

Candelilla del semidesierto mexicano como fuente de biocombustible

Alejandro Torres Castro, Marco A. Garza Navarro,
Ubaldo Ortiz Méndez, Virgilio González González
UANL-FIME

alejandrotorres73@yahoo.com, virgilio.gonzalezgnz@uanl.edu.mx

RESUMEN

Después de analizar brevemente las características de población, localización, crecimiento, producción de cera y su composición de la planta Euphorbia antisiphilitica Zucc (candelilla), se reporta un procedimiento para producir por cracking – destilación fraccionada, un biocombustible líquido formado sustancialmente por alcanos y 1-alquenos de hasta 18 átomos de carbono en un 97%, con excelente pureza y un poder calorífico equiparable al biodiesel y biodiesel comercial, proponiéndose así como una opción en la producción de energía renovable, para lo que conviene establecer programa(s) para el aprovechamiento de la candelilla que involucren su reforestación o establecimiento de plantíos.

PALABRAS CLAVE

Semidesierto, energía renovable, candelilla, cera, cracking.

ABSTRACT

After a briefly analysis of the localization, population, growing and wax production, (including its composition), of the Euphorbia antisiphilitica Zucc plant (candelilla), is reported a process for production by cracking-fractional distillation of a liquid biofuel. The fuel contain mainly alkanes and 1-alkenes of 18 or less carbon atoms (97 %), have excellent purity and with a calorific power comparable with a commercial diesel and biodiesel. The plant is proposed as an option in the production of renewable energy, for what should be established program(s) for the use of candelilla involving reforestation or establishment of plantations.

KEYWORDS

Semi-arid land, renewable energy, candelilla, wax, cracking.

INTRODUCCIÓN

Los paradigmas que establece la sustentabilidad entre otros están: el aumentar la eficiencia en el uso de la energía y el establecimiento de nuevas formas de producirlas, preferiblemente obtenidas de fuentes renovables (o inagotables en relación a la escala de tiempo de la humanidad), y además limpias, en el sentido de que produzcan una muy baja o nula contaminación.

Entre las fuentes renovables de energía están los bio-combustibles,¹ los cuales algunos son obtenidos mediante la fermentación de azúcares, almidones, aceites y

grasas de procedencia vegetal o animal, la desventaja que generalmente presenta es que se parte de materias primas generalmente orientadas a la alimentación, estableciéndose distorsiones de mercado en cuanto a precios, afectando así las reservas alimentarias. Otros bio-combustibles son obtenidos de desechos lignocelulósicos, que además de depender precisamente de desechos, requiere del desdoblamiento de celulosa y ligninas, generalmente mediante enzimas, para su posterior fermentación, estos procedimientos también se pueden aplicar a algas y otras formas de fuentes de biomasa de crecimiento rápido. En la actualidad también se trabaja en plantas modificadas mediante bioingeniería.

Existen plantas como la candelilla (figura 1) y la palma Copernicia prunifera (o palma carnauba), que como protección a la sequía, producen ceras compuestas fundamentalmente de hidrocarburos,



Fig. 1. Planta de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc) en su medio ambiente semiárido.

esteres, ácidos grasos y alcoholes, compuestos que proponemos en este trabajo, son susceptibles de ser transformados mediante craking (rompimiento homolítico de enlaces) en combustibles líquidos.

La palma carnauba es endémica de la zona semiárida de Brasil,² mientras que la candelilla se produce en forma silvestre³ en un área de 30 millones de hectáreas del noreste de México, área que forma parte de los aproximadamente 80 millones de hectáreas de las zonas áridas y semiáridas del país, los principales estados productores de candelilla son: Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Durango, Chihuahua y San Luis Potosí (figura 2), de la explotación de esta planta dependen económicamente ya se parcial o totalmente 12,000 familias de esta región.

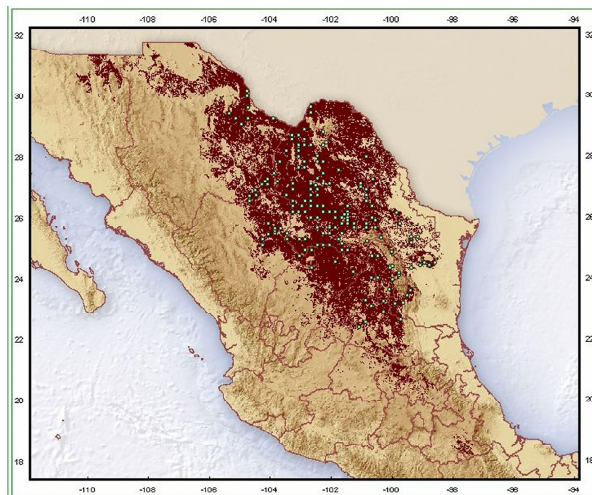


Fig. 2. Distribución de la población de la planta de candelilla.⁴

La candelilla y su cera

La candelilla es un arbusto de tallos grisáceos erectos y sin hojas, (figura 1), su nombre científico se le dio en 1829 como;⁵ *Euphorbia antisiphilitica* Zucc, que es de la clase Magnolopsida, de la orden Euphorbiales y familia Euphorbiaceae, en el año 1910 se le renombró también como *Euphorbia cerifera*.⁶

La planta exuda una cera que recubre los tallos previniendo la evaporación de agua en tiempos de sequía, la cantidad de cera por peso seco de planta es de aproximadamente 2.5 % w/w de hierba fresca^{7,8} y está compuesta principalmente⁹ por hidrocarburos, esteroides, y alcoholes según se muestra en la tabla I.

La producción de cera aún se lleva a cabo mediante un procedimiento de principios del siglo pasado,^{8,9,10} desde la recolección utilizando tracción animal, hasta la separación de la cera en hornos cavados en la tierra o paila (figura 3), donde se trata con agua hirviendo acidulada con ácido sulfúrico, la cera con diversas impurezas es recogida de la superficie, obteniendo así lo que se llama cerote, el cual es posteriormente refinado por filtrado en una prensa.

En el año 1995 se produjeron en México 1,259 toneladas con un precio promedio de 919.13 \$/Ton,¹¹ lo que implica un mercado de un poco más de un millón de pesos. El uso de la cera de candelilla como insumo en cosmetología y alimentos, ha hecho que la cera ya sea considerada como un producto químico comercial,¹² como aditivo alimentario con

Tabla I. Composición química de la cera de candelilla.⁹

Componente	Contenido %(w/w)
Hidrocarburos(C29, C31 y C33)	50-57
Nonacosano	2.5
Hentriacontano	46-46.5
Trtriacontano	2.5
Esteres (C28, C30, C32, y C34)	28-29
Esteres y Lactonas simples	20-21
Hydroxil Esteres	6-8
Alcoholes, Esteroles y Resinas	12-14
Alcohol Miricilico	ND
Sitosterol y otros Esteroles	7-8
Acetato de Beta-Amirina	5-6
Ácidos libres	7-9
De cadena lineal	6-7
Cíclicos	Nd
Humedad	0.5-1
Residuos inorgánicos	0.7

el código INS 902 de la FAO /OMS y con número CAS 8006-44-8 con un precio actual como producto farmacéutico de 5,805.00 pesos el cuarto de kilo.¹³

La candelilla o *Euphorbia antisiphilitica* Zucc, es una especie en peligro de extinción al grado de estar protegida por las Convenciones sobre el Tratado Internacional en Especies de Fauna y Flora en Peligro de Extinción (CITES),⁹ por lo que su explotación requiere necesariamente de reforestación o cultivo. Hay diversos estudios sobre la propagación de la candelilla,^{15,3} entre los que destaca el de Foroughbakhch³ *et al.* Encontrando un crecimiento

en altura de 31.8 cm en los primeros 3 meses, es importante mencionar que el Estado de Chihuahua inició en el año 2014 un programa de reforestación con 110,000 plántulas de candelilla.¹⁶

Cracking¹⁷⁻¹⁹

El cracking en química es la descomposición térmica de moléculas grandes a otras más pequeñas que pudieran ser de mayor utilidad, tal es el caso del petróleo, donde mediante este proceso catalizado utilizando generalmente zeolitas, se obtienen combustibles compuestos por moléculas de menor tamaño que las originales, produciendo así naftas, gasolinas diésel y otros combustibles.

La reacción, cuando no es catalizada, procede mediante radicales libres, (esquema 1), dando productos constituidos por compuestos saturados y con dobles enlaces, cuya composición depende de las condiciones de reacción, en un proceso en donde la entropía tiene un papel muy significativo.

En este esquema 1, se muestran algunas de las reacciones que pueden ocurrir en un cracking de un alcano de alto peso molecular, la primera reacción es el rompimiento homolítico de un enlace C-C, los sustituyentes R y R1 tendrán tamaños, muy probablemente diferentes, que dependerán de la posición del enlace que se haya roto, la reacción podrá terminar por combinación de los radicales formados (Reacciones 2 y 3) formando nuevos hidrocarburos saturados, o bien por desproporción (Reacciones 4 y 5), formando un hidrocarburo saturado y otro insaturado.

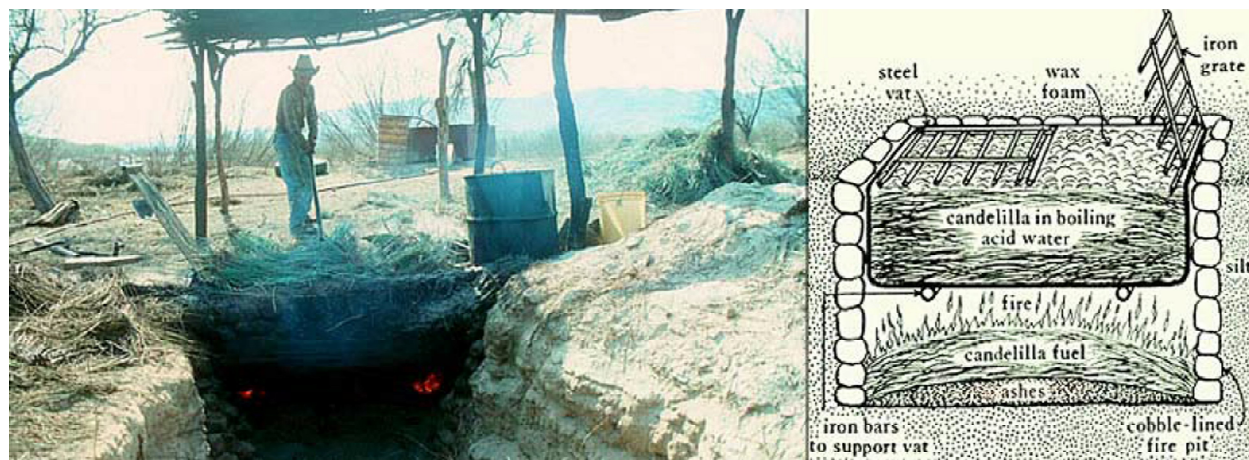
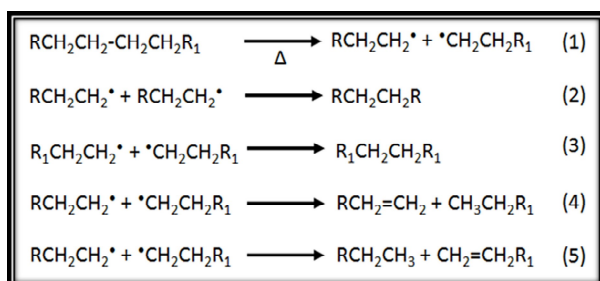


Fig. 3. Horno para la obtención de cera de candelilla, izquierda fotografía de hombre trabajando, derecha esquema de la paila.¹⁴



Esquema 1. Representación de algunas reacciones que ocurren mediante el cracking de un hidrocarburo lineal.

En el esquema no se ejemplifican reacciones de transferencia de hidrógeno que pueden ocurrir en las inmediaciones de las moléculas, lo que daría a lugar a radicales libres secundarios y por ende ramificaciones. Ya que esta reacción está muy influenciada por la entropía, de una molécula reactivo se producirán varias, necesariamente de menor tamaño.

El cracking se puede clasificar como a) térmico, b) catalítico y c) hidrotérmico y puede ser una combinación de estos, en el primer caso solo se calienta el material sin aditivo alguno, en el catalítico se utilizan catalizadores (Ejem. zeolitas) para orientar la catálisis y en el tercero se usa vapor de agua como agente de transferencia de cadena.

En el año 1987 se presentó una patente,²⁰ en la que se recurre a un cracking hidrotérmico – catalítico para producir biocombustibles de biomasa (incluyendo todos los componentes como celulosa y lignina) proveniente de un sinnúmero de fuentes vegetales entre las que se encuentra la candelilla y en el año 2009 se reportó el cracking catalítico con aluminosilicatos, para producir combustibles líquidos a partir de extractos de la planta seca con heptano²¹.

En este artículo presentamos la producción de un combustible líquido equiparable al biodiesel, a partir del cerote, producto comercial obtenido en forma tradicional y mediante cracking térmico exclusivamente.

Experimental

La cera de candelilla en forma de cerote fue proporcionada por Multiceras S. A. de C. V. y utilizada sin ninguna purificación, para la destilación fraccionada (cracking) se montó un equipo de

vidrio como el mostrado en la figura 4, habiéndose calentado el matraz bola donde van los reactivos con una manta de calentamiento y el aire que sale del equipo debido a cambios de volumen, se burbujeaba en agua para evitar que alguna eventual disminución de la presión se tradujera en la entrada de aire al sistema, evitando así una posible combustión del destilado.

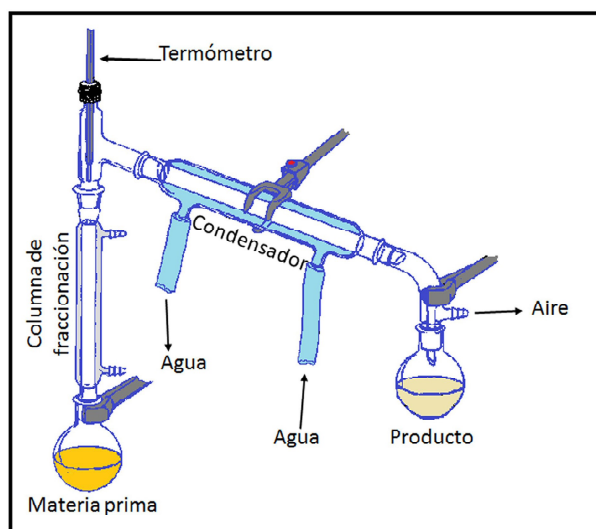


Fig. 4. Diagrama esquemático del equipo de vidrio utilizado para realizar el cracking - destilación fraccionada del cerote de candelilla.

El procedimiento fue el siguiente: con la columna de fraccionación sin enfriar se colocaban 50 g de cerote en el matraz bola de la izquierda en la figura 4, el condensador se mantenía frío al recircular agua por su chaqueta de enfriamiento, la temperatura se incrementaba rápidamente hasta que iniciaba la condensación del destilado, aproximadamente a 65 °C en la parte superior, el cerote pasaba a estado líquido, el cual nunca alcanzaba los 250 °C, durante la destilación la temperatura de los vapores a la entrada del condensador fue de aproximadamente 120 °C, el líquido recogido en el matraz de producto se utilizó para su caracterización.

Para su caracterización se utilizó un espectrofotómetro de infrarrojo FTIR Nicolet 6700 con aditamento para reflexión total atenuada (ATR), un cromatógrafo de gases Termo-Finnigan Trace 2000 con detector de masas usando una columna capilar AT-5 de 30 m de longitud y diámetro interno de 0.25 mm y 0.25 μm de espesor de película. La fase estacionaria fue de poli-siloxano, el gas acarreador

fue helio de 99% de pureza. La temperatura inició en 40 °C y terminó a 300 °C, con una temperatura en el inyector y en la línea de transferencia de 280 °C, para realizar la corrida se inyectaba 10 µL de muestra.

Para determinar el poder calorífico se utilizó una bomba calorimétrica Parr 6400 mediante el procedimiento especificado en la norma ASTM-D240 con aproximadamente 1 g de muestra. El cálculo de poder calorífico superior se hizo a partir de la curva de liberación (temperatura contra tiempo), aplicando la ecuación 1.

$$H_s = \frac{M_s C_{v_s} \Delta T - e}{M_c} \quad (1)$$

$$e = mh \quad (2)$$

Donde M_s es la masa del sistema (bomba, accesorios y agua utilizada), C_{v_s} es el calor específico del sistema ΔT el cambio de temperatura y H_s el poder calorífico superior, M_c la masa de la muestra y e es la corrección debido al calor generado por el filamento de ignición, lo cual se calcula mediante la ecuación 2, donde m es la masa del filamento y h su poder calorífico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El producto de la destilación fue un líquido transparente, de color amarillo claro y de aparente baja viscosidad (figura 5a), al acercarle una flama enciende inmediatamente produciendo una flama azul muy claro, que se batalla para observarla y de humos prácticamente incoloros y definitivamente inodoros (figura 5b), estas observaciones indican que

el producto es de relativamente bajo peso molecular, con pocos dobles enlaces y sin contaminantes como azufre, nitrógeno y otros elementos.

El espectro de infrarrojo se muestra en la figura 6, y en la tabla II la asignación de las señales. En este espectro se observan solo señales de metilos, metilenos, cadenas de 7 o más metilenos consecutivos y dobles enlaces terminales de cadena. Es interesante notar la inexistencia de grupos hidroxilo cuya señal se mostraría en el rango de 3100 a 3800 cm^{-1} , de anillos aromáticos en la región de 1665 a 2000 cm^{-1} y de grupos carbonilos alrededor de 1750 cm^{-1} . Indicando así un líquido exclusivamente hidrocarbonado con dobles enlaces terminales y cadenas de más de 7 metilenos, esto hace una gran diferencia en composición con el biocombustible reportado en el año 2009,²¹ donde el biocrudo contiene grupos cetonas, ácidos carboxílicos y ésteres. El espectro también soporta la aseveración de que la terminación del cracking fue por desproporciónación, (reacciones 4 y 5 en el esquema 1).

La figura 7 es el cromatograma del líquido obtenido, cuya composición es esclarecida por

Tabla II. Asignación de las señales de infrarrojo del producto de destilación.

λ_{max} (cm^{-1})	Asignación	λ_{max} (cm^{-1})	Asignación
2956	CH ₃ , vas	1464	CH ₂ , δs
2918	CH ₂ , vas	1377	CH ₃ , δs
2871	CH ₃ , vs	991	RCH=CH ₂ , δs
2848	CH ₂ , vs	908	RCH=CH ₂ , δs
		719	CH ₂ , ρ (CH ₂ contiguos ≥ 7)

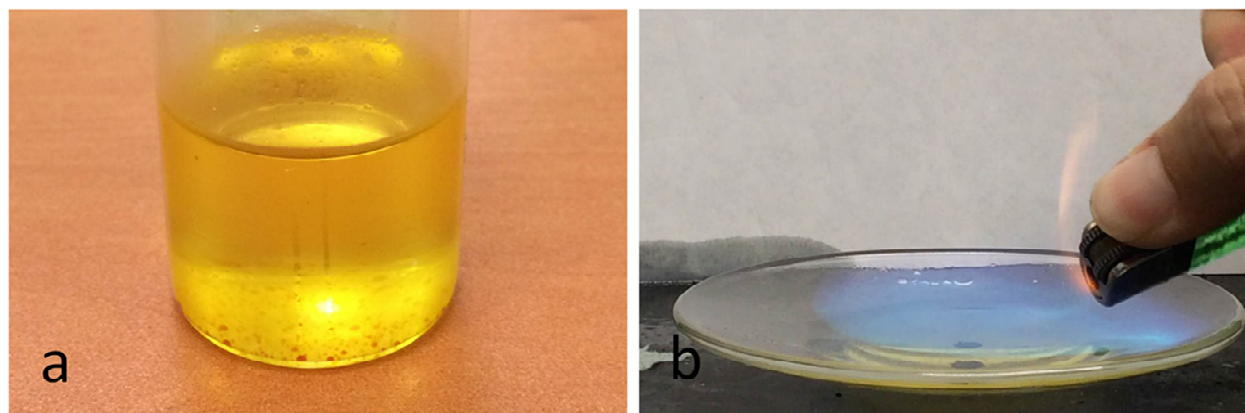


Fig. 5. a) Líquido obtenido por cracking - destilación fraccionada del cerote. b) apariencia de la flama en la combustión del líquido obtenido.

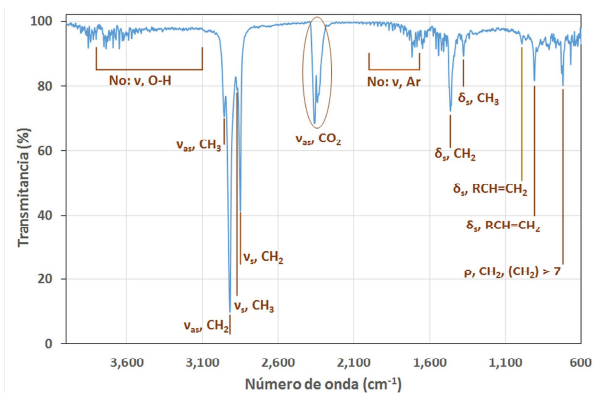


Fig. 6. Espectro FTIR del producto de destilación fraccionada de cerote.

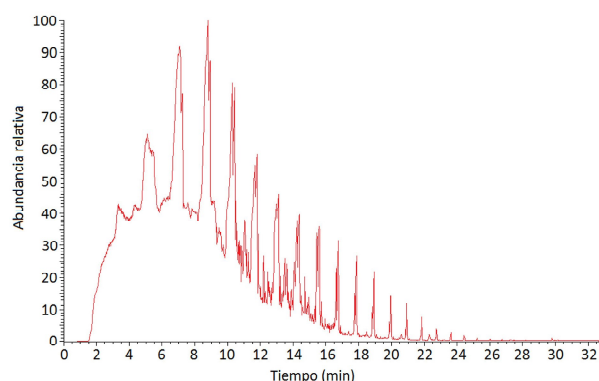


Fig. 7. Cromatograma de gases del líquido producto de la destilación fraccionada de cerote.

espectrometría de masas asignando las señales de acuerdo a la tabla III.

Como se aprecia en el cromatograma (figura 7), de la altura de los picos es posible determinar la abundancia relativa de los componentes, así haciendo un gráfico de número del contenido de cada componente como fracción molar contra el número de átomos de carbono y, separando los alcanos de los alquenos (que ahora sabemos son 1-alquenos) en curvas diferentes, encontramos que el producto analizado tiene principalmente hidrocarburos que a temperatura ambiente son líquidos (97 %) y un 3 % de productos sólidos de los cuales una ínfima parte (Aprox. 0.1 %) son los hidrocarburos constituyentes del cerote, los cuales seguramente fueron arrastrados por vapor (Ley de presiones parciales de Dalton).

En la figura 8 se aprecia que prácticamente hay

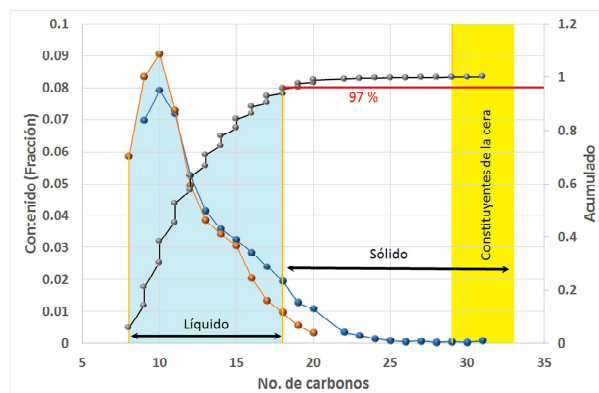


Fig. 8. Contenido de componentes en el producto de destilación fraccionaria del cerote de candelilla, separado por alquenos (naranja), alcanos (azul) y el acumulado total (gris), se indica también las regiones de componentes líquidos, sólidos y provenientes originalmente del cerote.

Tabla III. Asignación de componentes a las señales de cromatografía de gases según su tiempo de retención (t_r), mediante espectrometría de masas.

t_r (Min)	Componente	t_r' (min)	Componente	t_r (Min)	Componente
5.06	Octeno	14.38	Tetradecano	20.91	Eicosano
7.09	Noneno	15.44	Pentadeceno	22.73	Docosano
7.25	Nonano	15.59	Pentadecano	23.61	Tricosano
8.80	Deceno	16.63	Hexadeceno	24.42	Tetracosano
8.93	Decano	16.76	Hexadecano	25.24	Pentacosano
10.28	Undeceno	17.74	Heptadeceno	25.99	Hexacosano
10.43	Undecano	17.86	Heptadecano	26.74	Heptacosano
11.66	Dodeceno	18.82	Octadeceno	27.28	Octacosano
11.79	Dodecano	18.93	Octadecano	27.43	Nonacosano
12.98	Trideceno	19.85	Nonadeceno	28.16	Triacotano
13.10	Tridecano	19.95	Nonadecano	29.79	Hentriacotano
14.25	Tetradeceno	20.83	Eicoseno		

la misma cantidad de alcanos y alquenos, indicando que la desproporcionación fue la terminación preponderante de la reacción de cracking.

En la figura 9 se reporta la curva de liberación (temperatura vs. tiempo) obtenido con la bomba calorimétrica, al utilizar las ecuaciones 1 y 2, se encuentra que el poder calorífico superior del líquido obtenido es de $H_s=45$ MJ/Kg, el cual es superior al del combustóleo²² ($H_s = 40$ MJ/Kg) y semejante al del diésel²³ ($H_s = 44.7$ MJ/Kg) y el biodiésel manejado por PEMEX²² ($H_s = 46$ MJ/Kg), lo que soporta la idea de que se tiene un combustible que, cuando menos por su poder calorífico, la ausencia de compuestos aromáticos y de otras impurezas que incrementen la contaminación ambiental con azufre, hollín y otros contaminantes, es un excelente producto como un combustible semejante al diésel.

El proceso de cracking – destilación fraccionada es actualmente sujeto de patente en trámite.²⁵

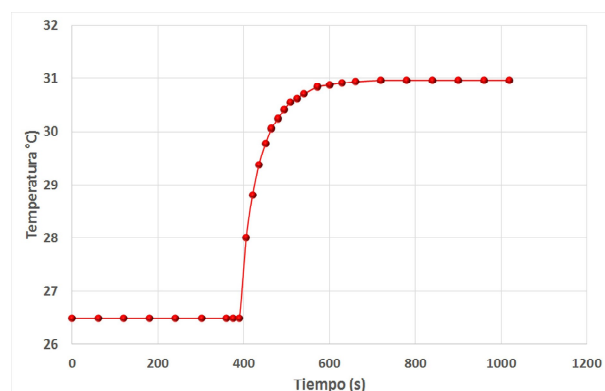


Fig. 9. Curva de liberación del producto de cracking - destilación fraccionada del cerote.

CONCLUSIONES

La cracking – destilación fraccionada simple como el aquí reportado, ocurre mediante la reacción de rompimiento molecular típico de este fenómeno, con terminación de la reacción sustancialmente por desproporcionación, resultando en un líquido combustible formado en un 97% por alcanos y alquenos líquidos a temperatura ambiente y con poder calorífico semejante al diésel y biodiesel, así que lo podemos considerar un biodiésel para la producción de energías de las llamadas renovables. La materia prima es una planta (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc) con la característica de ser una especie silvestre de las zonas

semiáridas del oeste de Texas, sur de Nuevo México en EUA y de los estados de Durango, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León en México, además de ella depende la economía de 12,000 familias y por último ha sido declarada una planta en peligro de extinción, por lo que cualquier esfuerzo para incorporarla como fuente de energía renovable que incluya: su siembra ya sea como reforestación o plantío, podría tener un impacto a mediano o largo plazo en la sustentabilidad, sacando la especie del peligro de extinción, dando fuentes de trabajo en regiones de alta pobreza como lo es el semi-desierto, y teniendo una fuente de energía de las llamadas renovables.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 What are Biofuels?, Cornell University, <http://www.greenchoices.cornell.edu/energy/biofuels/>, consultado el 1 de octubre del 2015.
- 2 Vernon Steinle J; Johnson S.C and Son Inc; Racine; Wis, Carnuba Wax: An Expedition to Its Source, *Industrial and Engineering Chemistry*, (1936), 28(9), 1004-1008.
- 3 Foroughbakhch P. R; Alvarado Vázquez M. A; Hernández Piñero J. L; Serna Ocejo J. P; Flores del Ángel M. de la L, Propagación Vegetativa de Candelilla (*Euphorbia Antisyphilitica*, Zucc.) en Zonas Áridas del Estado de Coahuila, *Memorias del VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas*, 17-19 marzo (2010), Hermosillo, Sonora, México.
- 4 Documento presentado por México, Evaluación del Estatus de *Euphorbia Antisyphilitica* en México Dentro de los Apéndices de la CITES, Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, 17-21 Marzo del 2009, Buenos Aires, Argentina.
- 5 Zuccarini, J. G, Description of *Euphorbia Antisyphilitica* Zuccar, *Abhandlungen der Mathematisch-Physikalischen Classe, der Koeniglich Bayerischen Akademie der Wissenschaften*, (1832), Vol. 1, Fasc. 1, P 392-293, Munich, Deutschland.
- 6 Alcocer G., Sanders J. M., *Euphorbia Cerífera*, *Anales del Instituto Médico Nacional. México Tomo XI*, (1910), Pp 155-162.

- 7 Hare R. F; Bjerregaard A. P, Examination of Candelilla Wax, *J. Ind. Eng. Chem* (1910), 2(5), pp 203-205.
- 8 Hodge W. H; Sineath H. H, The Mexican Candelilla Plant and Its Wax, *Econ. Bot.* (1956), 10(29), 134-154.
- 9 Schneider E, Trade survey study on succulent Euphorbia species protected by CITES and used as cosmetic, food and medicine, with special focus on Candelilla wax, Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, Eighteenth meeting of the Plants Committee, March 2009, Buenos Aires Argentina.
- 10 Wolfmeier U; Schmidt, H; Heinrichs F.-L.; Michalczyk, G; Payer, W; Dietsche, W; Hohner, G; Wildgruber, J, Waxes, In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, (1996), 28A: 103-122. VCH Weinheim.
- 11 Tejada-Godínez C; Zamora-Martínez M.C; Sánchez-Rojas L, Nonwood Forest Products in México: Current Status and Perspectives, Proceedings of the Forest Products Study Group Workshop of the North American Forestry Commission, Mérida Yucatán, 1998, pp 35- 50.
- 12 Kuznesof P. M; Whitehouse Db B; Candelilla Wax, Chemical and Technical Assessment (CTA), Chemical and Technical Assessment 65th JECFA (Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios), Ginebra, Suiza, (2005).
- 13 <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?term=8006-44-8&interface=CAS%20No.&N=0+&mode=partialmax&lang=es®ion=MX&focus=product>, consultado el 28 de octubre del 2015.
- 14 From Desert Plants to Dollars: Candelilla, Wax Making, and Wax Products, Texas beyond history, <http://www.texasbeyondhistory.net/waxcamps/techniques.html>, consultado el 28 de octubre del 2015.
- 15 Kumar A, Bioengineering of Crops for Biofuels and Bioenergy. In: From Soil to Cell: A Board Approach to Plant Life. Eds. Bender L and Kumar A. (Giessen +Electron. Library GEB), 2001, p1-16.
- 16 Ochoa S, Cultivan 110 mil plantas en invernadero para revegetar el semidesierto, *El Diario, Lealtad a Chihuahua*, 30 de junio del 2014.
- 17 Devore G; Muñoz Mena E, Química orgánica, Ed. Publicaciones Cultural S.A., México D.F., (1969).
- 18 Wade Jr. L. G, Química orgánica, Ed. Pearson, Prentice Hall, México (2008).
- 19 Carey F. A, "Química orgánica", Ed. Mc Graw Hill, México (2006).
- 20 Kuester . L; Ariz S, Process of Producing Liquid Hydrocarbon Fuels from Biomass, U.S. Patent 4,678,680, (1987).
- 21 Padmaja K. V; Atheya N; Bhatnagar A. K, Upgrading of Candelilla biocrude to hydrocarbon fuels by fluid catalytic cracking, *Biomass and Bioenergy*, 33, 1664 – 1669, (2009).
- 22 Lara-Rodríguez R; Gasca-Ramírez J. R; Díaz-Gutiérrez L. L; Palmerín-Ruiz M. E; Melgarejo-Flores L. A, Factores de Emisión para los Diferentes Tipos de Combustibles Fósiles que se Consumen en México, Instituto Mexicano del petróleo, Informe técnico del proyecto F.61157.02.005, Agosto del 2014.
- 23 Guía técnica de combustibles, empresa Powermaster, URL: <http://www.powermaster.com.mx/guia-tecnica/combustibles/>, consultado el 04/11/2015.
- 24 Torres-Castro A; González-González V. A; Garza-Navarro M. A, Proceso de Obtención de Biocombustible A Partir de Cera de Candelilla (Biomasa), 19/12/2014, expediente MX/a/016059.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en particular a la Dra. Silvia Guadalupe Solís Rosales junto con el personal del Laboratorio Central de Instrumentación Analítica, por el análisis de cromatografía – masas hecho a nuestro producto.