

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Evaluación de la producción de biodiesel obtenido a partir del aceite de semillas de tres especies de palmas (*Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira*).

Disertación previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencias Biológicas

DANIELA VALENCIA ARGÜELLO

Quito, 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Disertación de Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Srta. Daniela Valencia Argüello ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente

Dr. Javier Carvajal
Director de la Disertación
Quito, 20 de noviembre de 2018

A mi madre, por su fuerza y amor siempre

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a profundamente a mi familia, principalmente mi mamá Elena por ser mi ejemplo de fuerza, lucha y trabajo a lo largo de mi vida, por ser mi apoyo y siempre estar ahí para mí. A mi papá Galo por su cariño y cuidado, a mi hermana Amaranta por su ejemplo y apoyo, a mi hermana Manuela por ser mi motor y darle alegría y luz a mis días, a María Iliana por su cariño infinito y en especial a mi hermano Alejandro que en mi corazón vive, crece y me da fuerza para seguir.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por ser mi lugar de aprendizaje durante todos estos años. A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y a todos los profesores que a lo largo de la carrera han aportado a mi crecimiento profesional y personal.

A mi director Javier Carvajal, por permitirme ser parte de su equipo de trabajo en el CNIB por la confianza depositada en mí, por su apoyo y guía durante este proceso de tesis. A mis lectores Patricia Portero y Santiago Ampudia, por su amabilidad, sus consejos y guía que fueron esenciales en la culminación de este trabajo.

Al equipo del CNIB: Juan Fer, Lucho, Rena, Jenny y en especial a Berni por su disposición a ayudar siempre y su apoyo en todo el proceso de este trabajo de disertación.

A mis amigos y casi hermanos Gaby y Miguel, por la palabra de aliento en el momento justo, su apoyo, su cariño y amistad durante tantos años. A Fla, Emi, y Mimi por su apoyo y amor incondicional en esta y en todas las etapas de mi vida. Por último quiero agradecer profundamente a mis compañeros en este viaje con mil subidas y bajadas durante estos cinco años, Heisel, Carli y Mateo, gracias por los consejos, los abrazos, las risas y sobre todo por no permitirme desfallecer ante ninguna dificultad.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
TABLA DE CONTENIDOS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABLAS.....	IX
LISTA DE ANEXOS.....	X
1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
3.1.COMBUSTIBLES FÓSILES.....	3
3.2.ENERGÍAS RENOVABLES.....	4
3.3.BIODIESEL.....	5
3.4. PALMAS EN EL ECUADOR.....	8
3.4.1. <i>PHOENIX CANARIENSIS</i> , <i>ELAEIS GUINEENSIS</i> Y <i>ASTROCARYUM CHAMBIRA</i> COMO RECURSOS PARA BIODIESEL.....	8
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
4.1. RECOLECCIÓN DE SEMILLAS.....	12
4.2.BLANQUEAMIENTO Y LIMPIEZA DE SEMILLAS.....	12
4.3.MOLIENDA DE SEMILLAS.....	13
4.4. EXTRACCIÓN DE ACEITE.....	13
4.5.DESTILACIÓN	13
4.6.ELABORACIÓN DE BIODIESEL.....	14
4.6.1. REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	14
4.6.2. DECANTACIÓN Y LAVADOS.....	15
4.7.ANÁLISIS DEL BIODIESEL OBTENIDO.....	15
4.7.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA.....	15
4.7.1.1. DENSIDAD.....	15
4.7.1.2. VISCOSIDAD.....	16
4.7.1.3. CALORIMETRÍA.....	16

4.7.2. ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE UNIVERSOS.....	17
5. RESULTADOS.....	19
5.1.ELABORACIÓN BIODIESEL.....	19
5.2.DENSIDAD.....	19
5.3.VISCOSIDAD.....	21
5.4. PODER CALORÍFICO.....	22
5.5.ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE UNIVERSOS.....	22
6. DISCUSIÓN.....	26
6.1.OBTENICIÓN DEL BIODIESEL.....	26
6.2.CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS.....	26
6.3.PODER CALORÍFICO.....	28
6.4.CANTIDAD DE GRASA EN LA SEMILLAS Y COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL BODIESEL	28
6.5.ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE UNVIERSOS.....	31
7. CONCLUSIONES.....	34
8. RECOMENDACIONES.....	35
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
10. FIGURAS.....	42
11. TABLAS.....	44
12. ANEXOS.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aceite obtenido de cada semilla.

Figura 2. Biodiesel obtenido de cada semilla.

Figura 3. Análisis de la sinergia mediante gráfico radial con marcadores

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Peso de 10mL. de las tres muestras de biodiesel analizadas.

Tabla 2. Valores de densidad de las tres muestras de biodiesel analizadas.

Tabla 3. Valores de viscosidad para las tres muestras de biodiesel.

Tabla 4. Valores de poder calorífico superior (o bruto) para *Elaeis guineensis*, *Astrocaryum chambira*, *Phoenix canariensis* y *Phoenix canariensis*.

Tabla 5. Comparación de parámetros estudiados en el biodiesel de las tres especies de palmas.

Tabla 6. Dimensiones: características de Biodiesel. Cada nivel tiene un parámetro de medición determinado y delimitado.

Tabla 7. Comparación de los valores para cada uno de los parámetros de cada muestra junto con el valor de sinergia y el valor normalizado de este último.

Tabla A. Datos del tiempo que demora el agua en recorrer el viscosímetro a tres temperaturas (10°, 20°, 30°).

Tabla B Valores del tiempo que demora la muestra de biodiesel *Elaeis guineensis* en recorrer el viscosímetro a tres temperaturas (10°, 20°, 30°).

Tabla C. Valores del tiempo que demora la muestra de biodiesel *Astrocaryum chambira* en recorrer el viscosímetro a tres temperaturas (10°, 20°, 30°).

Tabla D. Valores del tiempo que demora la muestra de biodiesel *Phoenix canariensis* en recorrer el viscosímetro a tres temperaturas (10°, 20°, 30°).

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Producción de biodiesel (en millones de galones) en Estados Unidos desde el año 2006 hasta el 2016.

Anexo 2. Producción global de biodiesel al año.

Anexo 3. Países que han implementado mandatos con el fin de aumentar el consumo de biocombustibles (en verde) y países que tienen como objetivo la transición a este tipo de energía (morado).

Anexo 4. Principales fuentes vegetales utilizadas para la producción de biodiesel a nivel mundial.

Anexo 5. Viscosímetro de Oswald.

Anexo 6. Valores de viscosidad del agua a diferentes temperaturas.

Anexo 7. Informe de la Universidad Central con los resultados del poder calorífico para *Phoenix canariensis*.

Anexo 8. Informe de la Universidad Central con los resultados del poder calorífico para *Astrocaryum chambira*

Anexo 9. Informe de la Universidad Central con los resultados del poder calorífico para *Elaeis guineensis*.

Anexo 10. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de *Elaeis guineensis*.

Anexo 11. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de *Astrocaryum chambira*

Anexo 12. Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de *Phoenix canariensis*.

Anexo 13. Contenido de ácidos grasos en *Elaeis guineensis*

Anexo 14. Contenido de ácidos grasos en *Astrocaryum chambira*

Anexo 15. Contenido de ácidos grass en *Phoenix canariensis*

1. RESUMEN

En este estudio se analizó el biodiesel obtenido a partir del aceite de las semillas de tres diferentes palmas (*Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira*), presentes en el territorio ecuatoriano. Para ello se analizó la densidad, viscosidad y poder calorífico superior del biodiesel obtenido. Se constató que el biodiesel de *Phoenix canariensis* tiene buenos niveles de saturación para un combustible así como una viscosidad a la par de los valores referenciales, por su parte *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira* poseen un alto contenido de grasa en sus semillas y el valor del poder calorífico del combustible obtenido con el aceite de estas es alto. Se realizó un análisis matemático no estadístico para comparar los resultados obtenidos, con ello se pudo determinar que el biodiesel de *Elaeis guineensis* tiene las mejores características para la producción y que *Astrocaryum chambira* es muy similar en estas características, por lo que estos dos son los candidatos más adecuados para la producción de biodiesel.

Palabras clave: Biodiesel, biocombustibles, biorrefinería, aceite, semillas de palmas.

2. ABSTRACT

This study analyzed the biodiesel obtained from the three different palms (*Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis* and *Astrocaryum chambira*) seeds' oil from Ecuadorian territory. Biodiesel's viscosity, density and calorific power obtained values were evaluated, in order to find that *Phoenix canariensis* biodiesel has good saturation levels for a fuel and its viscosity has values equal to the standards, meanwhile both *Elaeis guineensis* and *Astrocaryum chambira* have a high content of oil in their seeds and the value for calorific power is also high according to the standards. A non-statistical mathematical analysis was carried out to correlate results, resolving that the biodiesel from *Elaeis guineensis* has the best characteristics to produce and *Astrocaryum chambira* product was very similar in characteristics, therefore, both are the best candidates for biodiesel production.

Keywords: Biodiesel, biofuels, biorefinery, oil, palm seed's.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. COMBUSTIBLES FÓSILES

Se conoce como combustible fósil a toda fuente de energía proveniente del proceso de transformación y fosilización de restos vegetales o animales enterrados en la tierra que por efecto de los cambios de presión y temperatura a los que han sido sometidos durante miles de años dan como resultado material con un alto valor energético; se los conoce también con el nombre de hidrocarburos por su composición química de carbono e hidrógeno, elementos que le confieren su capacidad energética (Carrera, 2014). Los principales combustibles fósiles son el petróleo, el carbón y el gas natural, estos dos últimos muchas veces son utilizados sin ninguna modificación, mientras que el petróleo se utiliza en forma de subproductos derivados como la gasolina, diésel y gas licuado; estos tres son de gran importancia pues se usan ampliamente en distintos ámbitos de la producción industrial, en la generación de energía eléctrica y transporte (Sánchez, Pérez, & Vásquez, 2017).

El petróleo ha sido utilizado históricamente durante siglos, pero el perfeccionamiento, modernización de los métodos de refinación y su uso masivo empieza a mitad del siglo XX, desde ese entonces hasta la actualidad se lo ha utilizado de manera indiscriminada (OPEC, 2012). Actualmente, la demanda mundial se encuentra alrededor de los 84 millones de barriles de petróleo por día y se prevé que para el 2030 la demanda se situó en 116 millones (Cherubini, 2010), esta alta demanda se debe principalmente al crecimiento poblacional y económico; dos factores que junto con el avance de la industrialización alrededor del mundo han contribuido para el considerable aumento de la demanda energética mundial en las últimas décadas (Jamil *et al.*, 2016; Sadeghinezhad *et al.*, 2013). El uso indiscriminado de estos tipos de combustibles resulta problemático debido al carácter no renovable de la materia prima y su impacto negativo en el ambiente, la dependencia en términos energéticos y económicos que recae sobre estos combustibles no es realista (Jamil *et al.*, 2016).

Uno de los mayores problemas relativos al uso de combustibles fósiles son las emisiones de carbono, principalmente en forma de dióxido de carbono (CO₂), que han ido en aumento de manera alarmante en las últimas décadas. Estudios estadísticos sugieren que si el consumo de combustibles sigue su tendencia actual, el nivel de las emisiones de dióxido de carbono en los próximos veinte años aumentará en un 60% (Jamil *et al.*, 2016). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en su cuarto informe de evaluación resaltó que el rápido crecimiento de la demanda energética está conduciendo a un aumento acelerado de las emisiones de gases de efecto invernadero; el sector del transporte se ha destacado por tener las mayores tasas de crecimiento en emisiones de gases que cualquier otro sector (Ho, Ngo, & Guo, 2014); por lo tanto, buscar alternativas energéticas que conduzcan a un futuro más sostenible es imperativo dentro del contexto mundial actual. El panorama mundial de demanda energética así como de cambio climático muestra la absoluta necesidad de asegurar un futuro energéticamente sostenible, empujando a la comunidad científica y a los gobiernos a la exploración y desarrollo de nuevas fuentes de energía renovables y sostenibles (Ho *et al.*, 2014).

3.2. ENERGÍAS RENOVABLES

Se llaman energías alternativas o renovables a aquellas fuentes energéticas no convencionales; generalmente, éstas no son de origen petroquímico y suelen ser de carácter renovable. Se caracterizan por tener un menor impacto ambiental, especialmente en relación a las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (Stigka, Paravantis, & Mihalakakou, 2014). Dentro de esta categoría están la energía eólica, hidroeléctrica, solar, geotérmica y nuclear, que se encuentran en la naturaleza y son transformadas a energía eléctrica, así también como los biocombustibles. Los biocombustibles son elaborados a partir de material biológico vegetal o animal, mejor conocido como biomasa, refiriéndose a toda aquella materia que se obtiene a través de la fotosíntesis y que se almacena en forma de glucosa, almidón, lignocelulosa, ácidos grasos, etc., (Stratta, 2000).

Los biocombustibles más comunes son el bioetanol y el biodiesel. La materia prima con la que se producen los biocombustibles puede obtenerse de fuentes vegetales o animales e inclusive desechos agrícolas, alimenticios o industriales. En

la actualidad la producción de biocombustibles está destinada principalmente a suplir necesidades energéticas del sector del transporte (Ho *et al.*, 2014).

En general en el mundo este tipo de energías tiene más y más acogida cada vez la energía renovable es más aceptada, actualmente el 13% del consumo de energía en el mundo es suplida gracias a estas fuentes (Ho *et al.*, 2014).

3.3. BIODIESEL

El biodiesel es un tipo de biocombustible que se ha usado ampliamente como remplazo del diésel de petróleo; el diésel es un combustible muy importante en el sector del transporte y en la agricultura, cumpliendo un papel trascendental en el desarrollo económico en estas industrias (Meher, Vidya Sagar, & Naik, 2006; Rojas-González, Chaparro-Anaya, & Andrés-Ospina, 2011). El biodiesel presenta un gran atractivo frente a otros combustibles alternativos, debido a que puede ser utilizado en cualquier motor que funcione a diésel sin ninguna modificación en él, inclusive se puede mezclar con el diésel derivado del petróleo en cualquier proporción y seguir funcionando (Meher *et al.*, 2006; Sadeghinezhad *et al.*, 2013).

Su consumo ha ido en aumento en las últimas décadas, según un informe de la “Nacional Biodiesel Board” en el 2015 el consumo de este combustible fue de 2.100 millones de galones, presentando un aumento del 20% con respecto al año 2014 y desde el 2005 se ha incrementado en 112 millones de galones, esto lo podemos observar a detalle en el Anexo 1 (Kim, Hanifzadeh, & Kumar, 2018). Por su parte la Unión Europea es la región con mayor producción de biodiesel a nivel mundial (Alpírez *et al.*, 2016), en el 2016 se produjeron en territorio europeo 3614 millones de galones, para este mismo año Estados Unidos produjo 2890 millones de galones, a más de esto el biodiesel es el combustible de mayor importancia para la Unión Europea, cubriendo el 80% del total de la cuota de biocombustibles para el transporte (Kim *et al.*, 2018). Después de estos dos grandes productores se encuentran: Argentina, Brasil, Indonesia, Singapur, Tailandia, entre otros; podemos observar esta información gráficamente en la tabla del Anexo 2 (Alpírez *et al.*, 2016).

Es importante mencionar que el aumento tanto en el consumo como en la producción de biodiesel en algunos de estos países vino acompañado de políticas públicas para impulsar la industria. Brasil y Estados Unidos fueron pioneros en

establecer programas con este fin desde 1970, este año fue, en muchos países, el inicio de este tipo de programas debido a la crisis que sufrió el petróleo durante esa década (Souza, Seabra, & Nogueira, 2018). Estados Unidos en el año 2003 se introdujo un mandato para que el 5.75% del total de combustible utilizado en el transporte provenga de biocombustibles, específicamente bioetanol y biodiesel (Alpírez *et al.*, 2016). En el caso del continente asiático tenemos a Indonesia, donde hasta el año 2013 se mantuvo un subsidio de biodiesel lo que resultó en un rápido aumento la producción, esto sufrió un pequeño revés durante el 2015 debido al precio del petróleo en ese momento que obligó a las autoridades a retirar dicho subsidio, sin embargo desde el 2016 se implementaron políticas tributarias que ayudaron a levantar nuevamente el biodiesel (Kim *et al.*, 2018). Por su parte Brasil implementó un programa llamado el Programa Brasileiro para Producción y Uso del Biodiesel, el cual resultó en la producción anual de 2 millones de toneladas al año, lo que posiciona a este país como el segundo mayor productor junto a Alemania (Souza *et al.*, 2018). Alpírez y colaboradores (2016), en una revisión bibliográfica sobre el éxito de algunos biocombustibles presentan la imagen que se observa en el Anexo 3, en esta imagen podemos ver en verde los países que han implementado por mandato políticas respecto al uso de biocombustibles y en morado a aquellos países que tienen como objetivo la transición a este tipo de energías.

El proceso químico por el cual se obtiene el biodiesel es la transesterificación, el que consiste en la transformación de las cadenas de triglicéridos en cadenas de ésteres y glicerol. En esta reacción interviene un alcohol, por lo general uno monohídrico como el metanol o etanol, en presencia de un catalizador, generalmente una base o un ácido fuerte, en la mayoría de los casos se utiliza hidróxido de sodio o de potasio. Durante la reacción el alcohol se une al triglicérido produciendo cadenas de ésteres y glicerol (Sierra-cantor & Guerrero-fajardo, 2017; Widayat, Darmawan, Suryani, & Mubarok, 2017). Las cadenas de ésteres obtenidas en el proceso van a ser el biodiesel, las moléculas de oxígeno que son incorporadas en la reacción son la que le aportan las propiedades energéticas que permiten que se dé la combustión, como la materia prima es orgánica el resultado (biodiesel) no contiene metales tóxicos y pesados que son nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Hay que añadir que el glicerol,

un subproducto de la reacción, es aprovechado para usos cosméticos e industriales (Meher *et al.*, 2006; Stratta, 2000).

La materia prima para el biodiesel pueden ser grasas tanto de origen vegetal como animal, predominando las fuentes vegetales (Jakeria, Fazal, & Haseeb, 2014). Países como Brasil y Argentina utilizan mayoritariamente aceite de soya, mientras que la mayoría de países asiáticos como China, India, Tailandia y Malasia el aceite de palma es predominante, otros aceites muy utilizados también son los de girasol, colza y aceites de desecho (Jakeria *et al.*, 2014). En el Anexo 4 podemos ver las principales materias primas para la producción de la biodiesel, en Estados Unidos el aceite de soya predomina mientras que en Europa, así como globalmente, predomina el aceite de canola (Kim *et al.*, 2018).

Entre las ventajas que presenta el biodiesel es alto punto de inflamabilidad, buena lubricidad, mayor eficiencia de combustión (comparado con el diésel de petróleo), es biodegradable y no es tóxico (Chakraborty & Sahu, 2013).

Sin embargo, el origen de las fuentes de las que se obtiene la materia prima para este tipo de combustible ha provocado opiniones encontradas y críticas recurrentes, centrándose en una discusión que persigue al desarrollo de biocombustibles: comida o energía. Actualmente, existen muchos esfuerzos para lograr erradicar el hambre y para mejorar los sistemas de producción agrícola y parece contradictorio utilizar productos que pueden servir para la alimentación en algo distinto a ello; esta es una intensa discusión, principalmente en los países en vías de desarrollo, donde la hambruna sigue siendo un problema prioritario. Se habla de una competencia por materias primas que también se utilizan en la industria alimenticia. Además, existen cuestionamientos con respecto a que tan amigable con el ambiente puede ser el uso de estas materias primas; para su obtención se necesita grandes extensiones de tierra, uso de pesticidas, deforestación y en general todos los problemas que acarrearán los sistemas agrícolas a gran escala y que a largo plazo se alejan de la sostenibilidad (Cherubini, 2010; Machado, 2010; Sadeghinezhad *et al.*, 2013). Cuando los biocombustibles se producen a partir de los productos agrícolas como materia prima se consideran de primera generación, mientras que aquellos que utilizan como materia prima desechos, residuos alimenticios o residuos de biomasa, se los conoce como de segunda generación. Los de segunda generación se consideran más “verdes”

porque la materia prima supone menor impacto ambiental, si los comparamos con los de primera generación (Cherubini, 2010; Ho *et al.*, 2014).

3.4. PALMAS EN EL ECUADOR.

El Ecuador se caracteriza por ser un país megadiverso, con altos índices de diversidad en los distintos grupos de flora, fauna, hongos, etc. Las palmas no son la excepción: Ecuador es el país de Sudamérica con mayor concentración de especies, registrando 136 especies y 32 géneros nativos. Esta gran biodiversidad está relacionada con la amplia variedad de ambientes climáticos y orográficos en el territorio ecuatoriano, a más de las distintas regiones biogeográficas de gran importancia como son la región lluviosa del Chocó, la región tumbesina, la región amazónica y la cordillera de los Andes. Las características climáticas y biogeográficas de nuestro país han permitido que se dé la diversificación genética y especiación, teniendo como resultado esta gran riqueza de especies (Valencia *et al.*, 2013).

Las palmas han sido de especial interés por su potencial industrial, en los últimos años las investigaciones alrededor de estas han aumentado, sus semillas son de particular interés por su valor nutritivo y riqueza de nutrientes. Muchas especies de palmas se caracterizan por tener semillas oleosas y con una gran diversidad de ácidos grasos y, de hecho su uso para fines alimenticios se reporta en la literatura desde hace muchos años (Montúfar-Galárraga & Brokamp, 2011).

3.4.1. *Phoenix Canariensis*, *Elaeis Guineensis* y *Astrocaryum Chambira* COMO RECURSOS PARA BIODIESEL

Phoenix canariensis es una palma originaria de las Islas Canarias estrechamente relacionada con la palma datilera (*Phoenix dactylifera*), que se encuentra dentro del mismo género *Phoenix*, por ello muchas veces es llamada con el mismo nombre común: palma datilera (Pintaud *et al.*, 2010). Presenta gran tamaño, con hoja perenne y tallo de tipo masivo. A pesar de ser originaria de las Islas Canarias, esta se cultiva alrededor de todo el mundo con fines ornamentales. En el Ecuador se la encuentra en parques y avenidas de ciudades en todas las provincias, no existen estudios sobre su densidad poblacional sin embargo es muy

popular para el uso ornamental en muchas urbes (Vásquez, 2018). Las flores son vistosas, dioicas y los frutos son de color amarillento. El aceite de la palma *Phoenix canariensis* está compuesto de distintos ácidos grasos, como son ácido cáprico, láurico, palmítico, mirístico, esteríatico, oleico, palmitoleico, linoleico y linolenico (Hossain *et al.*, 2016).

Elaeis guineensis conocida comúnmente como palma africana es una de las fuentes más importantes para la producción de aceite con fines alimenticios en el mundo, con un amplio cultivo y de gran importancia comercial, como su nombre común señala, es originaria del oeste del continente africano (Singh *et al.*, 2013), el híbrido de esta especie con *Elaeis oleífera* se utiliza ampliamente en la agricultura. En el Ecuador el cultivo de *E. guineensis* se encuentra extendida principalmente en la costa, teniendo en su totalidad 280 000 hectáreas plantadas en todo el país y una producción de 500 000 hectáreas anuales para aceite (Barrio & Porfirio, 2017). El aceite que es extraído de sus semillas se usa para propósitos alimenticios, cosméticos e industriales. Está compuesto principalmente de ácido palmítico, oleico y linoléico (Dora *et al.*, 2008).

Astrocaryum chambira, conocida comúnmente como chambira, es una palma nativa, se encuentra distribuida en la región amazónica de manera amplia en la zona occidental tanto en Colombia, Ecuador, Perú, parte de Venezuela y Brasil (Valencia *et al.*, 2013). En nuestro país se encuentra principalmente en las provincias de Napo, Orellana, Pastaza, Sucumbíos y Morona Santiago. Esta planta es esencial para los indígenas amazónicos, el mayor uso que le dan es para la elaboración de vestimenta tradicional y otros implementos como techos, peines, hamacas y artesanías; el fruto también es consumido, pero ese es un uso mucho menos popular. La parte de la planta que es aprovechada por estos grupos son las hojas por sus fibras, las artesanías y su venta suponen como fuente de sustento para muchas familias (Valencia *et al.*, 2013). La densidad de esta planta en tierra firme es de 77 individuos por hectárea, no se la considera una planta muy común en relación a otras palmas que crecen en su mismo hábitat (Valencia *et al.*, 2013). La práctica e impacto de la cosecha solo se ha analizado en términos de las hojas de la palma, se ha visto que una cosecha excesiva, para el aprovechamiento de las hojas, puede llevar a la reducción sistemática de poblaciones de chambira, varios autores sugieren que una práctica que contribuiría a un manejo sostenible son áreas de cultivo manejadas por comunidades indígenas, como con la mocora,

Astrocaryum standleyanum, en la Costa ecuatoriana que se la cultiva en sistemas agroforestales y en Colombia donde hace la resiembra de plántulas (Valencia *et al.*, 2013). Los ácidos grasos predominantes en la composición de su semilla son: laúrico, mirístico y oleico (Montúfar-galárraga & Brokamp, 2011).

En el estudio de Souza y colaboradores (2018) se explora el potencial en cuanto a semillas aprovechables para la elaboración de biodiesel, dado que en este país cuentan con más de 100 semillas oleaginosas adecuadas para este propósito, entre estas se mencionan algunas especies de palmas. Es importante mencionar que Brasil posee 130 especies de palmas, es decir 6 especies menos que el Ecuador, en este estudio se analizó la palma africana, *Elaeis guineensis* y dos especies nativas que no han sido domesticadas ni cultivadas para su uso comercial como lo son *Acrocomia aculeata* y *Orbignya phalerata*. Los resultados de este estudio son interesantes, ya que no solo se estudiaron palmas si no otras especies más conocidas como el girasol, la jatropha, el algodón, la soya, el maní, entre otras. Dicho estudio compara una fuente muy explotada como es la palma africana con otras fuentes de aceite con el fin de abrir la puerta a nuevas opciones y suplir la demanda de materias primas para el biodiesel. En sus conclusiones se enfatiza el protagonismo que ha tenido la palma africana en la producción del biodiesel y las especies de palmas no tan conocidas se destacan por su potencial físico-químico como una opción a poder diversificarse (Souza *et al.*, 2018). El ejemplo de Brasil nos muestra la importancia de investigar nuevas fuentes para la producción de biocombustibles.

Para aprovechar al máximo y de mejor manera el potencial biotecnológico de estas y otras especies dentro de este grupo tan biodiverso es necesario conocer, estudiar y evaluar sus características, así como los posibles usos de sus productos. Esta investigación se enfoca en la obtención de los aceites a partir de la semilla de las especies antes mencionadas, específicamente del endospermo, debido a su alto contenido energético y de ácidos grasos, para su posterior transesterificación y evaluación de biodiesel obtenido (Nair *et al.*, 2015). El estudio de estas tres especies: dos introducidas (*Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis*) y una nativa (*Astrocaryum chambira*), permite conocer y tener una primera aproximación de su potencial, que puede llevar al estudio de más especies de palmas y al uso de sus productos, enmarcado dentro del concepto de biorefinería.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la producción del biodiesel obtenido a partir del aceite de las semillas de tres especies de palma (*Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira*) a través de la caracterización físico química y calorimétrica de las muestras.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el aceite de las semillas de *Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira*.
- Obtener biodiesel a partir del aceite de las semillas de *Phoenix canariensis*, *Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira*.
- Analizar el biodiesel obtenido de las semillas de *Phoenix canariensis*, *Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira*.
- Evaluar y comparar el biodiesel obtenido de las semillas de *Phoenix canariensis*, *Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira*.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. RECOLECCIÓN DE SEMILLAS

Para la recolección de las semillas de las tres especies *Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira* se siguió el mismo protocolo de recolección: se tomó las semillas de las infrutescencias de las palmas y también se recolectaron muestras directamente del suelo donde se encontraban las semillas, esto último método se utilizó en menor medida.

La colecta de semillas de *Phoenix canariensis* se realizó en la ciudad de Quito, en el Campus de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Esta palma tiene un uso ornamental, normalmente se encuentra en las ciudades. Para la especie *Elaeis guineensis* se obtuvieron las muestras de semillas por donaciones de las plantaciones de la misma. Para *Astrocaryum chambira* la colecta se realizó en el la Estación Científica Yasuní ubicada dentro del Parque Nacional Yasuní, en las parcelas de la estación. El Parque Nacional Yasuní se encuentra entre las provincias de Pastaza y Orellana ($76^{\circ}24'1.8''W$; $0^{\circ}40'16.7''S$) (Anaguano & Celina, 2013).

4.2. BLANQUEAMIENTO Y LIMPIEZA DE SEMILLAS

Para *Elaeis guineensis* se realizó un proceso de blanqueamiento con el fin de retirar el mesocarpio de la semilla, así como cualquier impureza y suciedad que se pudiera encontrar. Para ello se colocaron las semillas en un balón de 500mL. hasta ocupar la mitad del volumen del mismo. Luego se agregó 200mL. de peróxido de hidrógeno al 30% y 30mL. de hidróxido de sodio 1 molar, se llevó el balón a Baño María a 45°C durante tres horas. Después de esto se lavaron las semillas con agua destilada varias veces y se procedió a retirar el mesocarpio de la semilla de manera manual. Se repitió el procedimiento con las semillas a las cuales no fue posible retirar la capa con el primer blanqueamiento. Como último paso de preparación de las semillas se secaron por calor inducido en una estufa Memmert UN55 por 24 horas a una temperatura de 55°C.

En el caso de las semillas de *Phoenix canariensis* y *Astrocaryum chambira* no se realizaron pre tratamientos más que la limpieza manual de las mismas, ya

que la estructura de estas no ameritaba un proceso químico de blanqueamiento previo a la molienda.

4.3. MOLIENDA DE SEMILLAS

Después del proceso de blanqueamiento químico y limpieza manual se utilizó un molino mecánico de cilindros de la marca Retsch modelo MM 400, se realizaron varias moliendas hasta obtener una harina con partículas de menos de 100 micras. Luego de esto se tamizó la harina, con lo que se aseguró que las partículas fueran del tamaño deseado.

4.4. EXTRACCIÓN DE ACEITE

La extracción de aceite se realizó por el método de Soxhlet. Este método consiste en la recirculación continua de un solvente orgánico, en este caso n-hexano, en contacto con la harina obtenida de las semillas. Para ello se pesó 50 gramos de harina que se colocaron dentro de un sobre de papel filtro, este se ubicó dentro equipo de extracción Soxhlet mientras que en un balón se puso 250mL. de n-hexano y este se colocó sobre la plancha de calentamiento a temperatura de alrededor de los 60°C, el proceso de recirculación debe tener al menos una duración de dos horas con el fin de que se cumplan los ciclos necesarios para una correcta extracción. Después de la extracción se obtiene el aceite disuelto en el hexano, haciendo necesario un proceso de destilación para la separación del aceite (Rashid *et al.*, 2009).

4.5. DESTILACIÓN

La destilación es un proceso químico utilizado para la separación de mezclas compuestas de dos o más líquidos o en su defecto purificar un líquido contaminado, la base de este proceso es la diferencia entre los puntos de ebullición de los líquidos componentes de la mezcla, para separarlos se los calienta y condensa selectivamente controlando la temperatura de la reacción (Rashid *et al.*, 2009).

El producto obtenido de la extracción consistió en una mezcla homogénea de hexano y aceite, la mezcla contenida en un balón de destilación se llevó a una

placa de calentamiento que se encontraba conectada al condensador que a su vez desembocaba en un vaso de precipitación. Al calentar la mezcla la primera sustancia en destilarse es aquella más volátil, en este caso el hexano cuyo punto de ebullición es de 69°C, por su lado los aceites, en general, presentan puntos de ebullición altos por su estructura química de mayor complejidad, el hexano es un compuesto orgánico de pocos carbonos y menos complejidad, el punto de ebullición de los ácidos grasos se encuentra siempre por encima de los 120°C por lo que quedará contenido en el balón de destilación, esto se lo hace controlando la temperatura y durante al menos 30 minutos para asegurar que todo el hexano sea retirado del aceite. Una vez terminado este proceso el aceite fue almacenado en tubos de plástico a temperatura ambiente en un lugar donde no recibían mucha luz.

4.6. ELABORACIÓN BIODIESEL

La elaboración del biodiesel consiste en llevar a cabo la reacción de transesterificación y lavado del producto de dicha reacción.

4.6.1. REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN

El biodiesel se produce por una reacción de transesterificación. Para dicha reacción se utilizó metanol e hidróxido sodio como catalizador, estos dos deben ser mezclados para obtener metóxido de sodio, este producto es el que se mezcla con el aceite. La relación alcohol - aceite fue de 1:5, y la base representó menos el 1% del peso total de la mezcla. Para cada ocasión que se realizó el procedimiento se utilizó 50mL. de aceite, para la preparación del metóxido de sodio se tomó 175mg de hidróxido de sodio puro y 10mL. de metanol, se los mezcló hasta que el hidróxido estuviera perfectamente diluido obteniendo una mezcla líquida completamente homogénea. El aceite se calentó con la ayuda de una placa calefactora a 48°C, una vez que el aceite estuvo a dicha temperatura se procedió a agregar el metóxido, la reacción duró treinta minutos durante los cuales se mantuvo la temperatura controlada entre los 48°C y los 60°C y con agitación constante.

4.6.2. DECANTACIÓN Y LAVADOS.

Una vez terminada la reacción se dejó reposar por unos minutos la mezcla y luego se la transfirió a un embudo de decantación. Se dejó reposar al menos 24 horas o hasta que se pudo observar las fases, la superior correspondiente al biodiesel y la inferior al glicerol. El biodiesel se lavó con agua destilada, se mezcló el agua con el biodiesel y se volvió a poner en el embudo, esto se realizó cada 30 minutos al menos 10 veces, variando el tiempo de decantación y el número de lavados según se vaya viendo la necesidad de cada procedimiento con el fin de eliminar productos no deseados que se disuelven en el agua. Después de esto se realizó un último procedimiento que fue el centrifugado, con este se terminó de separar del biodiesel el agua y otros productos secundarios de la reacción (Jamil *et al.*, 2016; Rashid *et al.*, 2009).

4.7. ANÁLISIS DEL BIODIESEL OBTENIDO

Se realizaron dos tipos de análisis para evaluar el biodiesel obtenido, así como para comparar los resultados entre sí, los análisis fueron de carácter físico-químico y un análisis de carácter matemático con el cual fue posible la comparación de las muestras previamente evaluadas por sus cualidades físico-químicas.

4.7.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL BIODIESEL

4.7.1.1. DENSIDAD

La densidad de una sustancia se define como su masa por unidad de volumen. Para medir este parámetro se pesaron 10 mL. de biodiesel en un vaso de precipitación con una balanza analítica de precisión marca Sartorius modelo PRACTUM224-1S y se colocó el líquido, se tomó el dato de la masa y luego se determinó el valor de la densidad con la fórmula:

$$\delta = m/V$$

Donde m corresponde al peso que obtenemos de la balanza y V es el volumen pesado, en este caso 10mL.. Se realizó el mismo procedimiento para los

tres productos (biodiesel). El procedimiento se realizó con cinco repeticiones para las tres muestras de biodiesel producto de cada semilla (Alptekin & Canakci, 2008; Ramírez Verduzco, 2013).

4.7.1.2. VISCOSIDAD

Para su medición se utilizó un viscosímetro de Oswald, su estructura se puede observar en el Anexo 5, este es un instrumento capilar de vidrio que mide el tiempo que demora un líquido en trasladarse desde un punto a otro en el instrumento. La fórmula con la cual se determina la viscosidad dinámica es

$$n_1 = n_{H_2O} \frac{\rho t'}{p_{H_2O} t}$$

Donde n_1 es el valor de la viscosidad del líquido que desconocemos, n_{H_2O} es la viscosidad del agua, p simboliza la densidad y t' el tiempo que demora el líquido del cual estamos determinando la viscosidad en desplazarse de un punto a otro en el viscosímetro (Manual Laboratorio Química-Física Universidad Pablo Olivade, 2007)

Para hacer el cálculo se mide el primero el tiempo que demora en caer el agua a diferentes temperaturas a fin de remplazar el valor del tiempo en la fórmula, luego el valor del tiempo a diferentes temperaturas del líquido que deseamos conocer la viscosidad, para cada temperatura se realizaron 5 repeticiones y se obtuvo la media. Se repitió el procedimiento con diferentes temperaturas (10°C, 20° y 30°C), para poder hacer uso de esta fórmula se utilizó la información del Anexo 6, que corresponde a una tabla con valores de viscosidad del agua a diferentes temperaturas, con estos valores, los obtenidos de cada una de las muestras y la densidad de cada uno se calculó la viscosidad (Alptekin & Canakci, 2008; Ramírez Verduzco, 2013).

4.7.1.3. PRUEBAS DE CALORIMETRÍA

Las pruebas de calorimetría se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador en el Departamento

de Petróleos, Energía y Contaminación. Para estos análisis se entregó 20mL. de muestra para cada una de las muestras y se obtuvo el valor del poder calórico bruto también conocido como poder calórico superior. La determinación de este se hace con ayuda de una bomba calorimétrica de oxígeno donde se quema la muestra mientras se hace un seguimiento de la temperatura antes, durante y después de la combustión (Arias, Teuta, & Parra, 2011).

4.7.2. ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL

El análisis multidimensional es un método que permite evaluar y comparar distintos materiales dando a cada uno un valor numérico basado en parámetros establecidos para estos. En este análisis se consideran todos los parámetros estudiados para, en este caso, cada una de las muestras de biodiesel. Para cada parámetro se asigna una escala numérica, cada parámetro será un nivel, los niveles en el caso de este estudio son: cantidad de grasa total de la semilla, composición metil ésteres, densidad, viscosidad y poder calorífico. Establecidos estos niveles se realiza un “marcaje del estado del arte” que consiste en establecer los puntos dentro de cada nivel para generar la escala numérica que nos servirá para realizar un análisis numérico y gráfico, así como la interpretación de estos. La escala numérica comprende puntos van desde el 1, el número 1 corresponde al nivel más básico, arcaico o menos desarrollado, al 5, este es el nivel máximo o lo que correspondería al estado ideal u horizonte ideal. Se establecen también puntos intermedios entre estos estados que son los números del 2 al 4. Una vez se da el establecimiento de estos niveles se procede al análisis numérico del mismo, cada nivel de manera individual genera un valor, se conjuga cada valor obtenido y al final se compara el valor de cada una de las muestras, se hace primero una evaluación matemática, lo que permite una evaluación geométrica y por ultimo un meta análisis.

Una vez establecidas las dimensiones para cada nivel del 1 al 5 para cada una de las muestras o universos, se realiza el análisis matemático, cada uno de los niveles será una dimensión de este universo y con los valores numéricos se puede representar de manera gráfica haciendo un plano cartesiano con tantos ejes como dimensiones en el universo. Primero se calculó la sinergia, esta se entiende como la interacción entre cada uno de los componentes o dimensiones de cada universo,

para ello se multiplicó cada uno de los valores de las dimensiones entre sí, este cálculo arroja valores muy altos por lo que es necesario normalizarlos para facilitar la interpretación, existen muchas formas de normalizar resultados numéricos, pero para este caso se calculó el valor de \log_{10} de lo anteriormente obtenido. Cada una de las dimensiones corresponde un eje de la figura a formar para el análisis gráfico, en este caso cinco dimensiones que formaran un pentágono. Con los valores del \log_{10} de la sinergia en el programa Excel se generó un gráfico radial con marcadores, este permite la visualización de los resultados según el número de parámetros utilizados cada eje se acerca o se aleja del centro dependiendo de su valor en la escala establecida (de 1 a 5), la figura ideal sería el pentágono en el caso de que todos los parámetros fueran 5, con este cuadro es posible comparar gráficamente el “equilibrio” de cada una de las muestras con respecto a cada parámetro analizado. El valor de la sinergia, el valor normalizado y el gráfico radial nos permite comparar las tres muestras en base al resultado obtenido (Carvajal, 2018).

5. RESULTADOS

5.1. ELABORACIÓN DEL BIODIESEL

Las extracciones se realizaron en diferentes lotes y el proceso duró varios meses, al final se obtuvo alrededor de 70mL. de aceite para cada semilla, excepto para *Phoenix canariensis* para la cual se obtuvo una cantidad mucho menor, alrededor de los 40mL.. La diferencia en la cantidad de aceite obtenido de cada semilla se debe a la cantidad de grasa que esta cada especie posee; en *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira* la cantidad de grasa en la semilla bordea el 50% mientras que para *Phoenix canariensis* es de 8,87% (Gómez, 2016).

Una vez extraído el aceite, se procedió a la transesterificación para obtener el biodiesel, en este no se transforma el 100% del aceite en biodiesel ya que en el proceso se producen subproductos como, jabón, restos de alcohol, sales y glicerol, en todas las ocasiones que se llevó a cabo la reacción entre el 60% y 70% del aceite se transformó en biodiesel.

En estas extracciones se pudo observar características físicas de los aceites, siendo que *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira* se presentaban en estado sólido a una temperatura ambiente mientras que *Phoenix canariensis* se mantenía en estado líquido, como se puede observar en la Figura 1. En cuanto al olor *Astrocaryum chambira* presentó un olor característico muy parecido al del aceite de coco (*Cocos nucifera*) mientras que los aceites de las otras dos especies estudiadas no tenían un olor característico.

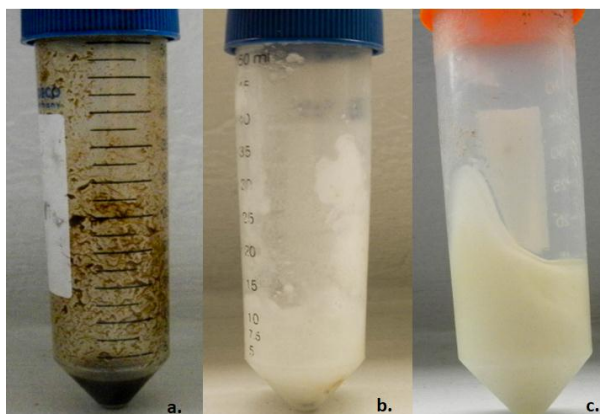


Figura 1: Aceite obtenido de cada especie: De izquierda a derecha: a. *Elaeis guineensis*; b. *Astrocaryum chambira*; c. *Phoenix canariensis*

Como resultado final, se obtuvo alrededor de 50mL. de biodiesel para *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira* mientras que para *Phoenix canariensis* se obtuvo alrededor de 20mL.. En cuanto al biodiesel obtenido de los aceites para los tres casos este fue líquido y transparente excepto para *Phoenix canariensis*, cuyo biodiesel tuvo un aspecto más oscuro, esto lo podemos observar en las Figura 2.

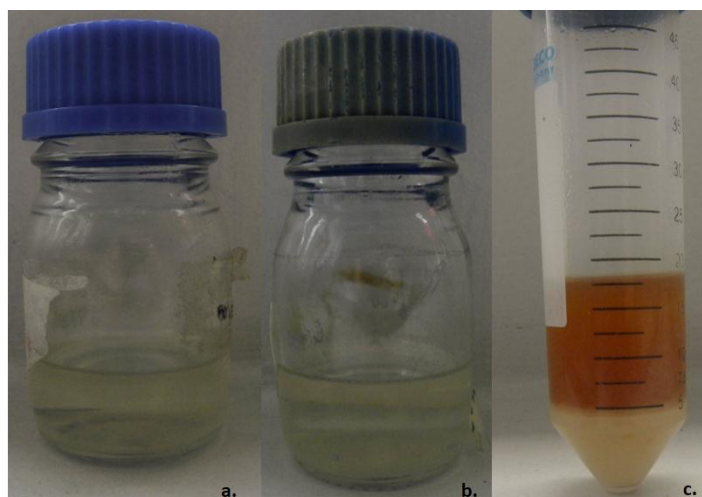


Figura 2: Biodiesel obtenido de cada especie: De izquierda a derecha: a. *Elaeis guineensis*; b. *Astrocaryum chambira*; c. *Phoenix canariensis*

5.2. DENSIDAD

Para obtener el valor de la densidad se pesaron los 10mL. de cada muestra y se hizo cinco repeticiones, los resultados se obtuvieron en miligramos, calculando las medias respectivas, como se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Peso de 10 mL. de las tres muestras de biodiesel analizadas

Peso de 10mL.. de biodiesel	<i>Elaeis guineensis</i> (mg)	<i>Astrocaryum</i> <i>chambira</i> (mg)	<i>Phoenix</i> <i>canariensis</i> (mg)
1	7968.8	7266.1	7436.2
2	7969.3	7182.3	7486.2
3	8382.9	7027.0	7309.3
4	8540.9	7152.3	7127.1
5	8155.5	6993.6	7699.6
Media	8203.48	7124.26	7411.68

Para el cálculo de la densidad se utilizó la fórmula: $\delta = m/V$; para ello se transformaron los valores de miligramos a gramos ya que la densidad se expresa en gramos sobre mililitros. Los resultados del cálculo de la densidad para cada muestra de biodiesel se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de densidad de las tres muestras de biodiesel analizadas

Especie	Densidad (g/mL.)
<i>Elaeis guineensis</i>	0,820348
<i>Astrocaryum chambira</i>	0,712426
<i>Phoenix canariensis</i>	0,741168

5.3. VISCOSIDAD.

Para calcular la viscosidad se utilizó la fórmula de la viscosidad dinámica, indicada y detallada en la metodología. Se obtuvieron primero los valores de viscosidad del agua a diferentes temperaturas, información detallada en la Tabla 3, luego se realizó el mismo procedimiento para las tres muestras de biodiesel: *Elaeis guineensis*, *Astrocaryum chambira* y *Phoenix canariensis*, el detalle de los datos obtenidos en las repeticiones se observan en las Tablas A, B y C, en la sección de

Tablas al final del documento. Los valores referenciales de la viscosidad del agua se observan en el Anexo 6, con estos datos junto con los obtenidos con el viscosímetro y la densidad se determinó la viscosidad de las tres muestras, datos que se detallan a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de viscosidad para las tres muestras de biodiesel

Especies	Temperatura (°C)	Viscosidad (milistokes)	Viscosidad (mm^2/s)
<i>Elaeis guineensis</i>	10	15.22	1.522
	20	11.49	1.149
	30	10.04	1.004
<i>Astrocaryum chambira</i>	10	6.5	0.65
	20	4.13	0.413
	30	3.44	0.344
<i>Phoenix canariensis</i>	10	41.05	4.105
	20	32.88	3.288
	30	29.87	2.987

5.4. PODER CALORÍFICO SUPERIOR

El poder calorífico bruto superior se refiere a la cantidad de energía que libera el combustible por unidad de masa al darse la oxidación en la reacción de combustión. Los resultados reportados por el laboratorio del Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación Petróleos en Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador en cuanto a esta característica para las tres muestras se detallan en la Tabla 4. Los informes generados por el laboratorio del Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación se muestran en el Anexo 7, 8 y 9.

Tabla 4: Valores de poder calorífico superior (o bruto) para *Elaeis guineensis*, *Astrocaryum chambira*, *Phoenix canariensis* y *Phoenix canariensis*. La unidad para este valor es megajulio sobre kilogramos.

Especie	Poder calorífico superior (MJ/kg)
<i>Elaeis guineensis</i>	35,573 MJ/kg
<i>Astrocaryum chambira</i>	37,933 MJ/kg
<i>Phoenix canariensis</i>	28,992 MJ/kg

5.5. ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE UNIVERSOS

Como ya se mencionó el análisis multidimensional sirve para comparar las tres muestras tomando en cuenta todos los aspectos estudiados, en la Tabla 5 se ve resumida la información utilizada para este análisis en cada uno de los parámetros utilizados, donde también encontramos porcentaje de grasa y saturación, información que arrojó un estudio que se realizó previamente en el CNIB por Gómez, 2016.

Tabla 5. Comparación de parámetros estudiados en el biodiesel de las tres especies de palmas

Parámetro	<i>Phoenix canariensis</i>	<i>Astrocaryum chambira</i>	<i>Elaeis guineensis</i>
Porcentaje de grasa	8,87	49,19	50,75
Porcentaje de saturación	27,88	91	80,80
Densidad (gr/mL.)	0,741168	0,712426	0,820348
Viscosidad (mm^2/s)	3.288	0,344	1.149
Poder calorífico (MJ/Kg)	28, 992	37, 933	35, 573

Para estudiar y comparar las tres muestras primero se estableció cada una de las dimensiones a ser analizadas, a partir de esto se delimitaron los niveles dentro de cada una de las dimensiones de acuerdo con lo encontrado en la bibliografía, esta información la encontramos a continuación en la Tabla 6:

Tabla 6. Dimensiones: características de Biodiesel. Cada nivel tiene un parámetro de medición determinado y delimitado.

Dimensión	1	2	3	4	5
Porcentaje grasa	1-10	11-20	21-30	31-40	>41
Porcentaje saturación	>91	71-90	51-70	31-50	7-30
Viscosidad (mm^2/s)	<10	8-10	5.5-8	>1.9	1.9-5.5
Densidad (g/mL.)	>0.9	0,680-0.700	0,701-0,799	0,800-0,859	0,860- 0,9
Poder calorífico (MJ/kg)	1-10	11-20	21-30	31-40	40

Estos valores se dan de acuerdo con lo encontrado en la literatura con respecto a los parámetros evaluados. Como se mencionó en la metodología se realiza un “marcaje del arte” donde se establece los puntos del 1 al 5, siendo 5 el estado ideal de cada parámetro o el más avanzado y 1 el estado menos desarrollado o menos óptimo.

Los mayoría de las semillas utilizadas para extraer su aceite tiene como máximo valores de 50% de grasa, por ello este será el valor máximo y se desciende hasta llegar a menos de 10% que es un valor bajo (Crabbe, Nolasco-Hipolito, Kobayashi, Sonomoto, & Ishizaki, 2001). Con respecto al nivel de saturación se toma como referencia a la canola que tiene un porcentaje de 7.1% hasta 30%, que sigue siendo un número bajo de saturación y se ascendió hasta un nivel casi del 100% de saturación (Jakeria *et al.*, 2014). En relación a lo encontrado en la bibliografía la viscosidad alta es una desventaja, por lo que una menor a los estándares se encuentra en un nivel 4, no está dentro del valor referencial pero no le quita funcionalidad al combustible como en el caso de valores altos; estos valores mayores al referencial se encuentran desde el nivel 3 hasta el 1 (Tormos, Miró, & Polit, 2016).

La densidad alta es un problema para los combustibles más que una baja, este fue el parámetro para determinar estos límites, se ubicó en un nivel dos el valor mínimo que corresponde al valor de densidad de la gasolina, ya que es bajo para ser biodiesel pero se encuentra dentro de lo normal para un combustible (Tesfa, Mishra, Gu, & Powles, 2010). Para el valor de poder calorífico se tomó el valor del estándar que es 40MJ/kg y se bajó en una escala de 10MJ/kg hasta llegar a un “mínimo” que sería el nivel 1 (Arias *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2018; Torres *et al.*, 2015).

6. DISCUSIÓN

6.1. OBTENICIÓN DEL BIODIESEL

Las características propias de la semilla hicieron que exista una diferencia al momento de obtener el aceite y a su vez el biodiesel, una de estas fue la cantidad de grasa en la semilla. Si bien para las tres especies el procedimiento y protocolo a seguir fue el mismo el resultado varió únicamente debido a esta característica. Esto hizo que la parte experimental más larga sea la extracción del aceite, en lo que se refiere al tiempo invertido. Otra variable que hubo fue al momento de hacer la reacción de transesterificación para obtener el biodiesel, cada una de las ocasiones que se repitió este proceso hubo formación de residuos secundarios en menor o mayor proporción sin llegar nunca a ser más del 40% del total del producto final. Como se mencionó en los resultados la cantidad de biodiesel que se obtuvo siempre se mantuvo entre el 60% y 70% por lo que los resultados de este procedimiento para cada una de las muestras fueron más o menos iguales.

6.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA

Determinar las características físico-químicas de los combustibles es de suma importancia ya que ayudan a modelar la combustión y el diseño de operación de los motores en distintos automóviles o inclusive para la elaboración de estos. La densidad, por ejemplo, afecta al impulso del rociado y distribución, a más de esto se usa para diseñar reactores, tanques, tuberías y otros artefactos de los sistemas donde se utilizará el combustible (Alptekin & Canakci, 2008; Tesfa *et al.*, 2010). Las características físico-químicas de un producto como el biodiesel son muy importantes y pueden determinar su calidad y su validez comercial. En el caso de la densidad y la viscosidad existen varios estándares para los combustibles, la norma ISO 3675 indica que la densidad se debe encontrar entre los 0,860 y 0,9 g/mL. (Ramírez Verduzco, 2013), en este sentido como podemos observar en la Tabla 2 ninguna de las tres muestras se encuentran dentro de este rango, a pesar de esto la diferencia que existe entre los resultados y el valor referencial no es mucha. Una de las características del biodiesel es que posee una densidad mayor que la gasolina, valor que se encuentra en los 0,68gr/mL., y en general es un fluido

más denso que la mayoría de combustibles, teniendo casi la misma densidad que el diésel de petróleo (Zhang, 2012). La densidad alta en los combustibles no suele ser una característica deseada, esta puede interferir en el funcionamiento del mismo e inclusive de los sistemas mecánicos del motor. Por ello la densidad tiene un efecto mayor sobre el diseño de los sistemas de combustión que en si el funcionamiento del mismo por si solo (Tesfa *et al.*, 2010). En este parámetro ninguna de las muestras se encuentra dentro de los valores referenciales, siendo *Elaeis guineensis* la que más se acerca a dicho valor.

La viscosidad se define como la resistencia de un líquido al movimiento, está relacionada con la presión en la inyección del combustible en el motor; cuando la viscosidad es alta la inyección puede ser excesiva lo cual aumenta la demanda energética de las bombas, derivando en una reacción de combustión incompleta, desgaste de la bomba y obstrucción de los inyectores (Ramírez Verduzco, 2013). Como regla general, los fluidos a medida que disminuye la temperatura aumenta la viscosidad como se refleja en los resultados para las tres muestras. En la Tabla 3 podemos observar que el biodiesel de *Phoenix canariensis* presenta mayor viscosidad en todas las temperaturas, siguiéndole a *Phoenix* está *Elaeis guineensis* y con la menor viscosidad tenemos a *Astrocaryum chambira*. Al igual que para la densidad existen estándares para la viscosidad, según la norma ISO 3104 los valores deben encontrarse entre el $3.5 \text{ mm}^2/\text{s}$ y $5.0 \text{ mm}^2/\text{s}$, otra norma, la ASTM de Estados Unidos, establece valores desde $1.9 \text{ mm}^2/\text{s}$ hasta $6 \text{ mm}^2/\text{s}$ como normales (Kassem & Çamur, 2018; Souza *et al.*, 2018). En este caso el único que se encuentra dentro de esos valores es *Phoenix canariensis* a temperatura ambiente (20°C).

La viscosidad baja es una característica altamente deseada en los combustibles, una viscosidad alta produce problemas en la conducción del combustible, en el caudal y en la tasa de conducción de este; todos estos factores pueden ser la causa de una disminución en el poder del motor (Tesfa *et al.*, 2010; Tormos *et al.*, 2016), por tanto una viscosidad menor a los estándares podría llegar a ser una característica deseable en los combustibles.

6.3. PODER CALORÍFICO SUPERIOR

Poder calorífico bruto o poder calorífico superior se define como el calor total (o energía) producido por unidad de masa del combustible que se desprende en la reacción de oxidación durante la reacción de combustión, una parte de este permanece como el calor latente del agua existente en el combustible, el que está incluido en esta medición. Por lo tanto, este parámetro es de gran importancia para determinar la eficiencia del combustible en términos energéticos, siendo el valor referencial para el biodiesel de 40 MJ/Kg, mientras que el diésel de petróleo es de 45 MJ/Kg aproximadamente, mostrando en general que los valores del biodiesel suelen estar por debajo del valor del diésel de petróleo en un 9% (Arias *et al.*, 2011; Rojas-González *et al.*, 2011).

Las diferentes mezclas de biodiesel con diésel tienen varias ventajas sobre el motor, una puede ser mayor poder lubricante del combustible al ser mixto pero sobretodo una de las razones por las que muchas veces el biodiesel es mezclado en diferentes proporciones con el diésel de petróleo es para aumentar el poder calorífico del combustible y por lo tanto su eficiencia (Torres *et al.*, 2015). La tabla 4 muestra los valores para cada una de las muestras, podemos ver que no existe gran diferencia entre ellos, siendo el que más desprende energía por unidad de masa *Astrocaryum chambira* con 37,933 MJ/Kg, seguido por *Elaeis guineensis* con 35,573 MJ/kg y por último *Phoenix canariensis* con 28,992 MJ/kg. En este apartado, *A. chambira* supera a las otras dos sin llegar a ser demasiada la diferencia con *E. guineensis* (Liu *et al.*, 2014). Este parámetro es uno de los más importantes porque nos indica la eficiencia del combustible, pudiendo constatar que *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira* se destacan y están casi a la par del estándar.

6.4. CANTIDAD DE GRASA EN LA SEMILLAS Y COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL BIODIESEL

La cantidad total de grasa, así como la composición, en cuanto a ácidos grasos, del aceite extraído de la semilla es un parámetro importante en lo que se refiere al biodiesel. Una investigación previa elaborada en el Centro Neotropical

para Investigación de la Biomasa realizó una caracterización de los ácidos grasos por cromatografía de gases, en este estudio también se obtuvo como resultado la cantidad de grasa en cada semilla.

El contenido de grasa de *Phoenix canariensis* es de 8,37%, para *Astrocaryum chambira* es 49,19% y de *Elaeis guineensis* es de 50,75% (Gómez, 2017). La cantidad de grasa en la semilla de *P. canariensis* es considerablemente menor en comparación con las otras dos especies en este estudio, esto es desventajoso porque para obtener una cantidad de aceite, y por lo tanto de biodiesel, considerable es necesario realizar más extracciones y utilizar más cantidad de materia prima. En cuanto a *A. chambira* y *E. guineensis* tienen una cantidad de grasa muy similar, ambas con un contenido de alrededor del 50% de la semilla lo que supone una ventaja para la producción del biodiesel con estas, la información sobre la cantidad de grasa en cada semilla se encuentra detallada en los anexos 13, 14 y 15 de la investigación de Gómez (2017), también en los anexos 10, 11 y 12 podemos observar los perfiles de metil ésteres con los que se desarrollan las tablas en los anexos antes mencionados. La cantidad de grasa en la semilla es una consideración importante, antes se mencionó algunas fuentes de aceites, la mayoría y las más utilizadas bordean en el 50% en la cantidad de grasa, la semilla de girasol y de colza tienen 49% de grasa en su semilla (Alpírez *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2018); por lo que podríamos decir que tanto *E. guineensis* y *A. chambira* tienen un buen porcentaje de grasa en comparación con las materias primas más utilizadas (Cherubini, 2010; Meher *et al.*, 2006).

En las tablas de los anexos 13, 14 y 15 podemos analizar la composición del biodiesel de cada una de las muestras, es importante mencionar existe una estrecha relación entre la calidad de este y su composición, por ello el conocimiento de los componentes del aceite de cada una de las semillas es vital en la evaluación de estos combustibles (Machado, 2010).

Los ácidos grasos que se encuentran de manera predominante en el biodiesel de *Phoenix canariensis* son: ácido oleico en un 34,37%, ácido láurico en un 24,27%, ácido linoléico en un 18,55%. Para *Elaeis guineensis* encontramos el ácido láurico en un 47,86%, oleico en un 16,40% y mirístico en un 16,47% y en *Astrocaryum chambira* tenemos ácido láurico 61,25% y mirístico 22,66% (Gómez, 2017). La composición de los ácidos grasos interfiere directamente en el estado en el que se presentan los aceites en temperatura ambiente, cuando la mayoría de

ácidos grasos son saturados, es decir no poseen dobles enlaces en su estructura, el aceite estará en estado sólido a temperatura ambiente, este es el caso de *E. guineensis* y *A. chambira* que poseen una gran cantidad de ácido laúrico, un ácido graso saturado (Jakeria *et al.*, 2014). Para el caso de *P. canariensis* que se encuentra en estado líquido la mayoría de los ácidos grasos que lo componen son de carácter insaturado, es decir con dobles enlaces en su estructura química, por lo que están en dicho estado a temperatura ambiente, el ácido oleico es el que se encuentra en mayor proporción en este aceite (Torres *et al.*, 2015). Cabe recalcar que esto no afecta el producto final, que podemos observar en la figura 1, las muestras de biodiesel están en estado líquido.

Estudios previos que evalúan el biodiesel en relación a su composición han demostrado que los ácidos grasos saturados interfieren con la quema del combustible y este puede presentar problemas en este aspecto, así también en el estudio de Torres y Castillo (2015), reveló que a mayor cantidad de ácidos grasos saturados aumentan el punto de fusión, punto de fluidez y el punto de nube, estos tres influyen fuertemente al correcto funcionamiento del combustible, el grado de saturación en aceites como el de soya, piñón, maíz e higuera no pasa el 20% del total de perfil de ácidos graso (Jakeria *et al.*, 2014). A pesar de esto, Jakeria y colaboradores (2014) señalan que los aceites con mayor grado de saturación presentan mayor estabilidad oxidativa, son más reactivos y pueden ser propensos a producir moléculas como esteres insaturados que influyen en los procesos de combustión, no obstante en este estudio también se señala que estos procesos oxidativos, que se dan en el proceso de transesterificación, pueden ser controlados por la temperatura y que esta puede ser más determinante que la saturación en la formación de subproductos durante la combustión (Jakeria *et al.*, 2014). *Phoenix canariensis* tiene un nivel de saturación de 27%, *Astrocaryum chambira* 91% y *Elaeis guineensis* 80,80%; en este caso *Phoenix* sería el mejor candidato; esto no quiere decir necesariamente que la saturación en las otras dos semillas sea un problema, ya que la palma africana se usa de manera amplia para la producción de biodiesel, podríamos decir que un bajo porcentaje de saturación es una característica deseable, pero no que una saturación alta es *per se* “mala”.

6.5. ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE UNIVERSOS

A continuación, se muestra la Tabla 7, se presenta la comparación de los valores interpretables de cada uno de los pentágonos irregulares a partir de las dimensiones de los universos, es importante recalcar que el valor de la sinergia corresponde al producto del valor obtenido en cada parámetro.

Tabla 7. Comparación de los valores para cada uno de los parámetros de cada muestra junto con el valor de sinergia y el valor normalizado de este último.

Dimensión	<i>Phoenix canariensis</i>	<i>Astrocaryum chambira</i>	<i>Elaeis guineensis</i>
Porcentaje de grasa	1	5	5
Porcentaje de saturación	5	2	2
Densidad	3	3	4
Viscosidad	5	4	4
Poder calorífico	3	5	5
Sinergia (s)	225	600	800
Log 10s	2,4	2,8	2,9

A partir de esta información se realizó el gráfico radial de marcadores con el que se genera una comparación gráfica de las tres muestras, como ya se mencionó la figura ideal corresponde al pentágono, entre más cerca se encuentren los vértices del número cinco la muestra se considera más equilibrada y por lo tanto “mejor” u óptima, en la Figura 3 podemos observarlo.

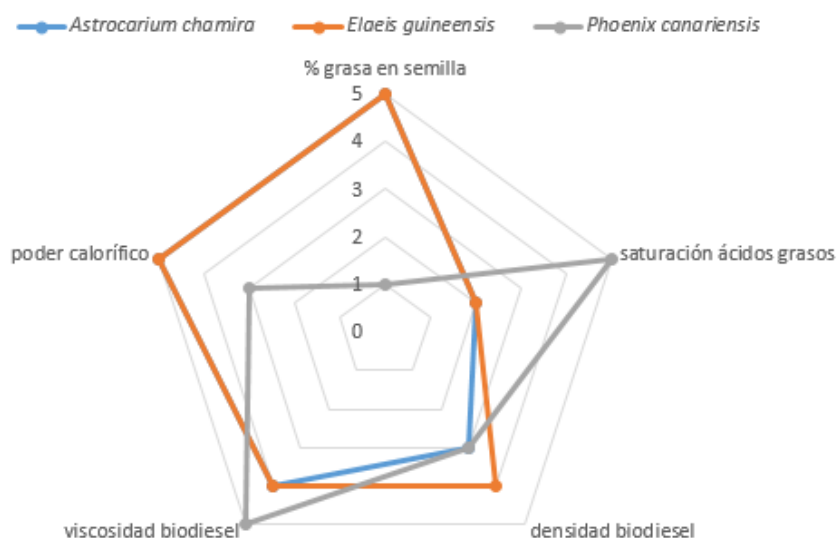


Figura 3: Análisis de la sinergia mediante gráfico radial con marcadores: Pentágono ideal y pentágonos irregulares generados a partir del cálculo de la Sinergia para cada muestra.

Bajo los cálculos observados en la Tabla 7 junto con la representación gráfico de la figura 3, podemos ver que el mejor candidato es el biodiesel de *Elaeis guineensis*, siguiéndole *Astrocaryum chambira* y por último *Phoenix canariensis*. Los valores son muy interesantes, especialmente porque tenemos la referencia de una especie ampliamente utilizada como lo es *Elaeis guineensis* con excelentes características para la producción de biodiesel y tenemos una especie silvestre, nativa y no domesticada que es *Astrocaryum chambira*, con un valor de la sinergia normalizada muy similar a *E. guineensis*. Así también, en la Figura 3 podemos ver que son los que más se acercan al pentágono ideal. Adicionalmente, los datos sugieren el potencial posicionamiento de *Astrocaryum chambira* como materia prima. Como mencionamos antes su cultivo hecho de forma responsable, como se hace con otras especies del género *Astrocaryum* en Colombia (Valencia *et al.*, 2013) podría ser viable y en la realidad actual, con las necesidades energéticas es importante contar con nuevas alternativas. Otra razón por lo que sería una buena alternativa es que, a diferencia de *Elaeis guineensis*, no es utilizada como alimento de manera masiva y su aceite no es utilizado para ningún fin por lo que el conflicto generado alrededor del uso que hay con la palma africana con *Astrocaryum chambira* no existe (Valencia *et al.*, 2013).

Una gran parte del biodiesel producido mundialmente proviene del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) la razón principal para usarla en la producción de este combustible es la abundancia de sus plantaciones, es una semilla que se encuentra domesticada y que inclusive se podría utilizar el aceite desecho (Alpírez *et al.*, 2016), *Astrocaryum chambira* es un especie nativa de nuestro país y sus características físico químicas están muy cercanas a *E. guineensis*, podría ser interesante analizar la viabilidad de su domesticación y cultivo de manera sostenible, ya que al momento se encuentra de manera silvestre únicamente, de ser el caso, lo óptimo sería buscar una manera sustentable para su cultivo y domesticación (Valencia *et al.*, 2013). *Phoenix canariensis* que es una especie ornamental que se encuentra distribuida indistintamente en la ciudad de Quito, por ejemplo, su domesticación y cultivo podría ser muy viable pero sus características no la hacen la mejor candidata. *Phoenix canariensis* se destaca por su viscosidad y por su composición mayoritariamente de ácidos grasos insaturados; sin embargo, la cantidad de grasa total es una desventaja.

7. CONCLUSIONES

La extracción del aceite fue más eficiente en términos de la cantidad obtenida para las semillas de *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira*, debido a que la cantidad de grasa contenida en estas se encuentra alrededor del 50% del total de la semilla. Por esta razón la cantidad de biodiesel que se obtuvo de estas fue mayor que la que se obtuvo de *Phoenix canariensis*.

El aceite, así como el biodiesel obtenido de las semillas de *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira* presentan muchas similitudes en sus características físico-químicas, así como en su composición de ácidos grasos.

Phoenix canariensis presenta algunas características físico-químicas deseables; sin embargo, la cantidad de grasa presente en la semilla es baja y su producción para el uso específico del biodiesel se vería afectada por esta razón. Su poder calorífico frente a las otras dos especies es menor por lo que en comparación esta especie es la candidata menos apta para la producción de biodiesel.

Como se mencionó previamente, *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira* presentan varias similitudes, siendo la primera mejor según el análisis de universos, ambas son buenas candidatas como alternativas para la producción de biodiesel, sin embargo si tomamos en cuenta el impacto ambiental que existe en la actualidad con las plantaciones de palma africana la especie *Astrocaryum chambira* se posiciona como mejor candidata junto con un plan de domesticación y cultivo sustentable, responsable con el medio ambiente y en conjunto con las comunidades.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar la investigación dentro de esta línea con respecto a otras alternativas para materia prima del biodiesel, a través del estudio de otras semillas de palmas con la previsión de que estas tengan una buena cantidad de grasa del total de su peso, es decir semillas con alrededor del 50% de grasa en adelante.

Es importante tomar en cuenta aspectos socio-económico-ambientales del uso masivo de estas semillas, así como el impacto en las comunidades aledañas al sitio de cultivo de las mismas. Se recomienda indagar sobre formas de cultivo sostenibles, especialmente en el caso de *Astrocaryum chambira* una semilla no domesticada, a fin de que la producción del biodiesel no se limite a las energías alternativas si no que toda su la cadena productiva sea sustentable.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alpírez, G. M., Colorado, B. E. J., Espinoza, Z., Ortega, M. A. C., García, C., & Palomar, L. T. (2016). Experiencias de aprovechamiento de residuos para la generación de biodiésel en Colombia y México, *32*, 77–90. Recuperado de: <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.06>
- Alptekin, E., & Canakci, M. (2008). Determination of the density and the viscosities of biodiesel – diesel fuel blends, *33*, 2623–2630. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.02.020>
- Anaguano, N., & Celina, M. (2013). *Efecto de los vecinos más cercanos y el hábitat en el crecimiento y biomasa de la palma oligárquica Iriartea deltoidea* (Disertación de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Arias, D. E., Teuta, C. A., & Parra, J. (2011). Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100 / 04 y medición de poder calorífico. *AVANCES Investigación En Ingeniería.*, *8*(2), 73–80. Bogotá, Colombia.
- Barrio, A. A., & Porfirio, A. A. (2017). “Análisis de La Producción de Aceite de Palma Africana en el Ecuador.” (Disertación de pregrado). Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Carrera, G. (2014). Combustibles Fósiles. Disponible en: https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2014/12/00_combustib

[les-fosiles-2013-14-nuevo-2.pdf](#) (fecha de consulta: 15 de julio del 2018).

- Carvajal, J (2018). "Análisis Multidimensional de Universos". Pontificia Universidad Católica del Ecuador. (No publicado). Quito, Ecuador.
- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51(7), 1412–1421. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.01.015>
- Crabbe, E., Nolasco-Hipolito, C., Kobayashi, G., Sonomoto, K., & Ishizaki, A. (2001). Biodiesel production from crude palm oil and evaluation of butanol extraction and fuel properties. *Process Biochemistry*, 37(1), 65–71. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(01\)00178-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00178-9)
- Dora, P., Sotero, G. De, Sandoval, J., Ramírez, R. S., Reátegui, G. C. De, Antonio, J., ... Mancini, J. (2008). Fraccionamiento e interesterificación del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) cultivado en la amazonia peruana Fraccionamiento e interesterificación del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) cultivado en la amazonia peruana. Recuperado de: <https://doi.org/10.3989/gya.2008.v59.i2.497>
- Gómez, S. (2017). Análisis del contenido de grasa y perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla de siete especies de palmas de la Estación Científica Yasuní-PUCE por cromatografía de gases con detector de ionización de llama. (Disertación de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Ho, D. P., Ngo, H. H., & Guo, W. (2014). A mini review on renewable sources for biofuel. *BIORESOURSE TECHNOLOGY*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.022>
- Hossain, M. S., Madloul, N. A., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Pandey, A. K., & Khan, A. F. (2016). Role of smart grid in renewable energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1168–1184. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.098>

Jakeria, M. R., Fazal, M. A., & Haseeb, A. S. M. A. (2014). Influence of different factors on the stability of biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 154–163. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.024>

Jamil, F., Al-muhtaseb, A. H., Al-haj, L., Al-hinai, M. A., Hellier, P., & Rashid, U. (2016). Optimization of oil extraction from waste “ Date pits ” for biodiesel production, 117, 264–272. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.025>

Kassem, Y., & Çamur, H. (2018). ScienceDirect ScienceDirect Prediction of biodiesel density for extended ranges of temperature and pressure using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and radial basis function (RBF). *Procedia Computer Science*, 120(2017), 311–316. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.244>

Kim, D., Hanifzadeh, M., & Kumar, A. (2018). Trend of Biodiesel Feedstock and Its Impact on Biodiesel Emission Characteristics, 37(1), 7–19. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/ep.12800>

Liu, D., Togbe, C., Tran, L. S., Felsmann, D., Osswald, P., Nau, P., ... Kohse-Hoinghaus, K. (2014). Combustion chemistry and flame structure of furan, group biofuels using molecular-beam mass spectrometry and gas chromatography - Part I: Furan. *Combustion and Flame*, 161(3), 748–765. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2013.05.028>

Machado, C. (2010). Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe. *Organización Latinoamericana de Energía*, 88. Recuperado de: <http://www.bivica.org/upload/biocombustibles-situacion.pdf>

- Meher, L. C., Vidya Sagar, D., & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3), 248–268. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.002>
- Montúfar-Galárraga, R., & Brokamp, G. (2011). Palmeras aceiteras del Ecuador : estado del arte en la investigación de nuevos recursos oleaginosos provenientes del bosque tropical, XXXII, 93–118. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*. Quito, Ecuador
- Nair, J., Penner, G. B., Yu, P., Lardner, H. A. B., Mcallister, T., Damiran, D., ... Mckinnon, J. J. (2015). Evaluation of canola meal derived from Brassica juncea and Brassica napus seed as an energy source for feedlot steers Evaluation of canola meal derived from Brassica juncea and Brassica napus seed as an energy source for feedlot steers, 95(4), 599–607. <https://doi.org/10.4141/CJAS-2015-055>
- Organization of the Petroleum Exporting Countries. (2012). The Petroleum History across the years. Disponible: https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/GenInfo.pdf (fecha de consulta: 23 de junio del 2018).
- Ramírez Verduzco, L. F. (2013). Density and viscosity of biodiesel as a function of temperature: Empirical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 652–665. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.022>
- Rojas-González, A., Chaparro-Anaya, Ó., & Andrés-Ospina, C. (2011). Evaluación de mezclas biodiésel-diésel en la generación de energía eléctrica. *Ingeniería y Universidad*, 15(2), 319–336. Palmira, Colombia.
- Sadeghinezhad, E., Kazi, S. N., Badarudin, A., Oon, C. S., Zubir, M. N. M., &

- Mehrali, M. (2013). A comprehensive review of bio-diesel as alternative fuel for compression ignition engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 410–424. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.003>
- Shameem, K. M., Prathapan, K. D., Nasser, M., & Chaboo, C. S. (2016). Natural history of *Javeta pallida* baly, 1858 on phoenix palms in India (Chrysomelidae, Cassidinae, Coelaenomenoderini). *ZooKeys*, 2016(597), 39–56. Recuperado de: <https://doi.org/10.3897/zookeys.597.6876>
- Sierra-cantor, J. F., & Guerrero-fajardo, C. A. (2017). Methods for improving the cold flow properties of biodiesel with high saturated fatty acids content: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72(April 2016), 774–790. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.077>
- Souza, S. P., Seabra, J. E. A., & Nogueira, L. A. H. (2018). Feedstocks for biodiesel production: Brazilian and global perspectives. *Biofuels*, 9(4), 455–478. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1278931>
- Stratta, J. (2000). BIOCOMBUSTIBLES : los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel, 1–15. *Departamento de Capacitación y Mercado*. Ciudad de México- México.
- Tesfa, B., Mishra, R., Gu, F., & Powles, N. (2010). Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines, 35, 2752–2760. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.026>
- Tormos, B., Miró, G., & Polit, U. (2016). Aceites de motor de baja viscosidad : ahorro de combustible y ensayos en condiciones reales. Universidad Politécnica de Valencia. Repuerado de: DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7974> |
- Torres, A., Castillo, V., Lugo, R., Lugo, H., Cervantez, J., & Aguilar, V. (2015). Poder calorífico inferior de biodiesel de distintas fuentes y su desempeño en el motor.

Memorias Del XXX Congreso Nacional de Termodinamica, Ciudad de México, México.

Biblioteca Virtual Universidad Pablo Olivade. (2007). Manual Laboratorio Química-Física- Universidad Pablo Olivade. Sevilla: Universidad Pablo Olivade. Disponible en línea: <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/basesFQ/Pract/cuatroycinco.pdf>. (fecha de la consulta: 20 de mayo de 2018).

Valencia, R., Montúfar, R., Navarrete, H., y Balslev, H. (2013). Palmas Ecuatorianas: Biología y uso sostenible. *Publicaciones del Herbario QCA de la Pontificia Universidad Católica*. Quito, Ecuador.

Vásquez, V. (2018). Composición florística de árboles y arbustos de diez parques urbanos de la ciudad de Guayaquil. (Disertación de pregrado). Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador.

Widayat, W., Darmawan, T., Suryani, A., & Mubarak, Z. (2017). Physical Properties of Nyamplung Oil (*Calophyllum inophyllum* L) for Biodiesel Production Physical Properties of Nyamplung Oil (*Calophyllum inophyllum* L) for Biodiesel Production. *Journal of Physics*, 846.

Zhang, W. B. (2012). Review on analysis of biodiesel with infrared spectroscopy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6048–6058. Recuperado <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.003>

10. FIGURAS

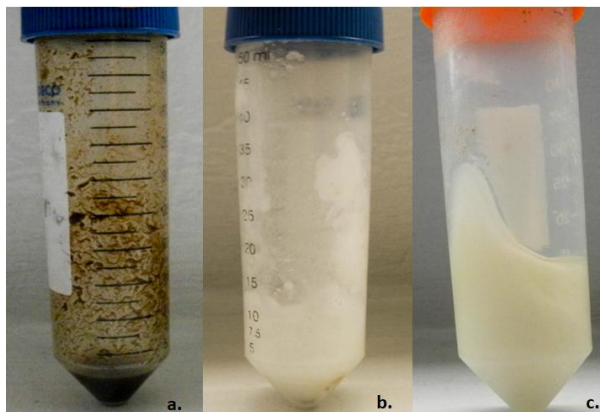


Figura 1: Aceite obtenido de cada especie: De izquierda a derecha: a. *Elaeis guineensis*; b. *Astrocaryum chambira*; c. *Phoenix canariensis*

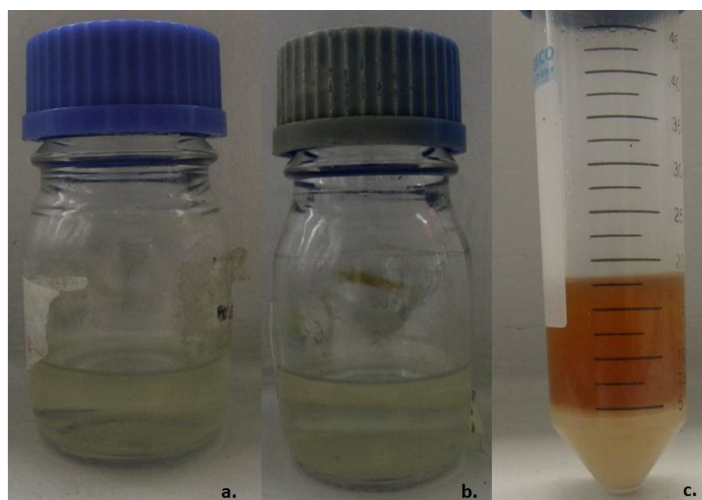


Figura 2: Biodiesel obtenido de cada especie: De izquierda a derecha: a. *Elaeis guineensis*; b. *Astrocaryum chambira*; c. *Phoenix canariensis*

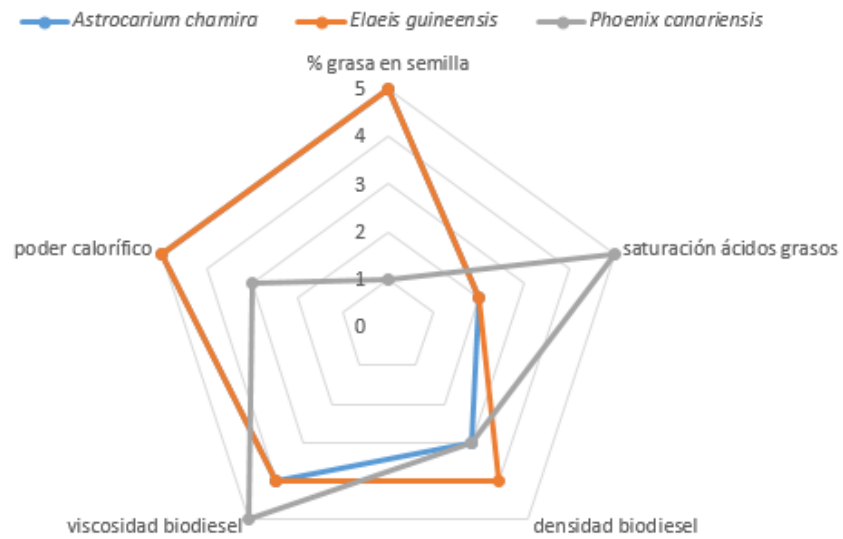


Figura 3: Análisis de la sinergia mediante gráfico radial con marcadores: Pentágono ideal y pentágonos irregulares generados a partir del cálculo de la Sinergia para cada muestra.

11. TABLAS

Tabla A. Datos del tiempo que demora el agua en recorrer el viscosímetro a tres temperaturas (10°, 20°, 30°): Los valores individuales de cada medición se muestran en segundos, mientras en que en la media tenemos el valor de segundos y también de minutos.

Tiempo	1	2	3	4	Media
Temperatura					
10°C	18.72"	18.50"	19.96"	19.80"	19,25" 0.32'
20°C	18,56"	17.53"	18.87"	17.42"	18.09 0.30'
30°C	16.79	15.69"	15.23"	16.33"	16.01" 0.26'

Tabla B. Valores del tiempo que demora la muestra de biodiesel *Elaeis guineensis* en recorrer el viscosímetro a tres temperaturas (10°, 20°, 30°): Los valores mostrados en negrillas corresponden al tiempo en minutos como unidad de tiempo.

Temperatura	<i>Elaeis guineensis</i>				
10°C	1	2	3	4	Media
	4'37"	4'34"	4'28"	4'30"	4'32" 4.53'
20°C	1	2	3	4	Media
	4'08"	4'14 "	4'11"	4'14"	4'11" 4.18'
30°C	1	2	3	4	Media
	3'57"	3'55 "	4'02"	4'.01"	3'59" 3.98'

Tabla C. Valores del tiempo que demora la muestra de biodiesel *Astrocaryum chambira* en recorrer el viscosímetro a tres temperaturas (10°, 20°, 30°): Los valores mostrados en negrillas corresponden al tiempo en minutos como unidad de tiempo.

Temperatura	<i>Astrocaryum chambira</i>				
10°C	1	2	3	4	Media
	2'20"	2'12"	2'06"	2'20"	2'14" 2.23'
20°C	1	2	3	4	Media
	1'42"	1'44"	1'46"	1'44"	1'44" 1.73'
30°C	1	2	3	4	Media
	1'29"	1'31"	1'35"	1'39"	1'34" 1.57'

Tabla D. Valores del tiempo que demora la muestra de biodiesel *Phoenix canariensis* en recorrer el viscosímetro a tres temperaturas (10°, 20°, 30°): Los valores mostrados en negrillas corresponden al tiempo en minutos como unidad de tiempo.

Temperatura	<i>Phoenix canariensis</i>				
10°C	1	2	3	4	Media
	13'30"	13'32"	13'36"	13'38"	13'31" 13.52'
20°C	1	2	3	4	Media
	13'12"	13'14"	13'16"	13'14"	13'14" 13.23'
30°C	1	2	3	4	Media
	13'04"	13'07"	13'05"	13'09"	13'06" 13.10'

12. ANEXOS

Anexo 1. Producción de biodiesel (en millones de galones) en Estados Unidos desde el año 2006 hasta el 2016 (Kim *et al.*, 2018).

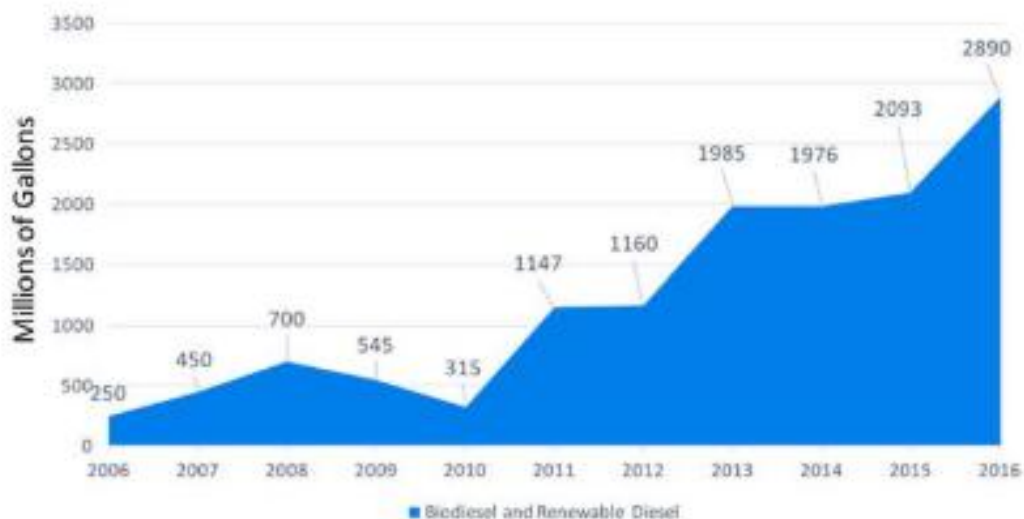


Figure 1. US biodiesel production change for the past 10 years since 2006 [2]. [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

Anexo 2. Producción global de biodiesel al año (Alpírez *et al.*, 2016).

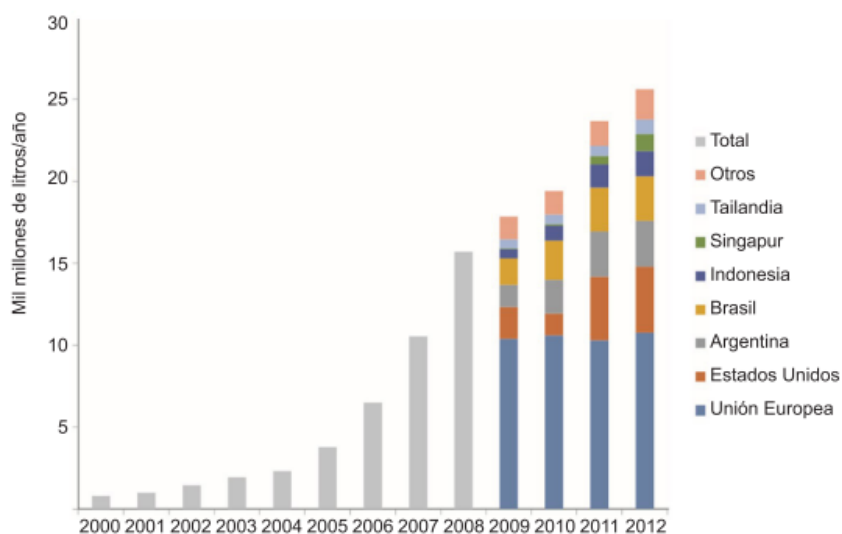


Fig. 2. Producción global de biodiesel

Anexo 3. Países que han implementado mandatos con el fin de aumentar el consumo de biocombustibles (en verde) y países que tienen como objetivo la transición a este tipo de energía (morado) (Alpírez *et al.*, 2016)

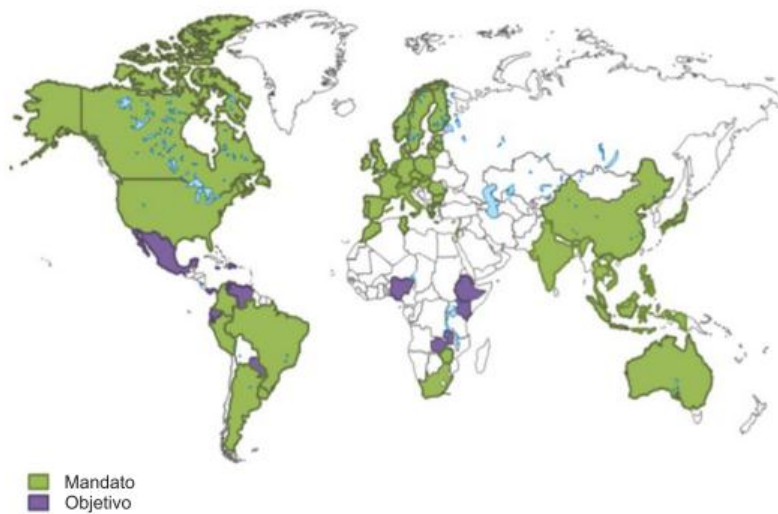


Fig. 1. Países con políticas internacionales de soporte a los biocombustibles (IEA 2014).

Anexo 4: Principales fuentes vegetales utilizadas para la producción de biodiesel a nivel mundial (Kim *et al.*, 2018)

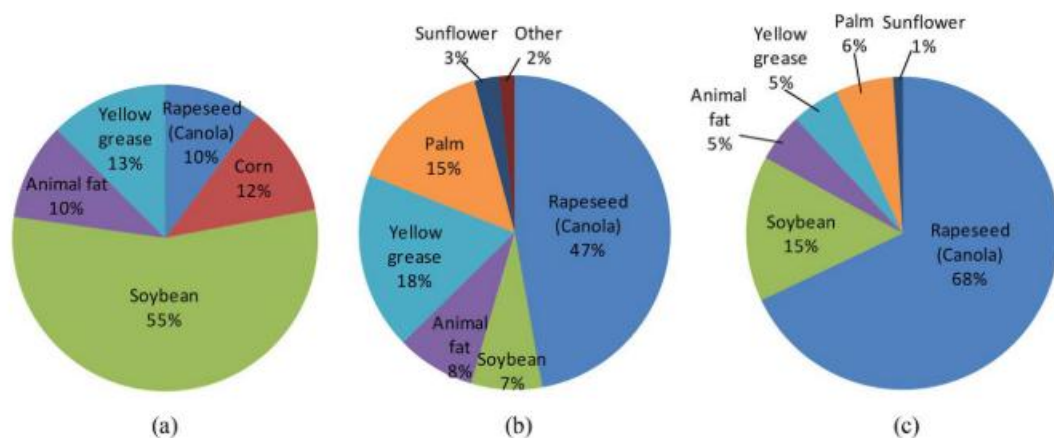
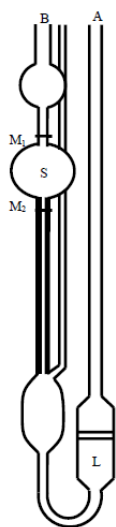


Figure 5. Feedstock inputs for biodiesel production. (a) USA (2016), (b) EU (2016), and (c) World (2013) [9]. [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

Anexo 5: Viscosímetro de Oswald (Manual Laboratorio Química-Física Universidad Pablo Olivade, 2007).



Anexo 6. Valores de viscosidad del agua a diferentes temperaturas (Manual Laboratorio Química-Física Universidad Pablo Olivade, 2007).

η_{H_2O} (millistokes)	1.793	1.522	1.311	1.142	1.006	0.893	0.800
T (°C)	0	5	10	15	20	25	30

Anexo 7. Informe de la Universidad Central con los resultados del poder calorífico para *Phoenix canariensis*.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
PETRÓLEO

Informe N°: 18-07-06-P-3
 Fecha: 2018-07-25

Referencia:	OT-18-07-06-P
Empresa:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
Atención:	Investigación
Dirección:	Av. 12 de Octubre 1076 y Vicente Rocaforte
Tipo de ensayos:	Análisis fisicoquímico
Tipo de muestra:	B10 DIÉSEL
Identificación de la muestra:	B10 DIÉSEL CANARIENSIS
Descripción de la Muestra:	Sin descripción específica
Fecha de ingreso de muestra:	2018-07-24
Código de la muestra:	OE-18-07-06-P-3
Fecha de realización de ensayos:	2018-07-24

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	REFERENCIA
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/UM102 Ref. ASTM D-240	28,992	-

Nota: - Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
 Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.
Condiciones Ambientales: - Presión 544,0 mm Hg; Temperatura: 19,1 °C

AB: APJ
 Realizado por: ABG

Revisado por:



Ing. Fernanda Toasa L.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:



Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Rábber s/n y Bolívar

Teléfono: 2904794 / 2944631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fo.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P01-7

Página 3 de 3

Anexo 8. Informe de la Universidad Central con los resultados del poder calorífico para *Astrocaryum chambira*



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS PETRÓLEO

Informe Nº 18-07-06-P-2
Fecha 2018-07-25

Referencia: OT-18-07-06-P
Empresa: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
Atención: Investigación
Dirección: Av. 12 de Octubre 1076 y Vicente Roca
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímico
Tipo de muestra: BIO DIÉSEL
Identificación de la muestra: BIO DIÉSEL CHAMBIRA
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de muestra: 2018-07-24
Código de la muestra: OE-18-07-06-P-2
Fecha de realización de ensayos: 2018-07-24

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	ACCREDITADO DPEC
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PM/DPEC/PM002 Ref. ASTM D-240	37,933	-

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.
Condiciones Ambientales: Presión 544,0 mm Hg; Temperatura: 19,1 °C.

AN-AP1
Realizado por: ABO

Revisado por:

Ing. Fernanda Tessa L.
RESPONSABLE TÉCNICO



Acreditado por:

Ing. Gherrí Carvajal C.
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Alfaro s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2944633 ext. 70
QUITO - ECUADOR

E-mail: fq.seccstatia.dpec@uce.edu.ec

MC2201-POL-7

Página 2 de 2

Anexo 9. Informe de la Universidad Central con los resultados del poder calorífico para *Elaeis guineensis*



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS PETRÓLEO

Informe N° 18-07-06-P-1
Fecha 2018-07-25

Referencia: OT-18-07-06-P
 Empresa: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
 Atención: Investigación
 Dirección: Av. 12 de Octubre 1076 y Vicente Roca
 Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímico
 Tipo de muestra: BIO DIÉSEL
 Identificación de la muestra: BIO DIÉSEL GUINENSIS
 Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
 Fecha de ingreso de muestra: 2018-07-24
 Código de la muestra: OE-18-07-06-P-1
 Fecha de realización de ensayos: 2018-07-24

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	Observaciones
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/MI02 Ref. ASTM D-240	35,573	-

Nota.- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
 Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.
 Condiciones Ambientales.- Presión 544,0 mm Hg; Temperatura: 10,1 °C

AN: APJ
 Revisado por: ABO

Revisado por:

Ing. Fernanda Toaca L.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Ghem Carvajal C.
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

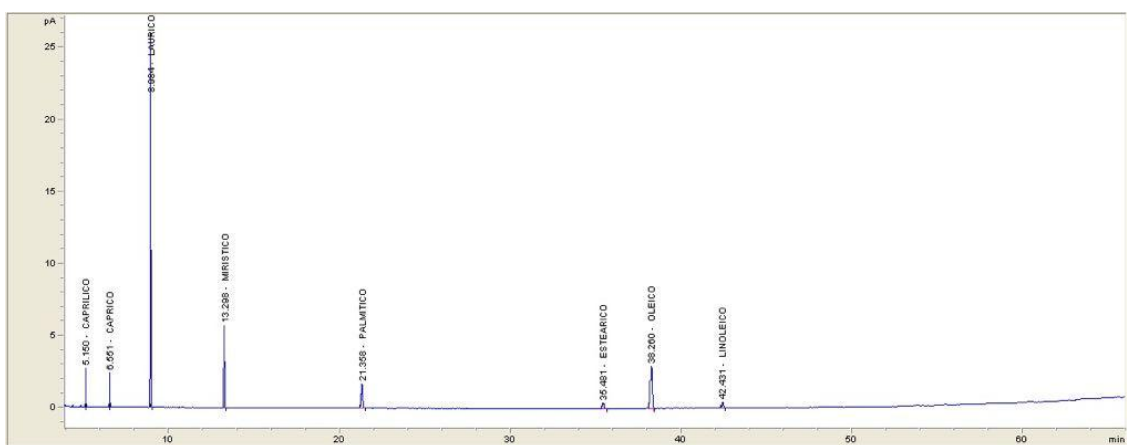
ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique R. Ríos s/n y Bolívar

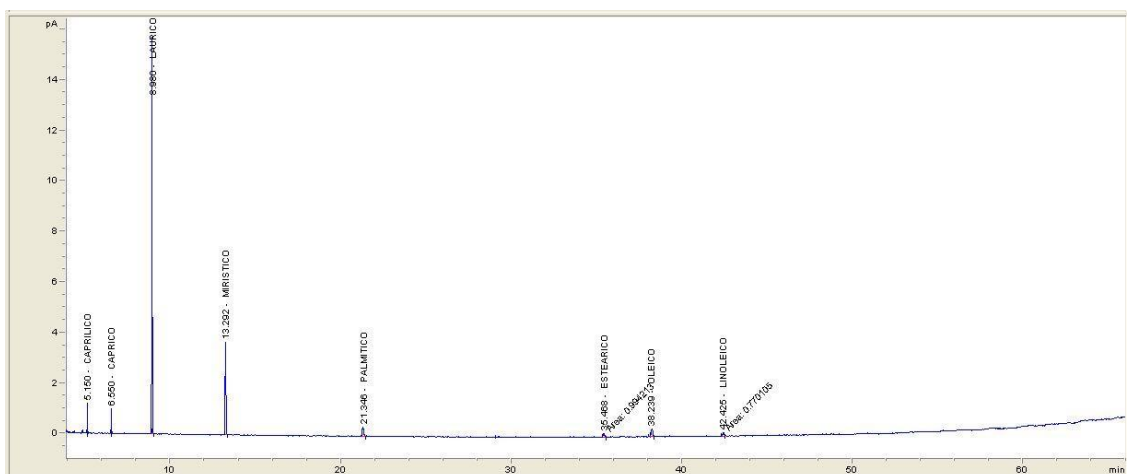
Teléfono: 2501794 / 2544651 ext. 26
QUITO - ECUADOR

E-mail: la.secreteria.dpec@uce.edu.ec

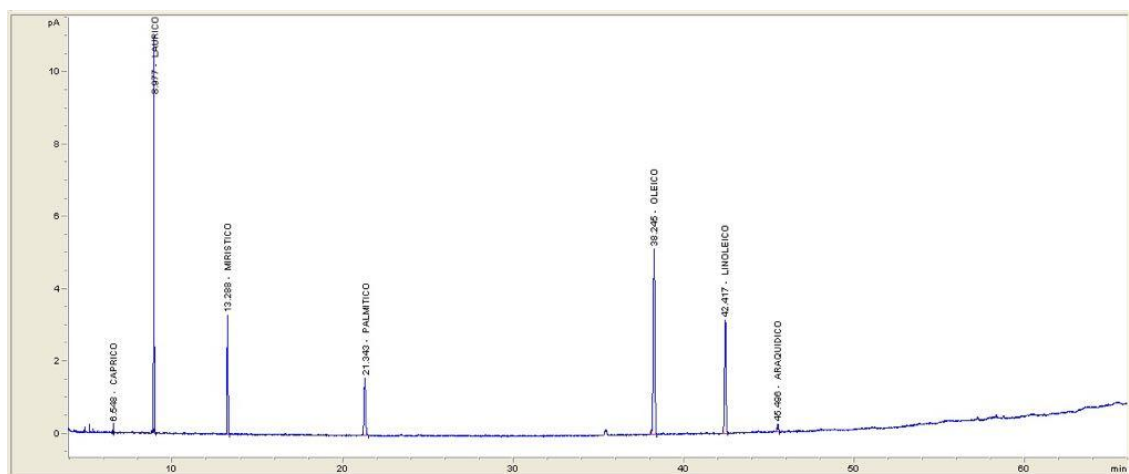
Anexo 10: Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de *Elaeis guineensis* (Gómez, 2017).



Anexo 11: Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de *Astrocaryum chambira* (Gómez, 2017).



Anexo 12: Cromatograma de metil ésteres de ácidos grasos de *Phoenix canariensis* (Gómez, 2017).



Anexo 13: Contenido de ácidos grasos en *Elaeis guineensis* (Gómez, 2017).

Tabla 13. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Elaeis guineensis* por medio de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.

Ácido Graso	Simbología	Soxhlet	Ultrasonido	Comparación (Montufar y Brokamp, 2011)
		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
Caprílico	C8:0	2,83	2,83	2,90
Cáprico	C10:0	3,14	3,15	3,10
Láurico	C12:0	47,86	48,04	48,10
Mirístico	C14:0	16,76	16,77	16,00
Palmitico	C16:0	8,66	8,65	8,40
Estearico	C18:0	2,40	2,24	2,30
Oleico	C18:1 ω9	16,40	16,39	16,40
Linoleico	C18:2 ω6	1,95	1,92	2,60
<i>Total Ac. Grasos Saturados</i>		81,65	81,69	80,80
<i>Total Ac. Grasos Monoinsaturados</i>		16,40	16,39	16,40
<i>Total Ac. Grasos Poliinsaturados</i>		1,95	1,92	2,60

Anexo 14: Contenido de ácidos grasos en *Astrocaryum chambira* (Gómez, 2017).**Tabla 14. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Astrocaryum chambira* por medio de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.**

Ácido Graso	Simbología	Soxhlet	Ultrasonido	Comparación (Montufar y Brokamp, 2011)
		Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
Caprílico	C8:0	2,62	2,76	1,30
Cáprico	C10:0	2,72	2,69	1,50
Láurico	C12:0	61,25	62,11	50,90
Mirístico	C14:0	22,96	22,98	28,20
Palmítico	C16:0	3,89	3,74	6,50
Esteárico	C18:0	1,75	1,34	2,60
Oleico	C18:1 ω9	3,46	2,98	6,20
Linoléico	C18:2 ω6	1,36	1,40	2,60
<i>Total Ac. Grasos Saturados</i>		95,18	95,62	91,00
<i>Total Ac. Grasos Monoinsaturados</i>		3,46	2,98	6,20
<i>Total Ac. Grasos Poliinsaturados</i>		1,36	1,40	2,60

Anexo 16: Contenido de ácidos grasos en *Phoenix canariensis***Tabla 10. Contenido de ácidos grasos presentes en la especie *Phoenix canariensis* por medio de las técnicas de extracción Soxhlet y asistida por ultrasonido.**

Ácido Graso	Simbología	Soxhlet	Ultrasonido	Comparación (Nehdi, et al, 2010)
		Porcentaje (%)		
Cáprico	C10:0	0,38	0,39	0,11
Láurico	C12:0	24,04	24,27	10,24
Mirístico	C14:0	11,51	11,66	7,51
Palmítico	C16:0	9,85	9,76	9,83
Oleico	C18:1 ω9	34,59	34,37	50,00
Linoléico	C18:2 ω6	18,64	18,55	19,23
Araquídico	C20:0	0,99	1,02	0,19
<i>Total Ac. Grasos Saturados</i>		46,77	47,10	27,88
<i>Total Ac. Grasos Monoinsaturados</i>		34,59	34,37	50,00
<i>Total Ac. Grasos Poliinsaturados</i>		18,64	18,55	19,23

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Daniela Valencia Argüello, C.I. 1003660113, autora del trabajo de graduación titulado: “Evaluación de la producción de biodiesel obtenido a partir del aceite de semillas de tres especies de palmas (*Phoenix canariensis*, *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum chambira*).” previa a la obtención del grado académico de LICENCIADA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales:

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos del autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 20 de Noviembre de 2018

Daniela Valencia Argüello,
C.I. 1003660113