



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

Booklets



RENIECYT

Registro Nacional de Instituciones
y Empresas Científicas y Tecnológicas

2015-20795

CONACYT

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Bioetanol a partir del maguey (agave americana) y su
prospectiva en México

Author: Alejandro VALDES ORDOÑEZ

Editorial label ECORFAN: 607-8324
BCIERMIMI Control Number: 2017-02
BCIERMIMI Classification (2017): 270917-0201

Pages: 46
Mail: *avo1974@hotmail.com*
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
Peru	Spain	Cuba	Haití
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

MARCO TEORICO



Producción, importación y reserva de hidrocarburo en el mundo y su influencia en México

3

México siempre ha sido un principal proveedor y consumidor de energía primaria, como lo son combustibles fósiles (Petróleo).

Principales productores de petróleo en el 2012 (miles de barriles diarios).

Posición	País	2012	Porcentaje mundial
1	Arabia Saudita	11,530	13.4%
2	Federación Rusa	10,643	12.4%
3	Estados Unidos	8,905	10.3%
4	China	4,155	4.8%
5	Canadá	3,741	4.3%
6	Irán	3,680	4.3%
7	Emiratos Árabes Unidos	3,380	3.9%
8	Kuwait	3,127	3.6%
9	Iraq	3,115	3.6%
10	México[†]	2,913	3.4%
11	Venezuela	2,725	3.2%
12	Nigeria	2,417	2.8%
13	Brasil	2,149	2.5%
14	Noruega	1,916	2.2%
15	Kazakstán	1,728	2.0%
Total primeros países 15 países		66,123	76.8%
Total resto del mundo		20,029	

De acuerdo con la fuente, estas cifras incluyen petróleo crudo, aceite de lutitas, arenas petroleras y condensadas de gas natural (líquido contenidos en el gas natural que se recupera por separado).

[†]Dato tomado de la memoria de Labores de PEMEX, 2012, Cuadro 1. Página 149. Fuente SENER con datos del BP Statistical Review of World Energy, June 2013.

Reservas probadas al cierre de 2012; principales países.

Lugar	País	Miles de millones de barriles	Participación sobre el total mundial	Relación R/P (años)
1	Venezuela [‡]	297.6	17.8%	>100.0
2	Arabia Saudita	265.9	15.9%	63.0
3	Canadá	173.9	10.4%	>100.0
4	Irán	157.0	9.4%	>100.0
5	Iraq	150.0	9.0%	>100.0
6	Kuwait	101.5	6.1%	88.7
7	Emiratos Árabes Unidos	97.8	5.9%	79.1
8	Federación Rusa	87.2	5.2%	22.4
9	Libia	48.0	2.9%	86.9
10	Nigeria	37.2	2.2%	42.1
11	E.U.A	35.0	2.2%	10.7
12	Kazajistán	30.0	1.8%	47.4
13	Qatar	23.9	1.4%	33.2
14	China	17.3	1.0%	11.4
15	Brasil	15.3	0.9%	19.5
16	Angola	12.7	0.8%	14.4
17	Argelia	12.2	0.7%	20.0
18	México	11.4	0.7%	10.7
19	Ecuador	8.2	0.5%	44.6
20	Noruega	7.5	0.4%	10.7
Total mundial		1,668.9	100.0%	52.9
Países miembros de la OCDE		238.5	14.3%	33.4
Países miembros de la OPEP		1,211.9	72.5%	88.5

[‡] La relación reserva-producción (R/P) es mayor a 10 años.

Las reservas probadas mostradas solo incluyen crudo, líquidos de planta y condensados. Fuente: BP Statistical Review of World Energy, June 2013.

OCDE: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico.

OPEP: Organización de Países Exportadores de Petróleo.

La Secretaría de Energía (SENER) tiene una prospectiva de demanda de la gasolina en un periodo de 13 años, abarcando desde el 2014 hasta el 2027.

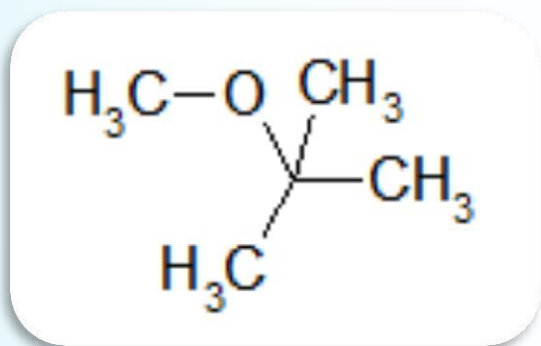
Proyección de la producción, importación y demanda de gasolina en México
2014-2027.

Año	Producción Mbd	Importación Mbd	Demanda Mbd	Demanda L/año
2014	479.0	317.6	796.6	45,593,743,092
2015	507.0	336.1	843.1	48,255,190,561
2016	522.0	374.3	896.3	51,300,115,407
2017	510.0	464.4	974.4	55,770,202,446
2018	527.0	534.5	1061.5	60,755,408,351
2019	531.0	607.2	1138.2	65,145,365,789
2020	686.0	505.5	1191.5	68,196,014,178
2021	732.0	506.3	1238.3	70,874,632,276
2022	732.0	539.5	1271.5	72,774,848,533
2023	733.0	579.4	1312.4	75,115,777,597
2024	733.0	611.9	1344.9	76,975,929,054
2025	729.0	648.5	1377.5	78,841,804,054
2026	729.0	681.5	1410.5	80,730,573,225
2027	726.0	717.5	1443.3	82,607,895,311

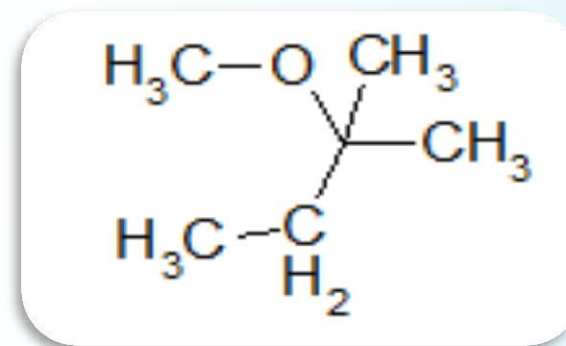
mbd, miles de barriles diarios; un barril equivale a 158.987304 litros y la demanda anual, está referido a 360 días lo que es igual a un año comercial.

6

Entre los éteres más utilizados a nivel mundial están el Metil *Ter*-butil Éter (MTBE) y *Ter*-amil Metil Éter (TAME).



Metil *Ter*-butil Éter (MTBE)



Ter-amil butil Éter (TAME)

En la gasolina magna o premium, del volumen de este carburante el $\leq 10\%$ corresponde al MTBE y TAME.

Actualmente la reforma energética que impulsa el país es una mezcla en la gasolina de E10 (90% gasolina y 10% de alcohol).

Proyección de la producción, importación y demanda de gasolina y Etanol para la mezcla E10 en México 2015-2027.

Año	<u>Demanda</u> Mbd	<u>Demanda</u> L/año	<u>Demanda de etanol</u> <u>para la mezcla E10</u> L/año
2015	843.1	48,255,190,561	4,825,519,056
2016	896.3	51,300,115,407	5,130,011,541
2017	974.4	55,770,202,446	5,577,020,245
2018	1061.5	60,755,408,351	6,075,540,835
2019	1138.2	65,145,365,789	6,514,536,579
2020	1191.5	68,196,014,178	6,819,601,418
2021	1238.3	70,874,632,276	7,087,463,228
2022	1271.5	72,774,848,533	7,277,484,853
2023	1312.4	75,115,777,597	7,511,577,760
2024	1344.9	76,975,929,054	7,697,592,905
2025	1377.5	78,841,804,054	7,884,180,405
2026	1410.5	80,730,573,225	8,073,057,323
2027	1443.3	82,607,895,311	8,260,789,531

mbd, miles de barriles diarios; un barril equivale a 158.987304 litros y la demanda anual, está referido a 360 días lo que es igual a un año comercial.

Aceptación de los biocombustibles

8

Mayores productores de bioetanol:



Brasil (caña de azúcar) reportando una producción en el 2015 de 27,800 millones de litros.



Estados Unidos de América (maíz), con una producción en el mismo periodo de 54,500 millones de litros.



- *Práctica de quemar la caña (metano y óxido nitroso), maquinaria agrícola.
- *Fertilizantes nitrogenados, herbicidas (fósiles).
- *Balance energético 1:8

- *Uso de gas natural o carbón de origen mineral para destilar.
- *Fertilizantes nitrogenados, herbicidas (fósiles).
- *Balance energético 1:1.3



El trigo, arroz, maíz y cebada representan el 40% de su superficie agrícola mundial. Estos cultivos son susceptibles para producir bioetanol

Cuadro 9. Potenciales cultivos energéticos para obtención de etanol.

Producto	Rendimiento (l/Ton)
Maíz	3180-354
Sorgo	300-365
Trigo	321-346
Centeno	298-343
Avena	240-253
Cebada	293-323
Arroz	300-372
Papa	86-99
Camote	129-176
Remolacha azucarera	83-94
Caña de azúcar	57-65
Manzana	54-59

Una de estas biomasa energética es el maguey pulquero : *Agave salmiana*, *Agave americana*, *Agave atrovirens* y *Agave mapisaga*

Guillen Solis, O. (2004). *Energías Renovables. Una perspectiva ingenieril*. México, D. F.: Trillas.

Cervantes, C. M., Pedroza R., A. M. (2007). El pulque: características microbiológicas y contenido alcohólico mediante espectroscopía Raman. *Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 135-146.

Cervantes, C. M. (2008). Caracterización microbiológica del pulque y cuantificación de su contenido de etanol mediante espectroscopía Raman. *Sociedad mexicana de ciencia y tecnología de superficies y materiales*.

Características taxonómicas de los Magueyes

11

Los agaves, son especies endémicas de México, que crecen en *zonas áridas y semiáridas* de nuestro país.



Sembradío de magueyes de la especie americana en el municipio de Ixtapaluca en el Estado de México.

Producción de maguey pulquero de los principales estados productores reportado para el año 2016, por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de México

Producción de maguey pulquero en miles de litros para 2016 (SIAP, 2016).

Estado	A_{semb.} Ha	A_{coi.} Ha	Producción Anual en L
Guanajuato	4.50	1.50	37,500
Guerrero	3.00	3.00	16,800
Hidalgo	6152.20	1924.90	194,578,650
Jalisco	3.00	3.00	261,000
México	1435.70	241.70	4,130,890
Puebla	747.00	324.50	10,349,310
San Luis Potosí	25.00	21.00	354,000
Tlaxcala	585.00	545.00	38,328,000
Veracruz	78.00	78.00	967,200
Total	9128.15	3142.60	249,023,350



- **Venta del pulque (líquido y en polvo).**

- **Interés en el mercado internacional.**

- **Componentes con interés médico, biotecnológico y alimenticio.**

- **La producción de aguamiel dura de 3 a 6 meses.**

- **Producción aproximada de 1,000 L/planta.**

OBJETIVOS

OBJETIVOS

GENERAL

Obtener etanol del maguey pulquero de la especie *Agave americana*, con el fin de promover un biocombustible alternativo al de la caña de azúcar, comenzando con una mezcla de ambos biocombustibles y finalmente reemplazarlo en su totalidad en la mezcla E10 dentro de la demanda energética que requiere el país.

ESPECÍFICOS

16

- 1.- Obtener etanol a partir del *Agave americana* con una pureza $\geq 90\%$ en volumen a través de destilaciones simples.
- 2.- Determinar los parámetros termodinámicos del bioetanol como son: la Energía de Combustión Másica ($\Delta_c U^\circ_m$), a través de un Calorímetro Isoperibólico y derivar la Entalpía de Combustión ($\Delta_c H^\circ_m$).
- 3.- Comparar las propiedades termodinámicas con otras combustibles líquidos.
- 4.- Promoverlo como una alternativa ecológica sustentable en una mezcla E10 (90% Gasolina y 10% de Etanol) en motores de combustión interna.
- 5.- Hacer un estudio de perspectiva y ventajas de este cultivo alternativo a través del porcentaje de suelo semiárido del territorio mexicano.

METODOLOGÍA
EXPERIMENTAL
EXЪБЪВЪМЕНТЪТ

METODOLOGÍA

Proceso de fermentación

1) 18



2)



3)



Saccharomyces cerevisiae
Zymomonas mobilis
Lactobacillus spp.
Leuconostoc enesteroideis

4)



5)



Proceso de destilación

19



1° destilación con una muestra de $4 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, $T = 364.15 \text{ K}$ por 90 min, con 38°GL.

2° destilación con un volumen de $1.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, $T = 353.15 \text{ K}$ por 105 min, 78°GL.

3° destilación de etanol aún hidratado $T = 351.6 \text{ K}$ por 120 min, obteniendo una muestra de etanol al 91°GL.

Cuadro 12. Resultados del proceso de fermentación.

Biomasa	$\frac{V_{\text{ferm}}}{\text{m}^3}$	$\frac{V_{\text{bioetanol}}}{\text{m}^3}$	$\frac{R_{\text{teórico}}}{\%}$
Maguey	57.5×10^{-4}	4.225×10^{-4}	7.348

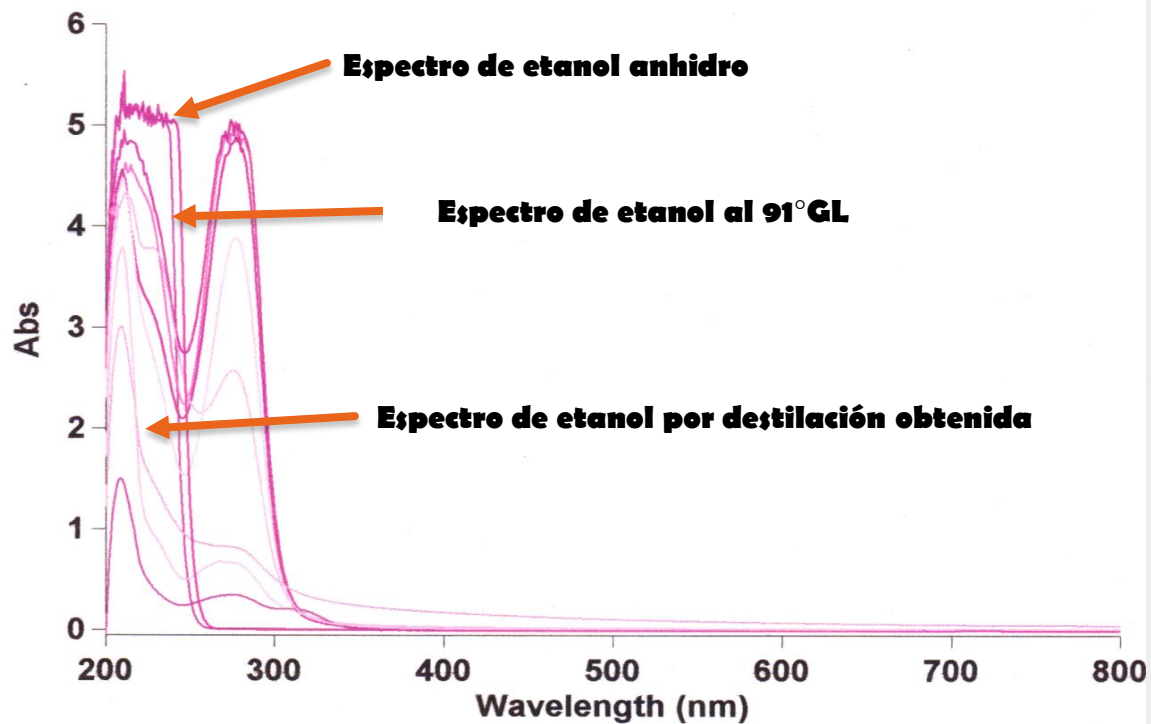
V_{ferm} , volumen de fermentado; $V_{\text{bioetanol}}$, volumen de bioetanol; $R_{\text{teórico}}$, rendimiento teórico.

Espectro de etanol en UV-vis

20

Centro de Investigación y Estudios avanzados-IPN
Departamento de Química 13/07/2009 07:17:21 p.m. Page 1 of 6

Laboratorio de Espectroscopia Ultravioleta-Visible
Varian Cary 4000
Instrument Serial Number EL03016274



Metodología experimental para la calibración del sistema calorimétrico

21



Sistema calorimétrico de combustión isoperibólico modelo Parr 1230 con una bomba estática modelo Parr 101A.

$$U_{calor} = \frac{m \cdot \Delta_c U^{\circ}_m}{\Delta T_{corr}}$$

- El ácido benzoico suministrado por el *National Institute of Standards and Technology* (NIST).
- Energía combustión= $-(26434 \pm 3) \text{ J g}^{-1}$
- Pureza de 99.9996%

$$\Delta_c U^{\circ}_m = \frac{U_{calor} \cdot \Delta T_{corr}}{m}$$

Cuadro 14. Energías de combustión del bioetanol producido a partir de diferentes biomásas.

Exp.	$m(C_2H_6O)/g$	$m(poliet.)/g$	$m(alg.)/g$	$\Delta T_{corr}/K$	$-w_1/J$	$-w_2/J$	$-\Delta_c u^{\circ}(C_2H_6O)/J \cdot g^{-1}$
Bioetanol producido a partir del maguey							
1	1.27122	0.15223	0.00261	3.64918	7066.550	42.981	23478.87
2	1.33380	0.14914	0.00220	3.78080	6923.112	36.229	23489.33
3	1.28336	0.17124	0.00228	3.76737	7948.998	37.547	23506.06
4	1.26408	0.19486	0.00208	3.83178	9045.444	34.253	23515.83
5	1.32875	0.17688	0.00236	3.89835	8210.809	38.864	23503.36
6	1.08562	0.19001	0.00213	3.37736	8820.306	35.076	31473.68
							$\langle -\Delta_c u^{\circ} \rangle = 23473.74 \pm 25.51$
Bioetanol producido a partir de la caña de azúcar							
1	1.06992	0.19224	0.00227	3.45798	8923.823	37.382	24355.84
2	1.13193	0.14420	0.00224	3.38902	6693.796	36.888	24375.13
3	1.07322	0.17305	0.00233	3.38445	8033.019	38.370	24416.20
4	1.09643	0.16676	0.00194	3.40903	7741.036	31.948	24398.54
5	1.10497	0.15987	0.00233	3.39039	7421.201	38.370	24322.77
							$\langle -\Delta_c u^{\circ} \rangle = 24373.69 \pm 16.34$
Etanol absoluto (C_2H_6O)							
1	0.73812	0.17639	0.00231	2.95730	8188.063	38.041	29430.66
2	1.03000	0.17655	0.00241	3.82019	8195.490	39.687	29566.05
3	1.03452	0.17048	0.00254	3.80070	7913.719	41.828	29516.38
4	0.98269	0.23826	0.00242	3.95585	11060.082	39.852	29472.31
5	0.99375	0.18422	0.00240	3.74306	8551.533	39.523	29500.41
							$\langle -\Delta_c u^{\circ} \rangle = 29497.16 \pm 22.54$

$m(C_2H_6O)$: masa del bioetanol empleada en cada experimento de combustión; $m(poliet.)$: masa de la cápsula de polietileno empleado; $m(alg.)$: masa de algodón utilizado como mecha; ΔT_{corr} : cambio de temperatura corregido registrado durante el proceso de combustión; $-w_1$: energía de combustión de polietileno; $-w_2$: energía de combustión del algodón; $-\Delta_c u^{\circ}(C_2H_6O)$: energía de combustión de cada experimento

METODOLOGÍA
DOCUMENTAL
ДОКУМЕНТАЛ

METODOLOGÍA

Cuantificación de la energía másica de combustión teórico

24

Valor teórico de energía másica de combustión del etanol, a partir de las entalpías de formación ($\Delta_f H^\circ_m$) de la reacción ideal de combustión.



A partir de esta reacción, se determina la entalpía de combustión:

$$\Delta_c H = \Sigma \Delta_f H(\text{productos}) - \Sigma \Delta_f H(\text{reactivos})$$

$$\Delta_c H [\text{C}_2\text{H}_6\text{O} (l, 298.15 \text{ K})] = 2\Delta_f H(\text{CO}_2, g) + 3\Delta_f H(\text{H}_2\text{O}, l) - \dots \\ \Delta_f H[\text{C}_2\text{H}_6\text{O} (l, 298.15 \text{ K})]$$

$$\Delta_c H [\text{C}_2\text{H}_6\text{O} (l, 298.15 \text{ K})] = 2(-393.51 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) + 3(-285.83 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) - \dots \\ (-277.60 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$$

$$\Delta_c H [\text{C}_2\text{H}_6\text{O} (l, 298.15 \text{ K})] = -1366.91 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

25 Para determinar la energía de combustión molar estándar ($\Delta_c U_m^\circ$), se parte de la relación entre energía interna y entalpía para una reacción que involucre especies gaseosas:

$$\Delta_c H = \Delta_c U + \Delta n RT$$

En consecuencia, a partir de esta última ecuación, la energía de combustión molar en el estado estándar es:

$$\Delta_c U = \Delta_c H - \Delta n RT$$

$$\Delta n = [\sum n(\text{productos}) - \sum n(\text{reactivos})] \text{ en fase gaseosa}$$

$$\Delta n = 2 - 3 = -1$$

$$\Delta_c U = -1366.91 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} - (-1) (8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) (298.15 \text{ K})$$

$$\Delta_c U [\text{C}_2\text{H}_6\text{O} (\text{l}, 298.15 \text{ K})] = -1364431.181 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Obteniendo una energía másica de combustión, cuya magnitud es de:

$$\Delta_c U [\text{C}_2\text{H}_6\text{O} (\text{l}, 298.15 \text{ K})] = (-29619.52 \pm 18.00) \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$$

México en la actualidad cuenta con 54 Ingenios Azucareros, 40 tienen posibilidades de producir etanol anhidro reportado por la Secretaria de Energía en el 2013.

Ingenios azucareros con una capacidad potencial para vender etanol a PEMEX.

Estado	No. de los Ingenios	Estado	No. de los Ingenios
Michoacán	1	Veracruz	14
Chiapas	2	Sinaloa	3
Colima	1	San Luis Potosí	4
Jalisco	4	Puebla	1
Morelos	1	Quintana Roo	1
Nayarit	2	Tabasco	2
Oaxaca	2	Tamaulipas	2

**Escenario
1**

*8.5% de su capacidad de molienda y un 20% de las mieles a etanol.

*Producción de 462,000,000 de litros de etanol anual.

**Escenario
2**

*16% de su capacidad de molienda y un 20% de las mieles a etanol.

*Producción de 789,000,000 de litros etanol anual.

Se obtendría hipotéticamente la cantidad de 851,855,392.3 litros de etanol al año con este panorama.

Cuatro 18. Rendimiento de etanol anual por hectárea.

Área de cultivo Ha	Rendimiento de etanol Litros anual
782,801.11	789,000,000.00
845,162.67	851,855,392.30

El volumen requerido de etanol es 9.70 veces más que el rendimiento actual. se necesitaría 9.70 veces más tierras de cultivos para la caña.

Cuadro 19. Prospectiva de superficie en la demanda del 2027.

Año	Superficie Ha	Demanda de etanol anual L
2013	845,162.67	851,855,392.30
2027	8,195,887.47	8,260,789,531.00

Diseñan biocombustible mexicano

► El IMP encuentra su propia tecnología y productos para hacer carburantes sustentables

Alma Hernández

El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) detectó que derivados de la soya, micro-algas, aserrín y la cáscara de naranja son cuatro nuevas rutas tecnológicas con las que será viable basar proyectos en México para elaborar biodiesel, bioetanol y biocrudo para uso de Pemex Refinación.

Florentino Murrieta Guevara, director del proyecto e investigador del IMP, aseguró en entrevista con REFORMA que estas nuevas rutas tecnológicas son parte de la estrategia para diseñar una política energética que incluya a los biocombustibles en la canasta de energéticos del País.

Se está cuidando que se elaboren biocombustibles más eficientes y con viabilidad comercial”, afirmó el tam-

bién secretario técnico de la Dirección de Investigación y Posgrado.

El IMP se encargó de elaborar el estudio a petición de Pemex Refinación, tomando en cuenta la capacidad tecnológica existente, la disponibilidad de materias primas en el País y su viabilidad comercial.

Agregó que uno de los principales nichos de oportunidad son las micro algas, porque tienen un rendimiento superior al que presumen las oleaginosas.

“Por ejemplo, una tonelada de semillas produce en promedio 45 por ciento de aceite y pudimos comprobar en el IMP que la microalgas puede llegar a producir hasta 75 por ciento”, señaló.

Este proyecto será presentado por el IMP para concursar por el financiamiento que ofrece la recién aprobada reforma energética y que se otorgarán a través del Conacyt, dentro del tema de energía sustentable, adelantó el investigador.

Murrieta resaltó que los principales productores de bioetanol en el

mundo como lo son Brasil y Estados Unidos, están empleando maíz y caña de azúcar, lo cual no es viable para nuestro País, además de que la Ley de bioenergéticos así lo establece.

La primera fase, que es la de investigación, ya concluyó y ahora se buscarán líneas de financiamiento a través de Conacyt o mediante fondos propios, relató el investigador.

En paralelo se está desarrollando la aplicación de biocrudo, con base en desechos de aserrín, el cual podría ayudar a darle una mayor dieta de petróleo crudo al sistema nacional de refinación.

Sin embargo, este proyecto apenas se encuentra en fase de investigación en plantas piloto, por lo que la tecnología aún no está comercializada, acotó.

Desde esta fase de investigación hasta su aplicación industrial, desarrollar todo el proyecto de biocombustibles en el País podría tardar cinco años, pronosticó el investigador del IMP.

Deforestación del amazonas para la siembra de caña de azúcar 3,000,000 ha/añual

30



Deforestación en México por tala 260,000 ha/añual

Cuadro 20. Porcentaje de zonas para su posible cultivo de agave.

Zonas	<u>Superficie</u> km²	<u>Porcentaje</u> <u>superficial</u> %
Superficie continental	1,959,248	100
Áridas	159,355	8.13
Semiáridas	588,700	30.04
Subhúmedas secas	266,945	13.62

Las tierras secas predominan en el norte de México, ocupan 1,015,000 km², lo que representa el 51.8 % del territorio nacional.

- El maguey, puede ocupar una longitud de 5 m por el crecimiento de su roseta y el espacio por sembradío.
- Implica un área de 25 m² por maguey.
- En una hectárea (10,000 m²) se podrían sembrar 400 magueyes.

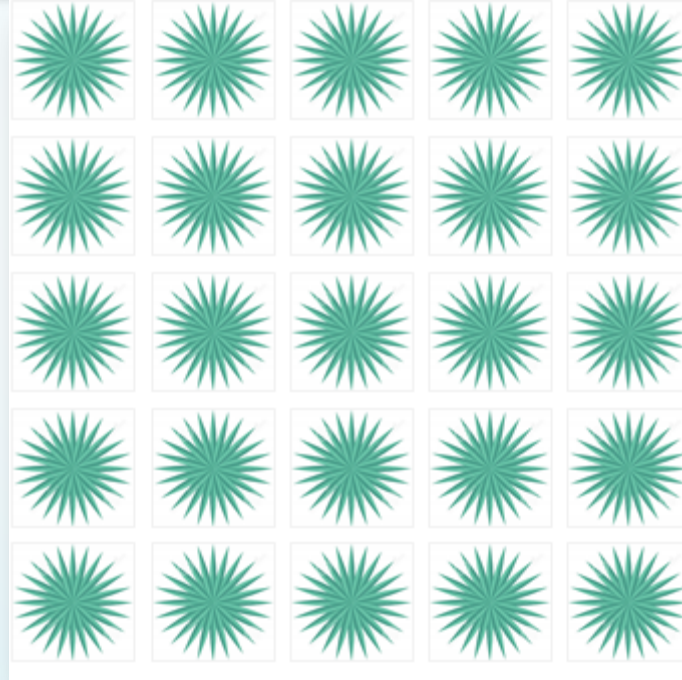


Imagen 19. Representación lineal de siembra de maguey pulquero, cuyo diámetro de la roseta es de 3.5 m y un espacio de sembradío del 1.5 m entre magueyes.

RESULTADOS

RESUMEN

34 a) *Calculo del rendimiento de etanol a partir del pulque por hectárea*

Cuadro 21. Rendimiento de etanol anual con los dos principales cultivos energéticos.

Biomasa	Rendimiento (L·Ha⁻¹)	
	Promedio	Máximo
Caña de azúcar	5822.25	8515.50
Maíz	2901.78	7599.90
Maguey pulquero	3723.00	7583.74

Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de Caña de Azúcar y Maíz (Cardona C. A., Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de la caña de azúcar y maíz., 2005).

Selección de tecnologías apropiadas para la producción de etanol carburante (Cardona Alzate, 2004).

b) Porcentaje de producción de etanol a partir de la siembra actual de maguey

Cuadro 22. Proyección de Etanol para la mezcla E10 en México 2015-2027.

Año	Demanda de gasolina L/año	Demanda de etanol para la mezcla E10 L/año	Producción de etanol actual de maguey %
2015	48,255,190,561	4,825,519,056	1.56
2016	51,300,115,407	5,130,011,541	1.47
2017	55,770,202,446	5,577,020,245	1.35
2018	60,755,408,351	6,075,540,835	1.24
2019	65,145,365,789	6,514,536,579	1.16
2020	68,196,014,178	6,819,601,418	1.11
2021	70,874,632,276	7,087,463,228	1.07
2022	72,774,848,533	7,277,484,853	1.04
2023	75,115,777,597	7,511,577,760	1.01
2024	76,975,929,054	7,697,592,905	0.98
2025	78,841,804,054	7,884,180,405	0.96
2026	80,730,573,225	8,073,057,323	0.94
2027	82,607,895,311	8,260,789,531	0.91

c) *Superficie propuesta para la siembra de maguey pulquero para producir etanol*

Cuadro 23. Superficie nacional de suelos semiáridos para cubrir la demanda del 2027, con un volumen de 8,260,789,531 litros anuales.

Porcentaje en superficie nacional	Superficie Km²	Cantidad de etanol L/año	Excedente de etanol L/año
1.00% territorio	19,592.48	14,858,425,487.86	6,597,635,956.86
0.90% territorio	17,633.23	13,372,582,939.08	5,111,793,408.09
0.80% territorio	15,673.98	11,886,740,390.29	3,625,950,859.29
0.70% territorio	13,714.74	10,400,897,841.51	2,140,108,310.51
0.60% territorio	11,755.49	8,915,055,292.72	654,265,761.72
0.56% territorio	10,971.79	8,320,718,273.20	59,928,742.20
0.50% territorio	9,796.24	7,429,212,743.93	- 831,576,787.07

Cuadro 24. Siembra total de magueyes pulqueros para la prospectiva 2015-2027.

Años	Cantidad de magueyes pulqueros
2015	438,871,600
2016	877,743,200
2017	1,316,614,800
2018	1,755,486,400
2019	2,194,358,000
2020	2,633,229,600
2021	3,072,101,200
2022	3,510,972,800
2023	3,949,844,400
2024	4,388,716,000
2025	4,827,587,600
2026	5,266,459,200
2027	5,705,330,800

Cuadro 25. Porcentaje de crecimiento en la demanda Etanol para la mezcla E10 en México 2015-2034.

Año	Demanda de etanol para la mezcla E10 L/año	Porcentaje de crecimiento de etanol %
2015	4,825,519,056	
2016	5,130,011,541	6.31
2017	5,577,020,245	8.71
2018	6,075,540,835	8.94
2019	6,514,536,579	7.23
2020	6,819,601,418	4.68
2021	7,087,463,228	3.93
2022	7,277,484,853	2.68
2023	7,511,577,760	3.22
2024	7,697,592,905	2.48
2025	7,884,180,405	2.42
2026	8,073,057,323	2.40
2027	8,260,789,531	2.33
Promedio de los 6 últimos años		2.78
2028	8,490,439,480	
2029	8,726,473,698	
2030	8,969,069,666	
2031	9,218,409,803	
2032	9,474,681,596	
2033	9,738,077,744	
2034	10,008,796,305	

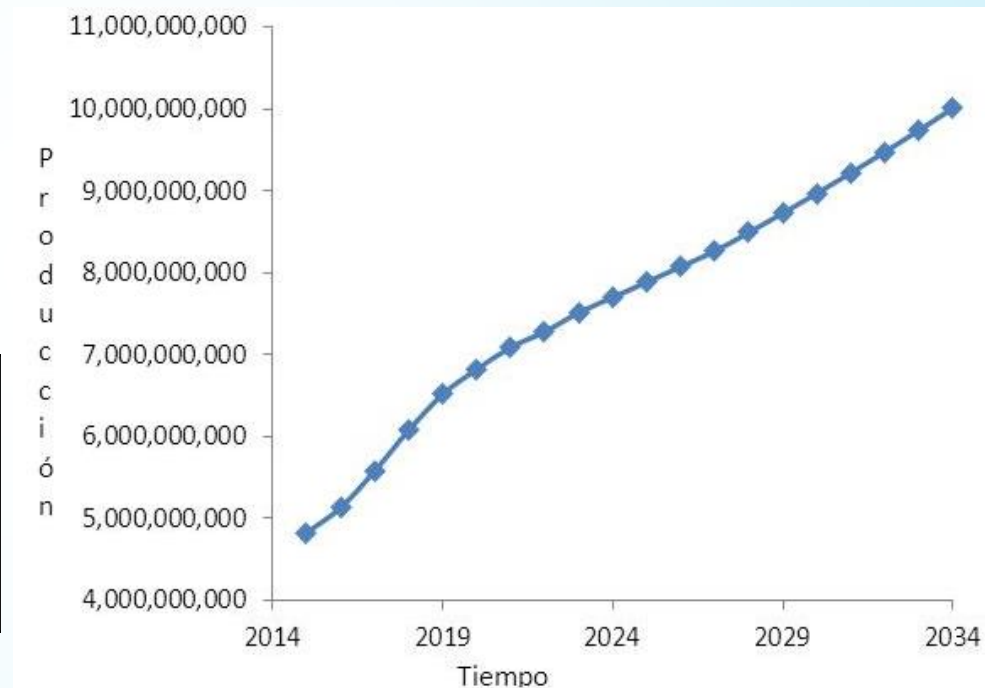


Imagen 20. Tendencia de la demanda anual de bioetanol en prospectiva a 20 años.

d) *Valores de energía de combustión del bioetanol*

Cuadro 26. Valores de energía de combustión del bioetanol producido de distintas biomazas y su porcentaje de Etanol.

Muestra	$\frac{-\Delta_c u(C_2H_6O)}{J \cdot g^{-1}}$	$\frac{-\Delta u}{J \cdot g^{-1}}$	$\frac{C_2H_6O}{\%}$
Valor teórico	- 29,619.52 ± 18.00	0	100.00
Absoluto	- 29,497.16 ± 22.54	- 122.36	99.59
Caña de Azúcar	- 24,373.69 ± 16.34	- 5,245.83	82.29
Magüey (2^a destilación)	- 23,473.74 ± 25.51	- 6,145.78	79.25
Magüey (3^{era} destilación)	- 26,953.76	- 2,665.76	91.00

$-\Delta_c u^p(C_2H_6O)$, energía de combustión promedio; $-\Delta u$, diferencia de energía; C_2H_6O %, porcentaje de bioetanol.

Cuadro 28: Valores de energía en la producción de etanol.

Áreas de proceso	Caña de Azúcar MJ·m⁻³	Maíz MJ·m⁻³	Maguey Pulquero MJ·m⁻³
Acondicionamiento	3,344.73	395.23	0
Fermentación	2,252.68	1,175.47	0
Destilación	9,371.64	6,837.50	8,104.57
Tratamiento de residuos	5,086.60	4,179.02	4,632.81
Total	20,055.65	12,587.22	12,737.38

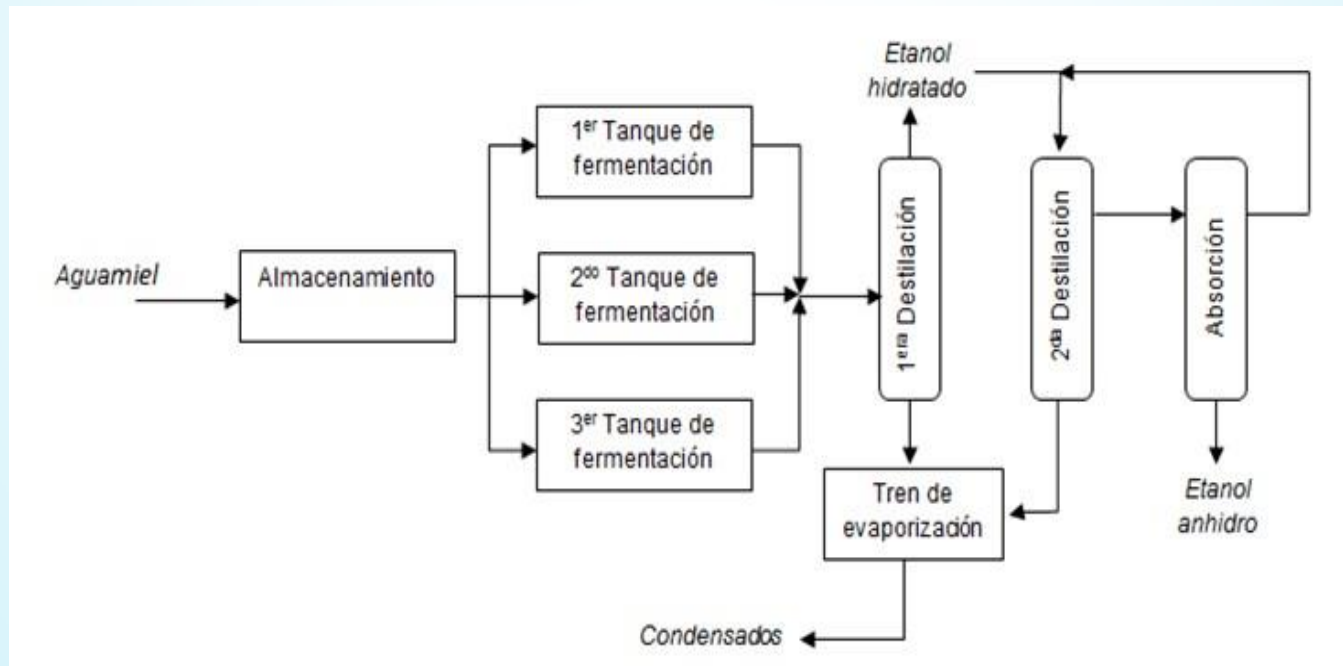


Imagen 23. Diagrama de proceso para la obtención de etanol a partir del Maguey pulquero.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

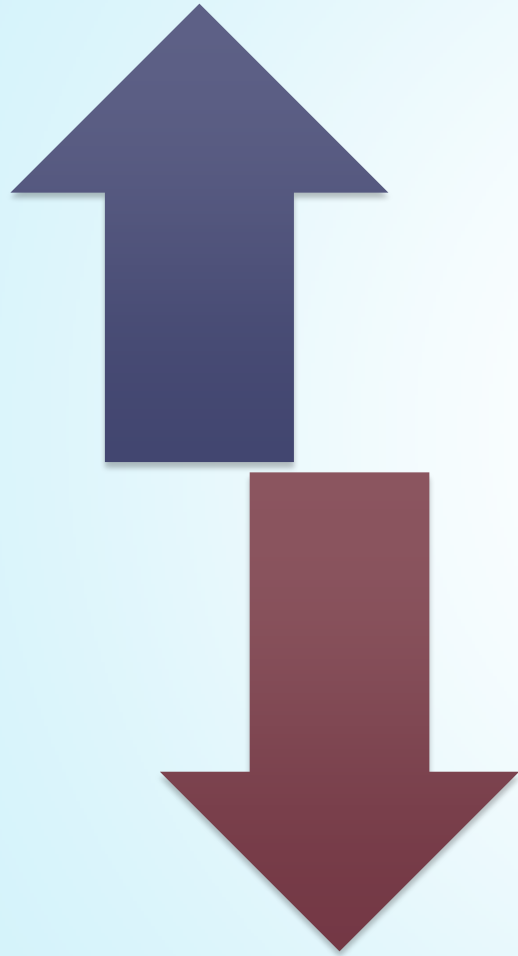
En esta investigación desarrollada, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- a) La agricultura ha sido siempre una fuente de energía, y la energía es un insumo importante de la producción agrícola moderna:**

Donde 13% del suministro total de energía primaria corresponden a energía renovable, pero solo 1.9% son biocombustible líquidos.

Además todos los países deberán hacer frente a los efectos del desarrollo de biocombustibles, independientemente de que participe o no directamente en este sector, ya que todos los mercados agrícolas se verán afectados por el rápido aumento de la demanda.

b) En México el etanol será a partir de la caña de azúcar




Ventajas:

Aumento en la producción de etanol, mejoramiento al medio ambiente, incremento en el sector agrícola, acceso a la energía en las zonas rurales, así como un desarrollo rural.

Desventajas:

Un aumento de tierras fértiles (deforestación de bosques y selvas), uso irracional de fertilizantes provenientes de combustible fósil, riesgo en el sector alimentario y agrícola (sobre explotación), el empobrecimiento de sectores marginados por el aumento de los precios de los alimentos.

c) Esta investigación nos lleva a considerar que los agaves pulqueros, son cultivos que presenta un alto potencial como cultivos bioenergéticos:

- 
- Ecológicamente rentable
 - No compite con materias primas de origen alimentario
 - Balance energético nulo durante su extracción del etanol.
 - Aprovechamiento de suelos semiáridos y recuperación de suelos.

d) La prospectiva de la siembra de maguey pulquero (*Agave salmiana*, *Agave americana*, *Agave atrovirens* y *Agave mapisaga*):

Prospectiva a 13 años (periodo 2015-2027):

- Utilizando el 0.56% anual del territorio continental.
- Superficie total 7.28% (142,633.27 km²)

Prospectiva a 20 años (periodo 2015-2034):

- Destinando el 0.7% del territorio nacional.
- Superficie total de 9.1% continental (178,291.62 km²).

Superficie de 3.9% continental (76,410.64 km²)

En la actualidad los magueyes:

- Tienen estrés (calor y pesticidas).
- Falta de alimento en el suelo.
- Debilidad ante las plagas.
- No pueden echar mano de su diversidad genética.
- Por abuso de la reproducción asexual (8 años).

Los magueyes podrían reforzar su diversidad genética al ser polinizado y reproducirse por la vía sexual (por semilla), esto se lleva a cabo por los quirópteros (murciélago de la especie, *Leptonycteris yerbabuena*). Se ha comprobado la producción de semilla y germinación.

e) Con la siembra del maguey pulquero

Creación de empleos permanentes

Desarrollo de la economía rural de forma directa.

Expansión y explotación de la agricultura en tierras semiáridas.

Destinar a cultivos agroalimentarios sembrados de manera conjunta.

Desarrollo y la creación de tecnología nacional.

Investigación para el mejoramiento morfológico y fisiológico de los magueyes.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)