

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA MEXICALI

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



“Semilla de dátil (*Phoenix dactylifera* L.) como fuente de biomasa para la producción de biocombustibles: caso de estudio, producción de biodiesel”

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

JAZMIN LIZETH JIMENEZ NAVA

DIRECTOR DE TESIS

DR. CONRADO GARCÍA GONZÁLEZ

CODIRECTOR DE TESIS

DR. RICARDO SALOMON TORRES

Mexicali, Baja California a enero 2024

Dedicatoria

A mi abuelo, Juan Bustos Becerra, con quien me hubiera gustado compartir este logro, pero desafortunadamente no fue posible.

A mi esposo, Paul Ramírez Chaparro, que ha jugado un papel fundamental a lo largo de estos años apoyándome y ayudándome a continuar.

A mi hija, Rahab Ximena Rojas Jiménez, mi principal motivo y fuente de amor para crecer y mejorar día con día.

Agradecimientos

Al Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría, dándome las herramientas para seguir mi formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme la beca para realizar mis estudios de maestría.

A mi director de tesis, el Dr. Conrado García González, por darme la oportunidad de trabajar con él y guiarme en el camino; por la paciencia brindada, por transmitirme su conocimiento como investigador, por su gran paciencia y por todo su apoyo a lo largo de la maestría.

A mi codirector de tesis, el Dr. Ricardo Salomón Torres, por su apoyo y orientación en mi proyecto.

A mi mejor amigo, el M.I. Samuel Lepe de Alba, por su acompañamiento, apoyo objetivo y ayuda durante mis estudios de maestría y siempre.

A los laboratorios que me brindaron las condiciones adecuadas para trabajar en mi experimentación.

A los sínodos por su tiempo para la revisión de mi tesis.

Contenido

1	Introducción	3
	Antecedentes	5
1.1	Justificación	6
1.2	Hipótesis	9
1.3	Objetivos	9
	1.3.1 Objetivo general	9
	1.3.2 Objetivos específicos	9
2	Marco de referencia	10
2.1	La palma datilera	11
2.1.1	La palma datilera en México y el mundo	12
2.2	Generalidades de la semilla de dátil	21
2.3	Aceites vegetales	23
2.4	Ácidos grasos	24
2.5	Impacto del uso de combustibles fósiles en la generación de energía	24
2.6	La biomasa del dátil como fuente de energía	25
2.7	Energías limpias y energías renovables	28
	2.7.1 Energías limpias	28
	2.7.2 Energías renovables	31
2.8	Biocombustibles	31

2.8.1 Biodiesel	33
2.8.2 Tipo de biodiesel y su condición de servicio	34
2.8.3 Tecnologías de conversión de biodiesel	34
2.9 Transesterificación	35
2.10 Bioenergía	36
3 Metodología de la investigación	38
3.1 Higroscopicidad	39
3.1.1 Preparativos de la semilla de dátil	40
3.2 Procedimiento para la extracción de ácidos grasos de la semilla de dátil	40
3.2.1 Separación del aceite de semilla de dátil extraído	42
3.3 Imágenes SEM	43
3.3.1 Reacción de transesterificación	44
3.4 Composición de ácidos grasos de la semilla de dátil	44
3.4.1 Resonancia Magnética Nuclear (RMN) en el biodiesel	44
3.5 UV-Vis	46
3.6 Poder calorífico	46
4 Resultados y discusión	47
4.1 Higroscopicidad	48
4.2 Extracción de ácidos grasos de la semilla de dátil	52

4.3 Imágenes SEM	53
4.4 Composición de los ácidos grasos de la semilla de dátil	54
4.4.1 Resonancia Magnética Nuclear (RMN)	58
4.5 Espectroscopía UV-VIS	61
4.6 Estimación de producción de biodiesel a partir de aceite de semilla de dátil	62
Conclusiones	63
Referencias	65
Otros productos académicos	75

Índice de figuras

Figura 1. Cultivo de palma datilera en el valle de Mexicali	11
Figura 2. Mapa mundial de países con presencia de palma datilera	13
Figura 3. Producción de palma datilera en Baja California 2019	17
Figura 4. Principal productor de palma datilera en Baja California 2019	17
Figura 5. Principal productor de palma datilera en Sonora 2019	17
Figura 6. Mapa de distribución del cultivo de dátil en México	18
Figura 7. Siembra de palma datilera en México 2015	21
Figura 8. Semilla de dátil (<i>Phoenix dactylifera</i> L.) dentro del fruto	22
Figura 9. Semilla de dátil (B) vista ventral (C) sección longitudinal de semilla de dátil	22
Figura 10. Diagrama de flujo para la producción de aceite de semilla de dátiles a partir de frutos	23
Figura 11. Alternativas para generar energía a partir de la semilla de dátil	26
Figura 12. Estructura de la producción de energía primaria, 2020 (SENER, 2020)	27
Figura 13. Reacción de transesterificación de los ácidos grasos	36
Figura 14. Semilla de dátil pulverizada	41
Figura 15. Cámara del extractor con cartucho	41
Figura 16. Matraz con hexano	41

Figura 17. Proceso de extracción de aceite	41
Figura 18. Finalización del proceso de extracción de aceite	42
Figura 19. Aceite extraído mezclado con Hexano	42
Figura 20. Evaporación de hexano	43
Figura 21. Hexano recuperado	43
Figura 22. Masa de semilla de dátíl en tiempo 0	48
Figura 23. Masa de semilla de dátíl tiempo 10	49
Figura 24. a) Semilla de dátíl eje x T. 0. b) Semilla de dátíl eje x T. 10	50
Figura 25. a) Semilla de dátíl eje y T. 0. b) Semilla de dátíl eje y T.10	51
Figura 26. a) Semilla de dátíl eje z T. 0. b) Semilla de dátíl eje z T. 10	51
Figura 27. Gráfica de higroscopicidad de la semilla de dátíl	52
Figura 28. Semilla de dátíl antes (a, c) y después (b, d) del proceso de extracción de aceite	53
Figura 29. Gráfica CGEM a biodiesel de semilla de dátíl	56
Figura 30. Gráfica RMN 1H a biodiesel de semilla de dátíl	59
Figura 31. Gráfica RMN 13C a biodiesel de semilla de dátíl	60
Figura 32. Espectroscopia UV-VIS de biodiesel de aceite de semilla de dátíl	61

Índice de tablas

Tabla 1. Taxonomía de la palma datilera	12
Tabla 2. Área cosechada de dátil (ha) en el continente americano para el 2019	16
Tabla 3. Área cosechada de dátil (ha), entre los principales productores en el mundo para el 2019	19
Tabla 4. Historial de los últimos 40 años registrados de dátil en México	20
Tabla 5. Aceite extraído de semilla de dátil	52
Tabla 6. Porcentaje de ácidos grasos presentes en el biodiesel de aceite de semilla de dátil	54
Tabla 7. Comparativa de la composición de los ácidos grasos de la semilla de dátil cultivar Medjool con otros autores	57
Tabla 8. Estimación de producción de biodiesel de aceite de semilla de dátil	62

RESUMEN

Con el paso del tiempo, los biocombustibles se han convertido en una opción prometedora para la obtención de energía, así como una alternativa al uso de combustibles fósiles. Estos son producidos a partir de materia orgánica, convirtiéndolos en fuentes de energía renovable, dejando de lado la preocupación del agotamiento de los recursos finitos. El biodiesel formando parte de los biocombustibles, se ha ido abriendo paso alrededor del mundo, teniendo ventajas sobre el diésel convencional, ya que representa un menor impacto ambiental debido a su menor emisión de gases de efecto invernadero; además, diversos estudios han concluido que cumplen con los estándares de calidad requeridos por la normativa.

La palma datilera (*Phoenix dactylifera L.*), es una planta que crece en climas áridos y que su fruto se comercializa para la elaboración de distintos productos. Sin embargo, su semilla generalmente es material que no es aprovechado en gran manera e incluso puede ser considerado un desecho agrícola; esta contiene una cantidad significativa de ácidos grasos, lo cual es sumamente atractivo para considerarlo materia prima para un producto de calidad.

El presente trabajo muestra el proceso para la producción de biodiesel a partir de biomasa de semilla de dátil, cultivar Medjool del Valle de Mexicali; partiendo de la selección de la semilla, la molienda y la extracción del aceite de la misma, para finalmente pasar por el proceso de transesterificación para la obtención del biodiesel. Asimismo, las pruebas realizadas para verificar el cumplimiento de los estándares de calidad, bajo la metodología aplicada de acuerdo a los procedimientos de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Palabras clave: Semilla de dátil, aceite de semilla de dátil, biodiesel, energía renovable, calidad.

ABSTRACT

Over time, biofuels have become a promising option to obtain energy, as well as an alternative to the use of fossil fuels. These are produced from organic matter, turning them into renewable energy source, leaving aside the concern of the depletion of finite resources. Biodiesel being part of the biofuels, has been making its way around the world, having advantages against the conventional diesel, since it represents a lower environmental impact due to its lower emission of greenhouse gases; besides, various studies have concluded that they meet the standards of the regulations.

The date palm (*Phoenix dactylifera L.*), is a plant that grows in arid climates and its fruit is sold for the fabrications of many products. However, its seed usually is not used in a great way, it can even be considered agricultural waste; this seed contains a significant amount of fatty acids, which is extremely attractive to consider it raw material for a quality product.

The present work shows the process for the production of biodiesel from date seed biomass, Farm Medjool from the Valley of Mexicali; Starting from the selection of the seed, the grinding and the extraction of the oil from it, to finally go through the transesterification process to obtain biodiesel. Likewise, the tests carried out to verify compliance with quality standards, under the methodology applied according to the procedures of the American Society for Testing and Materials (ASTM).

Keywords: Date seed, date seed oil, biodiesel, renewable energy, quality.

Capítulo 1: Introducción

El alza de los precios del petróleo y el gas incita a prestar atención a otros recursos como la biomasa. Entre estos recursos, los residuos agrícolas que no entran en conflicto con la producción de alimentos pueden utilizarse ampliamente para la producción de energía. Se ha centrado el interés en el biodiesel debido a su naturaleza menos contaminante y renovable, frente al combustible diésel a base de petróleo, lo cual lo convierte en un serio candidato para ser su reemplazo (1).

Actualmente la palma datilera es uno de los árboles más cultivados, se estima que 105 millones de individuos de esta especie, se encuentran actualmente en producción en el mundo y genera alrededor de 12 millones de toneladas métricas de biomasa residual por año. Esto representa una de las mayores corrientes de residuos que en la actualidad, permanece en gran parte sin utilizar para la necesidad de opciones de utilización económicamente viables (2).

Uno de los principales residuos es la semilla de dátil, que se genera debido a la industrialización del fruto de la palma datilera. El aceite de semilla de dátil es uno de los principales productos que se puede aprovechar como un producto de valor agregado, ya que está compuesto principalmente por los cuatro ácidos grasos a saber, ácido oleico, láurico, linoleico y palmítico. Estudios previos muestran que el aceite con un alto contenido de ácidos libres en grasa saturada, dará como resultado un mayor gasto en el catalizador para neutralizar la acidez del aceite (3).

Esto se convierte en una ventaja para el aceite de la semilla del dátil, porque su contenido de ácidos libres de grasas saturadas es bajo, ya se encuentra en un rango de 0.53 y 1.05% (3).

1.1 Antecedentes

La producción de biodiesel de aceite de semilla de dátil es relativamente nueva; sin embargo, existen antecedentes alrededor del mundo sobre el uso de este.

- En Pakistán, el biodiesel de aceite de semilla de dátil tiene un inmenso potencial para ser utilizado como combustible renovable para el desarrollo económico sostenible (4).
- En Irán, el aceite de semilla de dátil podría considerarse como un potencial para convertirse en materia prima para la producción de biodiesel (5).
- En Nigeria, se considera que el aceite de la semilla de dátil es una buena materia prima para la producción de biodiesel. Se demostró que el biodiesel producido tenía algunas ventajas sobre la gasolina-diésel porque dió una disminución relativa en la emisión de gases de efecto invernadero que están asociados a la gasolina-diésel (6).
- En Omán, se sugiere que el aceite de semillas de dátiles es una fuente potencial para la producción del biodiesel y una fuente diversificada de energía para países con tierras agrícolas áridas (7).

Estos antecedentes dan a conocer que el aceite de la semilla de dátil, es una fuente para la producción de energía que se debería de considerar seriamente en los países con cultivo de dátil para la producción de biodiesel.

1.2 Justificación

Las aplicaciones de la semilla de dátil, en general es considerada un residuo, o en el mejor de los casos está muy restringida en algunas aplicaciones:

- Las semillas de dátil representan un material de desecho importante de la fruta (8).
- En la mayoría de los casos, los huesos de dátiles terminan como productos de desecho de muchas plantas procesadoras de dátiles (9).
- Las semillas de dátil se han considerado durante mucho tiempo un residuo agroindustrial y se utilizan como fertilizante convencional para el suelo (10).

Hoy en día la atmosfera está repleta de material particulado atribuido a las fuentes antropogénicas, principalmente a la gran cantidad de vehículos automotores que encontramos por todos lados; se estima que entre un 25 y un 75% de las partículas PM10 de la zona urbana provienen de dichas fuentes, teniendo como el puesto más importante de la lista al enorme parque vehicular de motor diésel existente. En este tipo de motores, esto se propicia gracias a que existen zonas donde hay baja temperatura o una baja disponibilidad de oxígeno presente en la llama durante la combustión. Esta combustión debe ser de calidad y ello depende entre otras cosas, principalmente de cómo es inyectado el combustible y las características de la misma inyección, también de las características de la mezcla que se da entre el combustible y el aire. Asimismo, debe existir una presencia de combustible y aceite lubricante en las paredes de la cámara de combustión y donde se encuentran asentadas las válvulas de aire. En las zonas antes mencionadas, se dan reacciones de pirólisis, formando hidrocarburos policíclicos aromáticos, que de igual forma dan

lugar a la formación de partículas esféricas de entre 10 y 70 nm de diámetro, debido a la aglomeración de estructuras llamadas fulerenos formadas por estos hidrocarburos. Las partículas de entre 10 y 70 nm continúan aglomerándose entre ellas para dar nacimiento a nuevas partículas que son alargadas y ramificadas. En estas nuevas partículas, se presenta la condensación de ciertos compuestos semivolátiles, dentro de los que encontramos compuestos orgánicos solubles, sulfatos y nitratos asociados con agua, que tiene lugar al enfriarse con los gases de combustión. Además, durante el enfriamiento, existe formación de núcleos líquidos de ácido sulfúrico y sulfatos, partiendo de nuevas nanopartículas de 10 nm y sobre ellos se condensan los compuestos semivolátiles (11).

En los países ricos, la industrialización se cimentó sobre el uso indiscriminado de los combustibles fósiles, convirtiéndose en la fuente principal de los procesos de cambio económico característicos de los países con mayor población a nivel mundial, pero los precios se han visto sumamente afectados y la tendencia a prevalecido gracias a lo preocupante que es el saber que estas fuentes son finitas y nos encontramos limitados por este factor (12).

Pero todo esto ya había sido planteado por diversos autores, que externaron su preocupación y advirtieron que las fuentes de combustibles fósiles que nos han abastecido masivamente y que han hecho posible la obtención de energía no serán algo que sea eterno y no durarán para siempre (12), por lo que el ser humano debe explorar nuevas alternativas para encontrar nuevas fuentes para la obtención de energía.

La humanidad, al percatarse de esto, ha iniciado una enorme campaña alrededor del mundo, teniendo como objetivo el incorporar de manera rápida las distintas materias primas que nos permitan producir biocombustibles que logren ser los sustitutos adecuados de los combustibles convencionales elaborados a base de derivados del petróleo. El ambiente tan contaminado en el que vivimos y el calentamiento global que cada día va más en aumento, son las razones principales para que el hombre analice diferentes alternativas que disminuyan esta problemática ambiental, que termina también traduciéndose en afectaciones a la salud. Existen biocombustibles de primera generación que utilizan como materia prima cultivos específicos para su producción, encontrando entre ellos al biodiesel con una muy grande difusión. Cuentan con distintas etapas de procesamiento, las cuales dependen de la fuente de carbono, contando con tecnologías de proceso más simples que las utilizadas en el proceso de los de segunda generación, al igual que costos de inversión y producción menos elevados (13).

Se tiene una diferencia extremadamente marcada entre la energía contenida en los recursos fósiles, entendiéndose por estos petróleo, gas natural y carbón. Esto representa un 80% del total de la energía que es consumida alrededor mundo y la que se pretende obtener de la agricultura, por medio de la fotosíntesis, en menor tiempo. En la actualidad, se pretende que con los biocombustibles sea posible sustituir la utilización y el consumo de energía fósil, debido a que en esta encontramos características particulares como un altísimo consumo de la misma, uso intensivo de tecnologías, así como el de máquinas y grandes daños ambientales que pueden ser irreversibles (14).

Por todo lo antes expuesto se plantea lo siguiente:

1.3 Hipótesis

La semilla de dátil proveniente del cultivar Medjool (*Phoenix dactylifera* L.) producido en el Valle de Mexicali, contiene propiedades ácidos grasos, que la convierten en fuente alterna ideal para la producción de biodiesel.

1.4 Objetivos

Se plantean los siguientes objetivos general y específico de la investigación.

1.4.1 Objetivo General

Identificar la viabilidad de producción de biodiesel a partir del aceite de la semilla de dátil cultivar Medjool, como fuente de biomasa para la producción de biodiesel, a fin de valorar un residuo agroindustrial, a fuente de biomasa para la producción de biodiesel.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar el rendimiento de extracción de aceite de semilla de dátil cultivar Medjool producido en el Valle de Mexicali.
- Identificar la viabilidad de producción de biodiesel a partir de la semilla de dátil cultivas Medjool, a través de la extracción y cuantificación de sus ácidos grasos y su rendimiento.
- Determinar el proceso de conversión más apropiado para la producción de biodiesel y evaluar la calidad del biocombustible obtenido acorde a la normatividad aplicable.

Capítulo 2: Marco de referencia

2.1 La palma datilera

La Palmera datilera es una planta con flores de la familia de las palmeras cultivada por su fruto comestible (Figura 1). Tiene plantas masculinas y femeninas separadas, las diferentes especies de dátiles crecen en territorios desérticos y semidesérticos de todo el mundo. En la Tabla 1 se muestran datos importantes de su taxonomía. El dátil se compone de carbohidratos, fibras dietéticas, proteínas, lípidos, algunas vitaminas y minerales. Muchos estudios han mostrado que la fruta del dátil es antioxidante, antimutagénica, antiinflamatoria, gastroprotectora, hepatoprotectora, nefroprotectora, anticancerígena e inmunoestimulante (15). Por su necesidad de sobrevivir en ambientes áridos, la palmera datilera tiene un cuerpo robusto, tan resistente que puede volver a crecer después de ser dañado por el fuego. Es esta habilidad la que, tal vez, impulsó el nombre taxonómico de la palmera datilera en honor a el legendario ave Fénix que se supone vivió hasta los 500 años y se había levantado con renovado vigor después de haber sido reducido a cenizas (16).



Figura 1. Cultivo de palma datilera en el Valle de Mexicali.

Tabla 1. Taxonomía de la palma datilera (17-19).

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Traqueobionta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Arecidae</i>
Orden	<i>Arecales</i>
Familia	<i>Palmaceae</i>
Género	<i>Phoenix</i>
Especie	<i>Phoenix dactylifera L.</i>

2.1.1 La palma datilera en México y el mundo

La palmera datilera actualmente se cultiva a través de un gran cinturón abarca numerosos países del viejo mundo (Figura 2), extendiéndose alrededor de 8,000 Km de Este a Oeste y 2,000 Km de Norte a Sur. Las regiones áridas y semiáridas de las Américas también son repositorios importantes del dátil con más de 600,000 árboles (20).

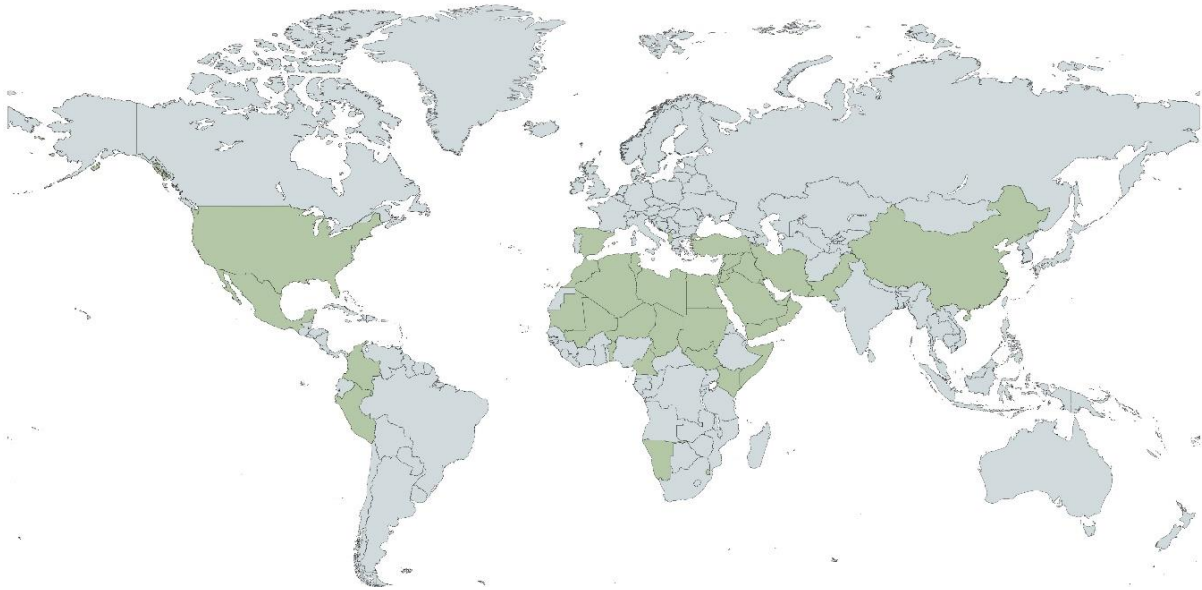


Figura 2. Mapa mundial de países con presencia de Palma datilera.

El género *Phoenix* tiene 14 especies diferentes, las cuales son nativas de las áreas áridas y semiáridas de África y Asia. De estas, seis proporcionan frutos comestibles. Esto ha llevado a la siembra de más de 105 millones de palmas datileras y la producción de dátiles comerciales, está alcanzando ahora 8, 000,000 t por año. La demanda mundial de dátiles está aumentando rápidamente, saltó de 2.8 t en 1985 a 5.4 t en 2001 mientras que su producción fue de 7.6 t en 2010. Por eso se espera que la extensión del cultivo de la palma datilera continúe en aumento durante los próximos años (21).

El fruto de la palma datilera ha servido como un alimento básico en el mundo árabe por siglos. Mundialmente la producción de dátil ha incrementado casi 3 veces en los últimos 40 años alcanzando 7.68 millones de t en el 2010. El dátil puede proveer muchos nutrientes esenciales, así como beneficios a la salud del consumidor. El dátil pasa por cuatro etapas de maduración llamados Kimri, Khalal, Rutab y Tamer. Los principales componentes químicos del dátil incluyen carbohidratos, fibra

dietética, enzimas, proteína, grasa, minerales, vitaminas, ácidos fenólicos y carotenoides. La composición química del dátil varía de acuerdo con su estado de maduración, el entorno donde crece, su método de cultivo y sus condiciones post cosecha. Las características nutricionales y medicinales de la fruta del dátil están relacionadas a su composición química. Muchos estudios han mostrado que el dátil tiene altas propiedades antioxidantes, antimutagénica, antiinflamatoria, gastroprotectora, hepatoprotectora, nefroprotectora, anticancerígena e inmunoestimulante (15).

De acuerdo a Salomón (2017), la entrada del cultivo de la palma datilera a México, se dio durante el periodo virreinal español, siendo los misioneros jesuitas los primeros en introducir estos plantíos durante su evangelización entre finales del siglo XVI y mediados del siglo XVIII en sus 15 misiones existentes a lo largo de la península de Baja California. Gracias a la obtención de datos a través del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), se tiene conocimiento de que en la actualidad el fruto que se obtiene de la palma datilera es cultivado principalmente en el estado de Sonora, específicamente en los municipios de San Luis Río Colorado, Altar y Caborca, en el municipio de Mexicali, perteneciente al estado de Baja California, mientras que Baja California Sur, cuenta con la presencia de este fruto en los municipios de Comundú, Mulegé y La Paz, además del municipio de Viesca en el estado de Coahuila (22).

Existen alrededor de casi 3000 variedades entre la enorme diversidad de cultivares de palma datilera en distintos países productores de dátil, los cuales se pueden diferenciar por características distintivas como su color, dulzura, textura, tamaño,

acidez, pero, aun así, todos y cada uno de los diferentes países que lo producen, tienen en sus cultivares, frutos de alta calidad considerados de elite, encontrando entre ellos las variedades de Khalas, Medjool, Deglet Noor, Saidy, Barhee, entre otros (23). La entrada del cultivar Medjool a nuestro país vecino Estados Unidos, se dio de principio en el estado de California en la zona sur, específicamente a principios del siglo XIX, siendo décadas después su introducción a México, abriéndose paso hasta ser arraigado como la principal variedad de dátil cultivada en el país.

La organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO por sus siglas en inglés), cuenta con un registro a nivel internacional. Donde encontramos datos verdaderamente relevantes y significativos acerca del dátil (24). Esto nos permite tener un panorama mundial, que a su vez nos muestra la posición de cada uno de los países respecto el crecimiento de dicho fruto.

Tras su llegada, el dátil en México se ha ido abriendo paso hasta convertirse en un cultivo de alta prioridad, siendo este país, el segundo mayor productor de América, después de Estados Unidos (24) (Tabla 2).

Tabla 2. Superficie cosechada (ha) de dátil en el continente americano para el 2019.

País	ha
Estados Unidos	6,230
México	1,769
Perú	141
Colombia	4

El SIAP, de la Secretaría de Agricultura, es un órgano administrativo que se encarga de generar estadísticas e información especificando zona geográfica en materia agroalimentaria, además promueve la concurrencia y concurrencia entre las demás dependencias y entidades que forman parte de la administración pública federal, así como de los gobiernos estatales, municipales y de la ciudad de México, para la implementación del Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (25); en ella encontramos que la mayor zona productora de dátil variedad Medjool en México, se encuentra en los valles de San Luis Río Colorado y Mexicali en los Estados de Sonora y Baja California respectivamente, logrando entre ambas ciudades 97% de la producción datilera total en México (Figuras 3, 4 y 5) (25).

Año: 2019
Producción Agrícola
 Ciclo: Cíclicos - Perennes
 Modalidad: Riego + Temporal
 Cultivo: Dátil (ton)

	Entidad	Superficie (ha)			Producción	Rendimiento (udm/ha)	PMR (\$/udm)	Valor Producción (miles de Pesos)
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada				
1	Baja California	1,205.69	441.69	0.00	2,984.93	6.76	66,636.96	198,906.67
2	Baja California Sur	352.50	278.00	0.00	597.01	2.15	35,138.29	20,977.91
3	Coahuila	15.00	5.00	0.00	7.00	1.40	40,000.00	280.00
4	Sonora	1,238.00	1,044.00	0.00	8,776.00	8.41	56,390.03	494,878.89
Total		2,811.19	1,768.69	0.00	12,364.94	6.99	57,828.30	715,043.48

Figura 3. Producción de palma datilera en México 2019.

Año: 2019
Producción Agrícola
 Ciclo: Cíclicos - Perennes
 Modalidad: Riego + Temporal
 Cultivo: Dátil (ton)
 Entidad Federativa: Baja California

	Entidad	Municipio	Superficie (ha)			Producción	Rendimiento (udm/ha)	PMR (\$/udm)	Valor Producción (miles de Pesos)
			Sembrada	Cosechada	Siniestrada				
1	Baja California	Mexicali	1,205.69	441.69	0.00	2,984.93	6.76	66,636.96	198,906.67
Total			1,205.69	441.69	0.00	2,984.93	6.76	66,636.96	198,906.67

Figura 4. Principal productor de palma datilera en Baja California 2019.

Año: 2019
Producción Agrícola
 Ciclo: Cíclicos - Perennes
 Modalidad: Riego + Temporal
 Cultivo: Dátil (ton)
 Entidad Federativa: Sonora

	Entidad	Municipio	Superficie (ha)			Producción	Rendimiento (udm/ha)	PMR (\$/udm)	Valor Producción (miles de Pesos)
			Sembrada	Cosechada	Siniestrada				
1	Sonora	Caborca	12.00	12.00	0.00	120.00	10.00	53,325.00	6,399.00
2	Sonora	San Luis Río Colorado	1,226.00	1,032.00	0.00	8,656.00	8.39	56,432.52	488,479.89
Total			1,238.00	1,044.00	0.00	8,776.00	8.41	56,390.03	494,878.89

Figura 5. Principales productores de palma datilera en Sonora 2019.

Se sabe que la variedad Medjool es originaria de Marruecos, sin embargo, Estados Unidos, Israel y México, son principalmente los países con mayor producción de esta variedad (26). Entre otras variedades cultivadas podemos encontrar Zahidi, Khadrawi y Deglet Noor. En México, podemos encontrar en el Estado de Baja California Sur, dátiles criollos considerados de baja calidad y valor, consumidos localmente y también para consumo nacional.

La Asociación Mexicana del Dátil y el Comité Estatal Sistema Producto Dátil de Baja California, aglomeran a casi 100 empresas productoras de dátil en Mexicali, Baja California, mientras que, en San Luis Río Colorado, apenas empiezan a organizar el Sistema Producto Dátil para Sonora (27).

El SIAP nos proporciona información detallada de cada estado y municipio de la república mexicana donde se encuentra presente el cultivo del dátil de los años 1980 a 2019 (hasta los datos recopilados en el año 2021).

En esta base de datos, podemos observar como este fruto se ha ido abriendo camino y ha ido creciendo con el paso de los años. Permitiéndonos posicionarnos en la escena mundial. Teniendo como principales productores a los estados de Baja California y Sonora, viéndose favorecido en gran manera por su condición climática, propiciando un ambiente adecuado para su siembra y crecimiento.

Siendo en Baja California el municipio de Mexicali y su Valle y en el estado de Sonora los municipios de Caborca y San Luis Río Colorado los más importantes en la industria datilera a nivel nacional (Figura 6).

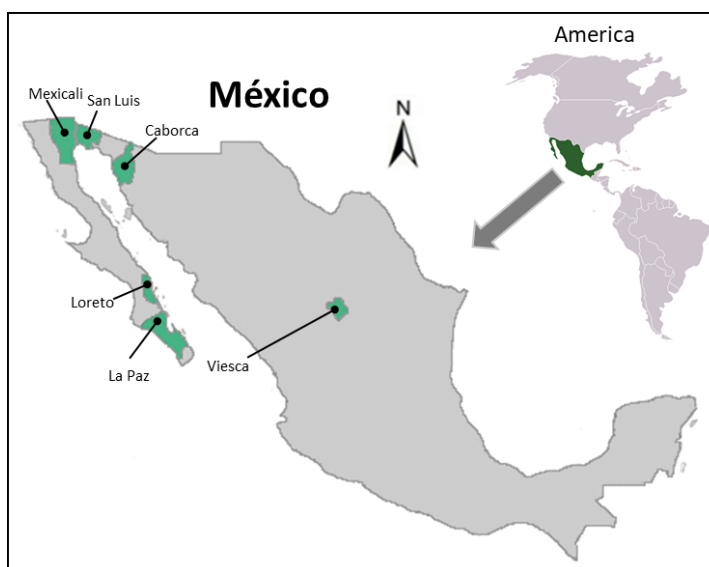


Figura 6. Mapa de distribución del cultivo de dátil en México.

De acuerdo con SIAP en el año 2019, México tuvo una presencia significativa de palma datilera con una cosecha de 1,768.69 ha.

La industria datilera en México, es muy pequeña en comparación en los grandes productores de este fruto (Tabla 3), pero su producción se ha incrementado en un 300% durante los últimos 20 años (24).

Tabla 3. Superficie cosechada de dátil (ha), entre los principales productores en el mundo para el 2019.

País	Hectáreas
Iraq	438,191
Algeria	170,082
Irán	160,117
Arabia Saudita	117,881
Pakistán	104,836
Túnez	63,224
Moroco	59,613
Egipto	48,031
Sudán	37,000
Emiratos Árabes Unidos	34,119

Al pasar de los años, la siembra y cultivo del dátil en nuestro país ha ido en aumento. Con esto, ha cobrado fuerza y relevancia a nivel Nacional (Véase Tabla 4).

Tabla 4. Historial de los últimos 40 años registrados de dátil en México (Adaptado de SIAP).

Año	Superficie (ha)			Producción	Rendimiento (udm/ha)	PMR (\$/udm)	Valor Producción (miles de Pesos)
	Sembrada	Cosechada	Siniestrada				
2019	2811.19	1768.69	0.00	12364.94	6.99	57828.30	715043.48
2018	2922.70	1572.50	0.00	8945.69	5.69	50175.08	448850.74
2017	2,366.25	1,377.00	0.00	8215.32	5.97	49627.61	407706.69
2016	2,110.72	1,183.00	0.00	8085.57	6.83	49255.10	398255.60
2015	1,940.25	1,052.50	0.00	7427.10	7.06	43925.54	326239.35
2014	1,711.50	1,168.50	0.00	6125.06	5.24	33215.08	203444.38
2013	1,669.50	1,007.50	0.00	6828.18	6.78	29036.55	198266.78
2012	1,641.25	945.75	0.00	6012.38	6.36	30097.74	180959.07
2011	1,323.25	988.25	0.00	6810.96	6.89	26577.93	181021.19
2010	1,136.60	622.25	0.00	4150.81	6.27	41936.36	174069.86
2009	1,130.50	653.00	0.00	3335.65	5.11	40671.01	135664.25
2008	850.00	633.50	0.00	3067.17	4.84	36444.98	111782.96
2007	844.50	596.00	0.00	2788.07	4.68	31997.41	89211.03
2006	890.5	625.00	0.00	2987.60	4.78	22947.33	68557.44
2005	869.50	600.50	0.00	2756.18	4.59	22387.66	61704.43
2004	833.50	564.50	0.00	2013.60	3.57	23347.08	47011.69
2003	828.00	550.00	0.00	2076.25	3.78	20453.07	42465.69
2002	1,135.00	759.00	0.00	3172.20	4.18	24744.34	78494.00
2001	1,257.00	926.00	0.00	4309.10	4.65	20438.84	88073.00
2000	1,114.00	984.00	0.00	3964.55	4.43	21034.82	83393.60
1999	809.00	617.00	0.00	2578.50	4.18	23014.54	59342.98
1998	1,122.00	890.00	0.00	3257.00	3.66	18564.77	60465.45
1997	813.00	610.00	0.00	1635.00	2.68	15417.04	25206.86
1996	777.00	636.00	0.00	2082.00	3.27	15721.68	32732.54
1995	764.00	535.00	0.00	1749.00	3.27	13764.76	24074.56
1994	707.00	480.00	0.00	1471.00	3.06	11704.33	17217.07
1993	690.00	576.00	0.00	1587.00	2.76	5974.62	9481.73
1992	708.00	580.00	0.00	1555.00	2.68	5908.13	9187.14
1991	646.00	516.00	0.00	1040.00	2.02	5352.76	5566.87
1990	715.00	586.00	0.00	1201.00	2.05	3163.75	3799.66
1989	700.00	606.00	0.00	1362.00	2.25	2924.91	3983.73
1988	702.00	610.00	0.00	1315.00	2.16	2734.98	3596.50
1987	671.00	511.00	0.00	1417.00	2.77	3551.76	5032.84
1986	709.00	536.00	0.00	1725.00	3.22	1491.49	2572.82
1985	721.00	441.00	0.00	1527.00	3.46	612.64	935.50
1984	742.00	481.00	0.00	1324.00	2.75	330.81	438.00
1983	32.00	30.00	0.00	155.00	5.17	92.00	14.26
1982	557.00	331.00	0.00	1023.00	3.09	55.90	57.19
1981	524.00	470.00	0.00	1215.00	2.59	34.46	41.87
1980	1,033.00	517.00	0.00	1345.00	2.60	21.62	29.09

Asimismo, las empresas mexicanas productoras de dátil, se encuentran mejor organizadas, cada año mejoran sus técnicas de cultivo, tienen mayor experiencia para obtener mejores rendimientos y continúa la constante expansión de sus superficies sembradas, siendo en el 2015 de 1940.25 ha sembradas, representando un valor de producción de 326, millones de pesos (Figura 7) (25).

Año: 2015
Producción Agrícola
 Ciclo: Cíclicos - Perennes
 Modalidad: Riego + Temporal
 Cultivo: Dátil (ton)

	Entidad	Superficie (ha)			Producción	Rendimiento (udm/ha)	PMR (\$/udm)	Valor Producción (miles de Pesos)
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada				
1	Baja California	668.25	303.00	0.00	2,411.84	7.96	57,826.65	139,468.62
2	Baja California Sur	348.00	135.50	0.00	157.26	1.16	39,193.69	6,163.60
3	Coahuila	15.00	5.00	0.00	12.60	2.52	38,000.00	478.80
4	Sonora	909.00	609.00	0.00	4,845.40	7.96	37,175.12	180,128.33
	Total	1,940.25	1,052.50	0.00	7,427.10	7.06	43,925.54	326,239.35

Figura 7. Siembra de palma datilera en México 2015.

Debido a que en México no existe una cultura en el consumo del dátil, su comercialización se ha diversificado. Esta diversidad comercial consiste en ofrecer el producto cubierto de chocolate, crema de cacahuete y otros ingredientes. Asimismo, se ha transformado el producto en vinos, aderezos, aceites, jugos, mermeladas y se empiezan a utilizar en platillos gourmet y postres, como pasteles y pan (22).

2.2 Generalidades de la semilla de dátil

La masa de la semilla de dátil en promedio varía del 8 al 15% de la masa total del dátil, como referencia podemos observar las Figuras 8 y 9, donde se muestra como

está conformado el fruto de la palma datilera y la proporción que ocupa la semilla de dicho fruto.

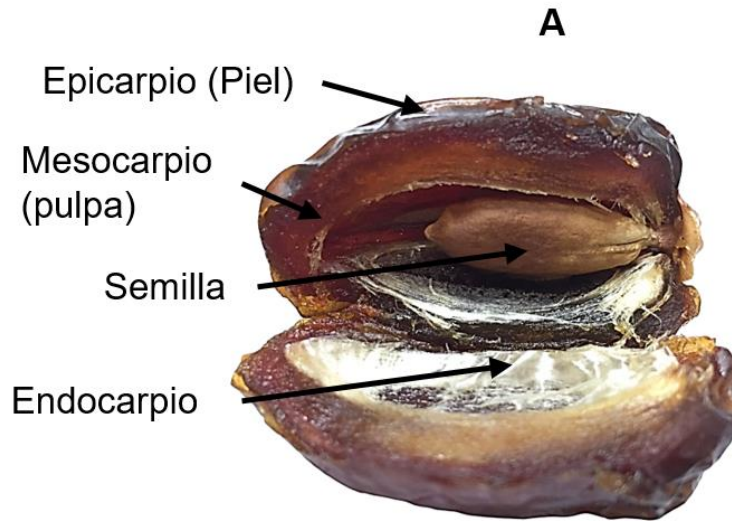


Figura 8. Semilla de dátil (*Phoenix dactylifera* L.) dentro del fruto.

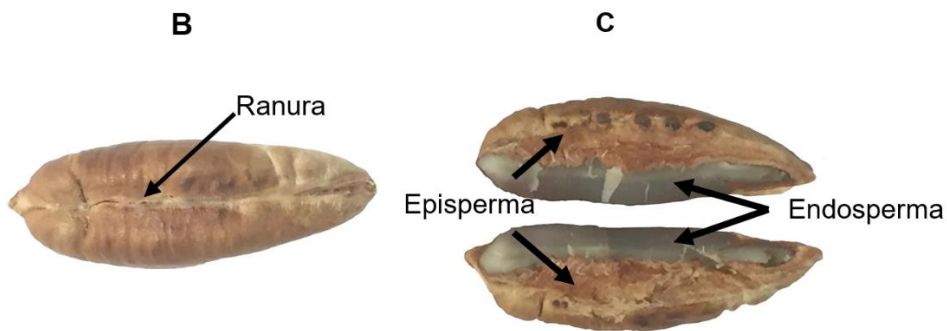


Figura 9. Semilla de dátil (B) vista ventral (C) sección longitudinal.

Los contenidos de aceite vegetal de diferentes semillas de dátil se encuentran dentro del rango de porcentaje del 5-13%. Las semillas de dátil contienen aproximadamente un 10% de lípidos y estos se obtienen utilizando un aparato Soxhlet utilizando éter de petróleo (28). En la Figura 10 se muestra el diagrama de flujo para la extracción de aceite de la semilla de Dátil.

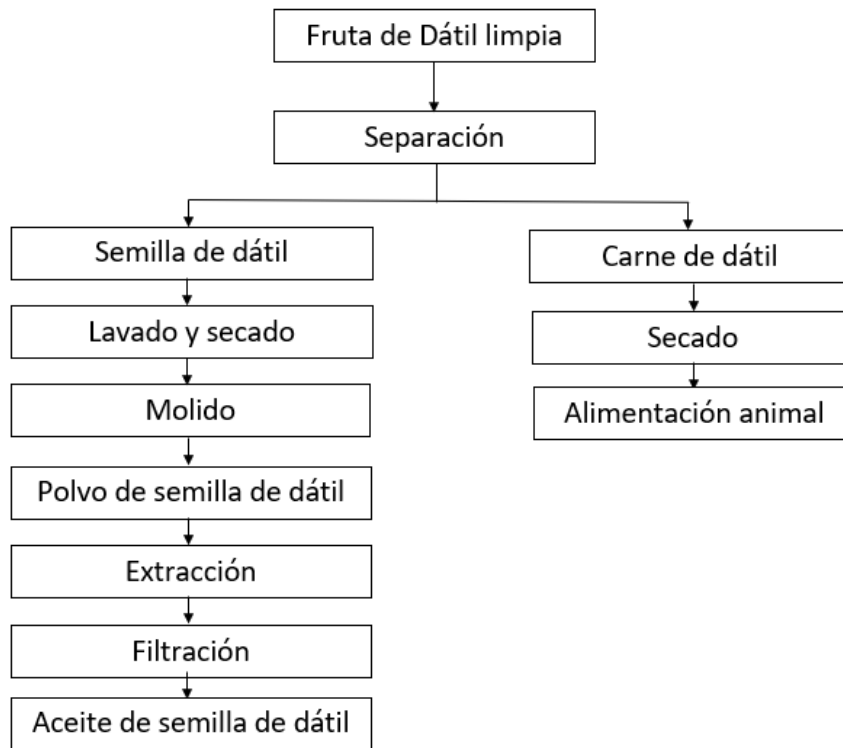


Figura 10. Diagrama de flujo para la producción de aceite de semilla de dátiles a partir de frutos.

2.3 Aceites vegetales

La principal fuente de aceites vegetales son las semillas de plantas anuales y árboles oleaginosos. Hoy en día y con el aumento de la demanda de aceites vegetales, las industrias procesadoras de aceite buscan nuevas fuentes explotables. El reciclaje de residuos agrícolas constituye una de las alternativas pertinentes para la producción de aceites comestibles. Las semillas de palmera datilera son una fuente prometedora para este propósito (10).

2.4 Ácidos grasos

Las semillas de dáttil contienen entre un 3 y un 16.5% de aceite. El aceite de semilla de dáttil contiene diferentes tipos de ácidos grasos, de los cuales los más abundantes son el oleico, láurico, linoleico, palmítico y mirístico, de los cuales predomina el ácido oleico. Los ácidos láurico y oleico son los principales ácidos grasos saturados e insaturados de aceite de semilla de dáttil respectivamente (10).

2.5 Impacto del uso de combustibles fósiles en la generación de energía

La humanidad requiere de muchos recursos que permiten su avance y desarrollo y uno de los más importantes es la energía. Sin embargo, contamos con una problemática mundial que ve comprometido este avance, la crisis energética. Una fuente importante de la producción de energía se encuentra en los combustibles, ya que podemos quemarlos para producirla en grandes cantidades. Nuestras más importantes fuentes energéticas las encontramos en los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural). Al representar estos una contribución del 80% para cubrir las necesidades de energía mundial, el ser humano se ha vuelto completamente dependiente de estos para satisfacer muchas de las demandas cotidianas. Pero desgraciadamente el crecimiento exponencial de la población ve rebasada grandemente la producción del petróleo crudo. Los aceites fósiles aun existentes, son provenientes de animales muy antiguos y microorganismos, la fuente de energía que nos representan dichos aceites se considera no renovable debido a que se requieren millones de años para que estos puedan ser producidos y el hecho de que sean finitos ha traído consigo distintos problemas como el aumento en el precio del petróleo que desencadena en recesiones económicas

trayendo consigo conflictos internacionales. Algunos países que se encuentran en desarrollo, específicamente en su economía, viven en un constante estrés ocasionado por el desabasto de petróleo. Basados en la tecnología existente, se tiene la estimación de que en 65 años estos combustibles fósiles serán consumidos. Además, la generación de emisiones que generan por su combustión, representa una importante contribución a la contaminación del aire, así como al calentamiento global, provocando que la mayoría de los países tengan una enorme presión constante a nivel internacional debido a los problemas relacionados con el calentamiento global. Esto ha llevado a que la atención se vuelque a buscar alternativas para contrarrestar esta problemática, entre ellas la utilización de las energías renovables y combustibles limpios, recibiendo cada vez más atención para ser utilizados hoy y en un futuro (29).

2.6 La biomasa del dátil como fuente de energía

La biomasa agrícola residual o es una herramienta prometedora para hacer frente a algunos de los problemas ambientales y económicos de las zonas rurales, y no compite ni disminuye la producción de alimentos. Por tanto, la biomasa ha sido de creciente interés para la energía (30).

Como se muestra en la Figura 11, existen varias alternativas para la obtención de energía a partir de la biomasa de la semilla de dátil, entre ellas encontramos la combustión directa, que es una de las maneras más simples para la generación de energía, sin embargo, existe una gran desventaja, ya que genera una gran cantidad de gases contaminantes que representan un impacto negativo al medio ambiente. Por otra parte, la pirólisis a pesar de ser una opción atractiva, representa un proceso

costoso ya que se requieren temperaturas altas para llevarse a cabo; igualmente, a pesar de que la gasificación genera menor emisión de gases, su alto costo hace que no sea una opción factible.

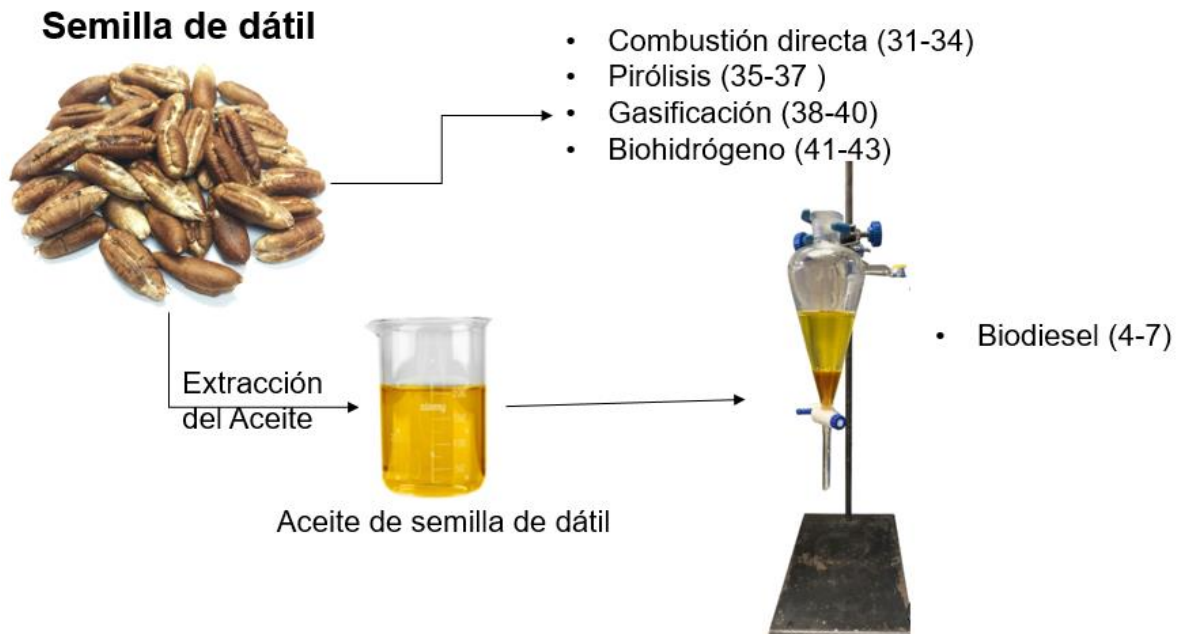


Figura 11. Alternativas para generar energía a partir de la semilla de dátíl.

El Balance Nacional de Energía es un instrumento descriptivo que presenta las cifras del origen y destino de las fuentes primarias y secundarias durante el año (Figura 12). Asimismo, incorpora información útil para el análisis de desempeño del sector energético, para el diseño de políticas públicas y para la toma de decisiones (44).

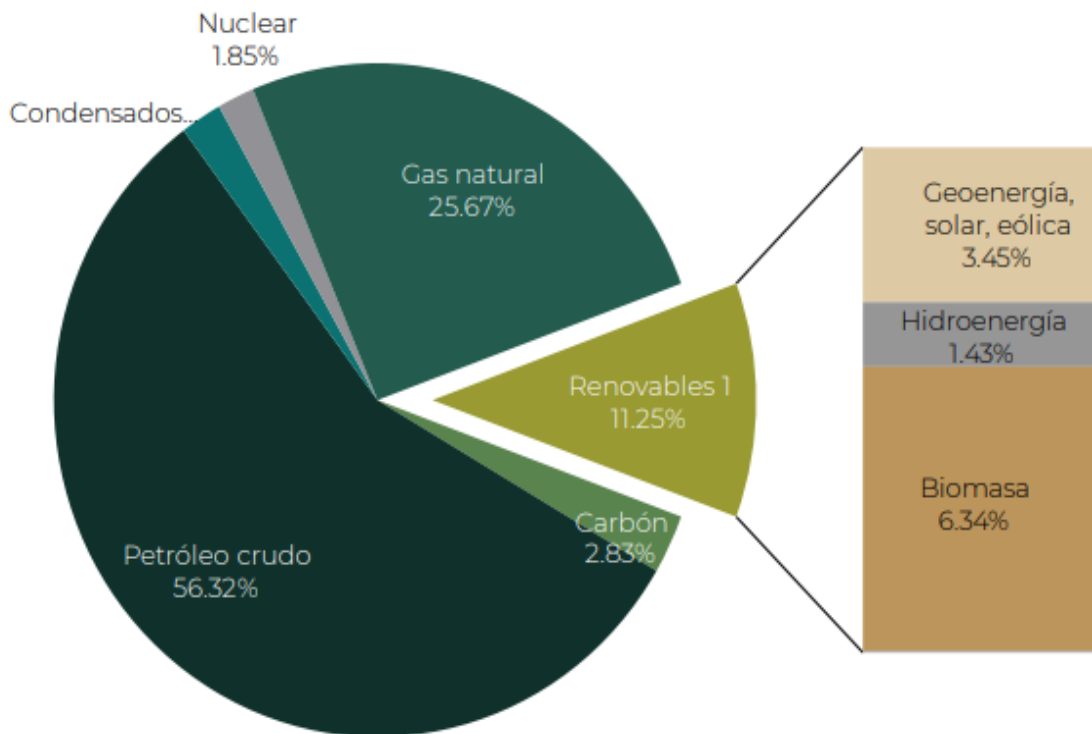


Figura12. Estructura de la producción de energía primaria, 2020 (44).

El fruto de la palmera datilera es una baya que contiene una sola semilla que es desechada después de ser removidos de la pulpa del dátil (45). Las semillas de dátiles actualmente se consideran como desechos agrícolas y se envían a vertederos. Las aplicaciones para semillas de dátiles de desecho están muy restringidas debido a su dureza en comparación con otras semillas. La extracción de aceite vegetal es una posible valorización para este residuo (46). Sin embargo, solo resuelve parcialmente el problema, porque el procesamiento de semillas de dátiles para la extracción de aceite vegetal también genera residuos. El valor energético de la semilla de dátil cruda y la semilla de dátil procesada está alineado con la demanda actual para energías renovables. Ha habido informes sobre el contenido energético de la semilla de dátil como es potencialmente adecuado para su uso como biocombustible (7). Sin embargo, parece que no se ha realizado ningún

estudio realizado sobre el valor energético de los residuos de la semilla de dátil después de la extracción de su aceite.

México podría utilizar las semillas de dátil como materia prima para combustible renovable. Esta sería una estrategia para disminuir el impacto ambiental negativo asociado con la eliminación de residuos de la Industria mexicana de dátiles.

2.7 Energías limpias y energías renovables

Es importante destacar que, al hablar de energías limpias y energías renovables, no necesariamente significa que forzosamente una cumpla con los lineamientos de las dos; es decir, una fuente de energía limpia puede que no sea considerada energía renovable y viceversa. A continuación, tenemos lo que se debe tomar en consideración para clasificarlas.

2.7.1 Energías limpias

Son aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan. Entre las Energías Limpias se consideran las siguientes:

- a)** El viento;
- b)** La radiación solar, en todas sus formas;
- c)** La energía oceánica en sus distintas formas: maremotriz, maremotérmica, de las olas, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal;
- d)** El calor de los yacimientos geotérmicos;

e) Los bioenergéticos que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos;

f) La energía generada por el aprovechamiento del poder calorífico del metano y otros gases asociados en los sitios de disposición de residuos, granjas pecuarias y en las plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros;

g) La energía generada por el aprovechamiento del hidrógeno mediante su combustión o su uso en celdas de combustible, siempre y cuando se cumpla con la eficiencia mínima que establezca la CRE y los criterios de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en su ciclo de vida;

h) La energía proveniente de centrales hidroeléctricas;

i) La energía nucleoelectrica;

j) La energía generada con los productos del procesamiento de esquilmos agrícolas o residuos sólidos urbanos (como gasificación o plasma molecular), cuando dicho procesamiento no genere dioxinas y furanos u otras emisiones que puedan afectar a la salud o al medio ambiente y cumpla con las normas oficiales mexicanas que al efecto emita la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;

k) La energía generada por centrales de cogeneración eficiente en términos de los criterios de eficiencia emitidos por la CRE y de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; *Ley De La Industria Eléctrica Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión* Secretaría General Secretaría de Servicios Parlamentarios Última Reforma DOF 09-03-2021 5 de 78.

l) La energía generada por ingenios azucareros que cumplan con los criterios de eficiencia que establezca la CRE y de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;

m) La energía generada por centrales térmicas con procesos de captura y almacenamiento geológico o biosecuestro de bióxido de carbono que tengan una eficiencia igual o superior en términos de kWh-generado por tonelada de bióxido de carbono equivalente emitida a la atmósfera a la eficiencia mínima que establezca la CRE y los criterios de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;

n) Tecnologías consideradas de bajas emisiones de carbono conforme a estándares internacionales, y

o) Otras tecnologías que determinen la Secretaría y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con base en parámetros y normas de eficiencia energética e hídrica, emisiones a la atmósfera y generación de residuos, de manera directa, indirecta o en ciclo de vida (47).

Como podemos apreciar, las energías limpias, no solo son energías renovables, si no que la energía derivada del petróleo, cuando cumpla con los requisitos ambientales de emisiones, formarán parte de las energías limpias. Por el contrario, cuando las energías renovables excedan las emisiones establecidas en la NOM ambiental respectiva, no se puede considerar energía limpia.

2.7.2 Energías renovables

Aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes. Se consideran fuentes de Energías Renovables las que se enumeran a continuación:

- a) El viento;
- b) La radiación solar, en todas sus formas;
- c) El movimiento del agua en cauces naturales o en aquellos artificiales con embalses ya existentes, con sistemas de generación de capacidad menor o igual a 30 MW o una densidad de potencia, definida como la relación entre capacidad de generación y superficie del embalse, superior a 10 watts/m²;
- d) La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: de las mareas, del gradiente térmico marino, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal;
- e) El calor de los yacimientos geotérmicos, y
- f) Los bioenergéticos que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (48).

2.8 Biocombustibles

Remontándose a la historia, el uso de los biocombustibles da inicio a finales del siglo XIX, utilizando los hidrocarburos como fuente de energía, partiendo la idea del empleo de aceites vegetales como combustibles para motores de combustión

interna, siendo el pionero el Dr. Rudolf Diesel en 1895, al desarrollar el primer motor diésel, el cual estaba previsto para funcionar con aceites vegetales, en este caso el aceite de maní, funcionando de forma correcta durante las primeras pruebas realizadas. Posteriormente, Henry Ford realizaría el primer diseño automovilístico en el año de 1908 con su modelo T, en el cual se esperaba utilizar como combustible el etanol. A principios de los años veinte fue empleada una formula con 25% de etanol en la gasolina por la Standard Oil en el área de Baltimore, pero se toparon con el problema del elevado precio del sostén, el maíz, además de los precios de almacenamiento que también eran altos al igual que los del transporte, viéndose obligados a abandonar el proyecto. Sumado a la irrupción del petróleo a un precio más bajo y accesible, una mayor eficiencia y disponibilidad. Sin embargo, años más tarde se presentó de nuevo una oportunidad para los biocombustibles, debido a la crisis petrolera desatada en los setentas, permitiendo la entrada de nuevo a esta alternativa por los precios exorbitantes del crudo, lo que desencadeno en un aumento del 100% en la gasolina, provocando que el biodiesel fuera utilizado por los alemanes para el movimiento de las flotas de guerra y vehículos pesados al norte de África. Terminando 1979, derivado de la crisis de petróleo y sus precios, se estableció una mezcla gasolina y etanol volviendo a poner en la mira a los biocombustibles como alternativa gracias al alza en los precios del petróleo y su posible agotamiento de los recursos no renovables (49).

Se sabe que los biocombustibles no son la solución definitiva a la suma de todos los problemas (energéticos, económicos y ambientales) que azotan nuestro planeta. Pero representan una fuente alternativa para la obtención de energía que

complementan a las ya existentes en un corto y mediano plazo y prometen mucho si se ve a largo plazo, tomando en cuenta que en la actualidad los combustibles fósiles son la base en la que se encuentra la economía alrededor del mundo y es importante estar preparados para evolucionar (50).

2.8.1 Biodiesel

El biodiesel cada día ha tomado mayor relevancia gracias a que representa una alternativa realmente prometedora para el funcionamiento de los motores diésel para sustituir a los combustibles fósiles, debido a las consecuencias ambientales que estos generan por el diésel de petróleo, así como la disminución de recursos. El biodiesel se produce a partir de la combinación química de cualquier aceite o grasa natural con un alcohol como el metanol o etanol (29).

El metanol ha sido el alcohol más utilizado en la producción comercial de biodiesel, se ha demostrado con numerosas investigaciones sobre biodiésel que el combustible elaborado a base de aceite vegetal es eficiente y de buena calidad para ser utilizado en motores diésel. De hecho, existen similitudes entre la densidad del biodiesel y el diésel convencional. El biodiésel puede ser producido a partir de soya y metanol por medio de transesterificación en presencia de catalizadores ácidos. Igualmente, entre las propiedades de combustión de biodiésel y diésel derivado del petróleo se han encontrado similitudes permitiendo que se convierta en una de las energías renovables más prometedoras que encontramos (29).

2.8.2 Tipo de biodiesel y su condición de servicio

Las materias primas para el biodiésel se pueden dividir en cultivos oleaginosos, que incluyen soya, colza, etc. Árboles de aceite incluido el pistacho chino y el aceite de palma; y otras grasas animales, así como el aceite de desecho alimenticio. Debido a su destacado carácter ambiental y renovable, el éster metílico de ácidos grasos (FAME por sus siglas en inglés) es de particular importancia. Una de las ventajas de este combustible es que las materias primas utilizadas para la producción son naturales y renovables. Todos estos tipos de aceites provienen de grasas vegetales o animales, lo que los hace biodegradables y no tóxicos. La materia prima de biodiesel depende en gran medida del clima y las condiciones locales del suelo, por lo tanto, diferentes Las regiones están centrando sus esfuerzos en diferentes tipos de petróleo. En los Estados Unidos el aceite de soya se utiliza principalmente como materia prima, mientras que Alemania utiliza principalmente aceite de colza, incluso es un sector económico especial para desarrollar biodiesel. Actualmente, el biodiésel ya ha surgido en 1,500 estaciones de servicio alemanas. En los EE. UU., El biodiésel está especificado por ASTM D6751 (29).

2.8.3 Tecnologías de conversión de biodiesel

Los métodos convencionales de aplicación de aceite vegetal en motores diésel son mezcla directa y micro emulsión. Estos dos métodos físicos pueden reducir la viscosidad del aceite vegetal, pero no pueden resolver el problema de los depósitos de carbono y la contaminación del lubricante, también el agrietamiento por pirólisis a alta temperatura es difícil de controlar por su reactivo a alta temperatura. Los parámetros de proceso más relevantes en estos tipos de operación son temperatura

de reacción, relación de alcohol a aceite vegetal, cantidad de catalizador, intensidad de la mezcla, catalizador y aceites crudos utilizados (29).

Por el contrario, el intercambio de ésteres es un método más avanzado. El triglicérido se puede transformar en monoéster. Debido a la transesterificación en el proceso de intercambio de ésteres, la viscosidad del aceite vegetal es reducida y los valores de calor se mantienen. El número de cetano aumenta porque la cadena molecular se corta en 1/3 (29).

2.9 Transesterificación

Es la reacción química entre triglicéridos y el alcohol de cadena corta en presencia de un catalizador para producir monoésteres (Figura 13). Las moléculas de triglicéridos de cadena larga y ramificada son transformadas en monoésteres y glicerina. Los alcoholes de cadena corta de uso común son el metanol, etanol, propanol y butanol. El metanol se utiliza comercialmente debido a su bajo precio. Debido a que este proceso es una reacción reversible, la producción de biodiésel estará directamente influenciada por la proporción de reactivos, tipo y dosis del activador y condiciones de reacción (29).

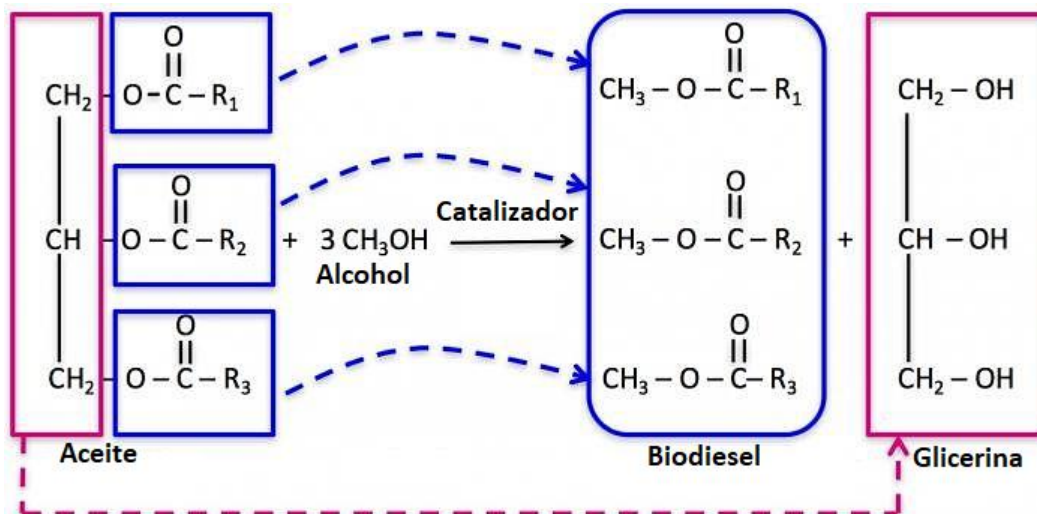


Figura13. Reacción de transesterificación de los ácidos grasos.

2.10 Bioenergía

La bioenergía se define como la energía derivada u obtenida a partir de biomasa, la cual incluye organismos vivos y materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado (51). Los recursos de biomasa son materia orgánica en la que la energía se encuentra almacenada en enlaces químicos, generalmente en carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, en proporciones menores. Las plantas, a través de la fotosíntesis producen carbohidratos que forman los bloques de construcción de la biomasa (44). Las fuentes de biomasa más importantes para la generación de energía son residuos agrícolas, forestales, del procesamiento de la madera y cultivos realizados exclusivamente para su aprovechamiento energético.

Actualmente, la biomasa contribuye aproximadamente en 6.34% del suministro de energía a escala nacional (44). La biomasa puede ser convertida en tres principales tipos de productos: 1) energía eléctrica y calor, 2) combustible para el sector de transporte y 3) materia prima para la producción de químicos (52). En los últimos

años, se han desarrollado varias tecnologías enfocadas principalmente en la mejora de algunas formas de biomasa, la optimización en su transporte y almacenamiento y, mayormente, en la conversión de la biomasa a biocombustibles. Los procesos de conversión de la biomasa se clasifican generalmente en termoquímicos y bioquímicos.

Capítulo 3: Metodología de la Investigación

Para este estudio se desarrolló una investigación experimental con un enfoque cualitativo, de tipo descriptiva, teniendo como sujeto de estudio el Valle de Mexicali y como objeto de estudio la semilla de dátil cultivar Medjool, como fuente para la obtención de biomasa mediante la extracción de ácidos grasos. Para ello se analizaron algunas propiedades fisicoquímicas que son relevantes para la producción de biodiesel buscando que cumpla con las especificaciones para considerarse un biodiesel con las especificaciones de calidad de la norma ASTM D6751-09. Para su estudio se aplicó la técnica de análisis de estadística descriptiva, aplicando medidas de tendencia central y dispersión, además de un análisis cualitativo utilizando el método de observación por rangos previamente establecidos (53).

Para obtener datos relevantes y significativos sobre la producción del dátil, fue necesario desarrollar los análisis con lo que están al alcance, pero que son relevantes para identificar un biodiesel de calidad.

3.1 Higroscopicidad

Se conoce como higroscopicidad a la capacidad que tienen ciertos cuerpos de absorber humedad del ambiente en el que se encuentren y retenerla (54).

Para conocer su higroscopicidad, se introdujo la semilla en agua, tomando sus medidas antes de ser introducida y posteriormente cada 4 horas, hasta llegar a un equilibrio, siendo poco significativo el crecimiento. Igualmente se pesó en los mismos tiempos, tomando como tiempo uno a la semilla antes de ser introducida al agua y tiempo dos una vez pasado el tiempo de la prueba, en este caso 48 hs, la

masa siendo expresada en gramos y la longitud en milímetros en sus tres ejes (x, y, z).

3.1.1 Preparativos de la semilla de dátil

Las semillas se recolectaron del Valle de Mexicali; una vez separadas del fruto, se procedió lavarlas con agua destilada y retirarles la humedad dejándolas secar al sol para posteriormente molerla.

3.2 Procedimiento para la extracción de ácidos grasos de la semilla de dátil

Para la extracción de aceites vegetales pueden emplearse distintos métodos o aplicarse diferentes procesos. La extracción sólido-líquido conocida también como lixiviación se llevó a cabo por el método Soxhlet, que consiste en pulverizar el sólido, en este caso la semilla de dátil, colocando una muestra de esa semilla pulverizada en un material poroso (Figura 14), formando un cartucho y se sitúa dentro de la cámara del extractor (Figura 15). Utilizamos hexano como solvente (Figura 16), el cual se calienta dentro de un matraz, llevándolo a ebullición, provocando que este evapore y llegando a la parte superior condense cayendo en gotas sobre el cartucho con semilla de dátil pulverizada extrayendo sus aceites vegetales (Figura 17). Todo esto retornando durante 6 horas, permitiendo que los aceites se concentren en el solvente (Figuras 18 y 19).



Figura 14. Semilla de dátil pulverizada.



Figura 15. Cámara del extractor con cartucho.

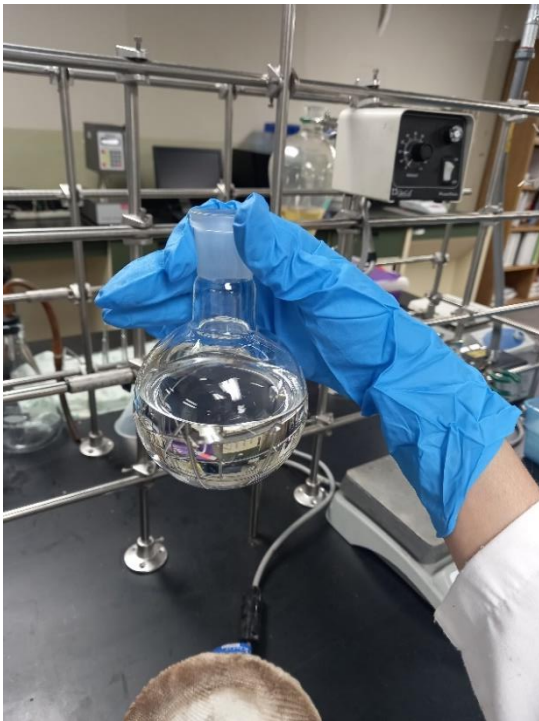


Figura 16. Matraz con hexano.



Figura 17. Proceso de extracción de aceite.

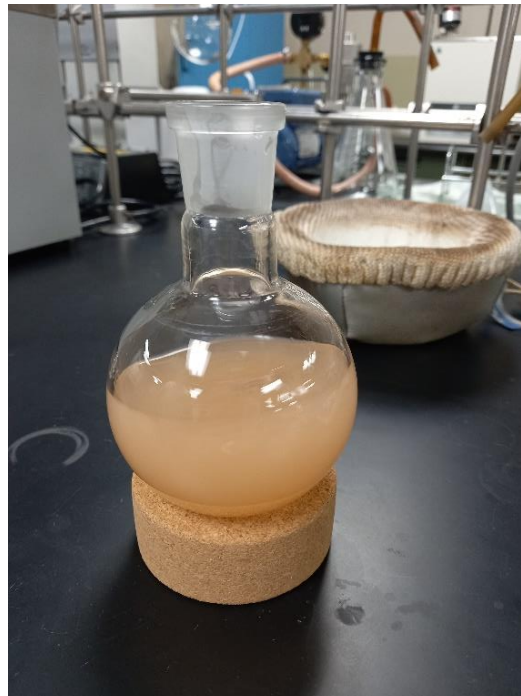
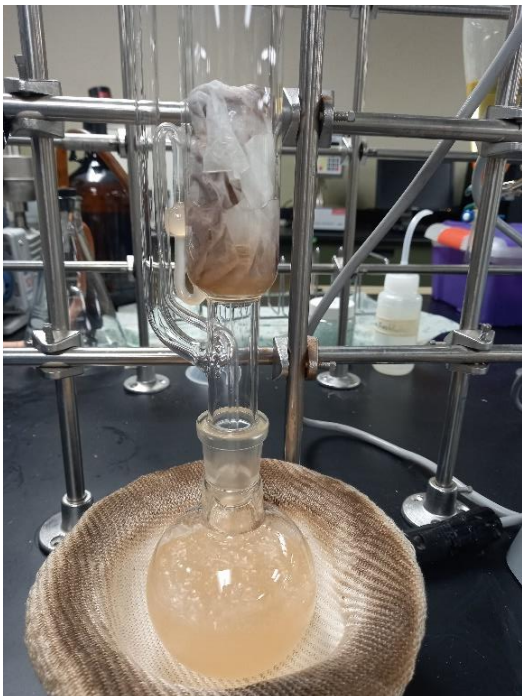


Figura 18. Finalización del proceso de extracción de aceite Figura 19. Aceite extraído mezclado con Hexano.

3.2.1 Separación del aceite de semilla de dátil extraído.

Al igual que para la extracción de aceites vegetales, para la separación del mismo existen diferentes procesos que podemos emplear. En nuestro caso se utilizó la rotoevaporación, que consiste en colocar dentro de un matraz la solución acuosa obtenida, empleando una temperatura que nos permita llevar a evaporación el solvente, quedando así el aceite de la semilla de dátil dentro del matraz.

El proceso consiste en verter la solución acuosa obtenida dentro de un matraz conectándolo a un rotoevaporador. Este será sumergido en un baño de agua caliente poniéndolo a girar hasta que el hexano evapore (Figura 20). Ya evaporado, dicho hexano llegará a un serpentín que se encuentra dentro de un condensador. Una vez pierda calor y se condense, caerá en otro matraz para su recuperación y a

su vez para la concentración del aceite de semilla de dátil en el matraz sumergido (Figura 21).



Figura 20. Evaporación de hexano.

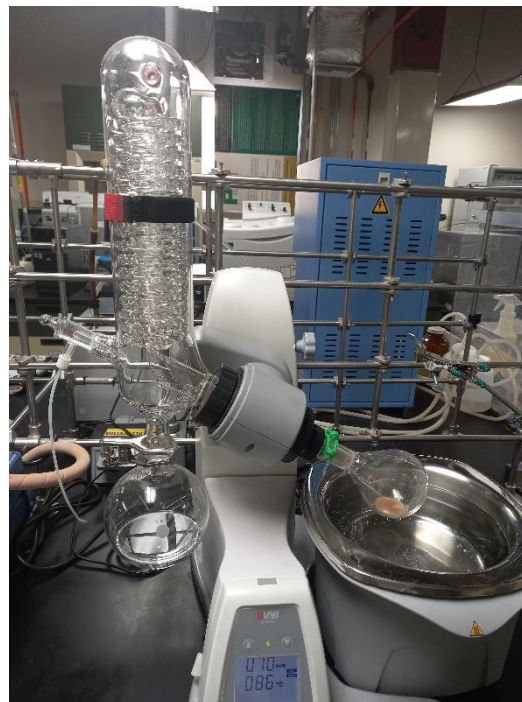


Figura 21. Hexano recuperado.

Tomando en cuenta la extracción de la muestra de semilla de dátil molida, se obtiene el porcentaje de aceite, calculando la proyección del total en base a la información recabada en la página del SIAP sobre la superficie cosechada de plantíos de palma datilera en México, estimando así la producción de biodiesel.

3.3 Imágenes SEM

Las imágenes SEM son un método eficaz para analizar material orgánico en escala micrómetro, proporcionando mucha precisión, estas se obtienen utilizando un microscopio electrónico de barrido que, mediante el uso de electrones, permite aumentos que los microscopios convencionales no, mientras que el tradicional consigue una imagen aumentando el tamaño real 1000 veces, el de barrido aumenta

30,000 veces el tamaño de la misma y como este no utiliza luz, sus fotografías son en blanco y negro. En este análisis, se dispara un haz de electrones que atraviesa una serie de lentes, que, al rebotar en la muestra, crean una imagen 3D. (63, 64).

3.3.1 Reacción de transesterificación

Una vez extraído el aceite de la semilla de dátil, se requiere eliminar las impurezas, para ello se pasa por un medio filtrante y finalmente se deja secando para eliminar cualquier rastro de humedad. Concluido este proceso, se prepara una solución con las cantidades de 200 ml de metanol (CH_3OH) y 3.5 gr de hidróxido de sodio (NaOH) y se mezcla con un litro de aceite de semilla de dátil en un rango de temperatura de 55-65 °C con agitación constante durante 1 hora.

3.4 Composición de ácidos grasos de la semilla de dátil

Para la obtención de datos, se realizó una búsqueda en la literatura científica, para identificar los artículos relacionados con la composición de los ácidos grasos de la semilla de dátil. Una vez seleccionados los artículos, se ordenó la información de acuerdo a la composición de los ácidos grasos. Además, se realizó una sumatoria de los saturados, monoinsaturados y poliinsaturados y finalmente los datos fueron ordenados por cultivar.

3.4.1 Resonancia Magnética Nuclear (RMN) en el biodiesel

La RMN es una medición que nos proporciona información detallada sobre la reacción de transesterificación del aceite (55), nos permite monitorear la formación de esteres metílicos de ácidos grasos por transesterificación, puede cuantificar

fácilmente los ésteres etílicos de cadena larga en productos de biodiésel sin purificar (56).

Existen múltiples ventajas en el uso de métodos espectroscópicos para monitorear la transesterificación de triglicéridos y evaluar la calidad de los ésteres metílicos o etílicos (biodiesel) producidos, estos métodos son herramientas de rutina en la elucidación, identificación y cuantificación de estructuras químicas (57).

La RMN es una técnica espectroscópica basada en la medición de la absorción de radiación electromagnética en la región entre 4 MHz y 900 MHz, a través de la interacción del momento angular magnético de un núcleo atómico con un campo magnético inducido (58). En la RMN, el fenómeno de resonancia ocurrirá cuando los núcleos alineados con un campo magnético aplicado estén inducidos a absorber energía y cambiar la orientación del spin con respecto al campo aplicado. La absorción de energía es un proceso cuantificado y la energía absorbida debe ser igual a la diferencia de energía entre los dos estados de giro involucrada, esta diferencia de energía es una función de la fuerza del campo aplicado y cuanto más fuerte es el campo magnético, mayor es la diferencia entre los estados de espín posible (59).

Se implementó el método espectroscópico de RMN para evaluar el proceso de transesterificación; la cantidad de biodiésel transesterificado en las muestras y las cantidades de diferentes tipos de glicéridos sin reaccionar.

3.5 UV-Vis

Para la determinación de la curva de absorción del biodiesel de aceite de silla de dátil se determinó mediante el equipo Perkin Elmer Lambda 25 UV-Vis Spectrometer (Waltham, MA, EE. UU.), con un barrido de 250 a 400 nm.

3.6 Poder calorífico

Diversos autores han presentado valores de poder calorífico del biodiesel de aceite de semilla de dátil, de acuerdo con el trabajo presentado por Al-Mawali et al (2021) el biodiesel de aceite de semilla de dátil posee un poder calorífico de 41,39 MJ/Kg (61), coincidiendo con Karunanithi (2022), que reporta un poder calorífico de 42,4 MJ/Kg (62).

Capítulo 4: Resultados y discusión

De acuerdo con Zambrano (2019), la semilla de dátil tiene un peso en gramos de 1.033 ± 0.08 , una longitud de 2.59 ± 0.11 cm, un diámetro de 0.88 ± 0.03 cm y una longitud/diámetro de 2.94 cm. Si bien es cierto que el tamaño de la semilla puede variar por distintos factores o por la variedad del fruto, esta información es específicamente del cultivar Medjool del Valle de Mexicali (65). Sin embargo la absorción de agua de parte de la semilla, es el principal factor que modifica la masa y dimensiones de la semilla de dátil.

4.1 Higroscopicidad

A pesar de no encontrar datos en la literatura sobre la higroscopicidad de la semilla de dátil, después del tiempo transcurrido de prueba se puede observar un aumento en su masa del 24% y en sus dimensiones incrementaron en el eje x un 6.8%, en el eje y un 6.7% y en z un 7%, pudiendo ver que, en periodos prolongados de tiempo, la semilla de dátil puede absorber una importante cantidad de humedad y a su vez modificar sus dimensiones.

En las Figuras 22 y 23 se puede apreciar la diferencia en cuanto a su masa, siendo el tiempo 0, la semilla antes de introducirla al agua y el tiempo 10 hr. una vez transcurridas las 72 hrs de su ensayo.



Figura 22. Masa de semilla de dátil en tiempo 0.



Figura 23. Masa de semilla de dátil tiempo 10.

De igual forma, de la Figura 24 a y b a la Figura 26 a y b, se observa el cambio de dimensiones de la semilla de dátil y la diferencia de medidas en cada uno de sus ejes, siendo en este también tiempo 0 la semilla antes de introducirla en agua y tiempo 10 una vez transcurrido el tiempo de ensayo.



Figura 24. a) Semilla de dátil eje x T. 0



b) Semilla de dátil eje x T. 10



Figura 25. a) Semilla de dátil eje y T. 0.



b) Semilla de dátil eje y T.10.



Figura 26. a) Semilla de dátil eje z T. 0



b) Semilla de dátil eje z T. 10

Una vez llevada a cabo la prueba de higroscopicidad descrita anteriormente, se procedió a graficar las lecturas, como se muestra en la Figura 27, mostrando la tendencia a seguir absorbiendo humedad.

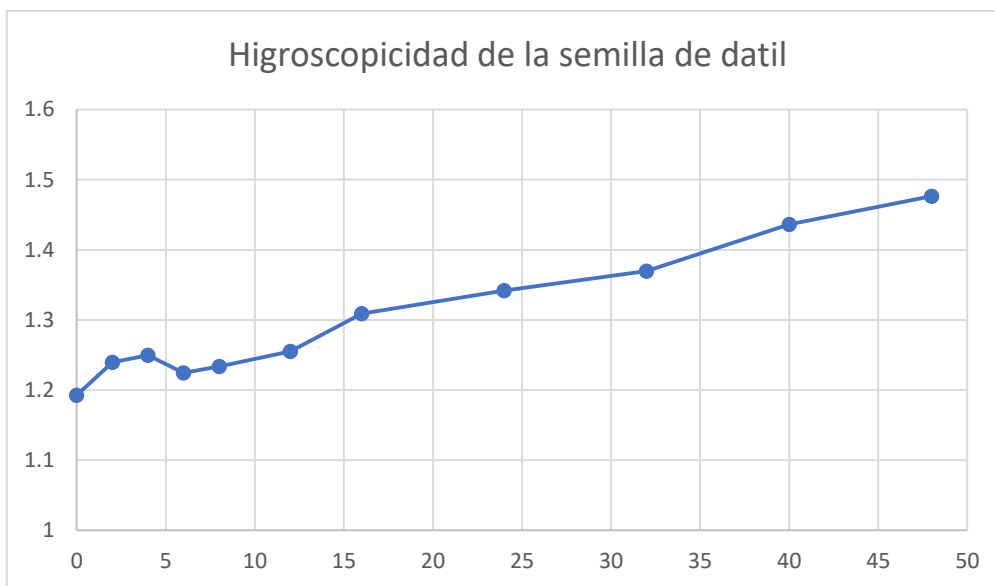


Figura 27. Gráfica de higroscopicidad de la semilla de dátil.

4.2 Extracción de ácidos grasos de la semilla de dátil

Después de lo descrito respecto a la metodología, realizado por duplicado, se obtuvieron los porcentajes mostrados en la Tabla 5, con un porcentaje de 8.53% y otro de 8.39% dando como promedio 8.46%.

Tabla 5. Aceite extraído de semilla de dátil.

Muestra	Antes (g)	Después (g)	Aceite extraído (g)	Porcentaje
1	18.77	16.97	1.60	8.53
2	15.01	14.41	1.26	8.39

4.3 Imágenes SEM

Una vez que la semilla triturada ha pasado por estos dos procesos, puede apreciarse claramente la diferencia del antes y el después de la extracción del aceite (Figura 28). Como se puede apreciar, debido al contacto con el solvente para extraer el aceite, en la Imagen SEM (Figura 28d) existe un desorden dentro de las células de la semilla de dáttil, permitiendo ver claramente la agresividad del hexano sobre la muestra, contrario a la Figura 28c que, a pesar de ser una muestra amorfa, presenta cierto patrón celular.

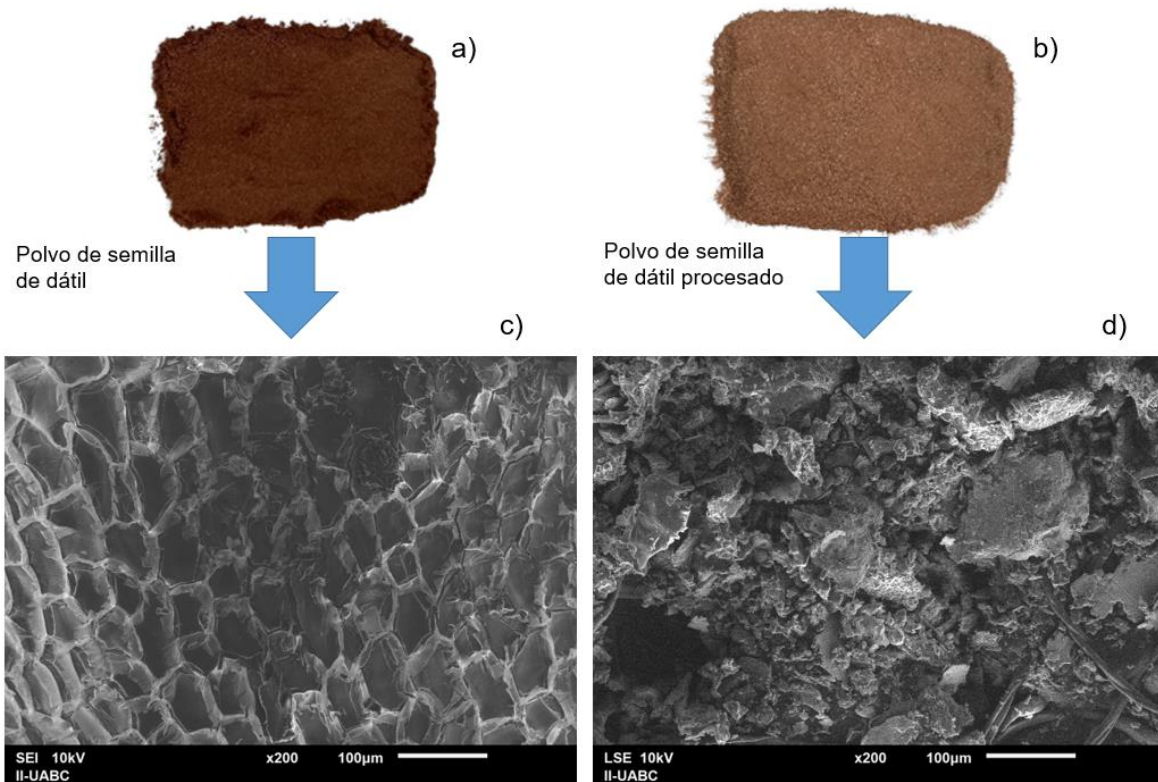


Figura 28. Semilla de dáttil antes (a, c) y después (b, d) del proceso de extracción de aceite.

4.4 Composición de los ácidos grasos de la semilla de dátil

Resultados obtenidos de la cromatografía de gases espectrometría de masa se presentan en la Tabla 6, en el que podemos ver que aparecen 14 picos, con un tiempo de retención que va desde los 2 min hasta los 20 min, en la penúltima columna, se observa la abundancia del compuesto y la última columna nos muestra el nombre del compuesto al que pertenece, seguida por una gráfica (Figura 29) que representa dichos resultados.

Tabla 6. Porcentaje de ácidos grasos presentes en el biodiesel de aceite de semilla de dátil.

# Pico	T. R. min	% composición	Ester monoalquílico de ácido graso
1	2.02	0.46	(C8:0) Caprílico
2	3.20	0.49	(C10:0) Cáprico
3	4.99	22.18	(C12:0) Láurico
4	6.51	11.13	(C14:0) Mirístico
5	7.46	0.04	(C16:0) Palmítico
6	8.68	9.53	(C16:1) Palmitoléico
7	10.36	0.01	(C17:0) Margárico
8	11.86	7.49	(C18:0) Esteárico

9	11.99	44.55	(C18:1) Oleico
10	12.63	3.19	(C18:2) Linoleico
11	16.89	0.28	(C20:1) Gondoico
12	17.34	0.35	(C20:1) <i>trans</i> -gondoico
13	20.10	0.19	(C20:0) Arachidico
ΣAGS		42.02	
ΣAGMI		54.73	
ΣAGPI		3.19	
TAGI		57.92	
Índice TAGI/AGS		1.37	

*AGS=Ácidos Grasos Saturados, AGMI=Ácidos Grasos Mono Insaturados, AGPI=Ácidos Grasos Poli Insaturados, TAGI=Total Ácidos Grasos Insaturados.

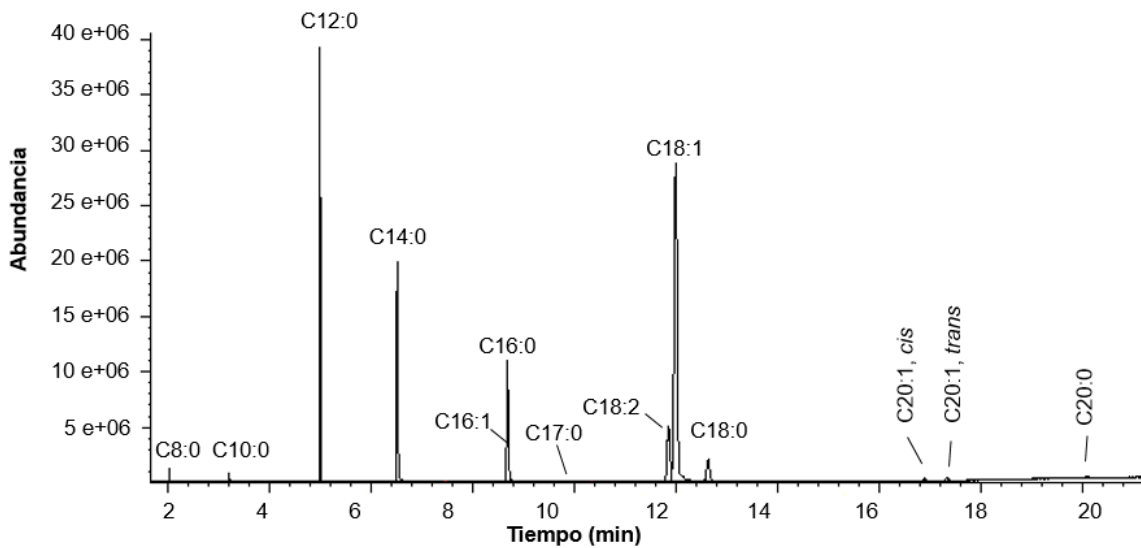


Figura 29. Gráfica CGEM a biodiesel de semilla de dátil.

En esta gráfica podemos observar los diferentes picos, correspondientes al tiempo de retención del aceite, entre más alto sea el pico, mayor tiempo de retención. Además, se puede ver también que estos 4 picos pertenecen a los ácidos grasos más abundantes, destacando también el área bajo la curva, que nos indica la abundancia de los mismos, entre mayor sea el área bajo la curva, mayor será la abundancia del ácido graso y estos otros que apenas se alcanzan a apreciar son menos abundantes, sin embargo, se consideraron para el análisis del presente estudio, observando que los más abundantes son el ácido oleico, ácido láurico, ácido mirístico y ácido palmítico.

Haciendo un recopilado de información de diferentes autores, con distintos cultivares, se elaboró un vaciado de datos de la composición de ácidos grasos del aceite de semilla de dátil. Dando como resultados arrojados la Tabla 7.

Tabla 7. Comparativa de la composición de los ácidos grasos de la semilla de dátil cultivar Medjool con otros autores.

Fracción molecular											
Caprílico	Capríco	Láurico	Mirístico	Palmitico	Margárico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Eicosenoio	Gondoico	Ref.
(C8:0)	(C10:0)	(C12:0)	(C14:0)	(C16:0)	(17:0)	(C18:0)	(C18:1) Cis	(C18:2)	(20:1)	(C20:1)	
0.27	0.35	17.06	10.44	10.61	-	4.65	46.69	9.04	-	0.07	[59]
0.30	-	21.20	10.70	8.70	-	1.40	41.40	14.90	-	-	[60]
-	-	20.34	11.85	9.82	0.02	2.96	44.92	8.47	-	-	[8]
-	0.30	22.70	10.70	8.70	-	1.40	41.40	14.9	-	-	[61]
0.46	0.49	22.18	11.13	9.53	0.01	3.19	44.55	7.49	0.35	0.28	Presente trabajo

Como se puede observar, el Oleico, es el ácido graso más abundante del aceite de la semilla de dátil, y concuerda con los resultados presentados por los autores que se presentan en la Tabla 6. El segundo más abundante es el Laurico, con una composición promedio según lo reportado por los autores de referencia y en tercer

lugar el linoleico, el cual no refleja una composición promedio según lo reportado por los demás autores, sin embargo, no necesariamente tiene que ser un valor exacto, ya que pueden ser muchos factores que afecten la composición promedio de este compuesto, como por ejemplo, genética de la palma datilera, ubicación geográfica, frecuencia de riego y fertilizado entre muchos otros factores.

4.4.1 Resonancia Magnética Nuclear (RMN)

El biodiesel se caracterizó por espectroscopía de RMN ^1H . El pico característico para los protones metoxi se observó a 3.66 ppm como singlete. Los protones de metilo terminales se observaron a 0.88 ppm como un triplete con una constante de acoplamiento de $J=6.8$ Hz.

El espectro de ^1H también mostró una fuerte señal a 1.26 ppm correspondiente a los protones de metileno de la cadena de carbono, un triplete a 2.30 ppm ($J=7.6$ Hz) asignado a los protones de α -metileno carbonilo, así como multipletes a 2.01 ppm, para los alílicos metilenos, y 1.62 ppm, para los protones β -metileno carbonilo. Las resonancias entre 5.41 y 5.26 se deben a los protones olefínicos (Figura 30).

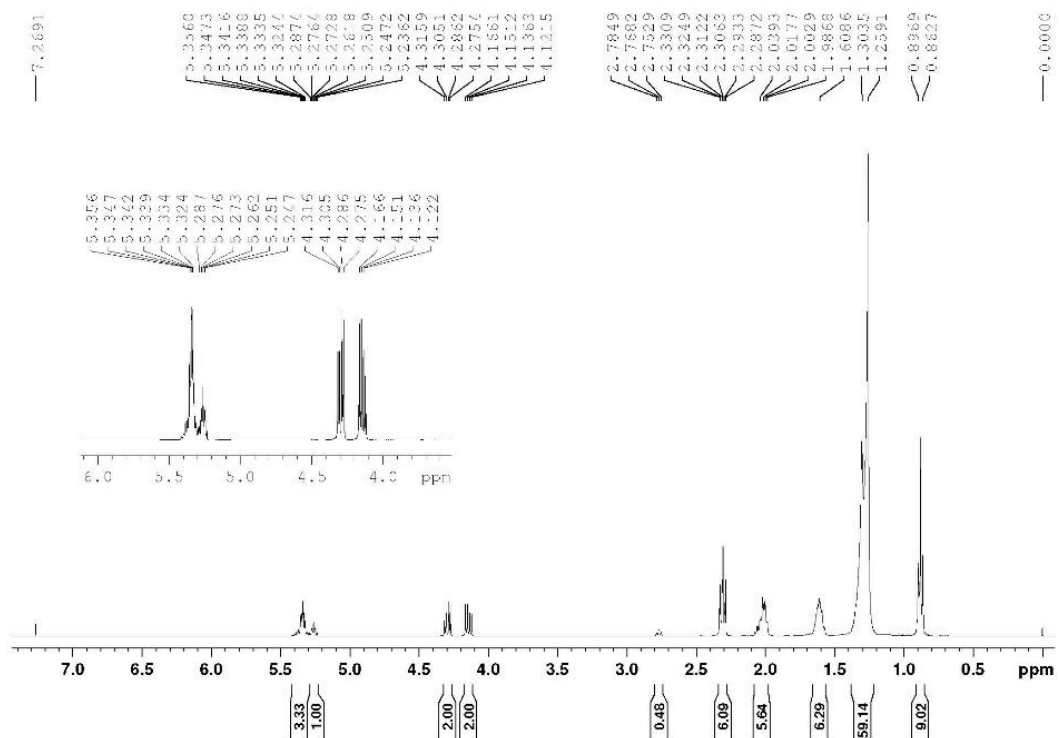


Figura 30. Gráfica RMN ¹H a biodiesel de semilla de dátil.

Los espectros de RMN ¹³C muestran los picos característicos del éster carbonilo a 174 ppm y el metoxi a 51.4 ppm. Los picos entre 130.2 y 128.1 ppm corresponden a carbonos olefínicos y las señales de 51.4 a 22.8 ppm se asignan a carbonos metileno de la cadena carbonada. Finalmente, la señal a 14.1 ppm se debe a los grupos metilo terminales (Figura 31).

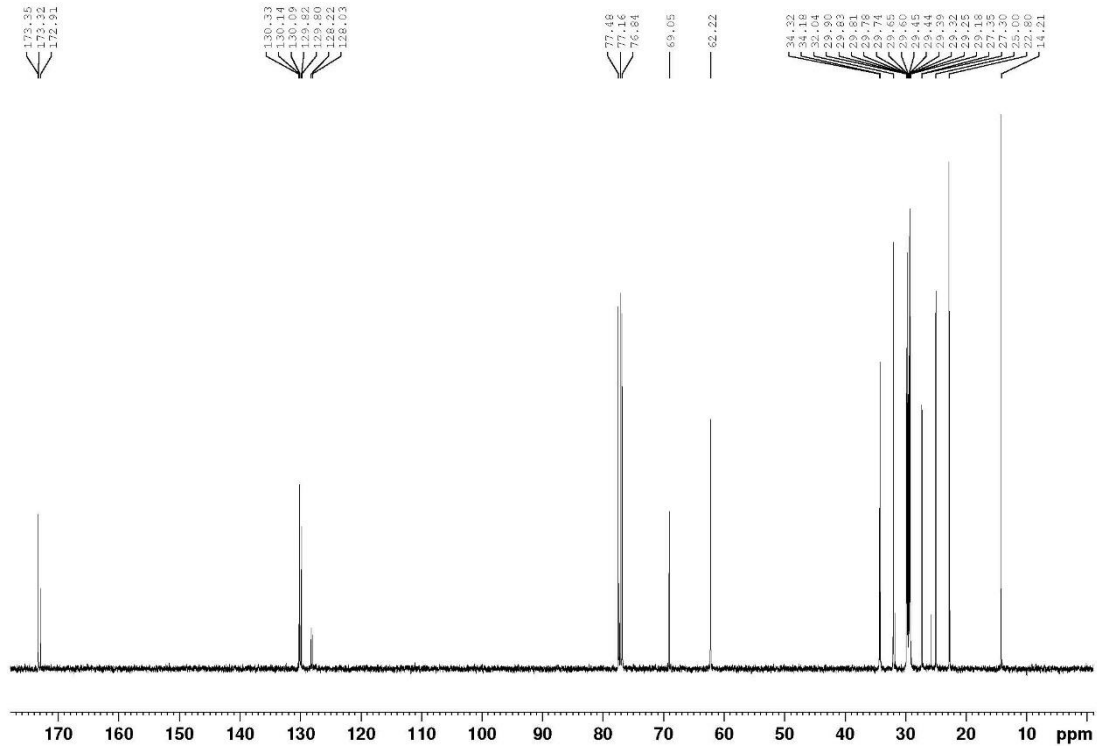


Figura 31. Gráfica RMN ^{13}C a biodiesel de semilla de dátil.

El análisis del espectro H-NMR indicó que la conversión de triglicéridos en ésteres monoalquílicos fue de un 98.82% de conversión de ácidos grasos a esteres metílicos, que nos indica una calidad recomendada de biodiesel de acuerdo a la norma EN 14103 (GC), que establece como porcentaje mínimo de conversión el 96.5% (60). Los espectros de RMN se registraron a 400 MHz con un espectrómetro Bruker Avance III a 30°C. El desplazamiento químico ^1H es reportado en ppm, la RMN de ^{13}C se expresa en ppm, las constantes de acoplamiento J se dan en Hz.

4.5 Espectroscopía UV-VIS

Como podemos observar en la gráfica, se obtuvo una absorbancia de 3.5 con una longitud de onda de 285 nm (Figura 32).

El barrido de longitud de onda correspondió entre 250 y 400 nm, teniendo como punto máximo 285 nm. En otros casos de biodiesel encontrados en la literatura se observan longitudes de los 295 a los 615 nm, de los 190 a los 350 nm, con máximos de 270 y 280 nm respectivamente.

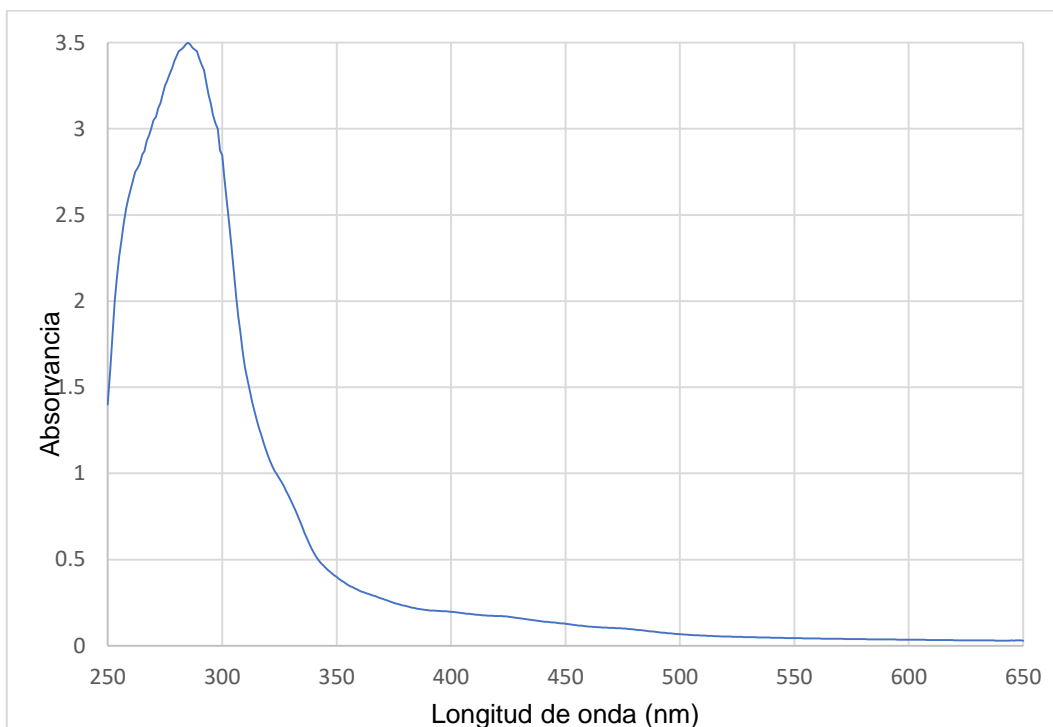


Figura 32. Espectroscopia UV- VIS de biodiesel de aceite de semilla de dátil.

4.6 Estimación de producción de biodiesel a partir de aceite de semilla de dátil.

Tomando en cuenta la proyección de la media del aceite de semilla de dátil, de los plantíos del Valle de Mexicali, se puede deducir que la producción de biodiesel es de 38.06 toneladas anuales aproximadamente, teniendo en consideración también un rango superior e inferior como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Estimación de producción de biodiesel de aceite de semilla de dátil.

Aceite			Biodiesel		
MIN	11.94	Ton	MIN	34.25	Ton
MED	30.88	Ton	MED	38.06	Ton
MAX	58.21	Ton	MAX	41.86	Ton

Por lo anterior, se puede estimar que la producción de biodiesel a partir del aceite de la semilla de dátil, tiene cierta factibilidad de producción, la cual puede ser empleada en la misma maquinaria agrícola que utiliza diésel, haciendo la producción del producto amigable con el medio ambiente.

Con análisis realizado en la investigación se comprueba que la semilla de dátil proveniente del cultivar Medjool (*Phoenix dactylifera* L.) producido en el Valle de Mexicali, contiene propiedades ácidos grasos, que la convierten en fuente alterna ideal para la producción de biodiesel con el propósito de sustituir parcialmente al diésel convencional.

Conclusiones

Cabe destacar que se probó el planteamiento de la hipótesis y alcanzo los objetivos del estudio de la semilla de dátil y sus propiedades en la síntesis del biodiesel para uso alternativo del diésel convencional.

Con el paso de los años se ha visto un crecimiento en la industria datilera del país, el cual sigue ocurriendo. Al seguirse dando dicho crecimiento, en la misma proporción aumentara el desecho de la semilla de dátil, la presente propuesta, es una alternativa de solución para la reducción de desechos de la industria datilera, que puede ser considerada por los productores del fruto del dátil en México.

El biodiesel producido por recursos considerados como desecho como el presente caso, resulta favorable para la protección del medio ambiente, ya que, comparado con los combustibles fósiles, sus emisiones de gases de efecto invernadero son menores. Otra ventaja sobre estos es que, a diferencia de los combustibles fósiles, su disponibilidad no es limitada y el uso de recursos renovables favorecen en gran manera la preservación de nuestros recursos naturales.

Sumado a esto, el biodiesel de aceite de semilla de dátil contribuye a la diversificación de la matriz energética, proporcionando una alternativa a la utilización de los combustibles producidos a partir de los derivados del petróleo, dándonos seguridad energética, reduciendo la dependencia que en algún momento se tuvo a estos. Incluso el biodiesel generado, puede ser consumido por la maquinaria del mismo sector agrícola.

Este estudio demuestra que es factible la transformación del aceite de semilla de dátil en biodiesel, ya que existe materia prima disponible para su producción, al igual que un método efectivo para la extracción de dicho aceite. El proceso de conversión utilizado se considera el adecuado, ya que ofrece ventajas del biodiesel producido al diésel convencional, debido a que es más limpio al producir menos emisiones de gases efecto invernadero los cuales están estrechamente relacionados con el cambio climático. Por lo tanto, también se ve reflejado en la calidad del aire debido a que produce menor cantidad de contaminantes atmosféricos como los NO_x

En concordancia con los autores, el contenido de aceite vegetal presente en la semilla de dátil, cultivar Medjool del Valle de Mexicali, se encuentra en el rango mencionado con un 8.465%, coincidiendo también en los principales ácidos grasos que componen este aceite (ácido oleico y láurico); en cuanto a la H-NMR, se comprobó que la conversión de ácidos grasos a esteres metílicos cumple con la cantidad recomendada por la norma, sobrepasando el porcentaje mínimo establecido. Respecto a la espectroscopía UV-VIS, los resultados de esta investigación estuvieron significativamente cercanos a los encontrados en la literatura, por lo tanto, lo convierten en una alternativa viable.

Referencias

- 1.- Elmay, Y., Jeguirim, M., Trouvé, G., & Said, R. (2016). Kinetic analysis of thermal decomposition of date palm residues using Coats–Redfern method. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(8), 1117-1124.
- 2.- Al-Juhaimi, F., Hamand, S., Al-Ahaideb, I., Al-Otaibi, M., Nayeem-Shah, M., Abbasi, T., & Abbasi, S. (2013). Exploration of the possible catalytic effect of iron and nickel on the production of biogas from date palm waste.
- 3.- Demirbas, A. (2017). Utilization of date biomass waste and date seed as bio-fuels source. *Energy sources, part a: recovery, utilization and enviromental effects*.
- 4.- Farooq, M., Ramli, A., Naeem, A., Mahmood, T., Ahmad, S., Humayun, M., & Islam, M. G. U. (2018). Biodiesel production from date seed oil (*Phoenix dactylifera* L.) via egg shell derived heterogeneous catalyst. *Chemical Engineering Research and Design*, 132, 644-651.
- 5.- Amani, M. A., Davoudi, M. S., Tahvildari, K., Nabavi, S. M., & Davoudi, M. S. (2013). Biodiesel production from *Phoenix dactylifera* as a new feedstock. *Industrial Crops and Products*, 43, 40-43.
- 6.- MercyAkaagerger, S., Giwa, S. O., Ibrahim, M., & Giwa, A. (2016). Production of biodiesel from desert date seed oil. *International Journal of ChemTech Research*, 9, 453-463.

- 7.- Jamil, F., Ala'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. *Energy Conversion and Management*, 117, 264-272.
- 8.- Alem, C., Ennassir, J., Benlyas, M., Mbark, A. N., & Zegzouti, Y. F. (2017). Phytochemical compositions and antioxidant capacity of three date (*Phoenix dactylifera* L.) seeds varieties grown in the South East Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(4), 350-357.
- 9.- Habib, H. M., & Ibrahim, W. H. (2009). Nutritional quality evaluation of eighteen date pit varieties. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(sup1), 99-111.
- 10.- Fakhfakh, J., Ben-Youssef, S., Naushad, M., & Allouche, N. (2019). Different extraction methods, physical properties and chemical composition of date seed oil. *Sustainable Agriculture Reviews 34: Date Palm for Food, Medicine and the Environment*, 125-153.
- 11.- Rojas, N. Y. (2004). Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel. *Revista de ingeniería*, (20), 58-68.
- 12.- Fernandez, S. S., & JUSMET, J. R. (2010). Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO₂: algunos posibles escenarios futuros de emisiones. *Revista Galega de Economía*, 19(1), 1-19.
- 13.- Chauvet, M., & González, R. L. (2008). Biocombustibles y cultivos biofarmacéuticos: ¿oportunidades o amenazas? *El cotidiano*, (147), 51-61.

- 14.- Recompensa, L., Días, D., Zabala, A., & Ramos, P. (2008). Biocombustibles: ¿Una estrategia de desarrollo o de mercado lucrativo sostenible? *Polis, Universidad Bolivariana*, 21, 1-17.
- 15.- Tang, Z. X., Shi, L. E., & Aleid, S. M. (2013). Date fruit: chemical composition, nutritional and medicinal values, products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(10), 2351-2361.
- 16.- Caruso, P., & Solin, H. (2016). Memorandum sumptuarium pompeianum: per una nuova lettura del graffito CIL IV 5380. *Memorandum sumptuarium pompeianum: per una nuova lettura del graffito CIL IV 5380*, 105-138.
- 17.- Bretado, E., & Arleth, D. (2020). Caracterización química, capacidad antioxidante, evaluación antibacteriana y perfil fenólico del dátil Medjool (*Phoenix dactylifera* L.) cultivado en Baja California.
- 18.- Pazos, E. (2019). Evaluación de reguladores de crecimiento vegetal para la inducción de callos a partir de explantes de palma datilera (*Phoenix dactylifera*) var. Deglet Nour.
- 19.- USDA, NRCS. (2023). La base de datos de PLANTAS. Equipo Nacional de Datos de Planta, Greensboro, NC 27401-4901 USA. Disponible en <http://plants.usda.gov>, consultado: 22de marzo de 2023.
- 20.- Dowson, V. (1982). Date production and protection with special reference to North Africa and the Near East. Prepared by Horticultural Crops Group. Based on the work of VHW Dowson. *FAO Plant Production and Protection Papers (FAO)*. no. 35.

- 21.- Chevalier, A. (1952). Recherches sur les Phoenix africains. *Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale*, 32 e.
- 22.- Salomón-Torres, R., Ortiz-Uribe, N., & Villa-Angulo, R. (2017). La producción de la palma datilera (*Phoenix dactylifera* L.) en México. *Revista UABC*, 91, 2017-1.
- 23.- Zehdi-Azouzi, S., Rhouma, S., Dkkhil-Dakhlaoui, S., Salem, A. O. M., Cherif, E., Othmani, A., ... & Trifi, M. (2011). Polymorphism and genetic relationship in date palm using molecular markers. *Date Palm Biotechnology*, 407-425.
- 24.- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (14 de diciembre de 2021). Obtenido de <https://www.fao.org/home/es/>
- 25.- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (3 de noviembre de 2021). Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/que-hacemos>
- 26.- Krueger, R. (2015). Date palm status and perspective in the United States. *Date Palm Genetic Resources and Utilization: Volume 1: Africa and the Americas*, 447-485.
- 27.- Jiménez, I. N. P. (2020). *Aplicación de regulador vegetal tipo 1 en palma datilera (Phoenix dactylifera L.) en el valle de San Luis Rio Colorado, Son* (Doctoral dissertation, Universidad Estatal de Sonora).
- 28.- Demirbas, A. (2017). Utilization of date biomass waste and date seed as bio-fuels source. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(8), 754-760.
- 29.- Huang, D., Zhou, H., & Lin, L. (2012). Biodiesel: an alternative to conventional fuel. *Energy Procedia*, 16, 1874-1885.

- 30.- Demirbas, A. (2017). Utilization of date biomass waste and date seed as bio-fuels source. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(8), 754-760.
- 31.- Demirbaş, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy conversion and Management*, 42(11), 1357-1378.
- 32.- Elmay, Y., Jeguirim, M., Dorge, S., Trouvé, G., & Said, R. (2014). Evaluation of date palm residues combustion in fixed bed laboratory reactor: A comparison with sawdust behaviour. *Renewable energy*, 62, 209-215.
- 33.- Al-Omari, S. A. (2009). Evaluation of the biomass “date stones” as a fuel in furnaces: a comparison with coal combustion. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(9), 956-961.
- 34.- Al-Omari, S. A. (2006). Experimental investigation on combustion and heat transfer characteristics in a furnace fueled with unconventional biomass fuels (date stones and palm stalks). *Energy Conversion and Management*, 47(6), 778-790.
- 35.- Qadir, A., Singh, S. P., Akhtar, J., Ali, A., & Arif, M. (2018). Chemical composition of Saudi Arabian Sukkari variety of date seed oil and extracts obtained by slow pyrolysis. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 80(5), 940-946.
- 36.- Fadhil, A. B., & Kareem, B. A. (2021). Co-pyrolysis of mixed date pits and olive stones: Identification of bio-oil and the production of activated carbon from bio-char. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 158, 105249.

- 37.- Babiker, M. E., Aziz, A. R. A., Heikal, M., & Yusup, S. (2013). Pyrolysis characteristics of Phoenix dactylifera date palm seeds using thermo-gravimetric analysis (TGA). *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(5), 521.
- 38.- Alrefai, A. M., Alrefai, R., Benyounis, K. Y., & Stokes, J. (2021). Biogas Produced by Anaerobic Digestion Process and Biodiesel from Date Seeds. *Energies*, 14(16), 4851.
- 39.- Radeef, W., Shanableh, A., & Merabtene, T. (2014). Biogas production through co-digestion of date palm seeds and wastewater treatment sludge. In *The 2015 International Conference on Water, Energy, and the Environment*.
- 40.- Radeef, W., Shanableh, A., & Merabtene, T. (2016). Impact of date palm seed size on biogas production from date seeds/wastewater treatment sludge mixtures. *Int J of Thermal Environ Eng*, 13(1), 1-6.
- 41.- Rambabu, K., Show, P. L., Bharath, G., Banat, F., Naushad, M., & Chang, J. S. (2020). Enhanced biohydrogen production from date seeds by Clostridium thermocellum ATCC 27405. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(42), 22271-22280.
- 42.- Yahmed, N. B., Dauplain, K., Lajnef, I., Carrere, H., Trably, E., & Smaali, I. (2021). New sustainable bioconversion concept of date by-products (Phoenix dactylifera L.) to biohydrogen, biogas and date-syrup. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(1), 297-305.

- 43.- Swathy, R., Rambabu, K., Banat, F., Ho, S. H., Chu, D. T., & Show, P. L. (2020). Production and optimization of high grade cellulase from waste date seeds by *Cellulomonas uda* NCIM 2353 for biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(42), 22260-22270.
- 44.- Secretaría de energía. (2 de mayo de 2022). Obtenido de http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf
- 45.- Boulal, A., Atabani, A. E., Mohammed, M. N., Khelafi, M., Uguz, G., Shobana, S., ... & Kumar, G. (2019). Integrated valorization of *Moringa oleifera* and waste *Phoenix dactylifera* L. dates as potential feedstocks for biofuels production from Algerian Sahara: An experimental perspective. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20, 101234.
- 46.- Virmond, E., Rocha, J. D., Moreira, R. F. P. M., & José, H. J. (2013). Valorization of agroindustrial solid residues and residues from biofuel production chains by thermochemical conversion: a review, citing Brazil as a case study. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30, 197-230.
- 47.- Cámara de diputados del congreso de la unión (2021). *Ley de la industria eléctrica*.
- 48.- Cámara de diputados del congreso de la unión (2015). *Ley de transición energética*.
- 49.- Salinas, E., & Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. *El cotidiano*, 157(10).
- 50.- Ramos, F. D., Díaz, M. S., & Villar, M. A. (2016). Biocombustibles.

- 51.- Lee, S., & Shah, Y. T. (2012). *Biofuels and bioenergy: processes and technologies*. CRC Press.
- 52.- Saxena, R. C., Adhikari, D. K., & Goyal, H. B. (2009). Biomass-based energy fuel through biochemical routes: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(1), 167-178.
- 53.- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy conversion and management*, 51(7), 1412-1421.
- 54.- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación Mc graw hill. México DF: Interamericana Editores.
- 55.- Méndez Buenaventura, L. (1989). *Fertilizantes, clasificación, propiedades, almacenamiento y manejo*.
- 56.- Singh, K., Kumar, SP y Blümich, B. (2019). Monitoreo del mecanismo y la cinética de una reacción de transesterificación para la producción de biodiesel con espectroscopía de RMN 1H de bajo campo. *Combustible*, 243, 192-201.
- 57.- Rosset, I. G., Cavalheiro, M. C. H. T., Assaf, E. M., & Porto, A. L. M. (2010). Produção de biodiesel por catálise enzimática empregando lipase CAL-B e monitoramento dos produtos por CG e RMN. *Livro de resumos*.
- 58.- Silva, J. V. D. (2015). Uso da calibração multivariada para a predição de propriedades físico-químicas de misturas de óleo de soja e biodiesel.
- 59.- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2009). Aplicação da Espectroscopia no Infravermelho. *Bookman, S. Paulo, Brazil*, 469-491.

- 60.- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. R. (2010). Espectrometria de massas. *Introdução à Espectroscopia. 4a ed. São Paulo.*
- 61.- EN 14103 Deutsches institut für normung. *EN 14103: fat and oil derivatives – fatty acid methyl esters (FAME) – determination of ester and Linolenic acid methyl ester contents.* Germany, 2003. 10 p.
- 62.- Al-Mawali, K. S., Osman, A. I., Ala'a, H., Mehta, N., Jamil, F., Mjalli, F., ... & Rooney, D. W. (2021). Life cycle assessment of biodiesel production utilising waste date seed oil and a novel magnetic catalyst: A circular bioeconomy approach. *Renewable Energy*, 170, 832-846.
- 63.- Jove. (28 de noviembre de 2023). Obtenido de: <http://www.jove.com/es/v/5656/scanning-electron-microscopy-sem-operation-imagr-analysis?language=Spanish>
- 64.- García-González, C., Salomón-Torres, R., Montero-Alpírez, G., Chávez-Velasco, D., Ortiz-Uribe, N., Ruiz-Ortiz, N. S., ... & Curiel-Alvarez, M. A. (2019). Effect of pollen sources on yield oil extraction and fatty acid profile of the date seed (*Phoenix dactylifera* L.) cultivar Medjool from Mexico. *Grasas y Aceites*, 70(3), e315-e315.
- 65.- Karunanithi, G., & Varadappan, A. M. S. (2022). Exploring the effectiveness of novel *Coffea Arabica* leaf pigment as a natural antioxidant additive for date seed biodiesel. *Fuel*, 324, 124561.
- 66.- Liolios, C. C., Sotiroudis, G. T., & Chinou, I. (2009). Fatty acids, sterols, phenols and antioxidant activity of *Phoenix theophrasti* fruits growing in Crete, Greece. *Plant foods for human nutrition*, 64, 52-61.

- 67.- Devshony, S., Eteshola, E., & Shani, A. (1992). Characteristics and some potential applications of date palm (*Phoenix dactylifera L.*) seeds and seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 69(6), 595-597.
- 68.- Insausti, M., Gomes, A. A., Cruz, F. V., Pistonesi, M. F., Araujo, M. C., Galvão, R. K., & Band, B. S. (2012). Screening analysis of biodiesel feedstock using UV–vis, NIR and synchronous fluorescence spectrometries and the successive projections algorithm. *Talanta*, 97, 579-583.
- 69.- Orozco, F. D. A., Sousa, A. C., Araujo, M. C., & Domini, C. E. (2020). A new flow UV–Vis kinetics spectrophotometric method based on a photodegradative reaction for determining the oxidative stability of biodiesel. *Fuel*, 262, 116197.
- 70.- Reyes, C. Z. (2019). *Caracterización de la viabilidad del polen de la palma datilera (Phoenix dactylifera L.) almacenado en diversos periodos de conservación.*


Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología
Unidad Valle de las Palmas

3th International Congress of Engineering Sciences and Technology
CICITEC 2021, grants this

CERTIFICATE

to

Samuel Lepe de Alba, Conrado García González, Jazmín Lizeth Jiménez Nava, Ana María Vázquez Espinoza

For your oral presentation into the thematic session "Biofuels" with the work entitled:
Síntesis de biodiesel por método alcalino a partir de distintas fuentes de aceites vegetales y grasas animales

Tijuana, Baja California, México, September 22 to 24, 2021


Dr. Antonio Gómez Roa
Director de la FCITEC


Dr. Luis Jesús Villarreal Gómez
Presidente del Comité Organizador


Dra. Norma A. Barboza Tello
Coordinadora de Investigación y Posgrado





Dr. Conrado García González
Vo.Bo. Director de Tesis

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: GARCIA GONZALEZ CONRADO
JIMENEZ NAVA JAZMIN LIZETH
LEPE DE ALBA SAMUEL
VAZQUEZ ESPINOZA ANA MARIA

TÍTULO: SINTESIS DE BIODIESEL POR METODO ALCALINO A PARTIR DE DISTINTAS FUENTES DE ACEITES VEGETALES Y GRASAS ANIMALES

RAMA: LITERARIA

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL ART. 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en el artículo 3° de la Ley Federal del Derecho de Autor el presente certificado ampara única y exclusivamente la obra original Literaria.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I y III de la Ley Federal del Derecho de Autor, no es objeto de protección como derecho de autor: las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo; los esquemas, planes o reglas para realizar actos mentales, juegos o negocios.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 206, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; y artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior de Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2022-082210505700-01

Ciudad de México, a 30 de agosto de 2022

EL JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INSCRIPCIÓN DE OBRAS


FRANCISCO ERASMO DE LOS SANTOS CORDERO



SECRETARÍA DE CULTURA
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR
DIRECCIÓN DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR