto nos permitió que la grasa pueda pasar a través de ella, reteniendo las impurezas contenidas.



**Imagen 5.** Separación de grasa fundida con embudo y gasa.

## 1.3 SEPARACIÓN DEL ACEITE.

Se dejaron estacionar en ampollas de decantación, por un día, para completar la separación del remanente sólido que no era de nuestro interés.

Con los restos de materia orgánica que fueron separados durante la filtración del aceite, investigamos que pueden ser correctamente destinados a un proceso de elaboración de balanceado animal, por lo que la utilización de los desechos de pollo sería de forma completa.

Una vez que obtuvimos toda la grasa fundida y limpia, se unificó para calcular el rendimiento:

De las muestras 1 y 2, las cuales contenían únicamente grasa de pollo, se obtuvo:

F1: 301gr	}	<u>Total:</u>
F2: 244gr		545gr de grasa de pollo -----200gr de Aceite de pollo

En 100 gr de grasa de pollo ----- X= 36,7 gr de aceite de pollo. Es decir, un rendimiento del **36,7%**

Mientras que del total de las 9 muestras de 2292gr de desecho de pollo, se obtuvo un **22,46%** de rendimiento (515 gr de Aceite de pollo).

Pudimos observar que el rendimiento en las muestras 1 y 2 que contenían únicamente grasa de pollo, fue mayor.

También, observamos que, de las demás muestras que contenían el conjunto de desechos, se obtuvo un aceite de igual calidad al de las muestras 1 y 2. Esto nos hizo pensar, que aunque el rendimiento es un poco menor, por contener material que no es de nuestro interés, la calidad del aceite que se obtiene es muy bueno y se correlaciona directamente con la practicidad del proceso, ya que, separar solo la grasa sería muy engorroso.

Para calcular el rendimiento total, se pesó en un vaso de precipitado, dando un valor de **515gr** del total de muestras.

Se adjunta la foto del aceite de pollo obtenido:



**Imagen 6.** Aceite de pollo.

**Se obtuvieron en total: 640ml de aceite.**

A los fines prácticos de la presente tesina, de aplicarse, se utilizaría como materia prima el conjunto de desechos proveniente de las pollerías, por lo que se pondría a fundir la grasa, junto con restos de carne, piel y pelos de los pollos, considerando como rendimiento real de la obtención de aceite, un 22,46%.

Del aceite obtenido se analizaron los siguientes parámetros:

- **pH** mediante tiras reactivas, dando un resultado **entre 5 y 6** y mediante pH metro calibrado a pH 7 y 10 de **6,3**.



**Imagen 7.** Medición de pH a aceite de pollo mediante tiras reactivas.

- **Densidad:**  $0,8532\text{gr/cm}^3$  (ver cálculos en **Anexo 5**)
- **Viscosidad:**  $90,2\text{ mm}^2/\text{s}$  (ver cálculos en **Anexo 6**)

Posteriormente, se llevaron a cabo nuevas extracciones de aceite, para obtener una mayor cantidad de aceite:

Muestra	Contenido en gr
10	222
11	247
12	234
13	229
14	136
15	60
16	59

Total de grasa:

1187gr de grasa ----- 260 gr de aceite

100 gr de grasa ----- X= **21,90%**

**de rendimiento**

**Cantidad: 255ml de aceite**

Muestra	Contenido en gr
17	276
18	226
19	307
20	257
21	268
22	233
23	194

Total de grasa:

1761gr de grasa -----249 gr de aceite

100 gr de grasa ----- X=**14,14 %**

**de rendimiento**

**Cantidad: 342ml de aceite**

El aceite obtenido de ambas producciones presentaba aspecto, color y aroma similar por lo que se unificaron dando un volumen de 597ml, con un peso de 509gr y una densidad **0,88gr/cm<sup>3</sup>**.

De la fundición de la grasa, pudimos concluir que, a mayor tiempo de exposición al calor, mayor era la extracción del aceite. Por eso variaba el rendimiento de las diferentes partidas.

Se almacenaron en un frasco de vidrio en refrigeración hasta el momento de ser utilizadas. Total: **1237 ml de aceite de pollo.**

#### 1.4 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE HIDRÓXIDO EN ALCOHOL

Se comenzó con la preparación de las primeras soluciones, teniendo en cuenta las relaciones expresadas en la teoría:

0,5gr Na(OH) ----- 30 ml Metanol

16,667gr Na(OH) ----- 1000 ml Metanol

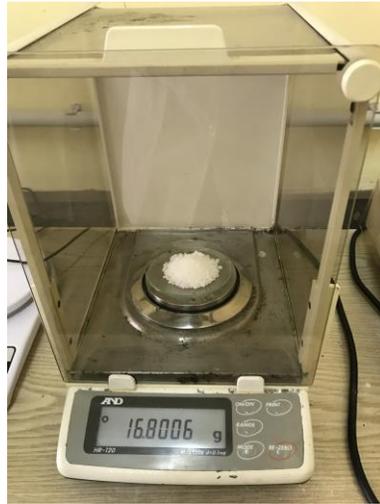


**Imagen 8.** Hidróxido de sodio en perlas.

Redondeamos el peso del Hidróxido a 16,8gr y se realizó el mismo cálculo para la solución con Etanol. Se utilizó la balanza digital que se muestra a continuación y un vidrio de reloj como recipiente para el pesaje:

Se pesó:

- 16,8006 gr de Na(OH) para la reacción con Etanol.
- 16,8098 gr de Na(OH) para la reacción con Metanol.



**Imagen 9.** Na(OH) para sol. con etanol



**Imagen 10.** Na(OH) para sol. con metanol

Para la obtención de la solución, disolvimos el hidróxido de sodio en un vaso de precipitado, con parte del solvente. Utilizamos un agitador de barras magnéticas, como se muestra a continuación, y luego se trasvasó a un matraz aforado de 1000 ml y se enrazó con el solvente correspondiente.



**Imagen 14.** Solución agitándose.

## 2: TRANSESTERIFICACIÓN

*“Químicamente, la transesterificación consiste en tres reacciones consecutivas, el triglicérido es convertido sucesivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerol. Obteniéndose como productos finales, alquilésteres de los ácidos grasos del aceite y glicerol”*

En el mismo se llevó a cabo la reacción entre el aceite obtenido, el alcohol (etanol/metanol) con el catalizador (hidróxido de sodio).

Según el manual de biocombustibles de la Asociación Nacional de Empresas de petróleo y gas natural en Latinoamérica y el Caribe (Federico Ganduglia – IICA Octubre del 2009), aunque el metanol tiene mayores restricciones ambientales y de manipuleo, respecto del etanol, por proceder de fuentes no renovables, existe una mayor tendencia a su uso, por las siguientes razones:

1. Su menor precio
2. Tecnología disponible y madura
3. Menor complejidad en el proceso
4. Separación menos dificultosa de la mezcla alcohol/agua
5. Menor volumen de alcohol que recircula

Mientras que el etanol tiene la ventaja de ser materia prima de fuente renovable, su posible utilización, en un futuro, en reemplazo del metanol, requeriría necesariamente del desarrollo de tecnología para obtener un proceso eficiente y competitivo en costos, ya que en la mayoría de los países tiene un mayor costo.

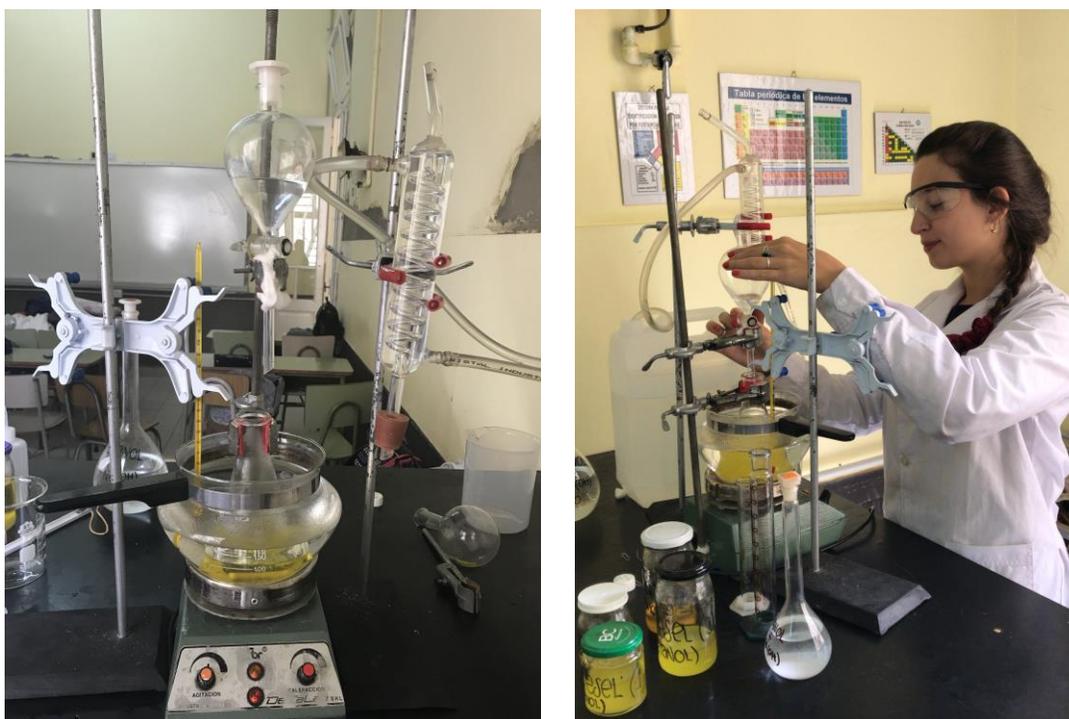
Como en nuestro país, el etanol tiene un costo 3 veces menor al metanol, y su accesibilidad es mucho mayor, llevamos a cabo la transesterificación con ambos alcoholes a fin de concluir con cual se lleva a cabo de forma más eficiente, teniendo en cuenta todos los parámetros analizados.

La reacción de transesterificación se llevó a cabo con iguales proporciones de aceite y de la solución de los alcoholes a comparar; a 60°C, con agitación durante una hora y media aprox.

## 2.1: TRANSESTERIFICACIÓN CON METANOL

### 2.1.1 Transesterificación 1

Cantidad de aceite	Cantidad de solución	Agregado de Metanol		Tiempo de reacción	
		Inicio	Final	Inicio	Final
100ml	60ml	10:25 hs	10:50hs	10:50hs	12:20hs



**Imagen 11.** Transesterificación en proceso.

Posteriormente la mezcla se transvasó a una ampolla de decantación para poder observar la separación de fases, ya que, durante la transesterificación se produce biodiesel y glicerina, que es necesario separarlos.

Esto fue posible de esta forma ya que ambos productos tienen diferentes densidades.



**Imagen 12.** Ampolla de decantación conteniendo biodiesel y glicerina.

**Rendimiento T1:** 100 ml aceite se obtuvieron 93ml de biodiesel, es decir, un rendimiento del 93%.

Se repitió el proceso para obtener una segunda cantidad de biodiesel a partir de solución con metanol y que la muestra final sea más representativa.

## 2.1.2 Transesterificación 1'

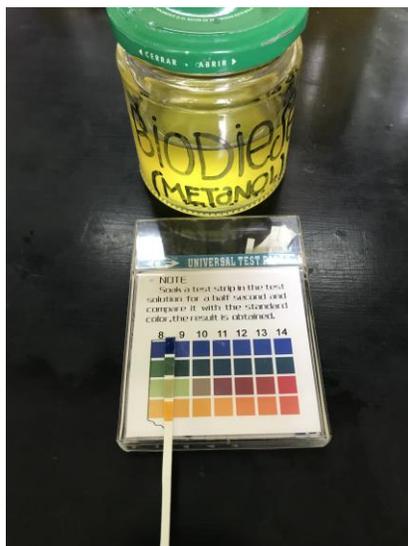
Cantidad de aceite	Cantidad de solución	Agregado de Metanol		Tiempo de reacción	
		Inicio	Final	Inicio	Final
100ml	60ml	9:40hs	10:15hs	10:15hs	11:45hs

Se repitió la etapa de decantación para favorecer la separación de glicerina y biodiesel.

**Rendimiento T1': 100 ml aceite se obtuvieron 89ml de biodiesel, es decir, un rendimiento de 89%.**

Una vez cumplido el tiempo de decantación y al observarse claramente la separación de fases, se separó el biodiesel obtenido de ambas muestras y se tomó el pH.

- pH T1 → con tiras reactivas: entre 8 y 9 y con pH metro: 10,7
- pH T1' → con tiras reactivas: entre 8 y 9 y con pH metro: 10,37
- Las muestras presentaban coloración amarillenta y olor levemente alcohólico.



**Imagen 13.** Medición de pH del biodiesel con tiras reactivas.

Ambas muestras presentaban un pH levemente alcalino, ya que contiene los hidróxidos disueltos en solución que han actuado como catalizador en la reacción. Es por eso que es necesario realizar un **lavado** con agua destilada para eliminarlos, y junto con ellos eliminar cualquier impureza que pueda quedar en nuestro producto final. Luego se permite la fácil separación al ser inmiscible con el biodiesel. Gracias a esto se produce la neutralización de nuestro combustible, manteniendo un pH cercano a 7.

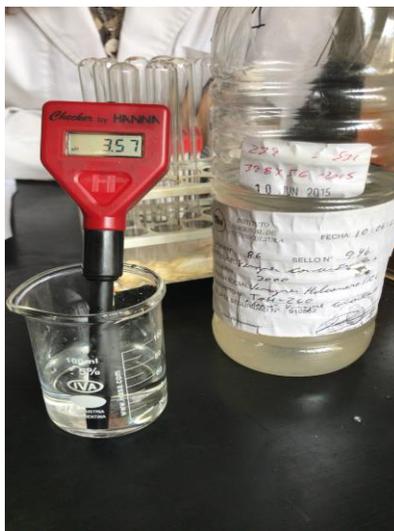
Al presentar características organolépticas y parámetros físicos y químicos similares, fueron unificadas en T1, para ser lavadas posteriormente.

### **Cantidad de biodiesel de T1 → 182ml**

Llevamos a cabo los lavados del biodiesel de dos formas:

#### **Lavado ácido:**

Hicimos pruebas de lavado con una solución de 50ml de agua destilada y una gota de ácido acético. La solución presentaba un pH de 3,57.



**Imagen 14.** Solución de agua destilada con ácido acético.

-Se tomaron 5ml de biodiesel y se mezclaron con 2,5ml de la solución acidificada.

-Se agitó suavemente para favorecer el contacto y se observó que el líquido de lavado presentaba un color blanquecino.

-Se extrajo parte del biodiesel lavado y se le realizaron lavados consecutivos solo con agua destilada, hasta que la misma decantó a color transparente.

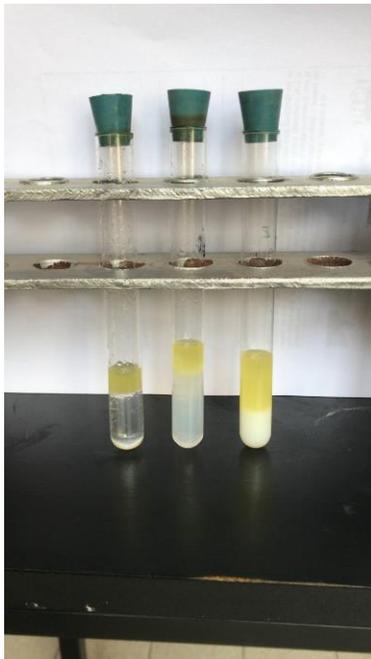
Se tomó el pH con tiras reactivas en cada muestra y se observó un valor que varía entre 4 y 5. Con dicho método el pH de la solución se acidificó demasiado, por lo que probamos realizar los lavados únicamente con agua destilada.

#### Lavado con agua destilada:

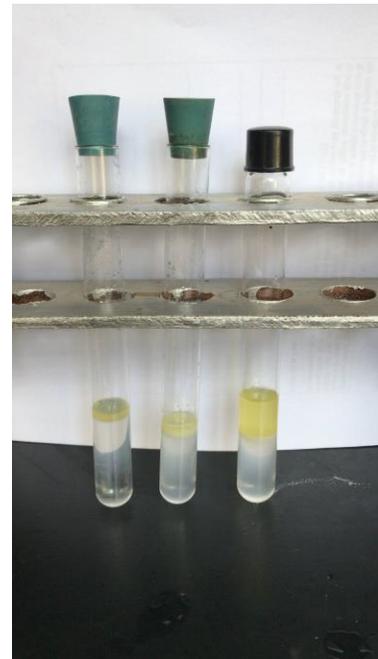
-Se tomaron 5ml de aceite y se mezclaron con 2,5 ml de agua destilada.

-Se agitó levemente para favorecer el contacto y se repitió 3 veces.

-Se observó un pH entre 6 y 7 (pH ideal)



**Imagen 15.** Lavado con agua acidificada.



**Imagen 16.** Lavado con agua destilada.

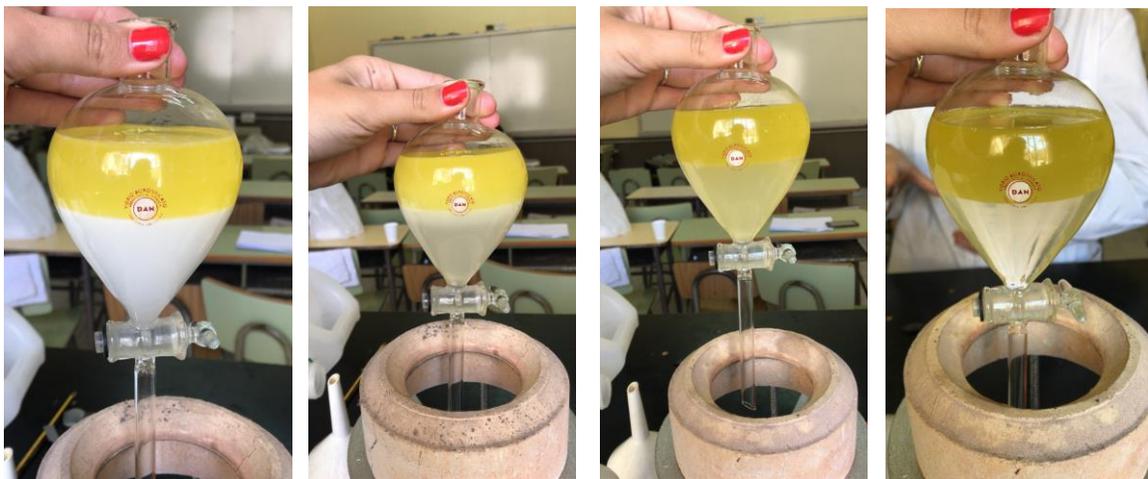
Una vez concluido los lavados de las muestras, llegamos a la conclusión que utilizando únicamente agua destilada se llegaban a mejores resultados y al pH deseado del biodiesel.

Sumado a esto, que a los fines prácticos de esta tesina, se planteaba que el proceso fuera lo más accesible posible, al público en general, por lo que la sola utilización de agua destilada como método de lavado, fué considerada la mejor opción.

Se procedió al lavado de todo el contenido de biodiesel

Se utilizó una ampolla de decantación de 250ml en la cual se colocaron 130ml de biodiesel y 100ml de agua destilada a T° ambiente. Se agitó levemente para favorecer el contacto de las fases y se dejó estacionar hasta observarse la separación de las mismas.

Era muy importante que la agitación fuera controlada, ya que, una agitación excesiva podía producir la emulsión de la solución.



**Imagen 17.** Lavados sucesivos del biodiesel.

- El pH del biodiesel lavado dió un valor aproximado de 6.
- El pH del líquido de lavado dió un valor aproximado de 10.

Esto se debió a que los hidróxidos de la solución fueron arrastrados por el líquido de lavado, que ahora los contiene, alcalinizando la solución y al ser eliminados del biodiesel, se acidificó nuestra muestra.

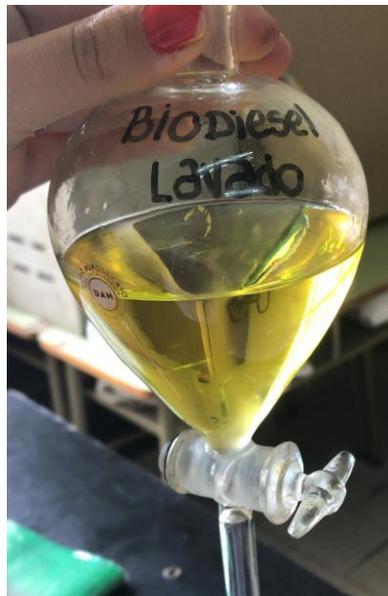
Se realizó el lavado del resto del biodiesel obtenido.

Luego se procedió al **secado** en estufa a 45°C, durante 40 minutos, para eliminar todo el contenido de agua que pudiera quedar en la muestra.

El biodiesel lavado y seco se muestra a continuación:

Características:

- Coloración amarillo intensa
- Aspecto transparente sin impurezas.
- pH= 6/7
- Densidad a 15°C=0,82gr/cm<sup>3</sup>
- Viscosidad a 40°C= 19,8mm<sup>2</sup>/s



**Imagen 18.** Biodiesel lavado y seco.

Uno de los parámetros de interés para la corroboración del biodiesel obtenido fue la de la **viscosidad**. La misma representa la resistencia de un fluido a desplazarse y puede ser medida a través de un equipo llamado viscosímetro. Hay una gran variedad de viscosímetros que dan un valor exacto, pero su accesibilidad de a cuerdo a los costos es muy restringida.

### **Viscosidad dinámica → $\eta$**

Relaciona el esfuerzo o tensión local en un fluido en movimiento con la velocidad de deformación de las partículas fluidas. La viscosidad de un fluido es la resistencia a que las distintas láminas deslicen entre sí.

### **Viscosidad cinemática → $\nu$**

La viscosidad cinemática, designada como  $\nu$ , se mide, en unidades del Sistema Internacional, en metros cuadrados por segundo ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ).

En el Sistema Cegesimal se utiliza el stokes (St).

Dividiendo la viscosidad dinámica por la densidad del fluido, obtenemos la cinemática.

Debido a nuestra inaccesibilidad a un viscosímetro, recurrimos a la **“ley de stock”** para la medida de la viscosidad del biodiesel. (Ver bibliografía en anexo 4)

*“El movimiento de un cuerpo en un medio viscoso es influenciado por la acción de una fuerza viscosa,  $F_v$ , proporcional a la velocidad,  $v$ , es definida por la relación  $F_v = bv$ , conocida como Ley de Stokes”, explicado en La Guía de Física on line y en el manual del ing. químico, de John Perry.*

$$v_L = (2/9) [(\rho - \rho')/\eta] g r^2$$

Donde:

- $\rho$  y  $\rho'$  son las densidades de la esfera y del medio respectivamente,
- $r$  es el radio de la esfera,

- $\eta$  la viscosidad dinámica del líquido  $\rightarrow$  dato de interés
- g es la aceleración de la gravedad (9,81 cm s<sup>-2</sup>)”.
- vL es la velocidad calculada como h/tiempo

Se utilizó una probeta graduada de 50ml, la cual se le hicieron dos marcas y se midió la altura entre ellas. Se completó con el biodiesel obtenido y se dejó caer la esfera a través de él. Se tomó el tiempo que tarda en caer desde la primer marca a la segunda y se repitió 3 veces por cada muestra para obtener un valor de tiempo más representativo.

A partir de un despeje, y con los datos obtenidos anteriormente, pudimos calcular la viscosidad dinámica del fluido de interés.

$$\left( \begin{array}{c} \eta_{\text{dinámica}} \\ \rho \text{ del líquido} \end{array} \right) = \left[ v \text{ cinemática} \right]$$

$$\text{Factor} = \left[ 1 - 2,104 \times (d/D) + 2,09 \times (d/D)^3 + 0,905 \times (d/D)^5 \right]$$

}

d:diam esfera

D:diam probeta

**v cinemática X factor de corrección = valor final**

**Viscosidad de T1: 19,8 mm<sup>2</sup>/s** (Ver cálculos en **Anexo 7**)

Se aplicó la misma fórmula para la determinación de viscosidad de todas las muestras.

El biodiesel lavado y seco de la T1 se reservó en frasco herméticamente cerrado y a temperatura ambiente, a espera de mayor producción.

### 2.1.3 Transesterificación 2

Cantidad de aceite	Cantidad de solución	Agregado de Metanol		Tiempo de reacción	
		Inicio	Final	Inicio	Final
100ml	60ml	10:10hs	10:30hs	10:30hs	12:00hs

Se dejó reposar en ampolla de decantación 24hs para la separación de biodiesel y glicerina.

**Rendimiento: de 100 ml aceite se obtuvo 77ml de biodiesel, decir, 77% de rendimiento.**

Se llevó a cabo el proceso de lavado y secado del biodiesel.

Características:

- Coloración amarillo intensa
- Aspecto transparente sin impurezas.
- pH= 6/7
- Densidad a 15°C= 0,83gr/cm<sup>3</sup>
- Viscosidad a 40°C= 28,49mm<sup>2</sup>/s

### 2.1.4 Transesterificación 3

Se llevó a cabo la reacción de igual forma, pero duplicando las cantidades para obtener una mayor producción:

Cantidad de aceite	Cantidad de solución	Agregado de Metanol		Tiempo de reacción	
		Inicio	Final	Inicio	Final
200ml	120ml	11:25hs	11:58hs	12:00hs	13:30hs

Se dejó reposar en ampolla de decantación 24hs para la separación de biodiesel y glicerina.

**Rendimiento: de 200 ml aceite se obtuvo 152ml de biodiesel, es decir, 76% de rendimiento.**

Se llevó a cabo el proceso de lavado y secado del biodiesel.

Características:

- Coloración amarillo intensa
- Aspecto translucido sin impurezas en caliente.
- Levemente turbio a temperatura ambiente.
- pH= 6/7
- Densidad a 15°C = 0,82gr/cm<sup>3</sup>
- Viscosidad a 40°C= 27,85mm<sup>2</sup>/s

#### 2.1.5 Transesterificación 4

Cantidad de aceite	Cantidad de solución	Agregado de Metanol		Tiempo de reacción	
		Inicio	Final	Inicio	Final
200ml	120ml	11:25hs	12:00hs	12:00hs	13:30hs

Se dejó reposar en ampolla de decantación 24hs para la separación de biodiesel y glicerina.

**Rendimiento: de 200 ml aceite se obtuvo 163ml de biodiesel, es decir, un 81,5% de rendimiento.**

Se lleva a cabo el proceso de lavado y secado del biodiesel.

Características:

- Coloración amarillo intensa
- Aspecto translucido sin impurezas en caliente.
- Levemente turbio a temperatura ambiente.
- pH= 6/7
- Densidad a 15°C= 0,81gr/cm<sup>3</sup>
- Viscosidad a 40°C= 29,3mm<sup>2</sup>/s

### 2.1.6 Transesterificación 5

Se llevó a cabo una última transesterificación con la cantidad de aceite que nos quedaba y con la cantidad de solución proporcional a ella, para aprovechar al máximo el material obtenido.

Cantidad de aceite	Cantidad de solución	Agregado de Metanol		Tiempo de reacción	
		Inicio	Final	Inicio	Final
173ml	104ml	11:00hs	11:25hs	11:25hs	12:55hs

Se dejó reposar en ampolla de decantación 24hs para la separación de biodiesel y glicerina.

**Rendimiento: de 173 ml aceite se obtuvo 120 ml de biodiesel, es decir, 69,4% de rendimiento.**

Se llevó a cabo el proceso de lavado y secado del biodiesel.

Características:

- Coloración amarillo intensa
- Aspecto transparente sin impurezas.
- pH= 6/7

- Densidad a 15°C = 0,82gr/cm<sup>3</sup>
- Viscosidad a 40°C= 28,1 mm<sup>2</sup>/s

Se observó que las T1 y T2, presentaron una coloración amarilla intensa, transparente. Mientras que las T3 y T4, presentaban igual coloración pero aspecto turbio. Estas diferencias se debieron a que las primeras muestras (T1 y T2), luego de los lavados correspondientes, fueron expuestas a una estufa a 60°C a fin de eliminar el agua contenida.

En cambio, las muestras 3 y 4, no pasaron por la etapa de secado, por lo que contenían gotas de agua en el interior, generando turbidez de la solución.

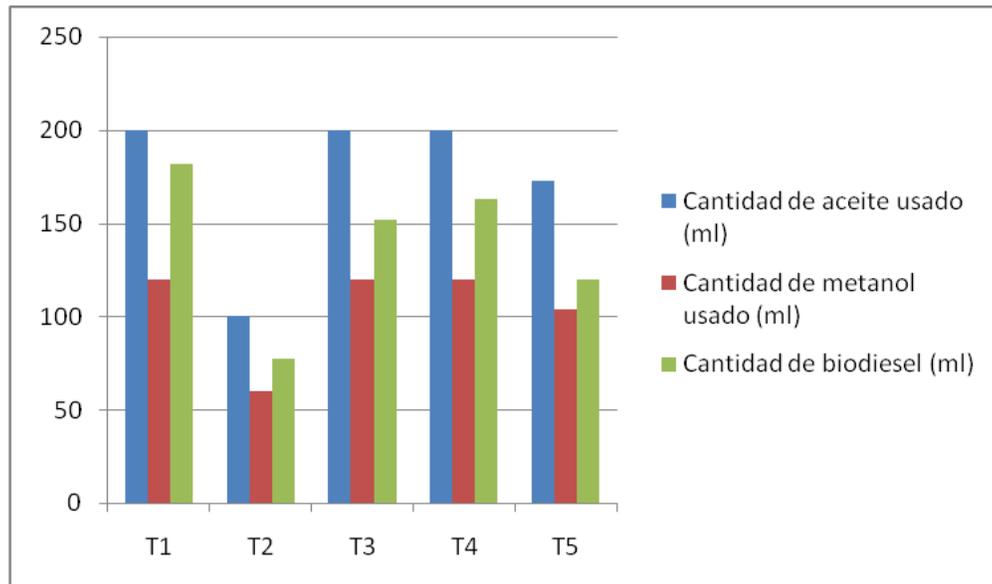
Ambas muestras se calentaron a 110°C, con agitación continua, por aproximadamente 15 minutos, favoreciendo la evaporación del agua. Luego se dejó enfriar a temperatura ambiente y se observó que las muestras adquirirían una coloración transparente, igual a las muestras T1 y T2. Se repitió con la T5 y se unificó todo el contenido de biodiesel.

Se volcaron los datos de las 5 muestras en una tabla, a fin de comparar la cantidad de aceite y de solución de metanol + Na(OH) utilizado y la proporción de biodiesel obtenido:

Transesterificación	Cantidad de aceite usado (ml)	Cantidad de metanol usado (ml)	Cantidad de biodiesel (ml)
T1	200	120	182
T2	100	60	77
T3	200	120	152
T4	200	120	163
T5	173	104	120

**Gráfico 8.** Cantidad de materia prima utilizada en cada transesterificación y cantidad de biodiesel obtenido.

A continuación se muestra a modo ilustrativo, las cantidades de las materias primas utilizadas en cada transesterificación y la proporción de biodiesel obtenido:



**Gráfico 9.** Relación entre materia prima, reactivo y producto final.

**Se utilizaron en total para la Transesterificación con metanol:**

Grasa de pollo → 3550gr

Aceite → 873ml → 744,84gr

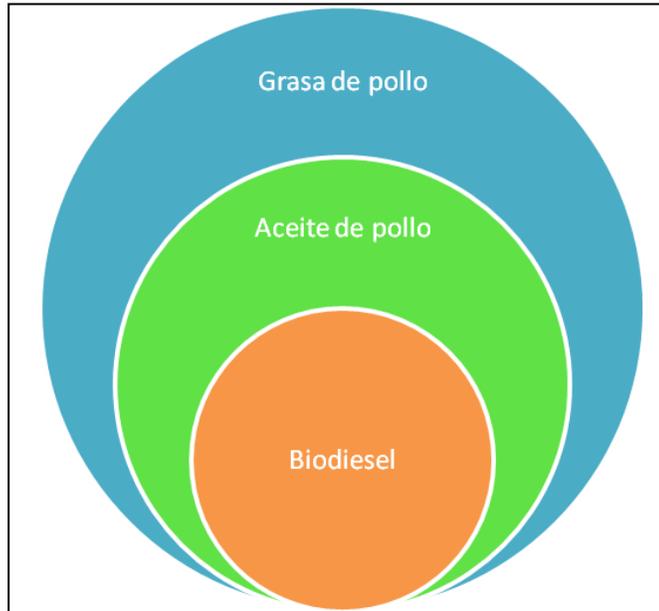
Solución de Metanol + Na(OH) → 524 ml

**Se obtuvo en total:**

Biodiesel → 694ml → 569,08gr

Se muestra a continuación un gráfico representativo de las extracciones de los diferentes productos y subproductos expresado en gramos, para unificar unidades.

	CANTIDAD EN GR	PORCENTAJE
DESECHOS	3550	63%
ACEITE	744,84	21%
BIODIESEL	569,08	16%
		100%



**Gráfico 10.** Extracciones del producto.

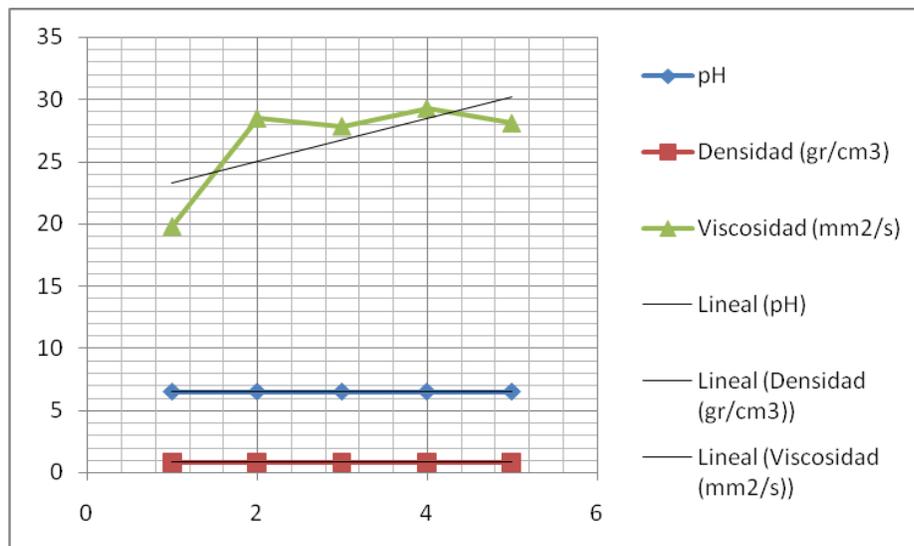
A continuación, se presenta un cuadro comparativo acerca de los parámetros físicos analizados en cada muestra:

Transesterificación	pH	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Viscosidad (mm <sup>2</sup> /s)
T1	6,5	0,82	19,8
T2	6,5	0,83	28,49
T3	6,5	0,82	27,85
T4	6,5	0,81	29,3
T5	6,5	0,82	28,1

**Gráfico 11.** Parámetros físicos de cada muestra.

En el gráfico siguiente, (**Gráfico 12**), puede verse claramente como el pH y la densidad fueron parámetros que arrojaron valores similares en las 5 muestras de biodiesel, mientras que la viscosidad fue variando en cada una de ellas.

Esto puede deberse al método de análisis utilizado para la obtención de dicho valor, ya que, como explicamos anteriormente, no era el más óptimo y eficaz, y al ser un método manual, el error humano influye constantemente.



**Gráfico 12.** Comparación de parámetros físicos de cada muestra.

Luego, se unificaron las muestras de biodiesel y se volvió a medir la viscosidad, con el mismo método, dando un valor igual a **26,7mm<sup>2</sup>/s**.

Los valores de viscosidad arrojaron valores superiores a los expresados en las tablas de la bibliografía consultada, en muestras de biodiesel provenientes de diferentes materias primas. Esto puede ser una de sus causas, sumado al método de análisis de la viscosidad utilizado, que como mencionamos anteriormente, no es el más adecuado. De todas formas, se encontraron bibliografías que aplican el mismo método a muestras

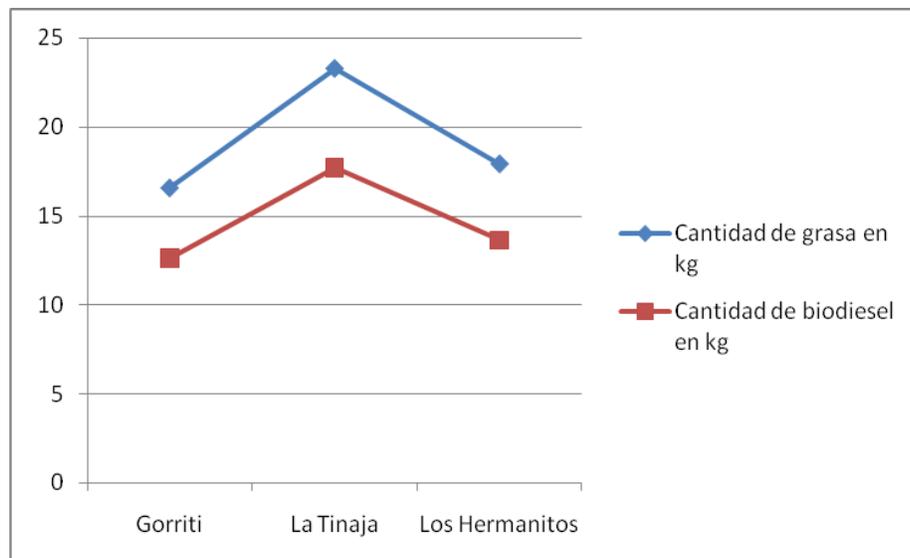
de biodiesel provenientes de grasa de pollo, misma materia prima a la utilizada en esta tesina, que evidencian dicha situación, respaldando nuestro resultado.

De la cantidad de grasa obtenida de las tres pollerías seleccionadas en los tres encuentros, se obtuvo la siguiente comparación en cuanto a la cantidad de biodiesel, en kilos, que podría obtenerse:

Pollería	Gorriti	La Tinaja	Los Hermanitos
Cantidad de grasa (Kg)	16,6	23,3	17,95
Cantidad de biodiesel (Kg)	12,62	17,71	13,64

**Gráfico 13.** Proyección de obtención de biodiesel.

A continuación, se muestra gráficamente:



**Gráfico 14.** Conversión de grasa a biodiesel en Kg.

A partir de esto, se llevó a cabo una proyección correspondiente a seis meses y un año, para poder visualizar claramente la eficacia del proyecto.

Aplicando este proyecto en tres pollerías de la ciudad de Rosario, con un encuentro semanal, en un período de seis meses, se podría obtener una cantidad total de 462,8 kilos de grasa. Es decir, que se podría obtener una cantidad total aproximada de 351,76 kilos de biodiesel.

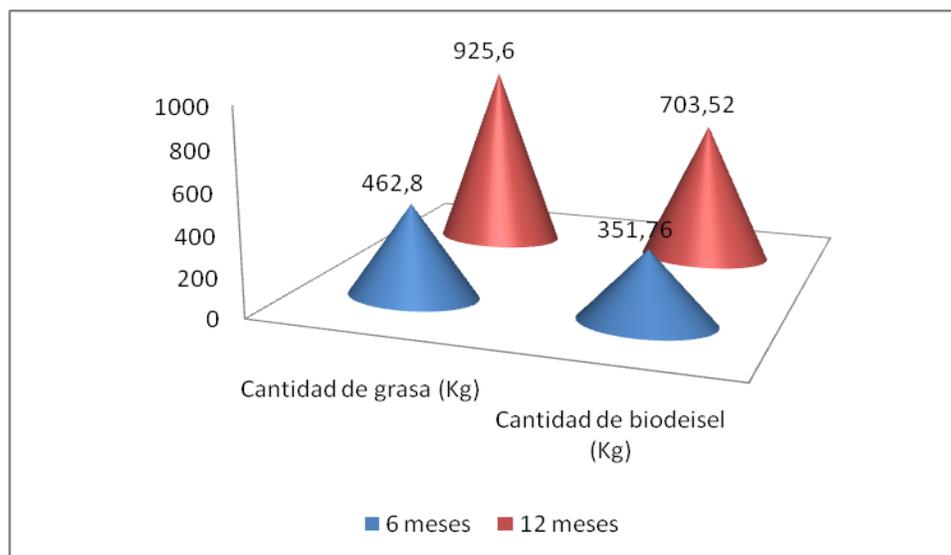
De la misma forma, en un período de doce meses, se podría obtener una cantidad total de 925,6 kilos de grasa. Lo que implicaría una producción total aproximada de 703,52 kilos de biodiesel.

Se expresa lo dicho, en la siguiente tabla:

Cantidad de meses	Cantidad de grasa (Kg)	Cantidad de biodeisel (Kg)
6	462,8	351,76
12	925,6	703,52

**Gráfico 15.** Proyección de obtención de biodiesel a seis y doce meses.

A continuación se muestra gráficamente:



**Gráfico 16.** Obtención de biodiesel aplicado a seis y doce meses.

## 2.2: TRANSESTERIFICACIÓN CON ETANOL

El proceso de **transesterificación** se llevó a cabo de la misma forma que con el metanol, cambiando solo este reactivo por etanol. Se procedió a la experimentación.

La bibliografía consultada plantea que la transesterificación con metanol es más eficaz y económica y por lo tanto la más utilizada a escala industrial, pero como también puede llevarse a cabo con etanol, producto más económico en nuestra ciudad, se planteó la realización de la reacción con ambos alcoholes a fin de comprobar el cumplimiento del objetivo → obtención de biodiesel.

En muchas ciudades el metanol tiene un costo mejor que el etanol, pero en nuestra ciudad esa situación se presenta a la inversa, teniendo un costo 3 veces menor el segundo en relación al primero. En consecuencia, de llegarse a la obtención del biodiesel con etanol, en iguales condiciones de tiempo, temperatura, agitación y relación aceite-solución alcohol + Na(OH), sería conveniente para nosotros. Sumado a esto, el etanol es un alcohol que presenta un acceso libre, incluso en farmacias, por lo que a los fines prácticos de éste proyecto, sería lo ideal.

A partir de esto, se llevó a cabo la obtención de biodiesel con etanol:

### 2.2.1 Transesterificación 1

Se mantuvieron iguales los demás parámetros:

Cantidad de aceite	Cantidad de solución	Agregado de Etanol		Tiempo de reacción	
		Inicio	Final	Inicio	Final
100ml	60ml	9:41hs	10:00hs	10:01hs	11:45hs

Se dejó descansar la solución en una ampolla de decantación, y al cabo de 2hs no se observó separación de fases, por lo que pudimos concluir que no se había llevado a cabo la reacción.

Para corroborar lo dicho, se tomó el pH de la solución obtenida y arrojó un resultado cercano a la neutralidad, por lo que confirmamos que la reacción esperada, no se había producido, ya que en caso de ser biodiesel, debería haber tenido un pH alcalino, por presentar el hidróxido disuelto en la solución, ya que el mismo es un catalizador.

Se repitió la transesterificación aumentando el contenido de alcohol.

### 2.2.2 Transesterificación 2

Cantidad de aceite	Cantidad de solución	Aumento de cantidad de Etanol	Agregado de Etanol		Tiempo de reacción	
			Inicio	Final	Inicio	Final
100ml	60ml	60ml	9:41hs	10:00hs	10:01hs	11:45hs

Dicha solución contenía: 4,17gr de Na(OH) ----- 250ml solución

1,0008gr de Na(OH) =X ----- 60ml solución

Es decir: 1,0008gr de catalizador en 120ml de etanol.

Se dejó descansar en ampolla de decantación.

Se analizaron ambas muestras luego de 24hs y se observó lo siguiente:

- De la muestra (1) se gelatinizó el 98%
- De la muestra (2) se gelatinizó el 50%

Se separó el líquido sobrenadante y se volvió a tomar el pH, pero el mismo dió un valor igual a 7, por lo que seguía confirmando nuestra teoría.



**Imagen 19.** Muestra de biodiesel gelatinizada.

Se llevó a cabo una última transesterificación con etanol, la cual, igualaría los costos de producción. Se aumento nuevamente la cantidad de etanol, en relación 1:3 y se mantuvieron iguales los demás parámetros.

### 2.2.3 Transesterificación 3

Cantidad de aceite	Cantidad de solución	Aumento de cantidad de Etanol	Agregado de Etanol		Tiempo de reacción	
			Inicio	Final	Inicio	Final
100ml	60ml	120ml	9:47hs	10:25hs	10:25hs	11:55hs

Dicha solución contenía: 4,17gr de Na(OH) ----- 250ml solución

1,0008gr de Na(OH) =X ----- 60ml solución

Es decir: 1,0008gr de catalizador en 180ml de etanol.

Se pudo observar que la transesterificación con etanol, en condiciones de tiempo, temperatura, relación aceite-catalizador-alcohol, iguales a la reacción producida con metanol, no cumplió el objetivo de obtención de biodiesel.

Esto llevó a pensar que si el metanol tiene un costo 3 veces mayor al etanol, la reacción con el último alcohol podría llevarse a cabo con una cantidad 3 veces mayor que el primero, para mantener igualados los costos de materia prima.

Por lo tanto, se realizó la transesterificación, con aumento de las cantidades de etanol, hasta tres veces el volumen respecto del metanol:

- Con igual cantidad de etanol en reemplazo del metanol(60 ml),
- Aumentando el doble la cantidad de etanol (120ml),
- Aumentando tres veces la cantidad de etanol (180ml).

Los resultados no fueron los esperados y aunque se pudiera lograr el objetivo con la última opción, al tener mayor cantidad de solución, se estaría necesitando mayor tiempo y mayor agitación, haciendo que el proceso sea más engorroso. Sumado a esto, se dificultaría la manipulación del mismo y el proceso de lavado.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se puede concluir que el proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel, es más conveniente en cuanto a costos, tiempo y manipulación, utilizando metanol, aunque dicho alcohol tenga un costo mayor que el etanol, en nuestro país.

A partir de lo experimentado, pudimos comprender porqué la bibliografía aconsejaba constantemente que se utilice metanol para la reacción y corroborar dicha teoría.

Una vez comprobado que el proceso de transesterificación tiene mejores y óptimos resultados utilizando metanol como alcohol, se optó por llevar a cabo una nueva producción con igual cantidades y otra con el doble de las cantidades de aceite y de solución, colocadas anteriormente, a fin de obtener mayor cantidad del producto final y así poder llevar a cabo los ensayos físicos deseados.

## COMPROBACIÓN DEL BIODIESEL OBTENIDO

Según Intertek Group plc de Perú, el principal proveedor de soluciones de calidad y seguridad en todo el mundo, los ensayos de calidad que pueden hacerse a los biocombustibles son los expresados a continuación, junto con la norma que lo regula:

- Densidad a 15°C ISO 3675
- Viscosidad a 40°C ISO 3104
- Punto de inflamación ISO 3679
- Contenido azufre ISO 20846
- Residuo carbón ISO 10370
- Contenido cenizas sulfatadas ISO 3987
- Contenido agua ISO 12937
- Estabilidad oxidación EN 14112
- Valor ácido EN 14104
- Valor yodo EN 14111
- Contenido mono glicérido EN 14105
- Contenido di glicérido EN 14105
- Contenido triglicérido EN 14105
- Glicerol libre EN 14106
- Obstrucción del filtro en frío EN 116

Se muestra además, en el **Gráfico 16**, las cantidades máximas y mínimas esperadas para cada parámetro y la unidad en las que se expresan los mismos.

Propiedad	Unidad	Mínimo	Máximo
Contenido de éster	% (m/m)	96,5	-
Densidad a 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	860	900
Viscosidad a 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3,5	5,0
Punto de inflamación	°C	>101	-
Contenido de azufre	mg/kg	-	10
Residuo carbonoso	% (m/m)	-	0,3
Índice de cetano	-	51,0	-
Contenido en cenizas de sulfatos	% (m/m)	-	0,02
Contenido de agua	mg/kg	-	500
Contaminación total	mg/kg	-	24
Corrosión en lámina de cobre	clasificación	Clase 1	Clase 1
Estabilidad a la oxidación, 110 °C	horas	6	-
Valor ácido	mg KOH/g	-	0,5
Índice de yodo	-	-	120
Metiléster linoléico	% (m/m)	-	12,0
Metiléster poliinsaturado	% (m/m)	-	1
Contenido en metanol	% (m/m)	-	0,20
Contenido en monoglicéridos	% (m/m)	-	0,80
Contenido en diglicéridos	% (m/m)	-	0,20

**Gráfico 17.** Parámetros del biodiesel con unidad y cantidad máxima/mínima.

Se detallan a continuación, algunos de los parámetros de calidad más importantes del biodiesel determinados por la Empresa "Biocombustibles Sostenibles del Caribe S.A", reconocida por ser líder en el sector agroindustrial.

**"Número ácido:** Se usa para determinar el nivel de ácidos grasos libres o ácidos procesados que pueden estar presentes en el biodiesel. Se ha demostrado que un biodiesel con un número de ácido alto incrementa los depósitos en el sistema de alimentación de combustible y puede aumentar la tendencia a la corrosión. Según la norma END 41 debe ser máximo 0,5 mg de KOH/g.

**Glicerina total:** Es usado para determinar el nivel de glicerina en el combustible e incluye la glicerina libre y la porción de glicerina de cualquier aceite o grasa sin reaccionar total o parcialmente, el parámetro de referencia corresponde a 0.25% p/p. Bajos niveles de glicerina total aseguran que una alta conversión del aceite o la grasa, en mono alquil ésteres, se ha presentado.

**Contenido de monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos:** Es una de las especificaciones más importantes. Trazas de glicéridos en el biodiesel son muestra de conversión incompleta del aceite vegetal durante la reacción de transesterificación. La especificación de calidad corresponde a 0.8 % p/p máx. para monoglicéridos, 0.2% p/p Máx. Para Diglicéridos y Triglicéridos según la norma NTC 5444.

Un biodiesel con excesiva cantidad de glicéridos puede causar depósitos en la cámara de combustión." Se dispone la información completa en el anexo 8, en caso de ser necesario.

De los ensayos mencionados en diferentes bibliografías sobre biodiesel anteriormente, (ver anexo 5), se optó por realizarle a las diferentes muestras del biodiesel obtenido los siguientes:

### Ensayos físicos:

❖ **Color:** amarillo intenso

❖ **Aroma:** alcohólico

❖ **Densidad:**

Muestra	Densidad en gr/cm <sup>3</sup>
1	0,82
2	0,83
3	0,82
4	0,81
5	0,82

❖ **Viscosidad:**

Muestra	Viscosidad en mm <sup>2</sup> /s
1	19,8
2	28,49
3	27,85
4	29,3
5	28,1

- ❖ **pH:** El pH de todas las muestras arrojo valores entre 6 y 7.

### Ensayos químicos:

- ❖ **Índice de acidez o Valor ácido (IA):** miligramos de KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de material graso.

$$\text{IA} = \text{mg de KOH/g de material graso.}$$

- 1) Se preparó una solución de K(OH) 0,5N:

56,1gr de K(OH) ----- 1 litro de solución de etanol

2,805 gr de K(OH) = X ----- 1/2 litro de solución de etanol

- 2) Se pesó 7,9681gr de biodiesel tomado de las muestras 1 y 2, con el objetivo de que el valor que obtengamos sea más representativo.

3) Se tomó 75ml de etanol y lo neutralizamos, con la solución de K(OH) preparada anteriormente. Se le colocaron unas gotas de fenolftaleína al alcohol y se titulo con la solución potásica hasta obtener una coloración levemente rosada. Esto se hace para que la acidez del mismo no afecte nuestra solución.

4) Se colocaron en un erlenmeyer de 250ml los gramos de biodiesel junto con los 75 ml de alcohol neutralizado y 3 gotas de fenolftaleína para poder observar el viraje del indicador.

5) Se tituló con K(OH), con agitación constante, hasta el viraje del indicador (de amarillo pálido a rosado).

- 6) Se hicieron los cálculos correspondientes:

$$\text{IA} = \frac{\text{ml de K(OH) gastados en la titulación} \times \text{N K(OH)} \times 56,1\text{gr}}{\text{peso del biodiesel}} = \frac{0,1 \times 0,5 \times 56,1}{7,9681\text{gr}} = \mathbf{0,352}$$

peso del biodiesel

7,9681gr

**0,352 miligramos de hidróxido de potasio por gramo de aceite o grasa.**

Se repitió el proceso para las muestras 3 y 5 dando un valor de 0,13 mg de K(OH)

De igual forma para las muestras 2 y 3 dando un valor de 0,45 mg de K(OH) y para las muestras 1 y 5 dando un valor de 0,39 mg de K(OH).

Se descartó el valor de 0,13 por ser el más lejano y se elaboró un promedio entre los 3 valores restantes. El mismo dió una valor de **0,40mg de K(OH)**. El mismo cumple con los valores que establecen las normas de calidad del biodiesel.

Se amplía información de la técnica de análisis en el **Anexo 9**.

- ❖ **Índice de saponificación:** es el número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para saponificar por completo 1g de aceite o grasa. Este valor da la medida del peso molecular promedio de los glicéridos mixtos que constituyen una grasa o aceite dado, ya que si estos contienen ácidos grasos de bajo peso molecular, el número de moléculas presentes en 1g de muestra será mayor que si los ácidos grasos son de alto peso molecular.

IS = mg de KOH/g de material graso.

1) Se preparó una solución de K(OH) 0,5N:

56,1gr de K(OH) ----- 1 litro de solución de etanol

2,805 gr de K(OH) = X ----- 1/2 litro de solución de etanol

2) Se pesó 2,5ml de biodiesel tomado de las muestras 1 y 2, con el mismo objetivo que el ensayo anterior. Se trasvasó a un erlenmeyer de 250ml.

3) Se tomó 25ml de solución de K(OH) + etanol y se descargó en el erlenmeyer que contiene la muestra de biodiesel.

4) Se calentó entre 30 y 60 minutos para asegurar que la saponificación sea completa.

5) Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se colocaron 3 gotas de fenolftaleína.

6) Se tituló con HCl 0,5N, con agitación constante, hasta el viraje del indicador (de amarillo pálido a rosado).

7) Se hizo correr un blanco de la misma forma pero utilizando agua destilada en vez de biodiesel.

8) Se hicieron los cálculos correspondientes:

$$IS = \frac{(\text{vol blanco} - \text{vol muestra}) \times N \text{ HCl} \times 56,1 \text{ gr}}{\text{peso de la muestra de biodiesel}} = \frac{(20,3 \text{ ml} - 8,1 \text{ ml}) \times 0,6 \times 56,1}{4,1 \text{ gr}} = 100,16$$

peso de la muestra de biodiesel

4,1gr

**100,16 miligramos de hidróxido de potasio requeridos para saponificar un gramo de grasa.**

Se repitió el proceso para las muestras 3 y 5 dando un valor de 96 mg de K(OH)

Se elaboró un promedio entre los 2 valores obtenidos. El mismo dió una valor de **98,08 mg de K(OH)**, el cual cumple con los valores que establecen las normas de calidad del biodiesel.

Se amplía la información en el **Anexo 10** y se dispone la fuente consultada, para ampliar información en caso de ser necesario:

<https://es.scribd.com/doc/97574878/Determinacion-del-indice-de-acidez-en-aceites-y-grasas-comestibles>

Muestra	Índice de Acidez	Índice de Saponificación
1 y 2	0,35	100,16
3 y 5	0,13	96
2 y 3	0,45	98,4
1 y 5	0,39	97,5
Valor promedio	0,4	98,015

**Gráfico 18.** Valores obtenidos de los ensayos químicos de las muestras de biodiesel.

Una vez comparados los datos obtenidos de los ensayos físicos/químicos con los datos confiables de las normas expuestas anteriormente, se pudo tener un indicio de que lo que se había obtenido era realmente biodiesel.

En consecuencia, se procedió a la selección de un ensayo de complejidad que pueda confirmar la correcta obtención del combustible. De la gran variedad de análisis al cual puede someterse el biodiesel, se optó por elaborar una muestra representativa del mismo, y llevar a cabo un análisis de cromatografía. Dicho ensayo nos confirmaría si nuestra muestra se trataba del combustible de interés. Fue elegido por cuestiones económicas y de accesibilidad.

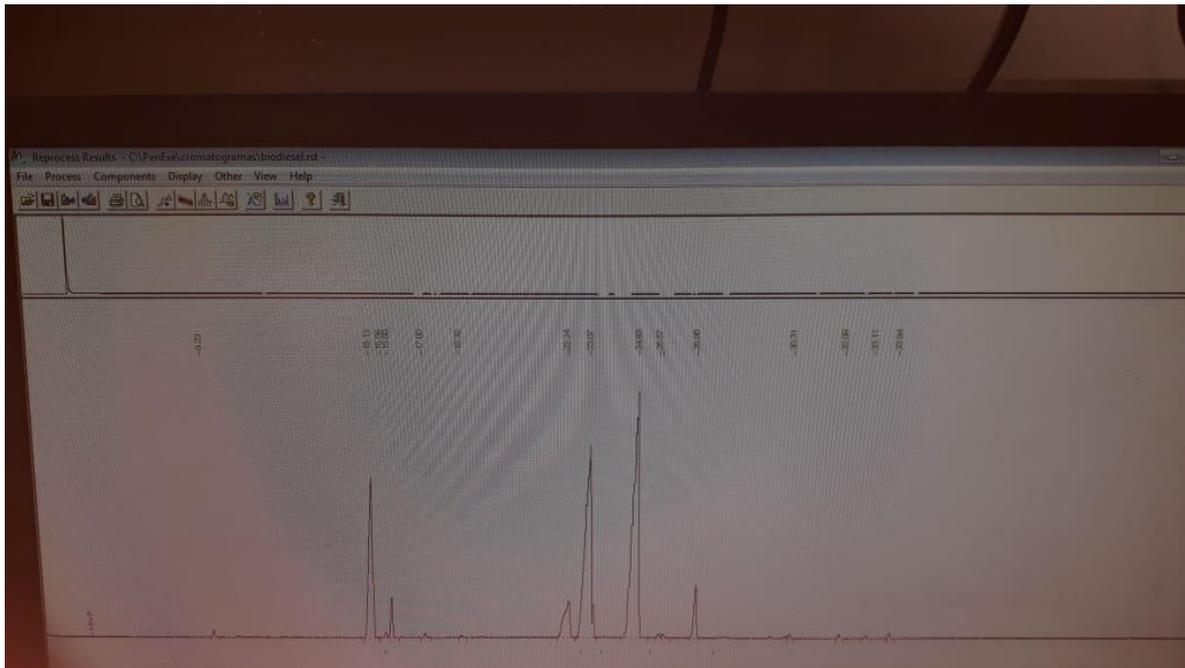
El mismo fue realizado en el laboratorio oficial HSE Ingeniería SRL.

Se utilizó metodología analítica para Ácidos grasos: ISO 12966

Equipos utilizados:

- Cromatógrafo gaseoso
- Balanza analítica

Se adjunta a continuación, el cromatograma correspondiente a la muestra de biodiesel de grasa de pollo enviada:



**Imagen 20.** Cromatograma de la muestra de biodiesel analizada.

Se adjunta a continuación el informe original proveniente del laboratorio, que confirma la identificación de la muestra como biodiesel.



www.hseingenieriasrl.com.ar

PP 10-02/Ver.3  
HQA: 1

## Protocolo de Análisis

Nº: 7611

ODC: 1817611  
OT: 5968  
FECHA: 13/11/2018

### DATOS DEL SOLICITANTE

Razón Social:	JULIA	CUIT: -
Establecimiento:	-	
Domicilio:	-	
Localidad:	ROSARIO	
Provincia:	SANTA FE	

### DATOS DE LA MUESTRA

Tipo de muestra:	BODIESEL
Silo de extracción:	-
Boto de extracción:	-
Muestra (Id.):	BODIESEL TESIS
Fecha/Hora de recepción:	07/11/2018 17:00 Hs.
Conservación de muestra:	-
Datos adicionales:	-

### RESULTADOS DE ANÁLISIS

Parámetro	LIM	Unidad	Resultado
<b>Perfil de ácidos grasos</b>			
Ac. Mirístico (C14:0)	0,1	%	0,4
Ac. Miristoleico (C14:1)	0,1	%	< 0,1
Ac. Palmítico (C16:0)	0,1	%	15,9
Ac. Palmítoleico (C16:1)	0,1	%	2,5
Ac. Estearico (18:0)	0,1	%	5,9
Ac. Oleico (C18:1)	0,1	%	30,7
Ac. Linoleico (C18:2)	0,1	%	38,5
Ac. Linolenico (C18:3)	0,1	%	3,7
Ac. Araquídico (C20:0)	0,1	%	0,1
Ac. Eicosenoico (C20:1)	0,1	%	< 0,1
Ac. Araquidónico (C20:4)	0,1	%	< 0,1
Ac. Behénico (C22:0)	0,1	%	< 0,1
Ac. Erústico (C22:1)	0,1	%	< 0,1
Ac. Docosahexaenoico (C22:6)	0,1	%	1,2
Ac. Lignocérico (C24:0)	0,1	%	< 0,1
Otros	0,1	%	4,1

### NOTAS DEL ESTUDIO

Método logia analítica:  
- Ácidos grasos: ISO 12966

Equipos utilizado:  
- Cromatógrafo Gaseoso Perkin Elmer - Clarus 580 SN:580S1504107  
- Balanza analítica AYO GR 202, SN: 14251438

Observaciones: El laboratorio conservará el remanente de la muestra durante 7 días posteriores a la fecha de emisión del presente informe

DIC. DIEGO FITIPALDI  
MAT 2301



HSE INGENIERIA SRL | Oficinas y Laboratorio: Av. Pomilio 40 - Tel. (0341) 478 2096 - [2154] Capitán Bermúdez - Santa Fe

## ALMACENAMIENTO

En general, los procedimientos estándares para el almacenamiento y la manipulación del diesel de petróleo se pueden utilizar para el biodiesel. El combustible se debe almacenar en un ambiente limpio, seco y oscuro.

De un blog on line sobre Biodiesel y energías renovables se obtuvo la siguiente información: *“El Biodiesel sufre de un problema llamado oxidación si permanece almacenado por períodos de más seis meses. Esto significa que el combustible oxidará lentamente en un cierto plazo a menos que un aditivo antioxidante se mezcle al combustible para prevenir que suceda dicho proceso”* Biodiesel Argentina noticias sobre biodiesel y energías renovables. ©Nextfuel Argentina.

Luego de las producciones y ensayos pertinentes, se procedió a unificar todas las muestras de biodiesel y de glicerina y almacenar en frío. Al cabo de unos días, se pudo observar que, gracias al frío de la refrigeración, dentro del envase de la glicerina, se presentó una nueva separación entre el combustible y la misma. Es decir, que el frío influye directamente sobre las densidades de los compuestos, haciendo que aumente el rendimiento de la producción, por una mejor separación. Es decir, que el rendimiento real de la producción paso de 694ml de biodiesel a **720ml**.



**Imagen 21.** Biodiesel y glicerina en refrigeración.

En cuanto al biodiesel, se mantuvo en excelentes condiciones de color, olor y consistencia.

## USOS DEL BIODIESEL

*"El Biodiesel se puede utilizar en cualquier motor diesel, generalmente sin necesidad de realizar modificaciones al motor. Su performance es comparable al diesel, con contenido similar de BTU y un cetano más alto. Ofrece lubricidad excelente y emisiones más bajas comparadas al diesel del petróleo".* Expreso el **National Biodiesel Board** (NBB), la asociación comercial de América, que representa a la industria del biodiesel como el organismo unificador y coordinador para la investigación y el desarrollo en los Estados Unidos. Continuó: *"El Biodiesel puede tener un poco de metanol del proceso de producción que utiliza óxido de metal durante. El metanol con el tiempo destruirá las tuberías de goma y los sellos, por lo que los motores más viejos sin sellos sintéticos hechos de productos como el Viton, necesitarán reemplazar las partes de goma en el sistema de carburante.*

*El Biodiesel es el único combustible alternativo que ha pasado en su totalidad los test sobre efectos a la salud del Acta de Aire Limpio. El uso del biodiesel en un motor diesel convencional resulta en la reducción substancial de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y partículas de materia en comparación con las emisiones del combustible diesel. Además, las emisiones de óxidos y sulfatos (mayores componentes de la lluvia ácida) del biodiesel son esencialmente nulas comparadas con el diesel.*

*De los agentes contaminadores principales del escape, los hidrocarburos no quemados y los óxidos de nitrógeno son precursores de la formación de ozono o smog. El uso de biodiesel en un motor diesel convencional da lugar a la reducción substancial de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, y partículas de materia. Las emisiones de óxidos de nitrógeno se reducen levemente o aumentan levemente dependiendo del ciclo de servicio de un motor o de los métodos de prueba empleados.*

*El uso del biodiesel disminuye la fracción sólida de carbón de las partículas mientras que una cantidad creciente de oxígeno presente en biodiesel permite un proceso más completo de la combustión. Puesto que el sulfuro no está presente en el biodiesel, la fracción de sulfato asociada al diesel basado en petróleo es eliminada. Además de reducir los niveles generales de agentes contaminadores y del carbón, los compuestos*

que son frecuentes en el escape de los motores diesel basados en petróleo y en biodiesel son diferentes. La investigación conducida por el instituto de investigación de Southwest sobre un motor de Cummins N14 indica que el escape del biodiesel tiene un impacto menos dañino en la salud humana.

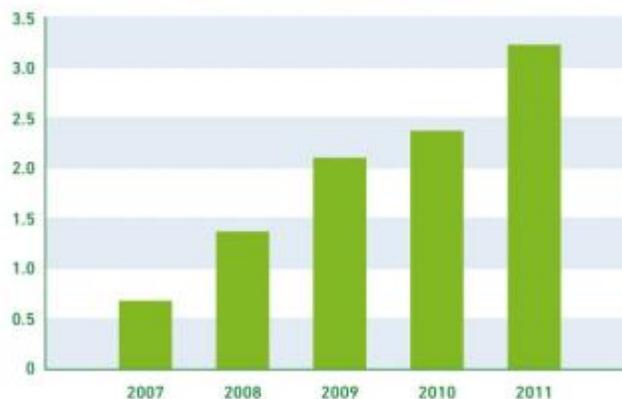
Las emisiones de Biodiesel han disminuido los niveles de todos los hidrocarburos aromáticos policíclicos más grandes (PAH) y los compuestos nitrados del PAH fueron reducidos en 75-85 por ciento".

## EVOLUCION DEL BIODIESEL EN LOS ULTIMOS AÑOS

Según un artículo referido a la actualidad y perspectivas sobre la sustentabilidad del Biodiesel, publicado por la cámara Argentina de Biocombustibles, "En los últimos 5 años, la producción de biodiesel se sumó como un eslabón más de agregado de valor al complejo agroindustrial Argentino, consolidando uno de los mayores polos de producción a nivel mundial, con tecnología y escala que lo ubican entre los más eficientes del mundo. La industria del biodiesel en Argentina muestra un crecimiento explosivo desde sus comienzos en 2007, año en que se produjeron cerca de 180.000 toneladas, pasando a casi 2,45 millones de toneladas para el año 2011.

### Capacidad instalada para la Producción de Biodiesel en Argentina\*

2007 - 2011 - en millones de toneladas



*En la actualidad, hay unas 30 plantas de biodiesel en el país, la mayoría de las plantas se ubican en Santa Fe, cercanas a Rosario. Pero también hay presencia de la industria en otras 6 provincias. Se espera que en los próximos años la industria se expanda a otras regiones”.*



Se dispone la fuente consultada, para ampliar información en caso de ser necesario:  
Fuente: <http://sustentator.com/jornada2012/pres/En2-Carbio.pdf>

## CONCLUSIÓN

Se sabe que la producción de biodiesel es un proceso completamente viable, que puede llevarse a cabo a partir de una gran variedad de materias primas, no solo vegetales, como suele utilizarse en nuestra ciudad, sino también a partir de grasas animales. Asimismo, la producción de biodiesel en Argentina evidencia un crecimiento explosivo, reforzando aún más la justificación de éste trabajo de investigación.

En el inicio de la presente tesis se planteaba la obtención de biodiesel modificando una de las materias primas: el alcohol. Se llevó a cabo la reacción utilizando metanol y etanol, manteniendo constante las cantidades de los demás compuestos, tiempos y temperatura.

Si bien existe una gran tendencia a utilizar metanol en el resto del mundo, por cuestiones económicas, en nuestra ciudad el etanol tiene un costo tres veces menor y su accesibilidad es mayor al público en general, sumado a que proviene de fuentes renovables, siendo esto compatible con la ideología del presente trabajo de investigación. Esto nos llevó a pensar que si la reacción fuera viable, sería la opción más acertada.

Concluida la experimentación, se entendió porqué el metanol era mayormente utilizado a nivel mundial, ya que, la composición del biodiesel obtenido por transesterificación, fue correcta, tal como puede observarse en el informe y cromatograma. Es decir, que basándonos en la bibliografía consultada y siguiendo los pasos correspondientes, se pudo llegar al objetivo planteado en el inicio de la tesina.

De modo contrario, no se cumplió el objetivo planteado con la utilización de etanol, ya que no se llegó al resultado esperado.

Por lo tanto, a pesar de que en nuestra ciudad el etanol tiene un menor costo y una mayor accesibilidad al público en general, y la bibliografía consultada entendía viable la producción de biodiesel con dicho alcohol, en la práctica no se pudo llegar al objetivo, ni siquiera aumentando la cantidad del alcohol hasta igualar los costos de materia prima.

Por todo lo visto anteriormente, se concluye que es realmente viable el uso de grasas animales, en especial de la grasa de pollo, como materia prima para la elaboración de biodiesel, pero que la utilización de etanol para la producción del mismo, es una opción descartada, al menos en las condiciones de reacción que se llevaron a cabo en la presente tesina.

De todo lo expuesto anteriormente, se concluye que, aunque el metanol tenga un costo tres veces mayor al etanol, su accesibilidad sea más restringida por provenir de un recurso no renovable y su toxicidad sea mayor, es la opción elegida y más adecuada para la obtención de biodiesel a partir de desechos de pollo.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Fabián Reato, (El Diario de Paraná Entre Ríos), biodiesel Argentina – noticias sobre biodiesel y energías renovables, febrero 2010. Disponible en: <https://biodiesel.com.ar/2250/biodiesel-a-partir-de-aceite-usado>
- 2) Julia Luisetti, Evelyn Ariotti, dirigido por Ing. Roque Masciarelli, Facultad Regional Rosario (UTN), Biodiesel a partir de aceite vegetal usado, año 2014. Disponible en: [http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/secretarias/cyt/files/jit2014/actas/MAC\\_67\\_A\\_LM\\_RO.pdf](http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/secretarias/cyt/files/jit2014/actas/MAC_67_A_LM_RO.pdf)
- 3) Xián Barros Piñeiro, dirigido por Rocío Maceiras Castro, Víctor Alfonsín Pérez, Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar de Vigo, Obtención de biodiesel a partir de aceite de cocina usado, año 2014-2015. Disponible en: <http://calderon.cud.uvigo.es/bitstream/11621/8/1/Memoria%20Barros%20Pi%C3%B1eiro%20Definitiva.pdf>
- 4) Yorman Zambrano Silva, Universidad de Pamplona, Producción de biodiesel a partir de microalgas, 23 de Septiembre de 2014. Disponible en: <https://es.slideshare.net/yormanzambrano/produccion-de-biodiesel-a-partir-de-microalgas>
- 5) Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología, Investigadores de la Universidad Nacional de Colombia, 2011. Disponible en: <http://www.dicyt.com/noticias/proponen-la-grasa-del-pollo-como-materia-prima-del-biodiesel>
- 6) Biodiesel a Partir de Microalgas, Adriana Garibay Hernández, Rafael Vázquez-Duhalt, M. del Pilar Sánchez Saavedra, Leobardo Serrano Carreón, Alfredo Martínez Jiménez. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, [adriagh@ibt.unam.mx](mailto:adriagh@ibt.unam.mx) ; [alfredo@ibt.unam.mx](mailto:alfredo@ibt.unam.mx), revista BioTecnología, Año 2009, Vol. 13 No. 3 Disponible en: [http://www.smbb.com.mx/revista/Revista\\_2009\\_3/Biodiesel.pdf](http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2009_3/Biodiesel.pdf)

7) Blog Biodice17, 5 de diciembre, 2010. Disponible en: <http://biodicel17.blogspot.com.ar/2010/12/la-transesterificacion-de-los-aceites.html>

8) Candelaria Tejada Tovar, Lesly Tejada Benítez, Ángel Villabona Ortiz, Luis Monroy Rodríguez, Luna Azul ISSN 1909-2474 No. 36, Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. Revista Scielo. Enero - junio 2013. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a02.pdf>

9) Charles Michael Williams, North Carolina State University, Department of Poultry Science, Raleigh, NC, Estados Unidos de América . Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Revisión del desarrollo avícola, Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo Desechos del matadero.

Referencias: Grupo del Banco Mundial. 2007. Environmental, health, and safety guidelines: Poultry processing. Salminen, E. y Rintala, J. 2002. Anaerobic digestion of organic slaughterhouse waste – a review. Bioresource Technology, 83 (1):13- 26. doi:10.1016/s0960-8524(01)00199-7.

Disponible es: <http://www.fao.org/docrep/016/al716s/al716s00.pdf>

10) Obtención de Biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. Tovar, Benítez, Villabona Ortiz y Monroy Rodríguez. Recibido el 6 de julio de 2012 y aprobado el 17 de enero de 2013. Luna Azul ISSN 1909-2474. Fecha de consulta: 11/07/12. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a02.pdf>

11) Determinación de la densidad o densidad relativa basando en método con aerómetro según norma PN-EN ISO 3675. fecha de consulta: 12/07/18. Disponible en: <http://www.pachemtech.eu/index.php/es/la-oferta-del-servicio/analisis-de-laboratorio/485-determinacion-de-la-densidad-o-densidad-relativa-basando-en-metodo-con-aerometro-segun-norma-pn-en-iso-3675>

12) Normas ASTM. Fecha de consulta: 12/07/18. Disponible en: <https://www.aec.es/web/quest/centro-conocimiento/normas-astm>

- 13) Determinación de la viscosidad cinética y cálculo de la viscosidad dinámica según norma PN-EN ISO 3104. Fecha de consulta: 12/07/18. Disponible en: <http://www.pachemtech.eu/index.php/es/la-oferta-del-servicio/analisis-de-laboratorio/484-determinacion-de-la-viscosidad-cinetica-y-calculacion-de-la-viscosidad-dinamica-segun-norma-pn-en-iso-3104>
- 14) Análisis de biodiesel mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas. Fecha de consulta: 12/07/18. Disponible en: [http://www.edu.xunta.gal/centros/iessardineira/system/files/Proyecto%20Dual BD GC-MS2015.pdf](http://www.edu.xunta.gal/centros/iessardineira/system/files/Proyecto%20Dual%20BD%20GC-MS2015.pdf)
- 15) Noticia sobre biodiesel y energías renovables en Argentina. Fecha de consulta: 23/08/18. Disponible en: <https://biodiesel.com.ar/biodiesel-preguntas-frecuentes>
- 16) Diario “La Nación”, “Los desafíos del Biodiesel en Argentina”. Fecha de consulta: 23/08/18. Disponible en: <https://www.lanacion.com.ar/1387958-los-desafios-del-biodiesel-en-argentina>
- 17) Manual de Biocombustibles ARPEL ICA#6-2009 Instituto Interamericano de Cooperación Asociación Regional de Empresas de Petróleo y para la Agricultura (IICA) Gas Natural de América Latina y el Caribe (ARPEL) Vázquez de Coronado, San Isidro Apdo. 55-2000 Javier de Viana 2345 11101 San José, COSTA RICA. Fecha de consulta: 25/09/18. Disponible en: [http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/IICA/Manual Biocombustibles ARPEL IICA.pdf](http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/IICA/Manual%20Biocombustibles%20ARPEL%20IICA.pdf)
- 18) Grasas animales para la elaboración de biodiesel. Incertis D.1P; Bolta A.1 ; Pascual A.2 1 Departamento de Proyectos de Ingeniería, Innovación, Desarrollo y Diseño Industrial y Rural. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Valencia. 2 Departamento de Medio Ambiente de AINIA (Instituto Tecnológico Agroalimentario), Valencia. Fecha de consulta: 25/09/18. Disponible en: [https://www.aepro.com/files/congresos/2002barcelona/ciip02 1338 1345.2011.pdf](https://www.aepro.com/files/congresos/2002barcelona/ciip02_1338_1345.2011.pdf)

19) Manuel Antonio Montenegro Mier, Fabio Emiro Sierra Vargas, Carlos Alberto Guerrero Fajardo. Producción y caracterización de biodiésel a partir de aceite de pollo. Fecha de consulta: 10/10/18. Disponible en: <file:///C:/Users/Pc/Desktop/29-34-1-PB.pdf>

20) Ensayos de Calidad de combustible Biodiesel (mezclas con Diesel) Intertek proporciona servicios de calidad del Biodiesel. Ensayos de Biocombustible, Biodiesel, FAME. Fecha de consulta: 23/10/18. Disponible en: <http://www.intertek.com.pe/petroleo/biodiesel/>

21) Biodiesel EN 141213. Servicios Independientes de Inspección y Análisis para la industria Biodiesel. Fecha de consulta: 23/10/18. Disponible en: <https://www.bureauveritas.com.mx/services+sheet/commodities/biodiesel-en-141213>

22) Determinación del índice de yodo de un aceite o grasa por el método de Wijs. Solventes Alternativos. Fecha de consulta: 23/10/18. Disponible en: [http://www.aaig.org.ar/CAIQ2010/trabajosCongreso2010/formCrCongreso/VerAbstract.php?id\\_abstract=1186](http://www.aaig.org.ar/CAIQ2010/trabajosCongreso2010/formCrCongreso/VerAbstract.php?id_abstract=1186)

23) Determinación del índice de yodo (IV) en grasas y aceites. Fecha de consulta: 23/10/18. Disponible en: <https://www.metrohm.com/applications/%7BE0F3ADE6-6811-4370-971F-A31E385D578E%7D?fromApplicationFinder=true>

24) Práctica Número 13: Análisis de grasas y aceites. Índice de refracción, yodo, saponificación y peróxido. Fecha de consulta: 24/10/18. Disponible en: <http://www.ciens.ucv.ve:8080/generador/sites/mmedina/archivos/Practica13.pdf>

25) Industria Argentina de Biodiesel: Actualidad y perspectivas. Segunda jornada de sustentabilidad. Luis Zubizarreta Cámara Argentina de Biocombustibles BUENOS AIRES – 10 de octubre de 2011 Fecha de consulta: 01/11/18. Disponible en: <http://sustentator.com/jornada2012/pres/En2-Carbio.pdf>

26) “Usarán 25% de biodiesel en el combustible de 400 colectivos de Rosario”. Fecha de consulta: 01/11/18. Disponible en: <https://www.rosario3.com/noticias/Usaran-25-de-biodiesel-en-el-combustible-de-400-colectivos-de-Rosario-20180619-0050.html>

- 27)** Ficha técnica del Biodiesel. Fecha de consulta: 22/11/18. Disponible en: [http://www.biosc.com.co/rsc/ficha\\_tecnica\\_biodiesel.pdf](http://www.biosc.com.co/rsc/ficha_tecnica_biodiesel.pdf)
- 28)** Biocombustibles Sostenibles del Caribe S.A. Fecha de consulta: 22/11/18. Disponible en: <http://www.biosc.com.co/nuestra-empresa>
- 29)** Viscosidad- Ley de Stokes. Fecha de consulta: 22/11/18. Disponible en: <http://viscosidadvsqz-adrian.blogspot.com/>

## ANEXO 1

### **La producción de biodiesel creció casi 50% en 2016**

También creció 9,1% el bioetanol, según datos del Indec. En tanto, las exportaciones de ambos productos se multiplicaron respecto a 2015.

La producción de biodiesel creció 46,9% en 2016 respecto al año anterior y las exportaciones se duplicaron, según informó el Instituto Nacional de Estadística y Censos (Indec). En tanto, la producción de bioetanol aumentó 9,1% y los despachos al mercado interno mejoraron 13,3%, de acuerdo al trabajo oficial.

El informe del Indec precisó que la producción de biodiesel trepó a 2.659.276 metros cúbicos contra 1.810.657 de un año atrás.

De ese total fueron exportados 1.626.267 metros cúbicos, lo que implica un alza de 106,3%, mientras que 1.036.398 fueron vendidos al mercado interno, que significa un alza de 2,2 por ciento. Este resultado se produjo luego de que en el cuarto trimestre de 2016 la producción subió 57,5% en forma interanual, las exportaciones avanzaron 81,7% y los despachos internos, 41,1 por ciento. Si se compara con el primer año de elaboración de la serie histórica, la producción de biodiesel se triplicó.

**Bioetanol 2016:** A su vez, la producción de bioetanol trepó a 889.948 metros cúbicos, de los cuáles 400.109 metros cúbicos provienen de la caña y 489.839 del maíz.

El fluido que se extrae desde el proceso de la caña de azúcar aumentó 19% y aquel que proviene del maíz, 2,2 por ciento.

Los despachos al mercado interno alcanzaron a 910.891 metros cúbicos, un 13,3% más que durante 2015. El cierre de 2016 se produjo a partir de una suba de 11,3% en la producción en el último trimestre y de 22,2% en los despachos internos.

Si se compara con el inicio de la serie en 2009, la elaboración de bioetanol se multiplicó 38 veces.

**Fuente:** <http://supercampo.perfil.com/2017/02/la-produccion-de-biodiesel-crecio-casi-50-en-2016/>

## ANEXO 2

### **Usarán 25% de biodiesel en el combustible de 400 colectivos de Rosario**

*El gobernador Miguel Lifschitz encabezó este martes la firma del convenio. La iniciativa comenzará a funcionar desde julio y permitirá también que en tres unidades se haga con el 100% de biocombustibles*

El gobernador Miguel Lifschitz encabezó este martes la firma de un convenio marco para el desarrollo de proyectos que permitirán utilizar en Rosario un 25% de biodiesel en el combustible de 400 unidades de transporte urbano de pasajeros. La iniciativa que comenzará a funcionar desde julio permitirá también que en tres unidades se haga con el 100% de biocombustibles.

En la sala Ceibo de la Sociedad Rural de la Ciudad de Buenos Aires, el gobernador participó de la firma junto a la secretaria de Estado de la Energía, Verónica Geese y representantes de la Cámara Argentina de Biocombustibles.

Estos porcentajes, o "cortes" de biodiesel que se utilizarán, son superiores al que por el momento está aprobado por el gobierno nacional, que es del 10%.

Esta prueba piloto, que se realizará durante seis meses, fue bautizada "Experiencia BioBus" y busca validar el impacto positivo de la utilización del biodiesel.

"Es muy importante este proyecto que estamos poniendo en marcha y que es posible en la provincia de Santa Fe porque somos grandes productores de biodiesel, porque tenemos grandes empresas y también porque tenemos una red de pequeñas y medianas empresas que en los últimos diez o quince años han ido desarrollando estas plantas, han hecho inversiones importantes, pensando en el mercado de exportación y también con otra mirada puesta en el consumo y en el mercado interno", aseguró Lifschitz.

"Desde ese lugar ya es muy importante este proyecto, que nos permite avanzar sobre el sistema de transporte urbano en Rosario con una experiencia que sea rápidamente replicable al resto del transporte urbano; y no solamente en otras ciudades sino al

transporte de media y larga distancia, de pasajeros en general y, eventualmente, en un futuro también para el transporte automotor”, indicó.

"Hay un camino abierto que esta experiencia viene a consolidar y que es muy importante para una industria tan desarrollada como la que tenemos en la provincia de Santa Fe. Industria que además es generadora de empleo y de valor agregado para nuestras exportaciones y es un eslabón de la cadena de valor de la soja muy importante que le agrega rentabilidad a toda la cadena. Desde el punto de vista económico no hay ninguna duda de la trascendencia que tiene el proyecto que estamos poniendo en marcha y también lo tiene desde el punto de vista ambiental, por las razones que ya sabemos”, resaltó Lifschitz.

Por su parte, la secretaria de Transporte Mónica Alvarado, habló en representación de la intendenta Mónica Fein, que por razones de agenda no pudo participar, y dijo que “Rosario es una ciudad que tiene una mirada estratégica, vamos por el segundo Plan Estratégico y estamos discutiendo el tercero. Cuando sabemos hacia dónde vamos y qué sueños queremos construir, es fácil pensar en planes sectoriales. Tenemos un plan de movilidad, tenemos un plan ambiental para nuestra ciudad, planes que hablan de los compromisos y de la gestión que se realizan, con ejes muy claros, como es la innovación y la sustentabilidad”.

**Fuente:**<https://www.rosario3.com/noticias/Usaran-25-de-biodiesel-en-el-combustible-de-400-colectivos-de-Rosario-20180619-0050.html>

## ANEXO 3

### **En Rosario, avanza la prueba piloto sobre la utilización de 'biodiesel 100%' en colectivos.**

Autoridades provinciales y municipales hicieron un balance sobre la iniciativa que buscar probar que el transporte de colectivos puede funcionar con energía verde.

La tendencia "bio" llegó para quedarse y ningún sector escapa a ella. A tres meses de su inicio, la provincia de Santa Fe junto a la Municipalidad de Rosario, compartieron algunos detalles sobre la experiencia BioBus, una iniciativa que buscar probar que el transporte de colectivos puede funcionar con 100% de biodiesel.

La experiencia comenzó en julio, cuando dos colectivos de una de las empresas rosarinas de transporte comenzaron a prestar servicio con B100, es decir, biocombustible o energía verde al 100%. Además, desde hace dos semanas, otras 140 unidades circulan con B25, que significa que el combustible utilizado tiene un 25% de biocombustible y 85% de gasoil.

*"Cada semana se van a ir agregando más unidades hasta llegar a las 365. La prueba piloto termina cuando las unidades al B100 y las 365 unidades al B25 hayan estado seis meses funcionando con todas sus pruebas y auditorías intermedias", detalló la secretaria de Estado de la Energía de la provincia de Santa Fe, Verónica Geese.*

Al ser consultada sobre si las unidades tuvieron que reacondicionarse para aumentar el corte de biodiesel, Geese, señaló que "no se les hizo nada y no son unidades nuevas". En este sentido, Alberto Garibaldi de la Consultora ALG, comentó: "Estos colectivos no tienen ni siquiera olor a gasoil. Hablando con los choferes, si no le decíamos que estaban funcionando con biodiesel, ellos no se daban por enterados porque no tuvieron ningún problema".

En el marco de un año con aumentos de combustibles en escalada, vale tomar nota de experiencias de este tipo. Según informaron, el objetivo final de BioBus es que, en base al resultado de esta prueba, la autoridad de aplicación del Gobierno Nacional permita el uso de estos combustibles en el transporte público en todo el país.

Para Geese los biocombustibles en general, y el biodiesel en particular, cierra desde donde se lo mire. Al respecto, argumentó: "No hay ninguna excusa para no ampliar el corte, el biodiesel cierra ambientalmente, socialmente en cuanto a las fuentes de trabajo que genera, implica agregar valor a algo que producimos acá, ya que se transforma el poroto de soja en aceite, y al aceite se le agrega aún más valor con el biodiesel y eso impacta en todas la cadena de la soja. Para nosotros es muy positivo".

En cuanto al impacto ambiental, Garibaldi informó que cada unidad que funciona a B100 reduce la contaminación ambiental mensual en el orden de las 8,5 toneladas de dióxido de carbono, mientras que cada colectivo que funcione a B25 lo hará en 1,9 toneladas.

*De esta manera estamos contribuyendo con 400 millones de litros o 400 mil metros cúbicos de dióxido de carbono menos que estamos emitiendo al medio ambiente. Esto extendido al transporte público y de carga, arroja cifras increíbles*

Otro aspecto positivo que Geese observa al aumentar el corte de biodiesel es que se **evitaría importar gasoil, ya que Argentina no produce gasoil**. En este sentido, enfatizó: "Para la balanza externa resultaría muy favorable y además, sería muy bueno para las economías regionales, porque no es lo mismo una sola gran empresa en un lugar fabricando biodiesel que varias empresas diseminadas por todo el territorio argentino con las ventajas de logística y estrategia que eso conllevaría".

La funcionaria fue clara y contundente: "Para nosotros esta experiencia se enmarca en lo que pensamos que debería ser la producción de Argentina", y explicó: "Una producción tendiente a la economía circular, eso es lo que hace a las sociedades sustentables; en cambio, lo que queda fuera del círculo es lo que rompe la unidad y termina generando siempre algún conflicto, por eso, cuando las economías circulares funcionan bien, están siempre relacionadas con los recursos naturales".

Hace poco más de un mes, se creó la liga bioenergética de provincias con el fin de plantear una estrategia nacional sobre el manejo de bioenergías.

*Debemos tener una estrategia con las Bioenergías en general, no solo con el biodiesel, sino también con el biogás y un montón de otras, donde Argentina tiene un gran*

*potencial y lo podría aprovechar mucho más con certeza de que la industria lo que invierta lo va a poder recuperar, precisó Geese*

En un primer momento se reunieron Córdoba, Tucumán, Salta y Santa Fe e integrantes del sector privado. Según comentó Geese, en el siguiente encuentro pretenden generar un acuerdo sobre la estrategia a largo plazo en materia bioenergética para presentar al Gobierno nacional. "Estimo que para la próxima reunión se podrán sumar Jujuy y Santiago del Estero que son las provincias que pidieron participar".

**Fuente:**<https://www.infobae.com/campo/2018/10/02/en-rosario-avanza-la-prueba-piloto-sobre-la-utilizacion-de-biodiesel-100-en-colectivos/>

## ANEXO 4

### **Explicación de viscosidad y Ley de Stokes:**

#### Viscosidad

Antes de poder hablar de viscosidad necesitamos entender que son los fluidos. Se denomina fluido a un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas hay una fuerza de atracción débil. Los fluidos se caracterizan por cambiar de forma sin que existan fuerzas restitutivas tendentes a recuperar la forma "original" (lo cual constituye la principal diferencia con un sólido deformable). Un fluido es un conjunto de partículas que se mantienen unidas entre si por fuerzas cohesivas débiles y/o las paredes de un recipiente; el término engloba a los líquidos y los gases. En el cambio de forma de un fluido la posición que toman sus moléculas varía, ante una fuerza aplicada sobre ellos, pues justamente fluyen. Los líquidos toman la forma del recipiente que los aloja, manteniendo su propio volumen, mientras que los gases carecen tanto de volumen como de forma propios. Las moléculas no cohesionadas se deslizan en los líquidos, y se mueven con libertad en los gases. Los fluidos están conformados por los líquidos y los gases, siendo los segundos mucho menos viscosos (casi fluidos ideales).

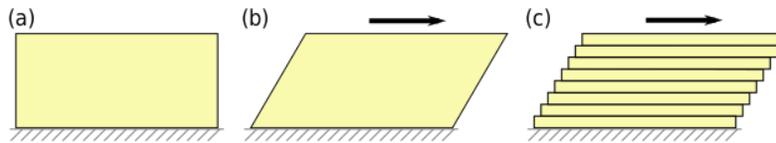
#### Concepto de Viscosidad

Se define como la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. En realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones. La viscosidad sólo se manifiesta en líquidos en movimiento.

#### Explicación de la viscosidad

Imaginemos un bloque sólido (no fluido) sometido a una fuerza tangencial (por ejemplo: una goma de borrar sobre la que se sitúa la palma de la mano que empuja en dirección paralela a la mesa.) En este caso (a), el material sólido opone una resistencia a la fuerza aplicada, pero se deforma (b), tanto más cuanto menor sea su rigidez.

Si imaginamos que la goma de borrar está formada por delgadas capas unas sobre otras, el resultado de la deformación es el desplazamiento relativo de unas capas respecto de las adyacentes, tal como muestra la figura.



### Deformación de un sólido por la aplicación de una fuerza tangencial.

Deformación de un sólido por la aplicación de una fuerza tangencial. En los líquidos, el pequeño rozamiento existente entre capas adyacentes se denomina viscosidad. Es su pequeña magnitud la que le confiere al fluido sus peculiares características; así, por ejemplo, si arrastramos la superficie de un líquido con la palma de la mano como hacíamos con la goma de borrar, las *capas* inferiores no se moverán o lo harán mucho más lentamente que la superficie ya que son arrastradas por efecto de la pequeña resistencia tangencial, mientras que las capas superiores fluyen con facilidad. Igualmente si revolvemos con una cuchara un recipiente grande con agua en el que hemos depositado pequeños trozos de corcho, observaremos que al revolver en el centro también se mueve la periferia y al revolver en la periferia también dan vueltas los trocitos de corcho del centro; de nuevo, las *capas* cilíndricas de agua se mueven por efecto de la viscosidad, disminuyendo su velocidad a medida que nos alejamos de la cuchara.

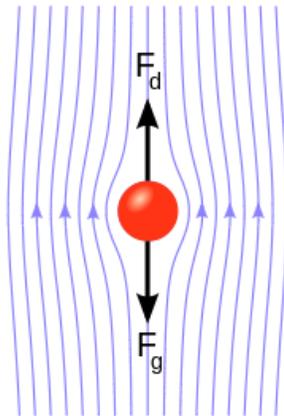
Cabe señalar que la viscosidad sólo se manifiesta en fluidos en movimiento, ya que cuando el fluido está en reposo adopta una forma tal en la que no actúan las fuerzas tangenciales que no puede resistir. Es por ello por lo que llenado un recipiente con un líquido, la superficie del mismo permanece plana, es decir, perpendicular a la única fuerza que actúa en ese momento, la gravedad, sin existir por tanto componente tangencial alguna.

Si la viscosidad fuera muy grande, el rozamiento entre capas adyacentes lo sería también, lo que significa que éstas no podrían moverse unas respecto de otras o lo harían muy poco, es decir, estaríamos ante un sólido. Si por el contrario la viscosidad

fuera cero, estaríamos ante un superfluido que presenta propiedades notables como escapar de los recipientes aunque no estén llenos.

La viscosidad es característica de todos los fluidos, tanto líquidos como gases, si bien, en este último caso su efecto suele ser despreciable, están más cerca de ser fluidos ideales.

### Ley de Stokes



Un cuerpo que cumple la ley de Stokes se ve sometido a dos fuerzas, la gravitatoria y la de arrastre. En el momento que ambas se igualan su aceleración se vuelve nula y su velocidad constante.

La Ley de Stokes se refiere a la fuerza de fricción experimentada por objetos esféricos moviéndose en el seno de un fluido viscoso en un régimen laminar de bajos números de Reynolds. Fue derivada en 1851 por George Gabriel Stokes tras resolver un caso particular de las ecuaciones de Navier-Stokes. En general la ley de Stokes es válida en el movimiento de partículas esféricas pequeñas moviéndose a velocidades bajas.

La ley de Stokes puede escribirse como:

$$F_r = 6\pi R\eta v,$$

donde R es el radio de la esfera, v su velocidad y  $\eta$  la viscosidad del fluido.

La condición de bajos números de Reynolds implica un flujo laminar lo cual puede traducirse por una velocidad relativa entre la esfera y el medio inferior a un cierto valor crítico. En estas condiciones la resistencia que ofrece el medio es debida casi

exclusivamente a las fuerzas de rozamiento que se oponen al deslizamiento de unas capas de fluido sobre otras a partir de la capa límite adherida al cuerpo. La ley de Stokes se ha comprobado experimentalmente en multitud de fluidos y condiciones.

Si las partículas están cayendo verticalmente en un fluido viscoso debido a su propio peso puede calcularse su velocidad de caída o sedimentación igualando la fuerza de fricción con el peso aparente de la partícula en el fluido.

$$V_s = \frac{2 r^2 g (\rho_p - \rho_f)}{9 \eta}$$

donde:

$V_s$  es la velocidad de caída de las partículas (velocidad límite)

$g$  es la aceleración de la gravedad,

$\rho_p$  es la densidad de las partículas y

$\rho_f$  es la densidad del fluido.

$\eta$  es la viscosidad del fluido.

$r$  es el radio equivalente de la partícula.

La ley de Stokes es el principio usado en los viscosímetros de bola en caída libre, en los cuales el fluido está estacionario en un tubo vertical de vidrio y una esfera, de tamaño y densidad conocidas, desciende a través del líquido. Si la bola ha sido seleccionada correctamente alcanzará la velocidad terminal, la cual puede ser medida por el tiempo que pasa entre dos marcas de un tubo. A veces se usan sensores electrónicos para fluidos opacos. Conociendo las densidades de la esfera, el líquido y la velocidad de caída se puede calcular la viscosidad a partir de la fórmula de la ley de Stokes. Para mejorar la precisión del experimento se utilizan varias bolas. La técnica es usada en la industria para verificar la viscosidad de los productos, en caso como la glicerina o el sirope.

La importancia de la ley de Stokes está ilustrada en el hecho de que ha jugado un papel crítico en la investigación de al menos 3 Premios Nobel.

La ley de Stokes también es importante para la comprensión del movimiento de microorganismos en un fluido, así como los procesos de sedimentación debido a la gravedad de pequeñas partículas y organismos en medios acuáticos. También es usado para determinar el porcentaje de granulometría muy fina de un suelo mediante el ensayo de sedimentación.

En la atmósfera, la misma teoría puede ser usada para explicar porque las gotas de agua (o los cristales de hielo) pueden permanecer suspendidos en el aire (como nubes) hasta que consiguen un tamaño crítico para empezar a caer como lluvia (o granizo o nieve). Usos similares de la ecuación pueden ser usados para estudiar el principio de asentamiento de partículas finas en agua u otros fluidos.

**Fuente:** <http://viscosidadvsqz-adrian.blogspot.com/>

## ANEXO 5

### Cálculo de la densidad del aceite de pollo según ecuación matemática:

Densidad: la misma se tomo a una T° de 20°C

Se midió el volumen del tubo: 10ml

Se tomo el peso del tubo + aceite: 13,5221gr

Se tomo el peso del tubo solo: 4,9894

Mediante diferencia se obtuvo el peso del aceite: 8,5327gr

Densidad: masa/volumen →  $8,5327\text{gr} / 10\text{ml} = \mathbf{0,8532\text{gr/cm}^3}$

## ANEXO 6

### Cálculo de la viscosidad del aceite de pollo según ecuación de Stokes:

Viscosidad: la misma se tomo a una T° de 40°C

Se tomo como referencia una esfera de plástico. Se midió el volumen que desplaza la misma en una bureta con 40ml de agua destilada. La misma desplazó un volumen = 1ml

Se tomo el peso de la bolita: 0,9298gr

La densidad de la bolita fue:  $m/v \rightarrow 0,9298 \text{ gr} / 1\text{ml} = 0,9298 \text{ gr/cm}^3$

Se tomo un matraz de 100ml y se realizaron dos marcas, con 19 cm de diferencia. Este valor fue tomado como nuestro valor de altura (h)

Se introdujo la bolita en el matraz y se tomo el tiempo de caída desde una marca a la otra. Se realizaron 3 mediciones que arrojaron los siguientes resultados:

Tiempo 1: 1,39 segundos (s)

Tiempo 2: 2,69 segundos (s)

Tiempo 3: 2,16 segundos (s)

El tiempo 1 fue descartado por presentar una gran lejanía con respecto a los otros 2 tiempos. Se procedió a un promedio de los tiempos 2 y 3 llegando a un valor de: 2,44 segundos.

Calculamos el radio de la bolita con la siguiente ecuación:  $\text{vol} = 4/3 \pi \times r^3$ , de la cual despejamos el r quedándonos: raíz cubica de  $\frac{3}{4} \times \pi = 0,62 \text{ cm}$

Con todos los datos se procedió al cálculo correspondiente:

$$\eta = \frac{2xr^2xgx(d \text{ esf.}-d \text{ liq.})}{9 \times (h/t)} \rightarrow \eta = \frac{2x(0,62\text{cm} \times 2)x918\text{cm/s}^2x(0,9298 \text{ gr/cm}^3 - 0,8532\text{gr/cm}^3)}{9x(19\text{cm}/2,44\text{s})}$$

$$9 \times (h/t)$$

$$9x(19\text{cm}/2,44\text{s})$$

$$\eta = \frac{705,76 \text{ cm}^3/\text{seg}^2 \times 0,076 \text{ gr}/\text{cm}^2}{70,08 \text{ cm}/\text{s}} \rightarrow \eta = 0,77 \text{ gr}/\text{sxcn}$$

$$70,08 \text{ cm}/\text{s}$$

La viscosidad dinámica es igual a 0,77gr/sxcm. Si dividimos por la densidad del liquido obtenemos la viscosidad cinemática (nuestro valor de interés)

$$\frac{\eta}{d} = \nu \rightarrow \frac{0,77 \text{ gr}/\text{sxcn}}{0,8532 \text{ gr}/\text{cm}^3} = 0,90 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$d \quad 0,8532 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

Conversión de unidades:

$$1 \text{ cm}^2 \text{ ----- } 100 \text{ mm}^2$$

$$0,90 \text{ cm}^2 \text{ ----- } X = \mathbf{90,2 \text{ mm}^2/\text{seg}}$$

## ANEXO 7

**Cálculo de viscosidad del biodiesel según ley de Stokes:** Se utilizaron:

Diámetro esfera: 0,575cm

Diámetro probeta: 2,16cm

Temperatura: 40°C

Altura (h): 11cm

Gravedad (g): 981cm/s<sup>2</sup>

Radio de la esfera: diámetro/2 → 0,575/2 = 0,2875cm

Volumen de la esfera:  $\frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \rightarrow 0,099\text{ml}$

Densidad esfera (p): masa/volumen → 0,1143gr/0,099ml= 1,15gr/cm<sup>3</sup>

Densidad líquido (p'): característico de cada muestra

Tiempo de caída: X

Factor:  $1 - 2,104 \times (d/D) + 2,09 \times (d/D)^3 + 0,905 \times (d/D)^5 \rightarrow \underline{d} = \underline{0,57\text{cm}} = 0,26$

D 2,16cm

$2,104 \times (0,26\text{cm}) + 2,09 \times (0,26\text{cm})^3 + 0,905 \times (0,26\text{cm})^5 = \textcircled{0,48}$

Viscosidad de T1:

$\underline{\eta = 2 \times (0,2875\text{cm})^2 \times 981\text{cm/s}^2 \times (1,15 \text{ gr/cm}^3 - 0,82 \text{ gr/cm}^3) = 0,34\text{cm/gr s}}$

$9 \times (11\text{cm}/0,63\text{s})$

$\underline{\eta} = v \rightarrow \underline{0,34\text{cm/gr s}} = 0,41\text{cm}^2/\text{s} \times 100 \rightarrow 41,4 \text{ mm}^2/\text{s}$

**d** 0,82gr/cm<sup>3</sup>

**v x Factor** → 41,4 mm<sup>2</sup>/s x 0,48 = **19,8 mm<sup>2</sup>/s**

## ANEXO 8

### **Ensayos del biodiesel:**

#### **Destilación a presión reducida:**

En el biodiesel, los ácidos grasos, materias primas de aceites y grasas de los cuales el Biodiesel se produce, están principalmente compuestas por cadenas de hidrocarburos de 16 a 18 carbonos que tienen temperaturas de ebullición similares. El punto de ebullición atmosférico del biodiesel generalmente se encuentra entre 330°C y 357 °C, por lo cual el valor de 360 °C de la especificación no es un problema. Esta especificación fue adicionada como precaución, para garantizar que el combustible no se encuentra adulterado con contaminantes de alto punto de ebullición.

#### **Punto de chispa:**

El punto de chispa para el biodiesel es un parámetro utilizado para controlar y limitar el contenido de alcohol residual en el combustible final. También se encuentra relacionado con requerimientos legales y precauciones de seguridad en el manejo y almacenamiento del combustible, aunque no tiene efectos en la ignición o combustión en el motor. Se pretende que la especificación para Biodiesel sea mínimo 100°C, aunque los valores típicos son de 160°C.

#### **Número de Cetano:**

Es una medida de la calidad de ignición del combustible y del proceso de combustión. Los requerimientos de cetano dependen del diseño del motor, tamaño, naturaleza de las variaciones de velocidad y carga, y de las condiciones atmosféricas al iniciar la operación. Según la norma END debe ser mínimo de 47 cetanos, medido según la norma ASTM D 613.

#### **Viscosidad:**

El límite inferior establecido para este parámetro, determina una viscosidad mínima en la cual no hay pérdida de potencia a través de la bomba de inyección y en la salida del inyector. En cuanto al valor máximo permitido está limitado por las consideraciones relacionadas con el diseño del motor, tamaño y las características de inyección del

sistema.

El límite superior para la viscosidad de Biodiesel 6,0 mm<sup>2</sup>/s.

**Punto de nube:**

Se define como la temperatura a la cual aparece una nube o una nubosidad de cristales en el combustible, bajo condiciones de ensayo prescritas, que se relacionan generalmente con la temperatura a la cual los cristales comienzan a precipitarse en el combustible en uso. Usualmente el biodiesel tiene un punto de nube más alto que el diesel.

**Punto de fluidez:**

Antes de que un combustible sea quemado en un motor, este debe ser bombeado primero desde el tanque de almacenamiento, la mínima temperatura a la cual el producto puede ser tratado como un fluido se conoce como el punto de fluidez. En general este punto se encuentra de 3-6°C por debajo del punto de nube y depende de la materia prima utilizada para producir el biodiesel.

**Estabilidad:**

La estabilidad se define como la resistencia del combustible a cambios físicos y químicos debido a la interacción del combustible con su ambiente.

**Estabilidad al almacenamiento:**

Normalmente el biocombustible producido tiene estabilidad en sus propiedades en condiciones normales de almacenamiento sin la formación de productos insolubles de degradación. El biocombustible que va a ser guardado por períodos prolongados se debe monitorear para evitar controlar el aumento de la acidez, de la viscosidad y la posible formación de sedimentos.

**Estabilidad térmica:**

Es la resistencia del combustible a cambiar debido a fatiga térmica (temperatura elevada) y degradarse químicamente.

**Estabilidad a la oxidación:**

Es la resistencia del combustible a cambiar bajo condiciones de oxidación severas. Adicional a exponer el combustible a cantidades de oxígeno en exceso, las pruebas de

estabilidad a la oxidación usualmente incorporan elevadas temperaturas de prueba para acelerar las velocidades de reacción.

**Número ácido:**

Se usa para determinar el nivel de ácidos grasos libres o ácidos procesados que pueden estar presentes en el biodiesel. Se ha demostrado que un biodiesel con un número de ácido alto incrementa los depósitos en el sistema de alimentación de combustible y puede aumentar la tendencia a la corrosión. Según la norma END 41 debe ser máximo 0,5 mg de KOH/g.

**Glicerina libre:**

Es usada para determinar el nivel de glicerina en el combustible, el valor máximo permitido es de 0.02% p/p. Niveles fuera de especificación pueden causar depósitos en los inyectores, así como sistemas de alimentación obstruidos.

**Glicerina total:**

Es usado para determinar el nivel de glicerina en el combustible e incluye la glicerina libre y la porción de glicerina de cualquier aceite o grasa sin reaccionar total o parcialmente, el parámetro de referencia corresponde a 0.25% p/p. Bajos niveles de glicerina total aseguran que una alta conversión del aceite o la grasa, en mono alquil ésteres, se ha presentado.

**Residuo Carbón Conradson:**

Depende de la concentración de ácidos grasos libres, glicéridos y jabón metálico. Las concentraciones de estas impurezas dependen en gran medida del proceso de producción del biocombustible.

**Contenido de monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos:**

Es una de las especificaciones más importantes. Trazas de glicéridos en el biodiesel son muestra de conversión incompleta del aceite vegetal durante la reacción de transesterificación. La especificación de calidad corresponde a 0.8 % p/p máx. para monoglicéridos, 0.2% p/p Máx. Para Diglicéridos y Triglicéridos según la norma NTC 5444. Un biodiesel con excesiva cantidad de glicéridos puede causar depósitos en la cámara de combustión.

**Fuente:** <http://www.biosc.com.co/nuestra-empresa>

## ANEXO 9

- ❖ **Índice de acidez o Valor ácido (IA):** miligramos de KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de material graso.

IA = mg de KOH/g de material graso.

*“Es un indicador de la calidad de la reacción de transesterificación, ya que cuanto menor sea la acidez del biodiesel, más eficaz habrá sido la reacción de transesterificación. Si la magnitud de este parámetro fuera elevada, podría ocasionar ataque químico a los elementos metálicos del motor, provocando corrosión, oxidación, decapado y ataque a los inyectores, de ahí que el resultado obtenido es muy favorable indicando una transesterificación exitosa, eliminando gran parte de los ácidos grasos libres”, según un proyecto de tesis “Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la **Jatropha curcas L.** en la provincia de Manabí, Ecuador”*

### Reactivos y soluciones

- Alcohol etílico
- Fenolftaleína RE
- Hidróxido de potasio PA

### Procedimiento

Pesar con una aproximación de 0.01 g, de 5 a 10 g de grasa, en un erlenmeyer de 250 ml. Disolverla en 50 ml de la mezcla Alcohol Etílico absoluto- Éter Etílico. Valorar, agitando continuamente, con solución etanólica de Hidróxido de Potasio 0.5 N (o con solución etanólica de Hidróxido de Potasio 0.1 N para acidez inferiores a 2), hasta viraje del indicador.

**Fuente:** <https://es.scribd.com/doc/97574878/Determinacion-del-indice-de-acidez-en-aceites-y-grasas-comestibles>

## ANEXO 10

- ❖ **Índice de saponificación:** es el número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para saponificar por completo 1g de aceite o grasa. Este valor da la medida del peso molecular promedio de los glicéridos mixtos que constituyen una grasa o aceite dado, ya que si estos contienen ácidos grasos de bajo peso molecular, el número de moléculas presentes en 1g de muestra será mayor que si los ácidos grasos son de alto peso molecular.

### Material y aparatos.

- Balanza analítica con capacidad máxima de 200 g y valor de división de 0.1 mg.
- Cristalería necesaria para realizar una valoración: buretas, pipetas, matraces aforados, frascos, erlenmeyers, vasos de precipitados, embudos, agitadores, etc.
- Condensador de reflujo (650 a 900 mm de largo por 100 mm de diámetro).

### Reactivos:

- a. Solución alcohólica de hidróxido de potasio (KOH) 0,5 N
- b. Ácido clorhídrico (HCl) 0,5 N
- c. Fenolftaleína al 1% en alcohol de 95%

### Procedimiento:

Pesar alrededor de 2,5 ml de muestra (filtrada si el aceite no es transparente) en un erlenmeyer de 250-300ml. Pipetear 25 ml de la solución de KOH. Conectar el condensador y hervir hasta que la grasa este completamente saponificada (aproximadamente 30 minutos). Enfriar y titular con HCl 0,5 N usando fenolftaleína (1 ml) como indicador. Correr un blanco junto con las muestras usando la misma pipeta para medir la solución de KOH.

**Fuente:** <https://es.scribd.com/doc/97574878/Determinacion-del-indice-de-acidez-en-aceites-y-grasas-comestibles>