



<https://eqrcode.co/a/YEisTA>

REVIEW | REVISIÓN

Use of Biodiesel in Internal Combustion Engines for Livestock Activities

Uso del biodiesel en motores de combustión interna destinados a actividades ganaderas

Ing. Saray Díaz-Barrios¹, MSc. Osney G. Pérez-Acosta

Instituto de Ciencia Animal (ICA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

ABSTRACT. The basis of industrialization was and still is today, the massive use of fossil fuels. Relatively abundant studies in the scientific literature show that the reserves of these resources are limited and that their depletion is almost imminent. For this reason, the production of biofuels is one of the solutions to this problem, since it is a potential source of renewable energy. One of its advantages is being friendly to the environment due to the reduction of polluting gases. Biodiesel is considered to be a favorable alternative for reducing fossil fuel imports and especially second-generation fuel because it is the most appropriate option, among other reasons, due to non-competitiveness with food. Due to the importance of the subject, it is necessary to know the origin of biofuels and their evolution, highlighting their classification and specifically researching into biodiesel. It is also intended to carry out a review about the use of biodiesel in compression engines for livestock activities, reflecting the characteristics and influence when using it in internal combustion engines (ICM). An analysis of research in Cuba is carried out and the interest of the country in the development of renewable energies and the care of the environment is ratified. It is therefore necessary, from a scientific perspective, to examine the potentialities of the Institute of Animal Science (ICA) that contribute to national energy savings.

Keywords: Biofuels, Greenhouse Gases (GHG), *Jatropha Curcas*.

RESUMEN. La base de la industrialización fue y sigue siendo en la actualidad, el uso masivo de combustibles fósiles. Estudios relativamente abundantes en la literatura científica, muestran que las reservas de estos recursos son limitadas y que su agotamiento es casi inminente. Por este motivo, la producción de biocombustibles es una de las soluciones a esta problemática, debido a que es fuente potencial de energía renovable. Una de sus ventajas es ser amigable con el medio ambiente debido a la reducción de gases contaminantes. Se considera que el biodiesel es una alternativa favorable para la disminución de las importaciones de combustible fósiles y en especial, al de segunda generación por ser la opción más acertada, entre otros motivos, por la no competitividad con la alimentación. Por la importancia que reviste el tema, es preciso dar a conocer el origen de los biocombustibles y su evolución, destacándose su clasificación y profundizando específicamente en el biodiesel. Se pretende, además, realizar una revisión acerca de la utilización del biodiesel en motores de compresión destinados a las actividades ganaderas, reflejándose las características e influencia al utilizarlo en motores de combustión interna (MCI). Se realiza un análisis sobre investigaciones en Cuba y se ratifica el interés de nuestro país por el desarrollo de las energías renovables y el cuidado del medio ambiente. Es preciso entonces, desde una perspectiva científica, examinar las potencialidades del Instituto de Ciencia Animal (ICA) que contribuyan al ahorro energético nacional.

Palabras clave: biocombustibles, gases de efecto invernadero (GEI), *Jatropha Curcas*.

INTRODUCTION

Gonzales (2019) defines sustainability as the balance between four main dimensions: economic, social, environmental

INTRODUCCIÓN

Gonzales (2019) define la sostenibilidad como el equilibrio entre cuatro dimensiones principales: componentes económico,

¹ Author for correspondence: Saray Díaz-Barrios, e-mail: sdiaz@ica.co.cu

Received: 08/07/ 2020.

Approved: 04/12/2020.

and institutional components. It is about bringing the concept of balance between all dimensions. Among the measures required to achieve this is the reduction of consumerism, the depletion of fossil resources and the greenhouse effect.

Every year, the dependence on fossil fuels rises due to the increase in massive industrialization, the increase in transport and the demographic explosion, which directly or indirectly affects the world (Rocha *et al.*, 2019). Latin American countries, except Venezuela, and India are the most affected by the global energy situation. This is due to their status as non-producing countries (Morelos, 2016). Due to dependence on fuels, mainly caused by consumerism, the emission of greenhouse gases (GHG) grows exponentially.

The production of biofuels is one of the feasible and viable solutions, taking into account its impact on energy generation and the environment. Any fuel that comes from biomass (organic matter) is classified as biofuel.

These are biofuels such as alcohols, ethers, esters and other chemical products that come from cellulosic-based organic compounds (biomass) extracted from wild or cultivated plants that substitute to a greater or lesser extent the use of fossil fuel (Bernal *et al.*, 2015).

The intensification of the blockade against Cuba forces this country to intensify the solutions that are currently being implemented. The 70% cut in the availability of primary energy directly affects Cuban economy, which has an impact on agriculture due to the high energy consumption and the high level of mechanization required in this activity. This hinders food production and causes the abandonment of a large part of the land (Gonzales, 2019). Livestock and agriculture are sectors that require sources of energy to carry out the different activities. The use of biofuels is an alternative that can represent environmental and economic advantages for their development and sustainability. Hence, the objective of this work is to carry out a review of biofuels and the use of biodiesel in compression engines for livestock activities. It is also intended to examine the particularities of this issue in Cuba.

DEVELOPMENT OF THE TOPIC

Biofuels: an Energy Alternative

In recent years there has been an exponential increase in the production of biofuels. This is mainly due to energy demand and dependence on fossil fuels. The main objective of its use is to try to mitigate the effect of emissions (GHG), in addition to guaranteeing internal consumption (Morelos, 2016). Its origin instead dates from the time when humanity discovered how to make fire.

The first time it was thought of using biofuel in internal combustion engines was in the period 1858-1913 by Dr. Rudolf Diesel, who developed a prototype that ran on peanut oil. This experience was ruled out at that time due to the high availability of diesel (Ramos *et al.*, 2016). Later, due to the two world wars, oil reserves began to decline. For this reason, research on substitutes for gasoline and diesel, using various

social, ambiental e institucional. Se trata de llevar el concepto de equilibrio entre todas las dimensiones. Entre las medidas requeridas para lograrlo se encuentra la disminución del consumismo, el agotamiento de los recursos fósiles y el efecto invernadero.

Cada año dependemos más de los combustibles fósiles debido al incremento de la industrialización masiva, el aumento del transporte y la explosión demográfica, lo que repercute directa o indirectamente en la economía mundial (Rocha *et al.*, 2019). Los países de América Latina, excepto Venezuela, y la India son los más afectados por la situación energética global. Esto se debe a su estatus de países no productores (Morelos, 2016). Debido a la dependencia de los combustibles, causada principalmente por el consumismo, aumenta exponencialmente la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

La producción de biocombustibles es una de las soluciones factibles y viables teniendo en cuenta su repercusión en la generación de energía y en el medio ambiente. Cualquier combustible proveniente de biomasa (materia orgánica) se clasifica como biocombustible. Estos son biocarburantes como alcoholes, éteres, ésteres y otros productos químicos que provienen de compuestos orgánicos de base celulósica (biomasa) extraída de plantas silvestres o de cultivo que sustituyen en mayor o menor medida el uso de combustible fósil (Bernal *et al.*, 2015).

El recrudescimiento del bloqueo contra Cuba nos obliga a intensificar las soluciones que actualmente se implementan. El recorte del 70% de la disponibilidad de energía primaria afecta directamente nuestra economía, lo que repercute en la agricultura debido al elevado consumo de energía y al alto nivel de mecanización requerida en esta actividad. Esto dificulta la producción de alimentos y ocasiona el abandono de gran parte de las tierras (Gonzales, 2019).

La ganadería y la agricultura son sectores que requieren fuentes energéticas para la realización de las diferentes actividades. El uso de biocombustibles es una alternativa que puede representar ventajas ambientales y económicas para su desarrollo y sostenibilidad. De ahí que el objetivo del presente trabajo, es realizar una revisión acerca de los biocombustibles y la utilización del biodiesel en motores de compresión destinados a las actividades ganaderas. Se pretende, además, examinar las particularidades de esta temática en Cuba.

DESARROLLO DEL TEMA

Los biocombustibles: una alternativa energética

En los últimos años existe un incremento exponencial de la producción de biocombustibles. Esto se debe principalmente a la demanda energética y la dependencia de los combustibles fósiles. Su uso persigue como objetivo principal tratar de mitigar el efecto de las emisiones (GEI), además garantizar el consumo interno (Morelos, 2016). Su origen en cambio data de la época en que la humanidad descubrió cómo hacer fuego.

La primera vez que se pensó en utilizar biocombustible en motores de combustión interna fue en el período de 1858-1913 por el Dr. Rudolf Diesel, quien desarrolló un prototipo que funcionaba con aceite de maní. Esta experiencia se descartó en esos momentos debido a la alta disponibilidad de diésel (Ramos *et al.*, 2016). Posteriormente a causa de las dos guerras mundiales empiezan a decaer las reservas petroleras. Por este motivo, se empieza a investigar

oils, began. Countries like China, Japan, some from South America, as well as the European colonies in Africa and Asia led the investigations. In 1942 the first article on the use of a commercial fuel for a bus in Brussels, Belgium was reported. The availability and normalization of fossil fuel prices slowed their development. However, in 1973 it was required to resume the investigations due to their increase. Brazil and the United States began to establish new policies to guarantee their own energy sources, in order to reduce dependence on them (Valdés & Palacios, 2016).

Depending on the raw material to be used, the biofuel can be classified. The first generation (G1) biofuels are those that are produced by conventional technology from food crops. They are manufactured from sugar or starch in the case of bioethanol and vegetal oils (from corn, soy or wheat) or animal fats in the case of biodiesel. The second generation (G2) biofuels are also known as lignocellulose biofuels. They are obtained from plants that do not have a food function and are produced with technological innovations that allow them to be more ecological. Its raw material can be any type of plant biomass, from agricultural or wood waste to specific energy crops (*Jatropha curcas*, *forage grasses*) (Ramos *et al.*, 2016). The so-called third generation (G3) biofuels were previously considered to be G2. Due to their superior performance originating from a smaller amount of raw material it was decided to create a specific group for them. They are fast-growing plants and are composed of biomolecules of high energy density. They take advantage of the biomass produced by autotrophic or heterotrophic photosynthetic microorganisms such as microalgae (Subía & Rubio, 2018).

For greater sustainable development, the most viable option is G2 biofuels or lignocellulose biofuels due to the use of environmentally friendly technologies. In addition, they are cultivated taking advantage of unproductive marginal areas in crops intended for food and that do not require water or fertilizers (Serrano & Charris, 2018). As an example, residues of wheat straw, corn, rice and in general all agricultural residues or raw materials containing cellulose or hemicellulose can be indicated. Lignocellulose biomass has three different types of polymers: cellulose, hemicellulose and lignin. The latter is one of the most abundant biopolymers in plants that together with cellulose and hemicellulose make up their cell wall (Cando *et al.*, 2019). Biofuels branch into three main types: biodiesel, bioethanol, and biogas. In the specific case of biodiesel, according to the ASTM (American Society for Testing and Material Standard), they are monoalkyl esters of long chain fatty acids derived from natural lipids. Most of the biodiesel production is obtained from vegetal oils and animal fats, which are also considered protein sources. The fuel obtained can be used in the combustion of diesel engines García *et al.* (2018) and is used in mixtures with diesel due to the effects that occur in the engine, like wearing of the rubber parts, obstruction of the filters and leaks in the seals, particularly at low temperatures (Gómez *et al.*, 2019).

sobre sustitutos de la gasolina y diésel mediante diversos aceites. Países como China, Japón, algunos de Sudamérica, así como las colonias europeas de África y Asia lideraban las investigaciones. En el 1942 se reporta el primer artículo sobre la utilización de un combustible comercial para un autobús en Bruselas, Bélgica. La disponibilidad y normalización de los precios del combustible fósil frenó el desarrollo de las mismas. Sin embargo, en 1973 se requiere retomar las investigaciones debido a su aumento. Brasil y Estados Unidos empezaron a establecer nuevas políticas para garantizar sus propias fuentes de energía, con el fin de reducir la dependencia de los mismos (Valdés y Palacios, 2016).

En dependencia de la materia prima a utilizar se puede clasificar el biocombustible. Los de primera generación (G1) son aquellos que se producen por tecnología convencional a partir de cultivos alimenticios. Se fabrican a partir de azúcar o almidón en el caso del bioetanol y aceites vegetales o grasas animales en el caso del biodiesel (maíz, soya, trigo). Los de segunda generación (G2) también son conocidos como biocombustibles lignocelulósicos. Se obtienen de vegetales que no tienen una función alimentaria y se producen con innovaciones tecnológicas que permiten que sean más ecológicos. Su materia prima puede ser cualquier tipo de biomasa vegetal, desde desechos agrícolas o madereros hasta cultivos energéticos específicos (*Jatropha Curcas*, gramíneas forrajeras) (Ramos *et al.*, 2016). Los llamados de tercera generación (G3) se consideraban anteriormente como de G2. Debido a su rendimiento superior originado de una menor cantidad de materia prima se decidió crear un grupo específico para ellos. Son de crecimiento rápido y se componen de biomoléculas de alta densidad energética. Ellos aprovechan la biomasa producida por microorganismos fotosintéticos autótrofos o heterótrofos como son las microalgas (Subía y Rubio, 2018).

Para un mayor desarrollo sostenible o sustentable la opción más viable es la de los biocombustibles G2 o biocombustibles lignocelulósicos. Esto se debe a la utilización de tecnologías amigables con el medio ambiente. Además, se cultivan aprovechando áreas marginales improductivas en cultivos destinados a la alimentación y que no requieran agua o fertilizantes (Serrano y Charris, 2018). Se puede indicar como ejemplo residuos de paja de trigo, maíz, arroz y en general todo residuo agrícola o materia prima que contenga celulosa o hemicelulosa. La biomasa lignocelulósica presenta tres tipos diferentes de polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina. Esta última es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas que junto con la celulosa y la hemicelulosa conforman la pared celular de las mismas (Cando *et al.*, 2019).

Los biocombustibles se ramifican en tres tipos principales biodiesel, bioetanol y biogás. En el caso específico del biodiesel según la norma ASTM (American Society for Testing and Material Standard) especifica que son ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos naturales. La mayor parte de la producción de biodiesel se obtiene a partir de los aceites vegetales y grasas animales, los que se consideran también fuentes proteicas. El combustible obtenido se puede emplear en la combustión de los motores diésel García *et al.* (2018) y se utiliza en mezclas con el diésel debido a las afectaciones que ocurren en el motor. Algunas de ellas son desgaste de las partes de hule en los motores, obstrucción de los filtros y fugas en los sellos, particularmente a bajas temperaturas (Gómez *et al.*, 2019).

Biofuels manufacture depends largely on the national availability of energy crops. In Malaysia it is produced from palm oil and in the United States, soybean oil is the most used biofuel. In the European Union, rapeseed and sunflower oil are the most utilized, while in Canada, it is canola oil (Britton *et al.*, 2017). The United States is recognized as the main biofuel producer in the world along with Brazil (Rosas *et al.*, 2018). The Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, for its acronym in English, 2017), reports that it is expected by 2023 that the consumption of biodiesel will reach 40 million liters. European countries, some from South America (Argentina, Brazil, Colombia, and Chile) and the United States are immersed in the production of biodiesel (Vargas, 2018). The European Union implemented the use of 2% biodiesel in a mixture with diesel in 2005. Subsequently, in 2010, it increases to 5.57% and an increase of 20% is expected by 2020 as a policy of caring for the environment (Cuty & Mejía, 2019). The United States, for its part, implemented a mandate in 2003 to use 5.75% in the transportation sector in 2010. It was modified to increase to 10% in 2020. Colombia approved, in 2001, the Law 693 “Uses of Fuel Alcohols” and since 2005 has presented compulsory mandates of 10% in mixtures, both for bioethanol and biodiesel. In 2008, guidelines were announced to promote strategies for the sustainable production of biofuels. Mexico, with the enactment of the Law for the Promotion and Development of Bioenergetics (LPDB) in 2008, begins its path in the implementation of laws in favor of biofuels (Montero *et al.*, 2016).

In the case of Cuba, fossil fuel reserves barely cover half of the annual needs. The deepening of the development of renewable energies is of vital importance to avoid the constant economic blockade that the island undergoes. The project “Development of a technology for the production of biodiesel from lignocellulose agroindustrial waste” is a future alternative for the country’s energy matrix. The strategy to be applied in Cuba must be based on the use of biomass generated in existing agro-industrial processes. The biorefinery is proposed, which aims to develop a variety of raw materials that serve as a starting point for the synthesis of numerous derivative products that have enormous economic potential (Alcalá *et al.*, 2018).

Since 2008, through the international project “Clean energy technologies in rural areas of Cuba” directed by the Pastures and Forages Experimental Station - “Indio Hatuey”, *Jatropha curcas* has been cultivated to obtain biodiesel. Its objective is to reduce GHG in Cuba by stimulating the transfer and adoption of bioenergy technologies (Tobío *et al.*, 2018).

Use of Biodiesel in Internal Combustion Engines

In recent years, the number of investigations regarding the obtaining of biodiesel from inedible oilseed plants has increased, where species of easy growth and high oil yields are selected (Guevara *et al.*, 2016). To use them, the physicochemical characteristics of the seed must be analyzed, due to the importance of knowing the composition of fatty acids of different ecotypes to select plants with a high percentage

La fabricación del mismo depende en gran medida de la disponibilidad nacional de cultivos energéticos. En Malasia se produce a partir de aceite de palma y en Estados Unidos se emplea en su mayoría el aceite de soja. En la Unión Europea el aceite de colza y de girasol, mientras que en Canadá es el aceite de canola (Britton *et al.*, 2017). Se reconoce a Estados Unidos como el principal productor de biocombustible en el mundo junto con Brasil (Rosas *et al.*, 2018). La Organización para la cooperación económica y el desarrollo (OECD, por sus siglas en inglés, 2017), informa que se prevé para el 2023 que el consumo de biodiesel alcance los 40 millones de litros. Países europeos, algunos de Suramérica (Argentina, Brasil, Colombia, Chile) y Estados Unidos están inmersos en la producción de biodiesel (Vargas, 2018).

La Unión Europea en el 2005 implementó el uso del 2 % de biodiesel en una mezcla con diésel. Posteriormente, en el 2010 aumenta a un 5,57 % y se espera incremento del 20 % para el 2020 como política del cuidado del medio ambiente (Cuty y Mejía, 2019). Estados Unidos, por su parte, implementó un mandato en el 2003 para utilizar 5,75 % en el sector del transporte en el 2010. El mismo se modificó para incrementar a un 10 % en el 2020. Colombia aprueba, en el 2001, la Ley 693 “Usos de Alcoholes Carburantes” y desde el 2005 presenta mandatos obligatorios del 10 % en las mezclas, tanto para el bioetanol como el biodiesel. En el 2008 se dictan lineamientos para promover estrategias de producción sustentable de biocombustibles. México con la promulgación de la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos (LPDB) en el 2008, inicia su camino en la implementación de leyes a favor de los biocombustibles (Montero *et al.*, 2016).

En el caso de Cuba las reservas de combustible fósil apenas cubren la mitad de las necesidades anuales. Es de vital importancia la profundización en el desarrollo de energías renovables para evitar el constante bloqueo económico que presenta la isla. El proyecto “Desarrollo de una tecnología para la producción de biodiesel de residuos agroindustriales lignocelulósicos” es una alternativa futura para la matriz energética del país. La estrategia a aplicarse en Cuba debe basarse en el aprovechamiento de la biomasa generada en los procesos agroindustriales existentes. Se propone la biorrefinería la cual pretende desarrollar toda una variedad de materias primas que sirven de punto de partida para la síntesis de numerosos productos derivados que tienen un enorme potencial económico (Alcalá *et al.*, 2018).

Desde el 2008 a través del proyecto internacional “Tecnologías energéticas limpias en áreas rurales de Cuba” dirigido por la Estación Experimental de Pastos y Forrajes- “Indio Hatuey”, se cultiva la *Jatropha Curcas* para la obtención de biodiesel. Persigue como objetivo reducir los GEI en Cuba mediante la estimulación de la transferencia y adopción de tecnologías de bioenergía (Tobío *et al.*, 2018).

Utilización de biodiesel en los motores de combustión interna

En los últimos años se incrementa el número de investigaciones referentes a la obtención de biodiesel a partir de plantas oleaginosas no comestibles, donde se seleccionan especies de fácil crecimiento y altos rendimientos de aceite (Guevara *et al.*, 2016). Para utilizarlas se deben analizar las características físico-químicas de la semilla, debido a la importancia de co-

of oleic and linoleic acid. It is necessary to point out that the indicators of iodine index, peroxide index and acidity of the oil, have an impact on the properties of the biofuel (Lizarde *et al.*, 2015).

Obtaining oil is not the final process in the biodiesel production chain because the high viscosity of vegetable oils impedes their efficient use in engines. Four techniques are used to reduce their viscosity: dissolution, microemulsification, pyrolysis and transesterification. The latter is the most used in obtaining biodiesel (García *et al.*, 2018).

Transesterification can occur by three different catalytic pathways: homogeneous, heterogeneous, and supercritical, and it is carried out through the use of catalysts. A molecule of a triglyceride reacts with three molecules of methanol or ethanol, to produce three molecules of monoesters and one of glycerol (Morales, 2017). Before this process, an esterification is required Rodríguez *et al.* (2018), generally using sulfuric acid as a catalyst, and subsequently, a neutralization with sodium carbonate is carried out. The derived biodiesel has other components such as glycerol, water and alcohols. For this reason, purification is required in various equipment, with the use of external agents or energy. The obtaining process described above constitutes the homogeneous catalysis process (Gómez *et al.*, 2019).

Biodiesel can be used in MCI due to its similarities to diesel. The main characteristics to take into account are viscosity and density. According to García *et al.* (2018), viscosity has a direct influence on the fuel injection and atomization process. The increase in its value causes, in principle, greater mechanical stress on the components of the feeding system. There is a decrease in atomization performance and a decrease in the angle of the cone formed by the jet of injected fuel. An increase in the speed of the jet as it exits the injector nozzle is also produced, which causes an increase in its penetration. There is always an increase in the density of biodiesel, which causes a decrease in the calorific power compared to diesel and a decrease in power output and torque (Riba *et al.*, 2010).

Amaris *et al.* (2015) reported that when using biodiesel there is a 15% power loss and an increase in specific consumption, due to the lower calorific value of biodiesel compared to traditional fuel. When using B20 mixtures (20% biodiesel and 80% diesel) or higher concentrations, the losses of this parameter can be appreciated. At a lower percentage of biodiesel, the operation of the engine is similar to that of pure diesel with minimal losses. Arboleda (2018) agrees that there is a loss of power, although their results were obtained with B10 (10% biodiesel +90 diesel). The experiment was carried out by varying the revolutions from 1,400 rpm to 3,500 rpm. Losses of power and torque when reaching 3,500 represent 1.21%; on the other hand, the performance from 1700 rpm to 3200 rpm surpasses the diesel data by 2%. Fuel consumption increases when using biofuel.

Amaris *et al.* (2015) stated that the use of biodiesel allows better lubrication which reduces the amount of metal and carbon particles in the oil. That makes it possible to increase the useful life of the engine. Those manufactured

nocer la composición de ácidos grasos de diferentes ecotipos y poder seleccionar plantas con un alto porcentaje de ácido oleico y linoleico. Es necesario señalar que los indicadores de índice de yodo, índice de peróxido y acidez del aceite, repercuten en las propiedades del biocombustible (Lizarde *et al.*, 2015).

La obtención del aceite no es el proceso final de la cadena productiva del biodiesel. Esto se debe a la alta viscosidad presente en los aceites vegetales que imposibilita su uso eficiente en los motores. Para su disminución se utilizan cuatro técnicas: la disolución, microemulsificación, pirolisis y transesterificación. Esta última es la más utilizada en la obtención del biodiesel (García *et al.*, 2018).

La transesterificación puede ocurrir por tres rutas catalíticas diferentes: homogénea, heterogénea y supercrítica y se realiza mediante la utilización de catalizadores. Una molécula de un triglicérido reacciona con tres moléculas de metanol o etanol, para dar lugar a tres moléculas de monoésteres y una de glicerol (Morales, 2017). Antes de este proceso se requiere hacer una esterificación según Rodríguez *et al.* (2018), generalmente utilizando como catalizador el ácido sulfúrico y posteriormente se realiza neutralización con carbonato de sodio. El biodiesel derivado presenta otros componentes como glicerol, agua y alcoholes. Por este motivo, se requiere realizar purificación en diversos equipos, con el empleo de agentes externos o energía. El proceso de obtención descrito anteriormente constituye el proceso de catálisis homogénea (Gómez *et al.*, 2019).

El biodiesel se puede utilizar en MCI debido a sus similitudes con el diésel. Las principales características a tener en cuenta son la viscosidad y la densidad. Según García *et al.* (2018), la viscosidad tiene una influencia directa sobre el proceso de inyección y atomización del combustible. El incremento en su valor provoca, en principio, mayores esfuerzos mecánicos sobre los componentes del sistema de alimentación. Se presenta disminución del rendimiento en la atomización y disminución en el ángulo del cono formado por el chorro de combustible inyectado. Además de un aumento en la velocidad del chorro al salir de la tobera del inyector, lo que provoca incremento en la penetración de este. En el caso de la densidad del biodiesel existe siempre un aumento en el valor de esta propiedad. Esto provoca una disminución en el poder calorífico respecto al diésel y una disminución en la salida de potencia y el torque (Riba *et al.*, 2010).

Amaris *et al.* (2015) reportaron que al utilizar biodiesel existe pérdida de potencia del 15% y aumento del consumo específico, debido al menor poder calorífico del biodiesel respecto al combustible tradicional. Al utilizar mezclas B20 (20% de biodiesel y 80% de diésel) o mayores concentraciones se puede apreciar las pérdidas de este parámetro. A menos porcentaje de biodiesel el funcionamiento del motor es similar que el del diésel puro con pérdidas mínimas. Arboleda (2018) coincide que existe pérdida de potencia, aunque sus resultados se obtuvieron con B10 (10% biodiesel +90 diésel). El experimento se realizó variando las revoluciones de 1 400 rpm a 3 500 rpm. Las pérdidas de potencia y torque al llegar a 3 500 representan 1,21%; en cambio el rendimiento desde 1700 rpm hasta 3200 rpm sobrepasa los datos del diésel en 2%. El consumo de combustible aumenta al usar biocombustible.

Amaris *et al.* (2015) plantean que el uso del biodiesel permite una mejor lubricación lo cual reduce la cantidad de partículas de metal y carbón en el aceite. Posibilita el aumento de la vida útil del motor. Los fabricados en 1994 o años anteriores presentan ciertos

in 1994 or earlier have certain types of elastomers and natural rubber compounds in hoses and fuel pump sealing systems which tend to degrade and soften when using biodiesel. At present, Cuba owns tractors mainly from the former USSR (Suárez & Ríos, 2019). Many of them would require the replacement of these pipes by elastomers more compatible with biodiesel. When studying the tensile strength, elongation and hardness of some elastomers, Amaris *et al.* (2015) recommends the use of Teflon and Viton A 401C, Viton GFLT.

The European Biodiesel Commission states that its use allows the reduction between 65% and 95% of carbon dioxide emissions compared to petrodiesel. The reduction of emissions of fine particles and pollutants such as carbon monoxide, sulfur dioxide and nitrogen oxides is pointed out (Alcalá *et al.*, 2018).

Use of Biodiesel Obtained from *Jatropha curcas*

Among the most studied plants in the production of biodiesel is the *Jatropha curcas*, known for growing in tropical and semi-tropical climates. It can reach heights of 1 to 8 m in sandy soils and has high resistance to drought (Avila *et al.*, 2018)). It has great potential in the production of biodiesel due to its oil content (30% to 40%), whose chemical composition is close to 21% saturated fatty acids and 77% unsaturated (Guevara *et al.*, 2016).

Jatropha curcas is found throughout the island of Cuba and Isla de la Juventud, although its greatest concentration is in the eastern provinces. It has as additional advantages that it is used as living fences and for the production of handmade soaps and glycerin. It is characterized by its rapid growth and by the oil content in the seeds; in addition, it allows sowing with intercropping without affecting its yield. In Brazil, yields of 2.3 t / ha have been reported in arid conditions and without irrigation, while with good water availability approximately 5 t / ha can be obtained (Noda & Martín, 2018).

In the province of Santiago de Cuba, there is a pilot plant for the production of biodiesel from *Jatropha curcas*. To obtain it, the beneficiation, extraction, filtering, degumming and neutralization scheme was defined. Shelling and pressing generate 528 liters of oil daily. This is converted into biodiesel through a transesterification process with a BD JET 400 reactor. A volume of 400 L of biodiesel is produced per day in an eight-hour period, using anhydrous ethanol and potassium hydroxide as catalysts. As a result, 105 600 L of biodiesel and 13.5 t of glycerol are obtained annually (Suárez & Ríos, 2019)

It must be taken into account that the biodiesel used is obtained through transesterification. This is synthesized with a high content of unsaturated fatty acids present in *Jatropha curcas*. It leads to being more susceptible to oxidation, due to modifications in the cetane number, flash point and lubrication characteristics. Over the years, modifications have been made to the design of engines, and emissions and fuel consumption have been significantly reduced. However, it is difficult to obtain the required emission standards solely through engine design.

tipos de elastómeros y compuestos de caucho natural. Usados en mangueras y sistemas de sellado de bombas de combustible, al utilizar biodiesel tienden a degradar y ablandarse. Cuba actualmente posee tractores procedentes fundamentalmente de la desaparecida URSS (Suárez y Ríos, 2019). Muchos de ellos requerirían la sustitución de estos conductos por elastómeros más compatibles con el biodiesel. Al estudiar sobre la resistencia a la tensión, elongación y dureza de algunos elastómeros Amaris *et al.* (2015) recomienda el uso de Teflón y Viton A 401C, Viton GFLT.

La Comisión Europea de Biodiesel plantea que su utilización permite la reducción entre 65 % y 95 % de emisiones de anhídrido carbónico respecto al petrodiesel. Se señala la reducción de emisiones de partículas finas y de contaminantes como el monóxido de carbono, el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno (Alcalá *et al.*, 2018).

Utilización del biodiesel obtenido de *Jatropha Curcas*

Entre las plantas más estudiadas en la obtención de biodiesel se encuentra la *Jatropha Curcas*, conocida por crecer en climas tropicales y semi-tropicales. Puede llegar a alcanzar alturas de 1 a 8 m en suelos arenosos y presenta elevada resistencia a la sequía (Avila *et al.*, 2018). Posee gran potencial en la producción de biodiesel debido a su contenido de aceite (30 % a 40 %). Los mismos presentan una composición química que se aproxima al 21 % de ácidos grasos saturados y 77 % de insaturados (Guevara *et al.*, 2016).

La *Jatropha Curcas* se encuentra distribuida por toda la isla de Cuba e Isla de la Juventud, aunque su mayor concentración es en las provincias orientales. Tiene como ventajas adicionales que se emplea como cercas vivas y para la producción de jabones artesanales y glicerina. Se caracteriza por su rápido crecimiento y por el contenido de aceite en las semillas, además, posibilita la siembra con cultivos intercalados sin afectar su rendimiento. En Brasil se han reportado rendimientos de 2,3 t/ha en condiciones áridas y sin riego, mientras que con buena disponibilidad de agua se puede obtener aproximadamente 5 t/ha (Noda y Martín, 2018).

En la provincia de Santiago de Cuba existe una planta piloto para la producción de biodiesel a partir de *Jatropha Curcas*. Para su obtención se definió el esquema de beneficio, extracción, filtrado, desgomado y neutralizado. El descascarado y prensado generan, diariamente 528 litros de aceite. Este se convierte en biodiesel mediante un proceso de transesterificación con un reactor BD JET 400. Se producen 400 L de biodiesel/día en un turno de ocho horas, al utilizar como catalizadores etanol anhidro e hidróxido de potasio. Como resultado se obtienen anualmente 105 600 L de biodiesel y 13,5 t de glicerol (Suárez *et al.*, 2011).

Hay que tener en cuenta que el biodiesel utilizado se obtiene a través de la transesterificación. Este se sintetiza con un alto contenido de ácidos grasos insaturados presentes en la *Jatropha Curcas*. Conlleva a ser más susceptible a la oxidación, debido a modificaciones en el número de cetano, punto de inflamabilidad y características de lubricación. Con el transcurso de los años se han realizado modificaciones en el diseño de los motores y se ha logrado reducir significativamente las emisiones y el consumo de combustible. No obstante, es difícil obtener los estándares de emisión requeridos únicamente a través del diseño del

One of the options to obtain greater durability, improvements in the indicators and lower emissions is the use of antioxidant additives (Rocha *et al.*, 2019).

Piloto *et al.* (2018) reports the viscosity and density of the *Jatropha curcas* biodiesel produced in Cuba (Table 1). The biodiesel analyzed is within the range established by the standards (ASTM D6751 and EN 14214). In them it is stated that the dynamic viscosity should be < 6 mPa·s, while the density between 860 and 900 kg / m³. It also meets the kinematic viscosity standard (ASTM D 6751-07, 2009).

motor. Una de las opciones para obtener una mayor durabilidad, mejoramientos de los indicadores y menores emisiones es la utilización de aditivos antioxidantes (Rocha *et al.*, 2019).

Piloto *et al.* (2018) reporta la viscosidad y densidad del biodiesel de *Jatropha Curcas* producido en Cuba (Tabla 1). El biodiesel analizado se encuentra en el intervalo que establecen las normas ASTM D 6751-07 (2009). En ellas se plantea que la viscosidad dinámica debe estar por debajo de 6 mPa·s, mientras que la densidad entre 860 y 900 kg/m³. Además cumple con la norma de viscosidad cinemática (ASTM D 6751-07, 2009).

TABLE 1. Viscosity and density values for fuels (Piloto, 2018)
TABLA 1. Valores de viscosidad y densidad para los combustibles (Piloto *et al.*, 2018)

Fuel	Dynamic viscosity n (mPa·s) a 40°C	Density (kg/m ³) a 15°C
Diesel	4-5	850,5
Biodiesel	6	870,1

Piloto *et al.* (2013) used a Lister Petter single cylinder engine to evaluate blends B0 (pure diesel), B10 (10% biodiesel and 90% diesel) and B20 (20% biodiesel and 80% diesel) of biodiesel extracted from *Jatropha curcas*. The author found that, with the increase of the biodiesel content in the mixture, the specific fuel consumption increased. In addition, a decrease in effective torque is obtained as the percentage of oil increases, which can be caused by the lower caloric power of biodiesel. Regarding power, it showed a similar behavior to effective torque, probably due to the fact that their relationship is directly proportional.

In turn, Rodríguez *et al.* (2018) found that specific and hourly consumptions increase with increasing effective power and revolutions per minute. It should be noted that the experiment is carried out with mixtures of B0 and B100. This shows that pure diesel has better specific and hourly consumption performance, which coincides with the results shown by Piloto *et al.* (2013)

On the other hand, Tobío *et al.* (2018) evaluated different mixtures of biodiesel extracted from *Jatropha curcas* in banks of diesel engines, for their later use in agricultural transportation in Cuba. First, he studied a Lister Petter engine of two cylinders with direct injection and 1 800 rpm of rotation frequency, formed by an electric motor-generator joint. The mixtures used were B0, B5, B10, B15, B20. In this study, a constant frequency of 1800 rpm was used and the load was varied (1.5, 2.5, 3.75 and 5 kW). In contrast to what was found by Piloto *et al.* (2013), in this research, the mixtures did not show significant differences in specific fuel consumption. Tobío (2018), also evaluated a single cylinder Lister Petter direct injection engine of 0.659 L cylinder capacity and water cooling. The load was kept at 78 Nm and the rotation frequency was varied between 1,300 and 1,700 rpm. The tests were carried out with B100 fuel and pure diesel. A slight increase in maximum pressure in the combustion chamber was observed when using B100. This is possibly due to a higher speed in the combustion process and a slight increase in its efficiency. In addition, it should be noted that as biodiesel contains a higher cetane number than

Piloto *et al.* (2013) utilizó un motor monocilíndrico Lister Petter para evaluar mezclas B0 (diésel puro), B10 (10% de biodiesel y 90% de diésel) y B20 (20% de biodiesel y 80% de diésel) de biodiesel extraído de *Jatropha Curcas*. El autor encontró que, con el incremento del contenido de biodiesel en la mezcla, aumentó el consumo específico de combustible. Además, se obtiene disminución del torque efectivo a medida que aumenta el porcentaje de aceite, lo que puede ocasionarse por el menor poder calórico del biodiesel. En cuanto a la potencia, la misma mostró un comportamiento similar al torque efectivo, debido probablemente, a que su relación es directamente proporcional.

A su vez, Rodríguez *et al.* (2018) obtuvieron que los consumos, específico y horario, aumentan al incrementar la potencia efectiva y las revoluciones por minutos. Hay que resaltar que el experimento se realiza con mezclas de B0 y B100. Ello demuestra que el diésel puro presenta mejor rendimiento de consumos específico y horario, lo que coincide que los resultados mostrados por Piloto *et al.* (2013).

Por otra parte, Tobío *et al.* (2018) evaluó diferentes mezclas del biodiesel extraído de *Jatropha Curcas* en bancos de motores diésel, para su posterior uso en el transporte agrícola en Cuba. Primeramente, estudió un motor Lister Petter, de dos cilindros con inyección directa y 1 800 rpm de frecuencia de rotación formado por una unión motor-generator eléctrico. Las mezclas usadas fueron B0, B5, B10, B15, B20. En este estudio se utilizó una frecuencia constante de 1 800 rpm y se varió la carga (1,5; 2,5; 3,75 y 5 kW). En contraposición con lo encontrado por Piloto *et al.* (2013), en esta investigación, las mezclas no mostraron diferencias significativas en el consumo específico de combustible. Piloto *et al.* (2013), en esta investigación, las mezclas no mostraron diferencias significativas en el consumo específico de combust, también evaluó un motor monocilíndrico Lister Petter de inyección directa, cilindro de 0,659 L de capacidad y enfriamiento por agua. Se mantuvo la carga a 78 Nm y se varió la frecuencia de rotación entre 1 300 y 1 700 rpm. Las pruebas se realizaron con combustible B100 y diésel puro. Se observó un ligero aumento en la presión máxima, en la cámara de combustión, al emplearse B100. Esto se debe, posiblemente, a una mayor velocidad en el proceso de combustión y ligero incremento en su eficiencia. Además, hay que señalar que

diesel, the ignition delay time is shortened, which provokes the earliest start of combustion Piloto *et al.* (2018). Injection pressure, in the case of biodiesel, increases due to its lower compressibility and faster spread of the fluid through the injector, because the viscosity enables the reduction of leakage in the injection system, by generating greater pressure.

In agriculture, when carrying out different activities, engine consumption varies due to the particularities of each one. Their behavior for transportation and agricultural activities is not the same. This is because the power required for the different aggregates differs for each activity. If at higher concentrations of biodiesel, the power decreases, new additives must be sought which, when combined with the mixture, help to counteract the decrease in calorific value. Modifications can also be made, such as varying the injection advance angle into the engine.

Analysis of GHGs Expelled in Combustion

Global warming is one of the most worrying environmental problems today. The use of fossil fuels is one of the main causes of its origin. The combustion carried out by ICMs expels a large amount of GHG into the environment. This is due to the fact that biodiesel contains between 12 and 18 carbon molecules and diesel can reach up to 20 (Dinza *et al.*, 2019). The use of biodiesel as a fuel or additive in engines reduces CO₂ emissions and diesel consumption. Hackenberg (2008) states that, by using pure biodiesel, the CO₂ emissions are reduced by 75% and, by using a mixture with 20% of biodiesel, it is possible to reduce it by 15%. The research by Gaitán *et al.* (2014) reflects that, by increasing the percentage of biodiesel in the mixture, carbon monoxide is reduced. The YD25DDTi four-stroke engine was used, which implies that the highest efficiency is between 1,500-2,500 rpm. For this reason, it is accepted to use the data obtained at 2 000 rpm where a reduction of 71.48% is shown. In addition, an increase in nitrogen oxides is observed, although when comparing pure biodiesel with diesel, a reduction of 9.5ppm is obtained; because, although NO increases, NO₂ decreases. These authors concluded that, although biodiesel increases NO_x production, it is not significant compared to the generation of nitrogen oxide from diesel.

Rocha *et al.* (2019) conducted an experiment related to opacity in diesel engines when using biodiesel. Two vans were used, the first MBT-50 that used blends of B0, B10, B20, B10A and B20A (80% diesel and 20% biodiesel + additive). In this study, opacity of 20% was evidenced in the B10 mixture and 8.8% in that of B20. The latter is the one that reduces this indicator the least with respect to diesel. As for the second van, model GW Wingle, with B20 mix, it is reduced 38% and with B10 the reduction is 34%. This reflects that, for opacity results, when using biodiesel, there is a trend towards improvement.

Piloto *et al.* (2018) carried out an investigation with a single cylinder Lister Petter direct injection engine and mixtures of B0, B5, B10, B15, B20, at 1 800 rpm varying the load (1.5; 2.5; 3.75; 5 kW). The fuel used was Cuban biodiesel with the viscosity and density characteristics described in

al contener el biodiesel mayor número de cetano que el diésel se acorta el tiempo de retardo de la ignición, lo cual trae consigo el comienzo más temprano de la combustión según Piloto *et al.* (2018). La presión de inyección en el caso del biodiesel aumenta por su menor compresibilidad y propagación más rápida del fluido a través del inyector, debido a que la viscosidad posibilita la reducción de fuga en el sistema de inyección, al generar mayor presión.

En la agricultura, al realizar diferentes actividades, el consumo del motor varía debido a las particularidades de cada una. El comportamiento de los mismos para la transportación y las actividades agropecuarias no es el mismo. Esto se debe a que la potencia requerida para los diferentes agregados difiere en cada actividad. Si a mayores concentraciones de biodiesel disminuye la potencia, se deben buscar nuevos aditivos que al unirse con la mezcla ayude a contrarrestar la disminución del poder calorífico. También se pueden realizar modificaciones, como variar el ángulo de avance de la inyección en el motor.

Análisis de los GEI expulsados en la combustión

El calentamiento global es uno de los problemas ambientales que más preocupan en la actualidad. La utilización de combustibles fósiles es una de las principales causas de su origen. La combustión que realizan los MCI expulsa gran cantidad de GEI al medio ambiente. Ello se debe a que el biodiesel contiene entre 12 y 18 moléculas de carbono y el diésel puede llegar hasta 20 (Dinza *et al.*, 2019). El uso del biodiesel como combustible o aditivo en motores disminuye las emisiones de CO₂ y el consumo de diésel. Hackenberg (2008) plantea que al utilizar el biodiesel puro se reduce la emisión de CO₂ en 75% y al usar mezcla con 20% de biodiesel se logra reducir 15%.

La investigación de Gaitán *et al.* (2014) refleja que, al aumentar el porcentaje de biodiesel en la mezcla, se reduce el monóxido de carbono. Se utilizó motor YD25DDTi de cuatro tiempos lo que implica que la mayor eficiencia se encuentra entre 1 500-2 500 rpm. Por esta razón es aceptado utilizar los datos obtenidos a 2 000 rpm donde se muestra reducción de 71,48 %. Además, se observa un aumento de **óxidos** de nitrógeno, aunque al comparar el biodiesel puro con el diésel se obtiene una disminución de 9,5ppm; debido a que, aunque aumenta el NO, disminuye el NO₂. Estos autores concluyeron que, aunque el biodiesel aumenta la producción NO_x, no es significativa comparada con la generación de **óxido de nitrógeno del diésel**.

Rocha *et al.* (2019) realizaron un experimento relacionado con la opacidad en los motores diésel al emplear biodiesel. Se utilizaron dos camionetas, la primera MBT-50 que usó mezclas de B0, B10, B20, B10A y B20A (80 % diésel y 20 % biodiesel+ aditivo). En este estudio, se evidenció una opacidad de 20 % en la mezcla B10 y 8,8 % en la de B20. Esta última es la que menos reduce este indicador con respecto al diésel. En cuanto a la segunda camioneta modelo GW Wingle, con la mezcla B20 se reduce 38 % y con B10 la reducción es del 34 %. Esto refleja que, para los resultados de opacidad, al utilizar biodiesel, existe tendencia a la mejoría.

Piloto *et al.* (2018) realizó una investigación con motor monocilíndrico Lister Petter de inyección directa y mezclas de B0, B5, B10, B15, B20, a 1 800 rpm variando la carga (1,5; 2,5; 3,75; 5 kW). El combustible utilizado fue el biodiesel cubano con las

Table 1. Figure 1 shows the % of CO₂ that is emitted into the atmosphere under these conditions. It can be seen that, increasing the concentration of biodiesel, decreases the amount of CO₂. Furthermore, as the load increases, the % that is ejected is much lower.

By carrying out an exhaustive analysis, it can be determined that the mixture with 20% and a load of 1.25 kW results in a CO₂ reduction of 46%, while when using loads of 5 kW the reduction is 52%. It can be seen that, as the engine load increases, the CO₂ reduction increases. This may be because the oxygen input to the mix is higher. When it is compared with Hackenberg (2008), it can be deduced that when using biodiesel from *Jatropha curcas*, the amount of CO₂ that is no longer emitted into the atmosphere is significant.

características de viscosidad y densidad descritas en la Tabla 1. En la Figura 1 se muestra el % de CO₂ que se emite a la atmósfera bajo estas condiciones. Se puede observar que al aumentar la concentración de biodiesel disminuye la cantidad de CO₂. Además, a medida que la carga se incrementa es mucho menor el % que se expulsa.

Al realizar un análisis exhaustivo se puede determinar que la mezcla con 20 % y carga de 1,25 kW se obtiene reducción de CO₂ del 46 %, mientras que al utilizar cargas de 5 kW la reducción es de 52 %. Se puede observar que, al aumentar la carga de motor, la reducción de CO₂ se incrementa. Esto puede deberse a que es superior la entrada de oxígeno a la mezcla. Si comparamos con Hackenberg (2008) se puede deducir que al utilizar biodiesel de la *Jatropha Curcas* es significativa la cantidad de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera.

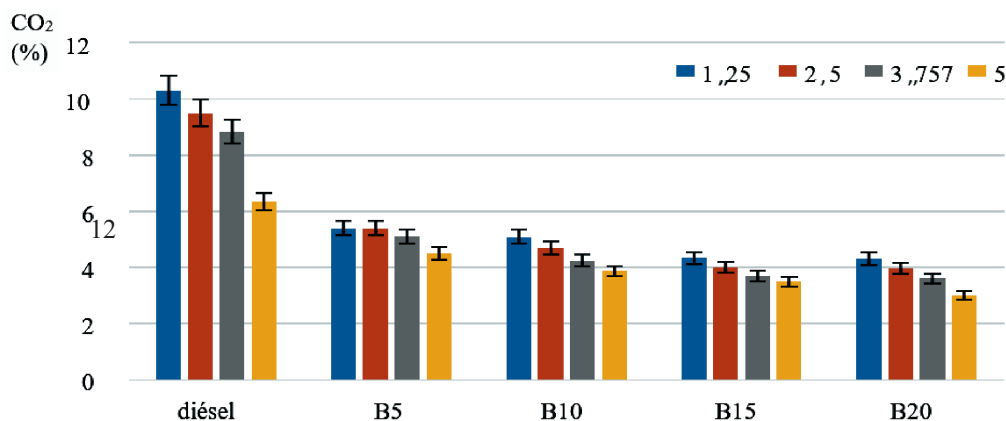


FIGURE 1. CO₂ emissions at 1 800 rpm and with load variations (Piloto, 2018).
 FIGURA 1. Emisiones de CO₂ a 1 800 rpm y con variaciones de carga (piloto 2018).

Jácome (2018) performs a comparative analysis of the soot emissions of an ISUZU 4 JBI 2.8 diesel engine when using biodiesel B10 and Premium diesel. This author performs 5 tests with a rotation speed of 720 rpm, up to 3,000 rpm, leaving it in slow motion for 15 min in order to maintain an ideal working temperature that must exceed 87 ° C. The presence of soot is evidenced by fuel consumption; therefore, an analysis is carried out to know its behavior. A lower consumption is reached when using B10 in an engine working time of 30 min. The measurement is made with the number of hours of work, paper weight in grams, total weight and charcoal weight in grams. The results of this study showed a higher degree of combustion with the use of B10 biodiesel, which benefits the environment with less smoke emission that is produced by unburned HC.

Likewise, Chávez (2018) studied the variation of exhaust gases produced by using Premium diesel and B5 castor biodiesel. The truck used features a Mazda BT 50 CRDi inline 4-cylinder engine. The measurements were made at different heights in the towns of Lita-Imbabura (617 m.a.s.l.), Ambuquí-Imbabura (1677 m.a.s.l.), Ibarra-Imbabura (2207 m.a.s.l.) and Tulcán-Carchi (2953 m.a.s.l.). In 3 hours of work, 10L of Premium diesel and 10 L of biodiesel were used, distributed in the four heights. To warm up the engine, 15 min were required, while for the acquisition of CO, CO₂ and NO_x emissions, 30 min were used. The altitude from 617 to

Jácome (2018) realiza un análisis comparativo de las emisiones de hollín de un motor diésel ISUZU 4 JBI 2.8 al emplearse biodiesel B10 y el diésel Premium. Este autor realiza 5 pruebas con un régimen de giro de 720 rpm, hasta llegar a 3 000 rpm, dejándolo en ralenti durante 15 min con la finalidad de mantener una temperatura idónea de trabajo que debe sobrepasar los 87 ° C. La presencia de hollín se evidencia con el consumo de combustible por lo cual realiza un análisis para conocer su comportamiento. Obtiene un menor consumo al utilizar el B10 en un tiempo de trabajo del motor de 30 min. La medición se realiza con el número de horas de trabajo, peso papel en gramos, peso total y peso de carbonilla en gramos. Los resultados de este estudio evidenciaron mayor grado de combustión con la utilización de biodiesel B10 lo que beneficia el ambiente con menor emisión de humo que se produce por los HC no quemados.

Asimismo, Chávez (2018) realiza investigación sobre la variación de los gases de escape producidos mediante el uso de diésel Premium y biodiesel B5 de higuierilla. La camioneta utilizada presenta un motor de 4 cilindros en línea modelo Mazda BT 50 CRDi. Las mediciones se realizaron a diferente altura en las localidades de Lita-Imbabura (617 msnm), Ambuquí-Imbabura (1677 msnm), Ibarra-Imbabura (2207 msnm) y Tulcán-Carchi (2953 msnm). Se utilizaron 10 L de diésel Premium y 10 L de biodiesel en 3 horas de trabajo, distribuyéndose en las cuatro alturas. Para el calentamiento del motor se requirieron 15 min, mientras que para la adquisición de las emisiones de CO, CO₂ y NO_x se utilizaron 30 min. La altitud de 617 hasta 2 953 msnm se compara con la normativa mexicana y

2 953 m.a.s.l. is compared with the Mexican regulations and the CO reduction of 89.81% and 90.94% was obtained for diesel and biodiesel, respectively. For its part, CO₂ showed a decrease of 55.99% for diesel and 57.70% for B5. In the case of NO₂, a decrease of 83.80% for diesel and 85.33% for biodiesel, were observed, complying the international standard NOM-167-SEMARNAT-2017. Biodiesel B5 allows emissions reduction compared to fossil fuel.

In all the previous investigations there is evidence of GHG reduction. The use of biodiesel in mixtures of B20 or lower concentrations is feasible both in the internal operation of the engine and in the environment. Therefore, it can be said that the use of biodiesel is a viable option for the partial replacement of diesel. It is confirmed that biofuels can be part of the solutions for depletion of fossil fuels. The biodiesel produced from *Jatropha curcas* reduces GHGs by 2.1 tons of CO₂, which represents 70% of the emissions released per ton of diesel. At the same time, a *Jatropha curcas* tree captures 2.5 t of CO₂/ha and releases about 9 kg of O₂/tree (Tobío *et al.*, 2018)

Perspectives at the Institute of Animal Science

Cuba has a total of 6,300,200 hectares of agricultural land. Of them, 2,765,200 ha are cultivated, according to a report by the National Office of Statistics and Information of Cuba (ONEI-Cuba, 2019). Non-cultivated areas can be used for planting crops that are not food resources and do not need agrotechnical care for their growth. This would encourage greater use of renewable energies, would contribute to the decrease of soil erosion and the release of carbon. In this way, there would be no competition with human or animal food. The Institute of Animal Science (ICA) is internationally known for its contributions to animal nutrition and the development of Cuban livestock. It is located in Havana-Matanzas plain, in San José de las Lajas Municipality, Mayabeque Province, Cuba. It has 1 200 ha of total area, which has the research facilities as well as the feed factory, the slaughterhouse and the poultry, pig and cattle units. To achieve the expected results, agricultural activities play a leading role. Sowing, harvesting, forage cutting, water transport are some of them. Figure 2 shows the behavior of diesel fuel allocation for the institute since 2014. Its considerable reduction since 2016 was caused by the restrictions of the blockade imposed on Cuba.

If the average diesel consumption of the institution in the last 6 years is calculated and the results studied above were applied with a mixture of B20, it would represent a saving of 55,206.42 L of diesel. These could be used for tasks that have had to be stopped or reduced due to lack of fuel. It would be a significant contribution to the strategy of the Energy Plan for 2030 whose tasks are to achieve energy self-sufficiency and reduce imports as well as dependence on fossil fuels (Berenguer *et al.*, 2017).

Due to the reduction of fuel, the activities required for the efficient operation of agricultural production were affected.

se obtiene la reducción del CO de 89,81 % y 90,94 % para el diésel y el biodiesel, respectivamente. Por su parte, el CO₂ se comportó con disminución de 55,99 % el diésel y 57,70 % el B5. En el caso de los NO₂ mostraron un descenso de 83,80% para diésel y de 85,33 % para el biodiesel, cumpliéndose con la norma internacional NOM-167-SEMARNAT-2017. El biodiesel B5 permite reducción de las emisiones respecto a la del combustible fósil.

En todas las investigaciones anteriores se evidencia disminución de los GEI. La utilización del biodiesel en mezclas de B20 o menos concentraciones es viable tanto en el funcionamiento interno del motor como el ambiental. Por lo cual se puede decir que la utilización del biodiesel es una opción viable para la sustitución parcial del diésel. Se ratifica que los biocombustibles pueden formar parte de las soluciones para el agotamiento de combustibles fósiles. En el caso específico del biodiesel producido de *Jatropha Curcas* reduce las GEI en 2,1 toneladas de CO₂, que representan un 70 % de las emisiones liberadas por una tonelada de diésel. Al mismo tiempo un árbol de *Jatropha Curcas* capta 2,5 t de CO₂/ha y libera unos 9 kg de O₂/árbol (Tobío *et al.*, 2018).

Perspectivas en el Instituto de Ciencia Animal

Cuba cuenta con un total 6 300 200 ha de superficie agrícola. De estas, 2 765 200 ha están cultivadas, según reporte de la Oficina Nacional de Estadística e Información de Cuba (ONEI-Cuba, 2019). Las superficies no cultivadas pueden utilizarse para la plantación de cultivos que no sean recursos alimenticios y no necesiten atenciones agrotécnicas para su crecimiento. Esto fomentaría mayor uso de las energías renovables, contribuiría a la disminución de la erosión del suelo y la liberación de carbono. De esta forma, no habría competencia con la alimentación humana o animal.

El Instituto de Ciencia Animal (ICA), se conoce internacionalmente por sus aportes en la nutrición animal y el desarrollo de la ganadería cubana. Está ubicado en la llanura Habana- Matanza, en el municipio de San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba. Cuenta con 1 200 ha de superficie total, en las que se encuentra las instalaciones de investigaciones además de la fábrica de pienso, el matadero, las naves de aves, de porcinos y unidades de ganado vacuno. Para alcanzar los resultados esperados las actividades agrícolas realizan un papel protagónico. Entre estas se encuentra la siembra y cosecha, el corte de forraje, transporte de agua, entre otras. La Figura 2 muestra el comportamiento de la asignación de combustible diésel para el instituto a partir del año 2014. Se puede apreciar la reducción considerable a partir del 2016 originada por las restricciones del bloqueo impuesto a Cuba.

Si se calcula el promedio al consumo de diésel de la institución en los últimos 6 años y se aplicaran los resultados estudiados anteriormente con una mezcla del B20, representaría el ahorro de 55 206,42 L de diésel. Estos podrían destinarse a las labores que se han tenido que dejar de implementar o reducir por la carencia del combustible. Sería una significativa contribución a la estrategia del plan energético para el 2030. El mismo tiene como tareas lograr el autoabastecimiento energético, reducir las importaciones y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles (Berenguer *et al.*, 2017).

Debido a la reducción de combustible las actividades requeridas para el funcionamiento eficiente de la producción agrícola se vieron afectadas

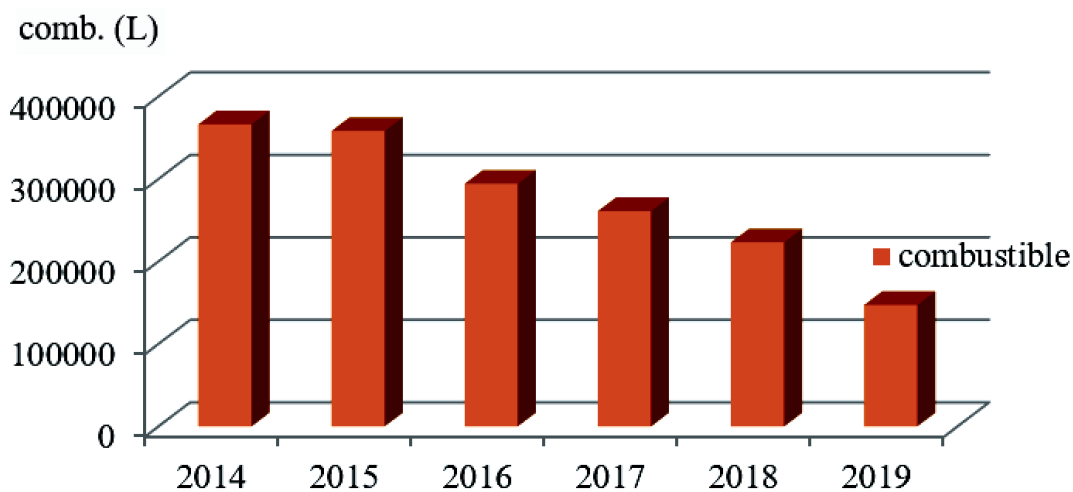


FIGURE 2. Annual behavior of the diesel fuel allocation in the ICA.
 FIGURA 2. Comportamiento anual de la asignación de combustible diésel en el ICA.

If 10 ha were allocated within the ICA areas to sow *Jatropha curcas* for the production of biodiesel, it would contribute to the reduction of diesel consumption and would avoid GHG emissions to a high degree, in addition to capturing 25 t of CO₂ and releasing 22,500 t of O₂ per tree planted. At the institute, species such as *Pennisetum purpureum* and *Moringa oleifera* have been studied with great potential for the production of bioethanol and biodiesel, respectively. The latter is a plant that grows in different soils and in dry conditions with good yields. The oil obtained has a high percentage of oleic acid, close to 70%, much higher than other species evaluated in Cuba. Various results have been reported in the synthesis of biodiesel from this plant (Alcalá *et al.*, 2018). A feasible solution for the ICA could be the production of biodiesel from *Moringa oleifera* to counteract the lack of fuel in the institution. In the case of *Pennisetum purpureum*, ethanol yield reaches 466.91 (L / t DM) due to its high concentrations of cellulose and hemicellulose. It is a fuel that can be mixed with gasoline for later use in the transportation of the center (Cardona *et al.*, 2012).

CONCLUSIONS

- Biodiesel production is a favorable alternative for reducing fossil fuel imports, which depends on the availability of energy crops in each country. In Cuba, it is proposed to obtain it from *Jatropha curcas*, therefore, several investigations have been carried out. It can be used in engines due to the similarity to diesel in its characteristics viscosity and density. Mixtures of less than 20% are recommended for their high environmental impact and the proper performance of the ICM parameters. Its application in agriculture, as the case of ICA is, would contribute to the 2030 Energy Plan, from the sowing of other sources such as *Pennisetum purpureum* and *Moringa oleifera*. Its use in this branch would lead to an increase in agricultural work, making it a feasible economic and environmental solution.

Dentro de las áreas del ICA, si se destinaran 10 ha a la siembra de *Jatropha Curcas* para la producción de biodiesel se contribuiría con la reducción del consumo de diésel y se evitarían en elevado grado las emisiones de GEI. Además de captar 25 t de CO₂ y liberar 22 500 t de O₂ por árbol plantado. En el instituto se han estudiado especies como *Pennisetum Purpureum* y moringa *Moringa oleifera* con gran potencial para la producción de bioetanol y biodiesel respectivamente. Esta última es una planta que crece en diferentes terrenos y en condiciones de secano con buenos rendimientos. El aceite que se obtiene presenta elevado porcentaje de ácido oleico, cercano al 70 %, muy superior a otras especies evaluadas en Cuba. Se han reportado diversos resultados en la síntesis del biodiesel a partir de esta planta (Alcalá *et al.*, 2018). Una solución factible para el ICA podría ser la producción de biodiesel a partir de *Moringa oleifera* para contrarrestar el déficit de combustible en la institución. En el caso del *Pennisetum Purpureum* el rendimiento de etanol alcanza 466,91 (L/t_{MS}) debido a sus grandes concentraciones de celulosa y hemicelulosa. El mismo es un combustible que se puede mezclar con la gasolina para su posterior uso en la transportación del centro (Cardona *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

- La producción de biodiesel es una alternativa favorable para la disminución de las importaciones de combustibles fósiles, lo que depende de la disponibilidad de cultivos energéticos en cada país. En Cuba se propone su obtención a partir de la *Jatropha Curcas*, por lo que se han realizado varias investigaciones. Se puede utilizar en motores debido a las similitudes de sus características de viscosidad y densidad respecto al diésel. Las mezclas inferiores al 20% se recomiendan por su gran impacto medioambiental y el funcionamiento adecuado de los parámetros del MCI. Su aplicación en la agricultura, como es el caso del ICA, contribuiría al plan energético del 2030, a partir de la siembra de otras fuentes como *Pennisetum Purpureum* y *Moringa oleifera*. Su uso en esta rama, propiciaría el aumento de las labores agrícolas por lo que sería una solución factible económica y ambiental.

REFERENCES

- ALCALÁ, G.M.D.; CUJILEMA, Q.M.C.; LEÓN, R.G.; BARYOLO, G.L.; RAMOS, S.L.B.: “Producción enzimática de biodiesel con biomasa lignocelulósica”, *Tecnología Química*, 38(1): 138-152, 2018, ISSN: 2224-6185.
- AMARIS, J.M.; MANRIQUE, D.A.; JARAMILLO, J.E.: “Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. Una revisión”, *Fuentes, el reventón energético*, 13(2): 23-34, 2015, ISSN: 2145-8502.
- ARBOLEDA, G.F.M.: “Evaluación del funcionamiento del motor diésel electrónico con el uso de biodiésel a base de aceite de higuera con mezcla B10”, *Scientific Paper*: 1-11, 2018.
- ASTM D 6751-07: “Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels”, En: *ASTM D6751: American Society for Testing Materials American Society for Testing Materials*, Ed. ASTM D6751: American Society for Testing Materials American Society for Testing Materials, 2009, DOI: <https://dx.doi.org/10.1520/D6751-07B>.
- AVILA, S.E.; GARCÍA, S.J.A.; VALTIERRA, P.E.; GARCÍA, M.R.; HOYOS, F.G.: “Producción de biodiesel derivado de la Jatropha: un estudio de competitividad en el estado de Chiapas, México”, *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4): 461-468, 2018, ISSN: 0187-7380.
- BERENQUER, U.M.R.; HERNÁNDEZ, R.N.R.; DE LOS ANGELES, R.G.M.; ESTRADA, H.J.A.: “Consideraciones sobre los factores que limitan la gestión de la eficiencia energética en las organizaciones de Santiago de Cuba”, *Santiago*, (143): 299-316, 2017, ISSN: 2227-6513.
- BERNAL, R.; MARTÍNEZ, L.; JIMÉNEZ, J.: “Biocombustibles, ambiente y sociedad. Una mirada desde la perspectiva bioética”, *Revista infociencia*, 19(4): 1-12, 2015, ISSN: 1029-5186.
- BRITTON, A.E.L.; VEGA, J.J.M.; LOMBANA, J.: “Alternativas productivas para la industria de biodiésel en Colombia”, *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 13(24): 135-148, 2017, ISSN: 1900-5016.
- CANDO, S.; FERNÁNDEZ, R.; CANDO, K.: “Los biocombustibles: análisis de los cultivos energéticos y la biomasa lignocelulósica”, *Revista Universidad, Ciencia y Tecnología*, 3(3): 132-134, 2019, ISSN: 1316-4821.
- CARDONA, M.E.; RIOS, A.L.; PEÑA, D.J.: “Disponibilidad de variedades de pastos y forrajes como potenciales materiales lignocelulósicos para la producción de bioetanol en Colombia”, *Información tecnológica*, 23(6): 87-96, 2012, ISSN: 0718-0764, DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000600010>.
- CHÁVEZ, C.C.E.: *Identificación de las emisiones de gases de escape en motores diésel con normativa euro 3 a diferentes alturas sobre el nivel del mar, [en línea]*, Repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr, 2018, Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8609>.
- CUTY, E.D.; MEJÍA, A.D.: “Influencia del biodiesel de aceite de fritura usado, sobre las emisiones: índice de opacidad”, *Tecnura*: 23(59): 60-67, 2019, ISSN: 0123-921X, e-ISSN: 2248-7638, DOI: <https://dx.doi.org/10.14483/22487638.13722>.
- DINZA, D. de las M.; ARIAS, R.; ALFARO, C.E.; SILVEIRA, Y.; MENADIER, R.O.; SOTO, K. de la C.: “Evaluación de una mezcla aceite de jatropha-diésel bajo la acción de un campo magnético”, *Ingeniería Energética*, 41(1): 1-10, 2019, ISSN: 1815-5901.
- GAITÁN, H.J.; RUANO, Z.G.; ROSSI, C.: “Emisión de gases en vehículos experimentales diesel-biodiesel”, *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, (27): 64-67, 2014, ISSN: 2224-5545.
- GARCÍA, M.S.A.; SÁNCHEZ, A.E.; LABRADA, V.B.; LAFARGUE, P.F.; DÍAZ, V.M.: “Cinética de la reacción de transesterificación para la producción de biodiesel a partir del aceite de Jatropha curcas L., en la provincia de Manabí, Ecuador”, *Tecnología Química*, 38(2): 281-297, 2018, ISSN: 2224-6185.
- GÓMEZ, F.I.; GUTIÉRREZ, C.; HERNÁNDEZ, S.; CONDE, C.; LÓPEZ, A.; MORALES, R.: “Producción de biocombustibles en México. Parte 2. Procesos de producción y áreas de oportunidad”, *Digital Ciencia @UAQRO*, 12(2): 51-60, 2019, ISSN: 2395-8847.
- GONZALES, M.A.: “Análisis de Sostenibilidad Ambiental basada en un Modelo Físico”, *Rev. de Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM*, 22(43): 143-150, 2019, ISSN: 1561-0888.
- GUEVARA, P.; NIÑO, N.; DE-JESÚS, Y.A.; SÁNCHEZ, G.: “Jatropha sotoi-nunyezii y Jatropha curcas, especies de Tamulipapas: una comparación desde la perspectiva de los biocombustibles”, *Bioteologías y Ciencias Agropecuarias*, 2(1): 91-100, 2016, ISSN: 2007-7521.
- HACKENBERG, N.: “Biocombustible de segunda generación”, *Revista Virtual REDESMA, Centro Boliviano de Estudios Multidisciplinarios (CEBEM)*, 2(2): 49-61, 2008, ISSN: 1995-1078.
- JÁCOME, S.W.A.: *Análisis de la producción de carbonilla en la cámara de combustión de un motor diésel Isuzu 4JB1 2.8, con el uso de diésel Pemium y iodiesel a base de higuera B10, [en línea]*, Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte (UTN), Ecuador, 2018, Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8096>.
- LIZARDE, A.N.; ALCARAZ, M.L.; ESCALANTE, A.M.Á.; REYNOSO, G.T.; ORTEGA, N.M.: “Propiedades fisicoquímicas del aceite de semillas de Jatropha curcas de poblaciones silvestres en México”, *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(1): 127-137, 2015, ISSN: 0370-4661.
- MONTERO, G.; JARAMILLO, B.E.; VÁZQUEZ, A.M.; CORONADO, M.A.; GARCÍA, C.; TOSCANO, L.: “Experiencias de aprovechamiento de residuos para la generación de biodiesel en Colombia y México”, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2): 77-90, 2016, ISSN: 0188-4999, DOI: <https://dx.doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.06>.

- MORALES, M.M.: *Compuestos orgánicos, salud y medio ambiente*, Ed. Ciencias-Técnicas, La Habana, Cuba, 2017, ISBN: 978-959-05-0895. 58-59.
- MORELOS, J.: “Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina”, *Estudios Gerenciales*, 32(138): 120-126, 2016, ISSN: 0123-5923, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.estger.2016.06.002>.
- NODA, L.Y.; MARTÍN, M.G.J.: “Efecto de la densidad de siembra en caracteres morfoproductivos de *Jatropha curcas* intercalada con cultivos alimenticios”, *Pastos y Forrajes*, 41(2): 97-105, 2018, ISSN: 0864-0394, e- ISSN: 2078-8452.
- ONEI-CUBA: *Anuario Estadístico de Cuba. 2019, [en línea]*, Inst. Organización Nacional de Estadísticas e Información (ONEI), La Habana, Cuba, 2019, *Disponible en: <http://www.onei.gob.cu/node/13608>*.
- PILOTO, R.; AHMED, E.; SOTOLONGO, J.A.; SUAREZ, J.: “Resultados de pruebas de banco de biodiesel cubano”, [en línea], En: *Segunda Conferencia Internacional Energía, Innovación y Cambio Climático, Segunda Conferencia Internacional Energía, Innovación y Cambio Climático*, La Habana, Cuba, 2018, *Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/323701163_Resultados_de_pruebas_de_banco_de_motores_a_biodiesel_cubano_Results_of_engine_test_benches_to_cuban_biodiesel*.
- PILOTO, R.; SIENEN, R.; VERHELST, S.; FERRER FRONTELA, N.: “Caracterización de un motor diésel trabajando con mezclas de aceite de *Jatropha* y combustible diésel”, *Revista Ingeniería Energética*, 34(3): 198-207, 2013, ISSN: 1815 – 5901.
- RAMOS, F.D.; DÍAZ, M.S.; VILLAR, M.A.: “Biocombustibles”, *Ciencia hoy*, 25(147): 69-73, 2016, ISSN: 1666-5171.
- RIBA, J.R.; ESTEBAN, B.; BAQUERO, G.; PUIG, R.; RIUS, A.: “Characterization of physical properties of vegetable oils to be used as fuel in diesel engines”, *Afinidad*, 67(546): 100-106, 2010, ISSN: 0001-9704, DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.018>.
- ROCHA, H.J.C.; LLANES, C.E.A.; CELI, O.S.F.; PERALTA, Z.D.C.: “Efecto de la Adición de Biodiésel en el Rendimiento y la Opacidad de un Motor Diésel”, *Información tecnológica*, 30(3): 137-146, 2019, ISSN: 0718-0764, DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300137>.
- RODRÍGUEZ, P.A.; HERNÁNDEZ, A.; MELO, E.A.; ZUMALACÁRREGUI DE CÁRDENAS, L.M.; PÉREZ, O.; PÉREZ, L.; PILOTO, R.: “Caracterización del biodiesel obtenido del aceite de *Jatropha curcas* L.”, *Afinidad LXXV*, 75(581): 45-51, 2018, ISSN: 2339-9686.
- ROSAS, B.A.; AGUILAR, O.A.; CORNEJO, C.I.; RIZO, F.Z.; CÓRDOVA, de la C.S.E.; RAMOS, F.L.G.; ESPARZA, J. de J.C.: “Análisis de las cadenas de suministro de bio-etanol y biodiesel en México: Estudio de caso”, *Nova scientia*, 10(20): 13-29, 2018, ISSN: 2007-0705.
- SERRANO, S.; CHARRIS, I.: “El papel de los hongos degradadores de celulosa presente en el bagazo de caña de azúcar como alternativa industrial en la producción de bioetanol de segunda generación”, *Microciencia Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7(2): 45-55, 2018, ISSN: 2323-0320.
- SUÁREZ, J.; MARTÍN, G.; SOTOLONGO, J.; RODRÍGUEZ, E.; SAVRAN, V.; CEPERO, L.; FUNES, M.F.; RIVERO, J.L.; BLANCO, D.; MACHADO, R.: “Experiencias del proyecto BIOMAS-CUBA. Alternativas energéticas a partir de la biomasa en el medio rural cubano”, *Pastos y Forrajes*, 34(4): 473-496, 2011, ISSN: 0864-0394.
- SUÁREZ, L.J.; RÍOS, H.A.: “Diagnóstico sobre la existencia y utilización de la maquinaria agrícola en Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 9(4): 69-77, 2019, ISSN: 2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- SUBÍA, S.; RUBIO, J.: “Evaluación de biomasa de microalgas de la laguna Limoncocha como materia prima para la obtención de biocombustibles”, *Enfoque UTE*, 9(2): 106-116, 2018, ISSN: 1390-9363, e-ISSN: 1390-6542.
- TOBÍO, P.I.; MELO, E.E.A.; SUÁREZ, H.J.; PILOTO, R.R.: “Evaluación de mezclas de biodiésel de *Jatropha curcas* (L.) en bancos de motores diésel”, *Pastos y Forrajes*, 41(4): 300-309, 2018, ISSN: 0864-0394.
- VALDÉS, R.O.A.; PALACIOS, W.O.M.: “Evolución y situación actual de plantaciones para biocombustibles: perspectivas y retos para México”, *Agroproductividad*, 9(2): 33-41, 2016, ISSN: 2448-7546.
- VARGAS, J.G.: “Panorama Del Emprendimiento De Empresas De Biodiesel En Mexico, Perspectiva Basada En Las Instituciones”, *Gas e Energia*, ser. Revista Brasileira de Direito do Petróleo, 5(1): 162-170, 2018, ISSN: 2317- 5583.

Saray Díaz-Barrios, Inv., Instituto de Ciencia Animal (ICA), Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: sdiaz@ica.co.cu

Osney G. Pérez-Acosta, Inv., Instituto de Ciencia Animal (ICA), Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: operez@ica.co.cu

The authors of this work declare that they have no conflict of interest.

This article is subject to the Creative Commons 4.0 International Attribution-Non-Commercial License (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.