

## Estabilidad de mezclas de biodiesel y diésel de petróleo

Carlos Joel Vera Garcete <sup>a</sup>; Rosendo Adrián Jaruta Szewd <sup>b</sup>; Carlos Balletbó Arapayú <sup>c</sup>;  
César Emilio Arza Patiño <sup>d</sup>; Waldy Aníbal Riveros Saavedra <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación, Paraguay. carjoevergar@msn.com

<sup>b</sup> Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación, Paraguay. ayrjaru2010@hotmail.com

<sup>c</sup> Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación, Paraguay. crballet@gmail.com

<sup>d</sup> Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación, Paraguay. csar94arza@gmail.com

<sup>e</sup> Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación, Paraguay. wriveros@uni.edu.py

### Resumen

Se analizó la estabilidad de mezclas de biodiesel y diésel de petróleo en proporciones notables y en las estipuladas en la Ley N° 2748 de Fomento de Biocombustibles vigente en el Paraguay. El biodiesel se produjo en laboratorio siguiendo los pasos básicos conocidos, con soja y grasa animal como materia prima, obtenibles en la región. Las mezclas establecidas fueron de 1%, 3%, 5%, 20% y 50% de biodiesel con diésel de petróleo, que fueron almacenadas en botellas bajo condiciones normales durante seis meses. Los ensayos que se realizaron, incluyeron magnitudes de viscosidad, densidad, corrosión de lámina de cobre, punto de inflamación, índice de cetano, y punto de enturbiamiento. Las propiedades de la mayoría de las mezclas se mantuvieron estables durante los seis meses, cumpliendo con los requisitos para su utilización, y sólo notándose variaciones significativas para la mezcla de 50% de biodiesel.

**Palabras clave:** biodiesel, diésel, mezclas, almacenamiento, ensayos.

### Abstract

The stability of biodiesel–petroleum diesel blends was analyzed at significant proportions as well as at those stipulated in Law No. 2748 on the Promotion of Biofuels currently in force in Paraguay. The biodiesel was produced in the laboratory following well-known basic procedures, using soybean oil and animal fat as feedstocks available in the region. The blends prepared contained 1%, 3%, 5%, 20%, and 50% biodiesel in petroleum diesel and were stored in bottles under normal conditions for six months. The tests performed included measurements of viscosity, density, copper strip corrosion, flash point, cetane index, and cloud point. The properties of most blends remained stable throughout the six-month storage period, meeting the requirements for their intended use, with significant variations observed only for the 50% biodiesel blend.

**Keywords:** biodiesel, diesel, blends, storage, tests.

## 1. Introducción

En Paraguay se tiene la Ley N° 2748 “Del Fomento de los Biocombustibles”, creada en el 2005. En su artículo 16 la Ley establece que “Todo combustible líquido, caracterizado como gasoil o diésel, deberá ser mezclado con biodiesel u otros combustibles adecuados en una proporción que será establecida por el Ministerio de Industria y Comercio (MIC), según la producción efectiva de los biocombustibles” [1]

Para el año 2022, el Gasoil Tipo III debía contener el 5% de biocombustible apto para motores diésel, dentro del límite del 5% establecido por la Ley N° 6389/2019 [2]. Pero ya en octubre del 2023, el Ministerio de Industria y Comercio (MIC) aumentó la mezcla obligatoria de 2% a 5% [3]. Se estima que se continuará elevando gradualmente la mezcla hasta alcanzar del 10% al 12% [4].

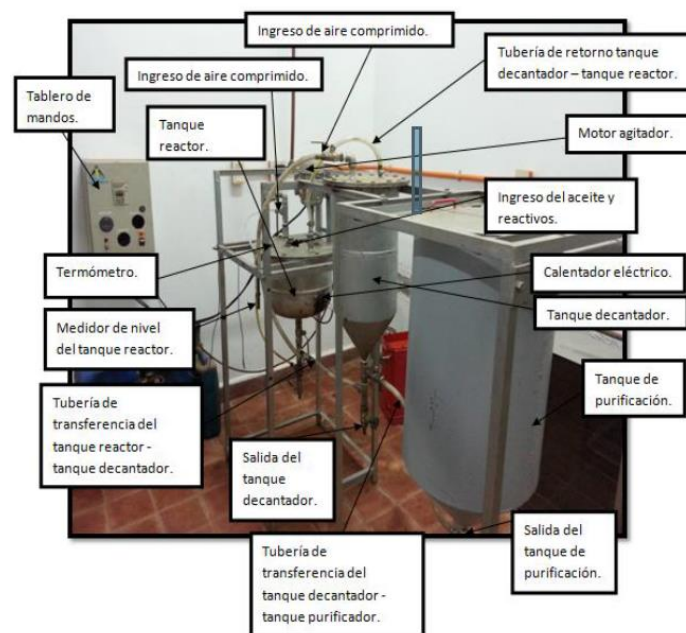
Este crecimiento implica también considerar el almacenamiento del combustible, con la posibilidad de oxidación, absorción de agua, entre otros. La calidad y las propiedades físicas y químicas del biodiesel (BD) convencional cambian gradualmente después de 6 meses desde su fecha de producción, y en 1 año, no es adecuado para su uso directo en motores de combustión interna [5].

Este trabajo, realizado años atrás, consideró la problemática y tuvo como objetivo, analizar la estabilidad de mezclas de diésel de petróleo con el biodiesel de grasa vacuna o de soja de la región, en proporciones estipuladas por el MIC, considerando un almacenamiento de 6 meses. Fue necesario elaborar biodiesel en laboratorio y se realizaron ensayos con equipos disponibles, siguiendo las Normas respectivas.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Planta Piloto y producción

La producción de BD requirió de una planta piloto (Fig. 1), compuesta por los tanques, reactor, decantador y de purificación; equipos auxiliares como compresor y bomba de vacío. La planta piloto fue construida y montada por docentes y alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Itapúa (FIUNI).



**Fig. 1.** Planta piloto para elaborar biodiesel.

El tanque reactor consta de un sistema de control electrónico de temperatura, agitación mecánica con velocidad variable y resistencias eléctricas para lograr el proceso de transesterificación, y un sistema de traspaso de fluidos por medio de aire comprimido y vacío.

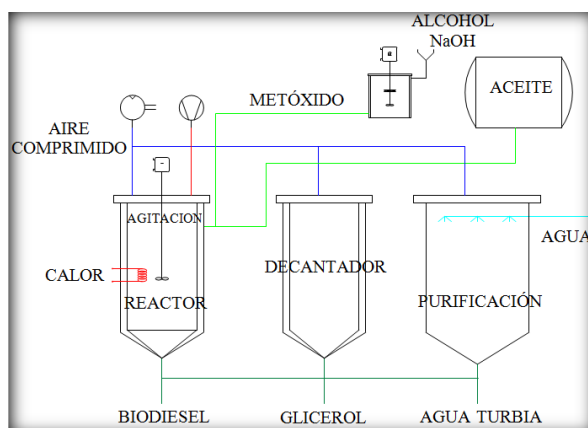
Las materias primas utilizadas fueron el aceite de soja y grasa de origen vacuno, metanol e hidróxido de sodio (NaOH), como catalizador. Los aceites se guardaron en galones de plástico resistente de 20 dm<sup>3</sup>, para que la muestra sea homogénea.

Mediante el proceso de titrado del aceite, que se realiza antes de la elaboración del BD, se determinó, en cada caso, la cantidad de catalizador a usar.

Para la elaboración de 1 dm<sup>3</sup> de BD (sujeto al resultado de titrado) fueron necesarios cerca de 200 cm<sup>3</sup> de metanol anhidro, 1 dm<sup>3</sup> de aceite vegetal anhidro e hidróxido de sodio (4,5 g/l de NaOH para aceite de soja y 6,5 g/l de NaOH para grasa animal).

En la Fig. 2 se observa un diagrama de bloques de la planta piloto, donde las etapas de elaboración [6] se citan a continuación:

1. agitación y calentamiento del aceite para la eliminación de humedad, en el reactor;
2. disolución de NaOH con el metanol anhidro;
3. introducción del metóxido (NaOH + metanol) en el tanque reactor, a 60°C;
4. agitación y calentamiento por 1 hora, para la transesterificación del aceite y 15 min para la grasa animal;
5. decantación del glicerol durante 8 horas;
6. purificación del BD con agua caliente a bajo caudal durante 1 hora y decantación de impurezas, por 2 horas;
7. secado del BD en el reactor y filtrado;
8. almacenamiento en botellas etiquetadas.



**Fig. 2.** Esquema de la planta piloto para elaborar biodiesel.

Las mezclas fueron almacenadas en envases especiales y etiquetadas con sus respectivos porcentajes de biodiesel; siendo B1, B3, B5, B20, B50 mezclas de 1%, 3%, 5%, 20% y 50%, respectivamente. Se cargaron las botellas herméticamente tapadas en cajas de cartón, a temperatura ambiente, para simular ausencia de luz natural, situación similar a la que se tendría en una estación de servicio o en tanques de depósito.

## 2.2. Ensayos realizados

Se realizaron algunos de los ensayos exigidos por el Instituto Nacional de Tecnología Normalización y Metrología (INTN), Norma Paraguaya NP 1601805, considerando los equipos disponibles en el laboratorio de Energías Renovables de la FIUNI. Los ensayos realizados con su equipamiento correspondiente se describen brevemente.

### Viscosidad a 40°

La norma ASTM D 445 [7] establece como medir la viscosidad cinemática de líquidos mediante el tiempo que tarda un volumen de líquido en fluir por gravedad a través de un viscosímetro capilar calibrado, a 40 °C. El equipo empleado se observa en la Fig. 3.

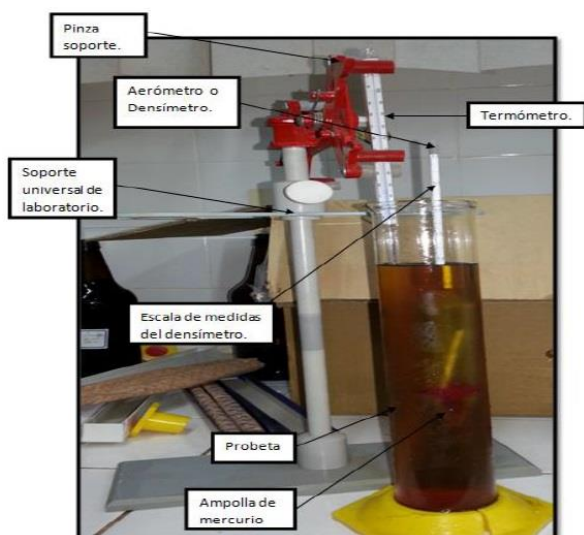


**Fig. 3.** Baño termostático digital con viscosímetros.

La viscosidad cinemática ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) se calcula multiplicando el tiempo medido por una constante dependiente del viscosímetro y de la temperatura.

#### Densidad a 15°C.

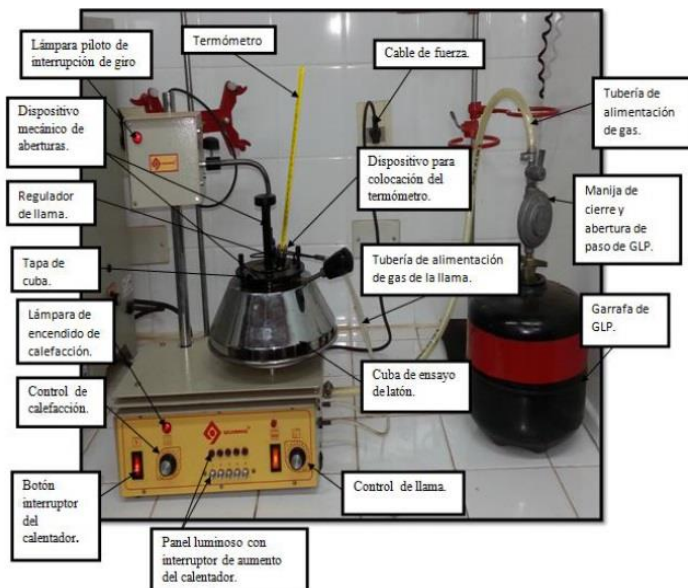
La medida de la densidad a 15°C se realizó por el método de aerómetro. El densímetro consiste en un flotador de vidrio con un lastre de mercurio en su parte inferior que le hace sumergirse parcialmente en el líquido, y un extremo graduado directamente en unidades de densidad. El nivel del líquido marca sobre la escala el valor de su densidad.



**Fig. 4.** Equipamiento para la medición de la densidad.

#### Punto de inflamación

La norma ASTM D 93 [8], método de copa cerrada Pensky-Martens, que establece el procedimiento para medir el punto de inflamación, que es la temperatura mínima a la cual los vapores del líquido forman una mezcla inflamable con el aire, que se enciende momentáneamente al aplicar una fuente de ignición. El equipamiento para realizar la medición se observa en la Fig. 5.



**Fig. 5.** Equipamiento para la medición del punto de inflamación.

#### Corrosión a la lámina de cobre

La norma ASTM D 130 [9] establece un método para evaluar la tendencia corrosiva de productos derivados del petróleo sobre el cobre, mediante la exposición de una lámina de cobre pulido a la muestra que se mantiene a una temperatura y durante un cierto tiempo. Estos compuestos corrosivos, como el azufre activo, pueden dañar equipos y tuberías.

El equipamiento (Fig. 6) cuenta con un baño con controlador PID que mantiene el líquido a 50°C durante tres horas. Dentro del baño se introduce un tubo de acero inoxidable como recipiente de la muestra de 30  $\text{cm}^3$  y la lámina de cobre electrolítico.

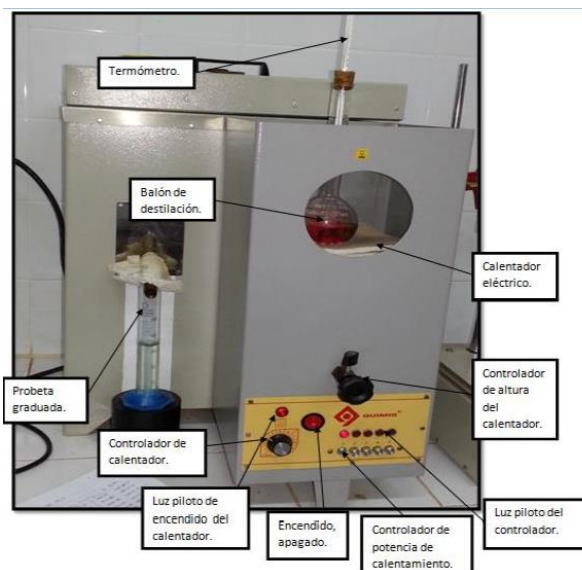
La corrosividad de la muestra se determina de acuerdo al aspecto de la lámina de cobre ensayada, comparándola con las láminas de referencia, divididas en 4 numeraciones, siendo la clasificación 4 la que presentaría mayor corrosión.



**Fig. 6.** Equipamiento para la observación de la corrosión a la lámina de cobre.

### Índice de cetano calculado.

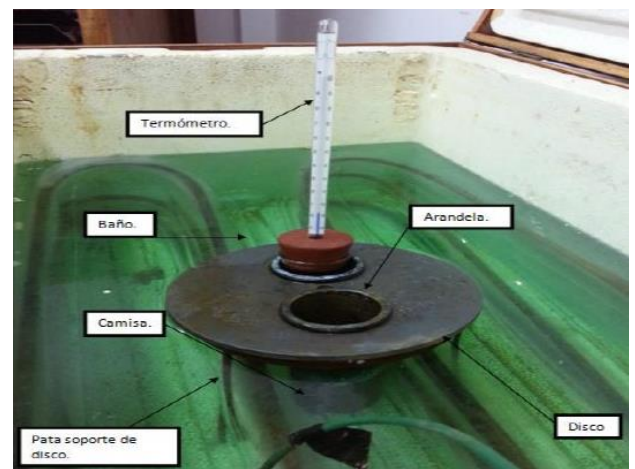
La norma ASTM D 86 [10] establece el método de destilación atmosférica, cuyos resultados se utilizan como datos de entrada para el cálculo del índice de cetano según otras normas u otras expresiones académicas. El índice de cetano calculado es un parámetro empírico que estima la calidad de ignición del diésel sin utilizar un motor de ensayo, a diferencia del número de cetano. En la Fig. 7 se observa el equipo que se utilizó para realizar la destilación de las mezclas.



**Fig. 7.** Equipo de destilación de las mezclas.

### Punto de enturbiamiento

El ensayo se realiza según ASTM D2500 [11], y determina la temperatura a la cual aparece una turbidez debido a que se forman cristales de cera en el líquido, debido al enfriamiento de la muestra introducida en un baño a temperaturas bajas (Fig. 8). Es importante conocer este valor, pues a bajas temperaturas los motores con mezclas de biodiesel pueden tener dificultades para arrancar.



**Fig. 8.** Equipamiento para determinar el punto de enturbiamiento.

## 3. Resultados

### 3.1. Viscosidad

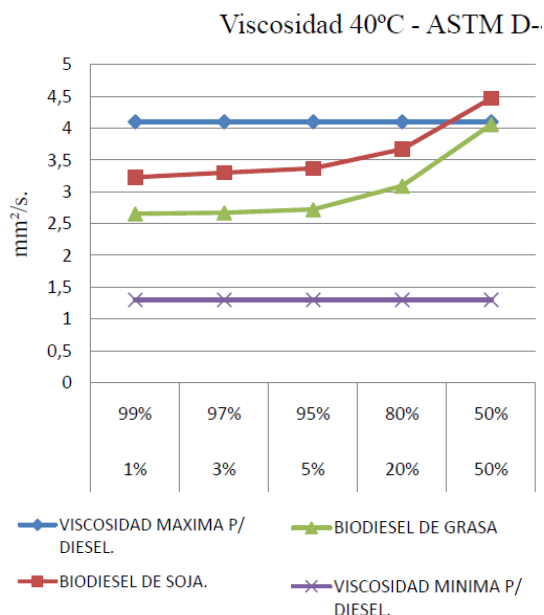
La viscosidad se mantuvo constante hasta el primer mes del análisis para todos los porcentajes de biodiesel de soja, pero a los 6 meses aumentó la viscosidad un 5,14% para la mezcla B50 de soja, valor más elevado. En las Tablas 1 y 2 y Figuras 9 y 10 se observa un aumento en la viscosidad con respecto al tiempo, para todas las mezclas. En las figuras se puede observar las variaciones que se tuvieron entre las mezclas, y su comparación con los valores del diésel. La mezcla de 50% de biodiesel presentó un aumento de viscosidad, mayor al 10%.

**Tabla 1.** Viscosidad de biodiesel de soja y diésel de petróleo.

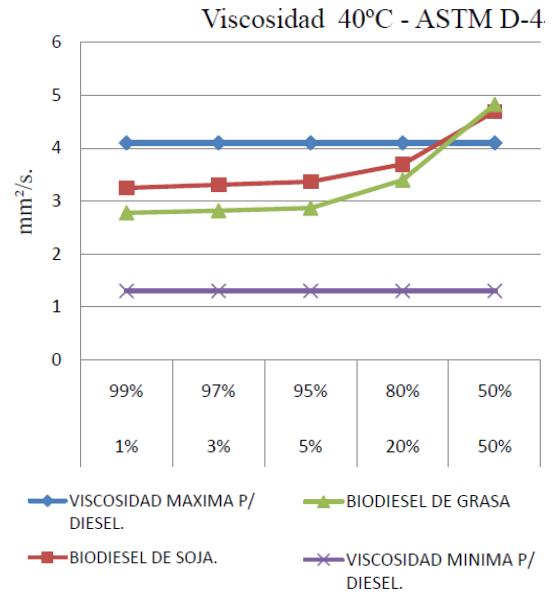
VISCOSIDAD A 40°C (mm <sup>2</sup> /s)				
BD soja %	Diésel%	Inicial	Mes 1	Mes 6
1	99	3,23	3,23	3,25
3	97	3,30	3,30	3,31
5	95	3,37	3,37	3,37
20	80	3,67	3,67	3,70
50	50	4,47	4,47	4,70

**Tabla 2.** Viscosidad de biodiesel de grasa vacuna y diésel de petróleo.

VISCOSIDAD A 40°C (mm <sup>2</sup> /s)				
BD grasa %	Diésel %	Inicial	Mes 1	Mes 6
1	99	2,65	2,65	2,78
3	97	2,67	2,67	2,82
5	95	2,72	2,72	2,87
20	80	3,09	3,09	3,40
50	50	4,06	4,06	4,83



**Fig. 9.** Viscosidad de BD de soja, grasa vacuna y diésel, 1º mes de almacenamiento.



**Fig. 10.** Viscosidad de BD de soja, grasa vacuna y diésel, 6º mes de almacenamiento.

### 3.2. Densidad a 15°C

La mayoría de las mezclas presentan un comportamiento estable desde el inicio al 6º mes, pero la mezcla B50 disminuyó 1,38%. La norma establece un rango de 0,85 g/ml a 0,93 g/ml para el biodiesel puro. Al aumentar la mezcla aumenta la densidad.

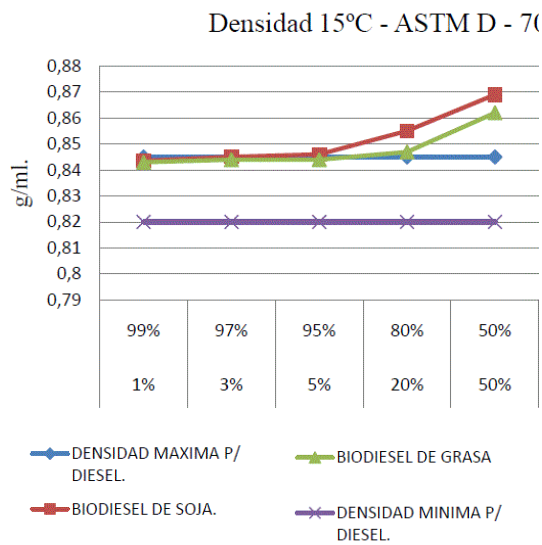
Hay poca variación hasta la mezcla B20, mientras que para B50 se dio un mayor cambio de densidad. Los resultados obtenidos se observan en las Tablas 3 y 4 y las Figuras 11 y 12.

**Tabla 3.** Densidad de biodiesel de soja y diésel de petróleo.

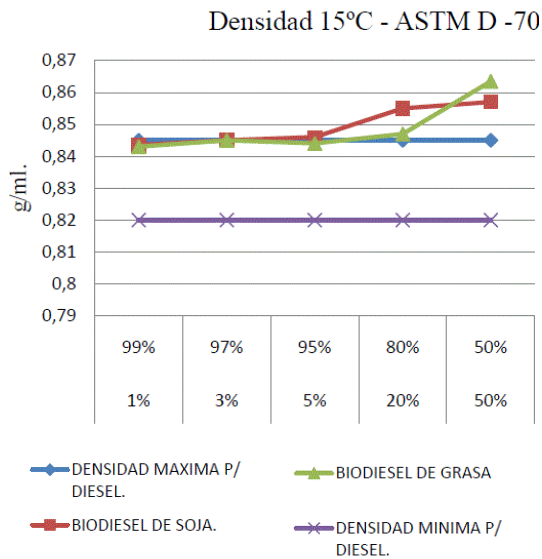
DENSIDAD A 15°C (g/ml)				
BD soja %	Diésel%	Inicial	Mes 1	Mes 6
1	99	0,843	0,843	0,843
3	97	0,845	0,845	0,845
5	95	0,846	0,846	0,846
20	80	0,855	0,855	0,855
50	50	0,869	0,869	0,857

**Tabla 4.** Densidad de biodiesel de grasa vacuna y diésel de petróleo.

DENSIDAD A 15°C (g/ml)				
BD grasa%	Diésel%	Inicial	Mes 1	Mes 6
1	99	0,843	0,843	0,843
3	97	0,844	0,844	0,845
5	95	0,844	0,844	0,844
20	80	0,847	0,847	0,847
50	50	0,861	0,862	0,864



**Fig. 11.** Densidad de biodiesel de soja, grasa vacuna y diésel, 1º mes de almacenamiento.



**Fig. 121.** Densidad de biodiesel de soja, grasa vacuna y diésel, 6º mes de almacenamiento.

### 3.3. Punto de Inflamación

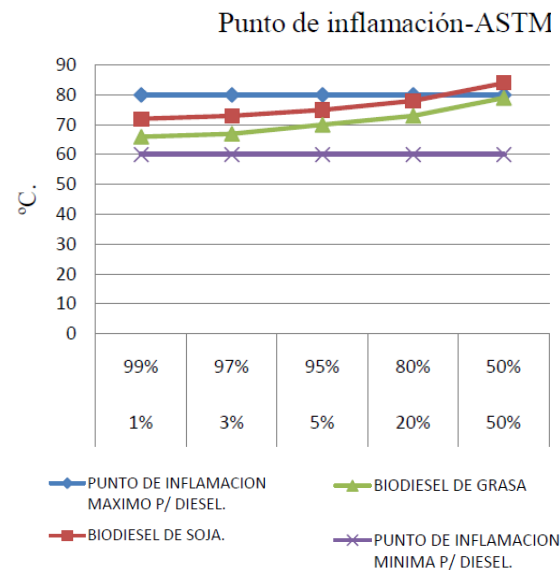
La mayor variación fue con la mezcla B5, aumentando 2,06% en el 6º mes. En general aumentó el punto de inflamación, para mayores porcentajes de mezcla.

**Tabla 5.** Punto de inflamación de biodiesel de soja y diésel de petróleo.

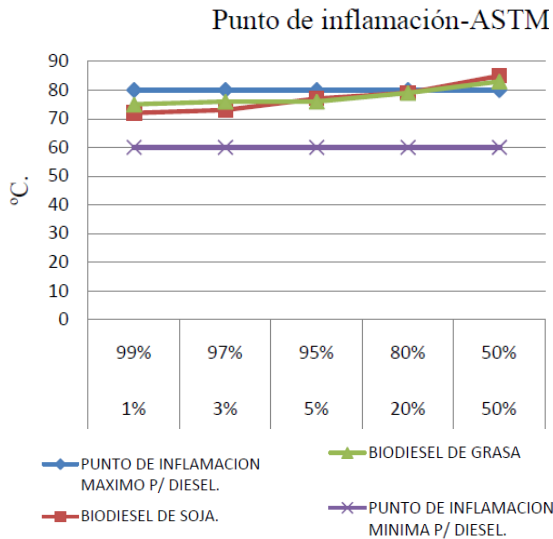
PUNTO DE INFLAMACION (°C)				
BD soja%	Diésel %	Inicial	Mes 1	Mes 6
1	99	72	72	72
3	97	73	73	73
5	95	75	75	77
20	80	78	78	79
50	50	84	84	85

**Tabla 6.** Punto de inflamación de biodiesel de grasa vacuna y diésel de petróleo.

PUNTO DE INFLAMACION (°C)				
BD grasa %	Diésel %	Inicial	Mes 1	Mes 6
1	99	66	66	75
3	97	67	67	76
5	95	70	70	76
20	80	73	73	79
50	50	79	79	83



**Fig. 13.** Punto de inflamación de BD de soja, grasa y diésel, 1º mes de almacenamiento.



**Fig. 14.** Punto de inflamación de BD de soja, grasa y diésel, 6º mes de almacenamiento.

#### 4.4. Corrosión a la lámina de cobre

La prueba de corrosión a la lámina de cobre debido a biodiesel de soja y grasa vacuna arrojó el valor de 1 para todas las mezclas; inicialmente, en el primer y sexto mes (escala 1 a 5). La designación es ligeramente manchada, e indica que el biodiesel es poco corrosivo y no representa ningún peligro para la utilización en un motor de ciclo diésel.

#### 4.5. Índice de Cetano

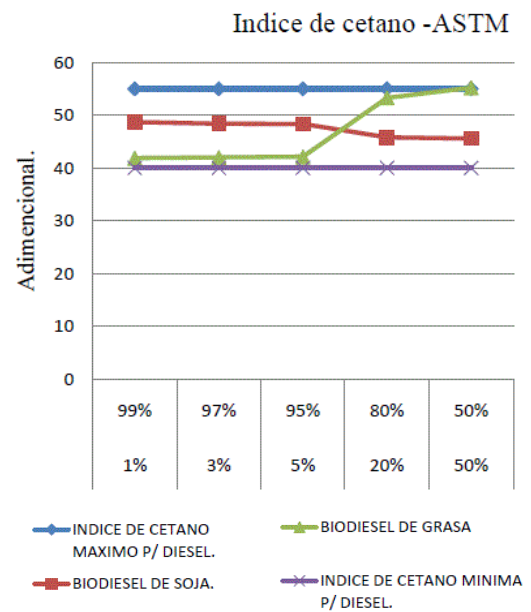
Los índices de cetano más altos se obtuvieron en las mezclas de porcentajes más bajos, y fueron decreciendo conforme aumentaban los porcentajes de mezcla.

**Tabla 7.** Índice de cetano de biodiesel de soja y diésel de petróleo.

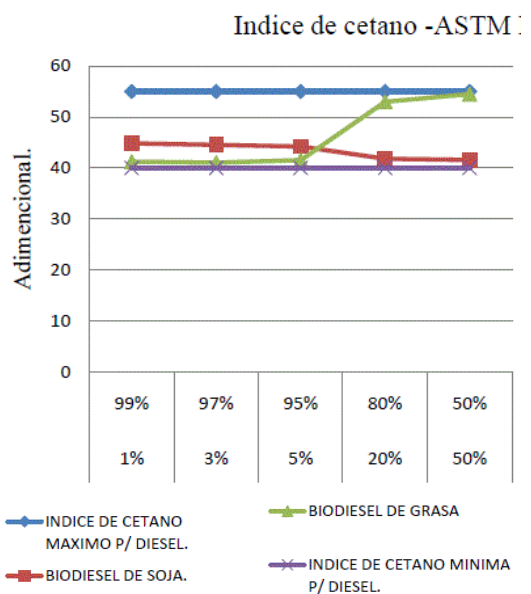
INDICE DE CETANO				
BD soja %	Diésel%	Inicial	Mes 1	Mes 6
1	99	48,7	48,7	44,8
3	97	48,4	48,4	44,5
5	95	48,3	48,3	44,2
20	80	45,8	45,8	41,8
50	50	45,6	45,6	41,6

**Tabla 8.** Índice de cetano de biodiesel de grasa vacuna y diésel de petróleo.

INDICE DE CETANO				
BD grasa%	Diésel %	Inicial	Mes 1	Mes 6
1	99	41,9	42,9	41,3
3	97	41,9	41,9	41,1
5	95	42,1	42,1	41,5
20	80	53,3	53,3	52,9
50	50	55,2	55,2	54,5



**Fig. 15.** Índice de cetano del biodiesel de soja, grasa y diésel, 1º mes de almacenamiento.



**Fig. 16.** Índice de cetano del biodiesel de soja, grasa y diésel, 6º mes de almacenamiento.



Se observó una disminución del índice en el 6° mes, para todas las mezclas. El número de cetano para el diésel se encuentran entre 40 a 55 [12], y para el biodiesel entre 48 a 65 [13]. Los valores calculados del índice de cetano se establecieron entre 41 a 55.

#### 4.6. Punto de enturbiamiento

Los valores se mantuvieron estables durante el almacenamiento. En general, aumentó la temperatura de enturbiamiento a medida que aumentó el porcentaje de las mezclas.

**Tabla 9.** Punto de enturbiamiento de biodiesel de soja y diésel de petróleo.

PUNTO DE ENTURBIAMIENTO (°C)				
BD soja %	Diésel %	Inicial	Mes 1	Mes 6
1	99	6	6	6
3	97	6	6	6
5	95	7	7	7
20	80	7	7	7
50	50	7	7	7

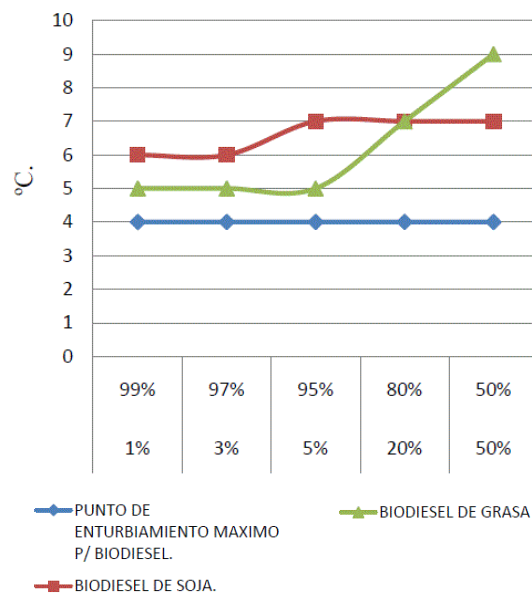
**Tabla 10.** Punto de enturbiamiento de biodiesel de grasa vacuna y diésel.

PUNTO DE ENTURBIAMIENTO (°C)				
BD grasa %	Diésel%	Inicial	Mes 1	Mes 6
1	99	5	5	5
3	97	5	5	5
5	95	5	5	5
20	80	7	7	7
50	50	9	9	9

El punto de enturbiamiento depende de la composición de los ésteres metílicos y que para ciertos biodiesel puede estar entre 0°C a 7°C [14], por tanto, el combustible debe almacenarse a temperaturas superiores al para evitar problemas de cristalización.

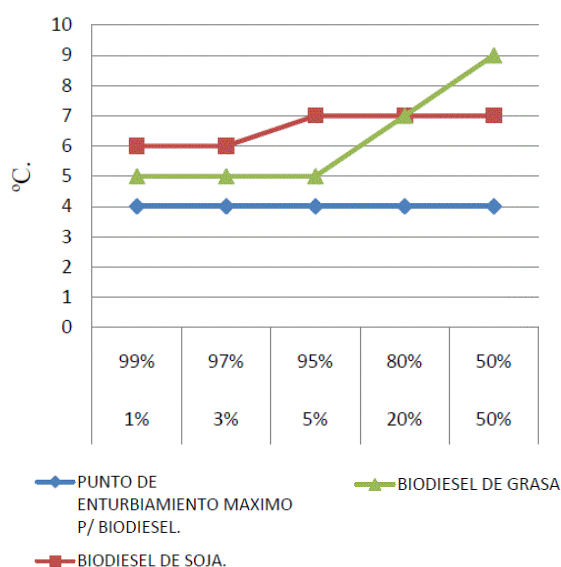
En las Figuras 16 y 17 se tomó como base 4°C para el punto máximo de enturbiamiento y se observa que la variación del biodiesel de grasa aumentó rápidamente para las mezclas de 20% y 50%.

Punto de enturbiamiento -AST



**Fig. 172.** Punto de enturbiamiento del biodiesel de soja, grasa vacuna y diésel, 1° mes de almacenamiento.

Punto de enturbiamiento-AST



**Fig. 183.** Punto de enturbiamiento del biodiesel de soja, grasa vacuna y diésel, 6° mes de almacenamiento.

#### 4. Conclusiones

Las mezclas de biodiesel de soja y grasa vacuna, mantuvieron una estabilidad en las magnitudes medidas luego de 6 meses de almacenamiento, a excepción de la mezcla con 50% de biodiesel, que presentó una variación más significativa.

La implementación actual de mezcla con el 5% de biodiesel no causaría inconvenientes en los motores de combustión interna, considerando los ensayos realizados.

#### 5. Referencias

- [1] Ley N° 2748, “Fomento de los biocombustibles”. Asunción, 2005. Disponible en; <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/2537/ley-n-2748--fomento-de-los-biocombustibles>
- [2] Decreto 3.500/2020 por el cual se reglamenta la ley N° 6389/2019, “Que establece el régimen de promoción para la elaboración sostenible y utilización obligatoria del biocombustible apto para la utilización en motores diésel”. Asunción, 2020. Disponible en <https://baselegal.com.py/docs/d74c2615-90ce-11eb-990a-525400c761ca>
- [3] Agencia de información paraguaya. “MIC anunció aumento en el porcentaje obligatorio de mezcla de biocombustibles”, 2023. En; <https://www.ip.gov.py/ip/2023/10/08/mic-anuncio-aumento-en-el-porcentaje-obligatorio-de-mezcla-de-biocombustibles>
- [4] Ministerio de Industria y Comercio. “MIC anuncia medidas para impulsar la producción de biodiesel en Paraguay”, 2024. Disponible; <https://www.mic.gov.py/mic-anuncia-medidas-para-impulsar-la-produccion-de-biodiesel-en-paraguay/>
- [5] K. Biernat. *Biodiesel en condiciones de almacenamiento y operación*, 2015. ISBN 978-953-51-1734-6.

- [6] R. P., Rodríguez, et al., *Biodiesel: producción y uso*; Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Cuba. 2021.
- [7] American Society for Testing and Materials (ASTM). *ASTM D 445-21e01 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- [8] American Society for Testing and Materials (ASTM). *ASTM D93-23 Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- [9] American Society for Testing and Materials (ASTM). *ASTM D130-23 Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- [10] American Society for Testing and Materials (ASTM). *ASTM D86-23 – Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products and Liquid Fuels at Atmospheric Pressure*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- [11] ASTM International, *ASTM D2500 – Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels*, West Conshohocken, PA, USA.
- [12] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, New York, USA, 1988.
- [13] G. Knothe, J. Van Gerpen, and J. Krahl, *The Biodiesel Handbook*, 2nd ed., AOCSS Press, Champaign, IL, USA, 2010.
- [14] T. L. Alleman et al. *Biodiesel Handling and Use Guide*, 5° ed., National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO, USA, 2016.