



IX SIMPOSIUM-TALLER NACIONAL Y II INTERNACIONAL DE PRODUCCION DEL
NOPAL Y MAGUEY

Escobedo, N.L., México; 12 y 13 de Noviembre de 2010 Edición Especial No.5-2011

R E S P Y N



Revista Salud Pública y Nutrición
Edición Especial 5-2011



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey

IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional

"Desarrollo y Bienestar Sustentables a Través del Nopal y Maguey"

Memorias

Viernes 12 y Sábado 13 de noviembre de 2010

Biblioteca de Ciencias Agropecuarias y Biológicas
Campus de Ciencias Agropecuarias,
Facultad de Agronomía UANL,
Escobedo, N.L.





BIOCOMBUSTIBLES A BASE DE NOPAL Y MAGUEY

Méndez-Gallegos, S. de J¹.; Rössel, D¹.; Amante-Orozco, A¹.; Talavera-Magaña, D.;
García-Herrera, J¹. y A. Velez-Jiménez*.

¹Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hgo. SLP. CP. 786000.
Tel/fax: + 52 496 9630240. *Responsable del proyecto agave.

Correo-Electrónico: jmendez@colpos.mx; proyectoagaves@gmail.com

Resumen

La economía de nuestro país se sustenta en los ingresos derivados de la venta de petróleo; sin embargo, nuestras reservas están en declinación, y la seguridad energética de nuestro país está en riesgo. En México, las políticas energéticas se han basado en el fomento y propagación de especies vegetales, cuya sustentabilidad ambiental está aún por confirmarse. Adicionalmente, agroecológicamente tienen fuertes limitaciones para ser producidas masivamente a nivel nacional, por sus requerimientos de agua, nutrientes y susceptibilidad fitosanitaria. Considerando lo anterior, es necesario buscar alternativas bioenergéticas de especies que tengan, resistencia a factores adversos, bajos requerimientos de insumos y tecnología, y que tengan una alta productividad. El maguey (*Agave* spp) y el nopal (*Opuntia* spp) dos de las mas plantas más representativas de nuestro país, podrían representar una potencial opción energética sustentable debido a su alta eficiencia productiva de biomasa en condiciones restrictivas de suelo y agua. Lo anterior, permitiría incorporar a la producción de estos insumos, aquellas áreas degradadas en las cuales los cultivos tradicionales no prosperan, brindando con ello la posibilidad de promover las actividades agrícolas y generar empleo en el medio rural.

Palabras clave: Agave, Nopal, bioenergéticos, Uso potencial.

Abstract

The economy of our country is based on revenues from oil sales, but our reserves are in decline, and energy security of our country is at risk. In Mexico, energy policies have been based on the promotion and propagation of plant species, but its environmental sustainability is yet to be confirmed. Moreover, those plants have strong agroecological limitations for an extensive production at the national level, due to their need for water, nutrients and plant susceptibility. Considering this, it is necessary to find bioenergy alternatives with species that show resistance to stress, need low input requirements and technology, and achieve high productivity. Maguey (*Agave* spp) and cactus pear (*Opuntia* spp) are two of the most representative plants in our country, that could represent a potential option for sustainable energy due to its high efficiency of biomass production under restrictive conditions of soil and water. Additional to the production of these inputs, degraded areas where traditional crops do not thrive could

be used, thus providing the possibility of promoting agricultural activities and generate employment in rural areas.

Key words: *Agave*, Nopal, bioenergy, potencial use.

Introducción

Ante la inminente crisis energética ocasionada por el agotamiento de las reservas petroleras, y el deterioro ambiental y de salud pública originados por el empleo de combustibles fósiles, surge la necesidad de explorar y desarrollar fuentes de bioenergía con alto potencial. Para responder a estos desafíos las políticas públicas se han focalizado particularmente hacia el impulso y desarrollo de los llamados “cultivos bioenergéticos” particularmente el piñón mexicano *Jatropha curcas*, la higuera *Ricinus communis*, el sorgo dulce *Sorghum bicolor* y la remolacha azucarera *Beta vulgaris*, cuya producción sustentable está aún por confirmarse.

México cuenta con un alto potencial de recursos bioenergéticos, resultado de su biodiversidad y de sus condiciones climáticas y geográficas, cuyo desarrollo permitiría al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía (1). Ante esta situación, la detección y aprovechamiento de fuentes alternativas no contaminantes como las obtenidas a partir de la biomasa representan una excelente oportunidad para que especies con alta productividad tales como el Nopal (*Opuntia* spp) y el Maguey (*Agave* spp) plantas típicas de nuestro país sean consideradas en el portafolio bioenergético.

El nopal y el maguey presentan varias ventajas competitivas en relación a los cultivos bioenergéticos tales como: alta eficiencia productiva, amplio rango de adaptación, rápido crecimiento, bajos requerimientos de insumos y de tecnología, por lo que se pueden establecer y desarrollar en diferentes regiones agroecológicas de nuestro país, constituyéndose en opciones energéticas con un alto potencial. Un aspecto importante de resaltar es que en su producción no se desplazan cultivos, ni se abren nuevas tierras y se pueden establecer en suelos pobres y con problemas de erosión.

En este documento se presenta de manera preliminar el aprovechamiento de los residuos del nopal y del maguey como fuentes potenciales de biomasa para la obtención de biocombustibles. Esto permitirá el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del medio rural, mediante la diversificación de las actividades agrícolas, la generación de subproductos con un alto valor agregado y la autogeneración de su energía. Esto, sin duda, representa un amplio abanico de oportunidades técnicas y socioeconómicas para el aprovechamiento sustentable de dichos recursos.

Oportunidades del nopal como insumo en la obtención de biocombustibles

El nopal (*Opuntia* spp) es considerada como una de las plantas más versátiles de la naturaleza y con múltiples formas de aprovechamiento sobre todo en aquellas regiones donde otros cultivos tradicionales no pueden prosperar. Su aprovechamiento va desde el estrictamente agrícola, tanto en la alimentación humana y animal, al industrial, cosmético y medicinal hasta la obtención de combustibles líquidos y gaseosos (2).

En la actualidad a través del desarrollo de tecnologías más avanzadas y eficientes, así como de la disponibilidad de infraestructura y equipos más modernos, la biomasa del nopal representa una opción energética con alto potencial, dada su capacidad de obtener biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos que pueden ser utilizados en la producción de calor, electricidad y combustibles para el transporte, los cuales tienen la particularidad de ser de autoconsumo y de manera descentralizada. No obstante, a pesar de la importancia social y económica que representa el nopal para los habitantes de nuestro país, la experiencia que se tiene sobre la generación de biocombustibles a partir de la biomasa tiene un carácter modesto y experimental.

Producción de biogás

De acuerdo con Varnero y García de Cortázar (3) los tratamientos de residuos sólidos orgánicos biodegradables con fines de descontaminación y de reciclaje se basan principalmente en técnicas donde participan microorganismos y enzimas en presencia o ausencia de oxígeno, para convertir un residuo orgánico o sustrato en un producto de valor agregado. Se distinguen dos grandes grupos de bioprocesos:

- ✓ Aeróbico, donde los residuos orgánicos biodegradables se degradan mediante una oxidación bioquímica, generando CO_2 y H_2O , energía calórica y materia orgánica estabilizada; dentro de este tipo de proceso se encuentran el compostaje y la lombricultura.
- ✓ Anaeróbico o fermentación metanogénica, donde las transformaciones del material biodegradable ocurren por una reducción bioquímica, generando una mezcla gaseosa, combustible, llamada biogás y cuyos principales componentes son el metano (CH_4) y el anhídrido carbónico (CO_2) y una materia orgánica estabilizada denominada bioabono.

Mediante este último proceso se obtiene el biogás utilizando para ello estructuras especialmente diseñadas (biodigestores), donde se combinan otros factores (temperatura, humedad, etc.). En los últimos años esta opción ha representado una de las alternativas más atractivas, para los habitantes de las comunidades rurales de México, para satisfacer sus necesidades de energía en la preparación y cocción de sus alimentos.

A pesar de que la información que existe sobre la producción de biogás utilizando al nopal es reducida y aislada se desprenden algunas tendencias interesantes encontradas en la bibliografía. Las experiencias obtenidas destacan que los cladodios no constituyen por sí solos un buen material metanogénico. La incorporación de cladodios en la digestión anaeróbica de estiércoles, favorece la fermentación metanogénica, siempre que el pH de las mezclas se mantenga dentro de rangos neutros o ligeramente ácidos. La composición del biogás que se produce en la fermentación metanogénica está estrechamente relacionada con el pH de las materias primas que se biodigieren. Por lo tanto, con valores de $\text{pH} < 5,5$, el biogás se concentra en CO_2 , disminuyendo su calidad combustible; en cambio, con pH neutro a básico, se enriquece en metano. Este valor es más fácil de obtener a medida que

aumenta la proporción de guano animal en la mezcla y que la edad del cladodio utilizado sea mayor de un año (4).

Los niveles más altos de metano (arriba del 70 %) fueron alcanzados cuando se hizo una mezcla de 3:1 de nopal y estiércol de bovino, a una temperatura de 30 °C (5). Por su parte, Obach y Lemus (6) señalan que después de 83 días de proceso continuo se obtuvieron tasas de generación de gas de 0,861 m³ kg⁻¹ de sólidos volátiles, con un 58.2 % de metano y un 40 % de dióxido de carbono. Por su parte, Contreras y Toha (7) observaron que cladodios homogenizados de nopal pueden emitir hasta un 17 % de hidrogeno en las primeras horas de incubación. Aunque esta tendencia tendría que ser comprobada, bajo otras condiciones.

La fundación PRODUCE Aguascalientes en colaboración con el Sistema Producto Nopal y Personal Técnico del INIFAP – Pabellón, actualmente lleva a cabo el montaje de un biodigestor y ya está realizando pruebas preliminares para la producción de biogás cuyos resultados podrán ser de gran utilidad en el escalamiento industrial y en la masificación de la técnica.

En el Colegio de Postgraduados, *Campus* San Luis Potosí, como parte de los objetivos estratégicos de la Línea Prioritaria de Investigación de “**Energía Alternativa y Biomateriales**” se han venido desarrollando acciones dirigidas a la obtención de biogás a partir de recursos naturales potenciales propios de las zonas áridas, así como de residuos y desechos orgánicos. Para tal fin, se ha diseñado un sistema simple y práctico que permite probar diversos factores y combinaciones y obtener resultados en un periodo de tiempo reducido, bajo condiciones controladas. Esto permite generar información susceptible de ser aplicada masivamente con productores o a nivel industrial o comercial con mayores probabilidades de éxito (Figura 1).

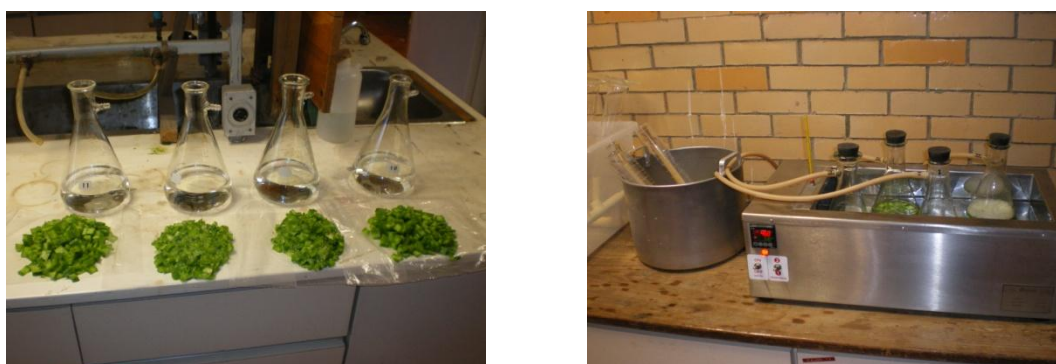


Figura 1. Vista de la preparación de las muestras y del sistema de biodigestión y captación del biogás.

En este momento se está llevando a cabo la optimización del proceso mediante la evaluación de los factores que mayor influencia presentan tales como: temperatura, pH del sustrato, la edad del cladodio, tamaño del trozo, contenido de humedad y porcentaje de inóculo en la mezcla, entre otros aspectos, sobre la cantidad y la calidad del biogás.

De los resultados preliminares, se desprende que es factible obtener biogás usando como sustrato cladodios de nopal y se está generando una estrategia para la transferencia de la tecnología a productores. Cabe aclarar que también como resultado del proceso de biodigestión es posible obtener un bioabono (sólido y líquido de alta calidad nutritiva) que puede ser empleado en el enriquecimiento de las mismas plantaciones de nopal.

Obtención de biodiesel

El biodiesel es producido a partir de la combinación de aceite vegetal o grasa animal con un alcohol y un catalizador por medio de un proceso químico conocido como *transesterificación*. Dado que el biodiesel se puede producir a partir de una amplia gama de aceites, los combustibles resultantes exhiben una mayor variedad de propiedades físicas, como viscosidad y combustibilidad, que el etanol (8).

El fruto presenta entre 150 y 300 semillas, las cuales contienen en promedio 100 mg kg^{-1} en base seca de lípidos totales (9). Al respecto, Prieto-García *et. al.* (10), señalan que las semillas contienen componentes básicos que pueden permitir su utilización como complemento nutritivo u otro producto útil en la agroindustria y su contenido de grasas puede oscilar entre 16,99 y un 19 %. Los principales ácidos grasos son C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, con un nivel excepcionalmente alto de ácido linoléico (arriba del 70 %), así como el de los aceites insaturados (88 %) (11). Por este motivo Tan y Che Man (12) señalan que la composición de la semilla de la tuna es similar a la del girasol y a la semilla de la uva.

En la porción comestible y la cascara se encuentran ácidos grasos polinsaturados, principalmente el ácido linoleico (13). Adicionalmente, también contienen lípidos aunque en proporciones menores 8.7 mg kg^{-1} en base seca. Bajo diferentes métodos se han obtenido contenidos de aceite que oscilan entre los 98 y 139 g kg^{-1} de semilla. No obstante, es necesario considerar que son métodos a nivel laboratorio que difícilmente se pueden extrapolar a un proceso industrial, por lo que dichas tecnologías necesitan ser generadas (14).

Sáenz y Sepúlveda (15) sobre este aspecto en particular, señalan que dado el bajo rendimiento del aceite de semillas de la tuna, solo sería rentable su extracción si estuviera asociada a la industria procesadora de fruta, ya sea de pulpas, jugos u otros productos, en los que la semilla fuera un desecho cuyo volumen hiciera interesante la extracción del aceite.

Considerando la gran variabilidad de tunas que se encuentran en México, existen algunas especies o cultivares con presencia de semillas grandes y numerosas las cuales son poco apreciadas comercialmente, podrían ser utilizadas en la extracción de aceites comestibles o industriales o bien en la obtención de productos o complementos alimenticios.

En este contexto, en el Colegio de Postgraduados *Campus* SLP, actualmente se completando la caracterización química y bromatológica y se lleva a cabo un estudio del perfil de ácidos grasos de diferentes especies cultivadas y silvestres a fin de determinar la cantidad y calidad del aceite

producido. Asimismo, se cuenta ya con una trituradora y una planta para la producción artesanal de biodiesel que puede funcionar en combinación con otras energías alternas como la solar y la eólica.

Producción de etanol

El etanol (C_2H_5OH), también conocido como alcohol etílico, se obtiene a partir de tres tipos de materia prima: los productos ricos en sacarosa (caña de azúcar, la melaza y el sorgo dulce, etc.); las fuentes ricas en almidón cereales (maíz, trigo, sorgo, cebada, etc.) y tubérculos (yuca, camote, papa, etc.) y mediante la hidrólisis de los materiales ricos en celulosa como la madera y los residuos agrícolas. El etanol es un líquido inflamable, incoloro y es el alcohol de menor toxicidad. Posee un alto octanaje y una mayor solubilidad en gasolina que el metanol (16).

Pocos son los estudios relacionados sobre la utilización del nopal con fines de obtención de bioetanol, ya que como lo señala Varnero y García de Cortázar (17) la tecnología de producción de etanol es más compleja que la producción de biogás. El proceso de fermentación alcohólica, debe ser seguido por una destilación para obtener el combustible; además, de la necesidad de disponer de levaduras específicas para maximizar la producción de etanol.

Uno de los estudios más interesantes fue realizado por Retamal *et al.* (18) al someter a fermentación cladodios de nopal mediante una hidrólisis ácida (1 N HCl , $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 min) y enzimática (cellulase, $47\text{ }^{\circ}\text{C}$, 4 h , $\text{pH } 4.5$) utilizando *Saccharomyces* sp. Se produjeron $8,6\text{ L}$ de 100 kg cladodios por lo que no se considera competitivo en relación a las frutas fermentadas. Con una densidad de $635\text{-}5000$ plantas por hectárea, se podría obtener una media de entre 300 y $3,000\text{ L}$ de etanol en plantaciones no regadas y con riego, respectivamente. Cabe destacar que ante la reciente escalada de los precios internacionales del petróleo y ante la inminente reducción de los subsidios en nuestro país a las gasolinas, la alternativa de generar etanol a partir de los cladodios o bien de los azúcares presentes en la tuna podrían en un futuro cercano ser una realidad, no sin antes verificar el balance energético de dichas opciones.

Potencial dendroenergético

Por dendroenergía se puede entender como la energía extraída a partir de los recursos leñosos. Esta energía puede ser empleada principalmente domésticamente (calefacción, cocción de alimentos y en los boiler, entre otras). Esta es la forma más común de los biocombustibles sólidos y actualmente aun cubre casi el 50% de las necesidades energéticas. La otra forma sólida es el carbón vegetal, así como las briquetas, pellets y aglomerados.

Cuando los cladodios maduran se lignifican y se tornan fibrosos, su contenido de humedad se reduce, lo que les da una consistencia casi leñosa. En estas condiciones podrían tener una posibilidad de uso como combustible, tal como se realiza en algunos países de África (19). En el centro de nuestro país como resultado de la helada presentada en 1997 los tallos de las plantas de nopal secas son empleados en la quema de ladrillos (Figura 2). En las Islas Canarias, España las pencas secas son empleadas en el ahumado de los quesos de oveja, lo cual da origen a un sabor muy particular y

apreciado (Figura 3). También se usan como combustible los tallos de la especies de *O. imbricata*, *O. tunicata* y *O. leptocaulis*, entre otras. Lo que pone de manifiesto la importancia que el nopal representa como recurso natural en el medio rural.



Figura 2. Tallos de nopal que son empleados en la quema de ladrillos en Zacatecas.



Figura 3. Horno utilizado en Tenerife, Islas Canarias, para ahumar quesos, utilizando cladodios de nopal.

Potencial del maguey como fuente de bioenergía

El maguey (*Agave spp*) representa una parte importante de nuestro legado histórico y cultural y actualmente representa una fuente importante de empleo y de generación de recursos para nuestro país. México, es considerado centro de origen y de diversidad de los agaves, éstos pertenecen a la familia Agavaceae en la cual se reconocen 9 géneros y alrededor de 300 especies presentes en el continente americano, 272 de ellas reportadas en nuestro país. Es quizás la planta con mayor utilización y aprovechamiento a nivel mundial. De la planta se pueden obtener bebidas alcohólicas y fermentadas, alimentos, forraje para rumiantes, fibras, material de construcción, papel y productos terapéuticos, entre otros. Recientemente, también se le ha encontrado un alto potencial en la producción de conglomerados para la fabricación de muebles y como sustrato para la producción de hongos y compostas. No obstante, se considera que ha sido subutilizado en la elaboración de productos agroalimentarios e industriales y de alto valor agregado.

Ante las implicaciones sociales y económicas que conlleva el empleo de productos alimenticios (caña de azúcar, maíz, etc.) en la obtención de biocombustibles y las limitaciones agroecológicas para la producción masiva de los cultivos energéticos en nuestro país. Por ello, el maguey representa una excelente alternativa para impulsar el desarrollo sustentable del país, dada su alta productividad aun en condiciones restrictivas de humedad, temperatura y suelo, y a que en su producción no se requiere abrir nuevas tierras al cultivo, se pueden reconvertir suelos marginales o degradados y sus requerimientos de insumos son muy bajos.

México tiene en los agaves una fuente potencial de energía y el insumo ideal para desarrollar bioindustrias sustentables, sobre todo ante la presencia de características biológicas y físico-químicas

que le permiten ser considerado un insumo de interés para ser empleado en diferentes procesos biotecnológicos tales como la producción de biocombustibles.

De acuerdo con el Consejo Regulador del Tequila para 2007 existían alrededor de 395 millones de plantas de agave azul. En relación al maguey verde o mezcalero aunque las cifras no son consistentes, las estadísticas señalan que el promedio ronda en las 14,000 ha de plantaciones comerciales. Aunque no se contabiliza el inventario de las plantaciones silvestres, tan solo en el sureste del estado de Zacatecas, se estima que existen más de 5 millones de plantas, en una superficie de 12,000 ha, con densidades promedio de 1500 plantas ha⁻¹. Lo anterior, brinda una idea del potencial del maguey para ser empleado como insumo bioenergético, sobre todo ante los problemas de comercialización y saturación del mercado que están enfrentando los productores de agave.

Durante la producción de fibras (henequén, ixtle, etc.) o derivado del proceso de producción de tequila o mezcal se generan miles de toneladas anualmente de pencas, residuos de hoja, fibras cortas y bagazo, los cuales quedan en la magueyera o son depositados en los alrededores de las desfibradoras y tequileras convirtiéndose en una fuente de contaminación (20,21).

La producción de etanol a partir de la hoja del maguey ha sido explorada desde inicios del siglo pasado, pero su despegue industrial aun es incipiente (22). No obstante, los estudios desarrollados son alentadores, tal es el caso de la utilización del bagazo, fibra residual que se obtiene después de que el agave es sometido al proceso de extracción de jugos, el cual representa aproximadamente el 40 % del peso total de agave procesado y actualmente se generan alrededor de 1.05×10^8 kg año⁻¹, de los cuales la mayoría se utiliza como composta. Al ser sometido a procesos de hidrólisis química y enzimática, fermentación y purificación se logró obtener un rendimiento de 280 g de etanol kg⁻¹ de residuos de agave (23).

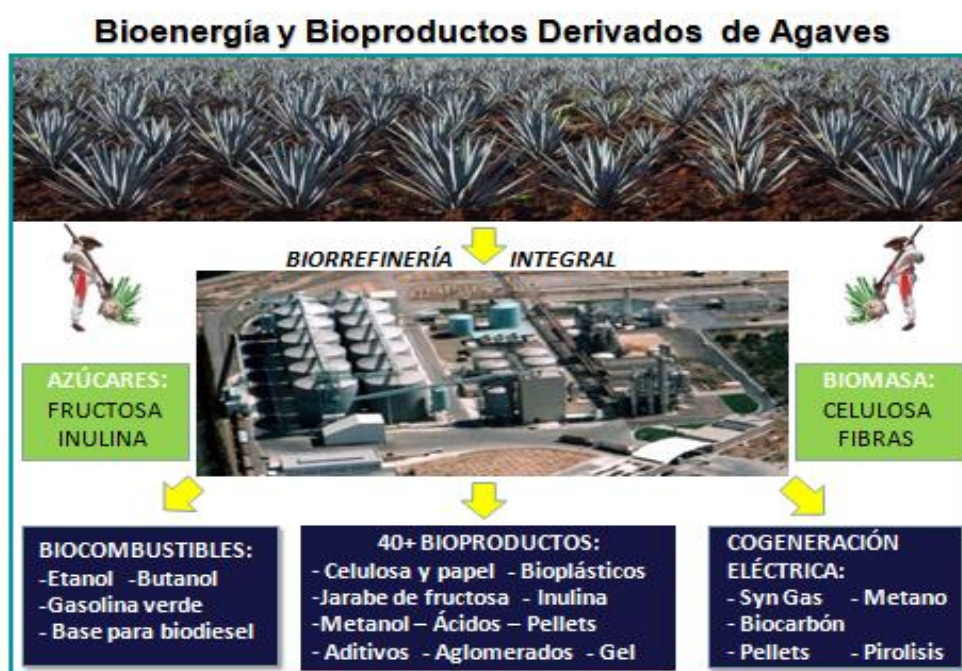
González *et al.* (24) concluyeron que el bagazo de *agave tequilana* es un material viable para ser usado como substrato en procesos fermentativos, por lo que existen grandes oportunidades de investigación para desarrollar procesos de bioconversión ya que es técnicamente factible, eficiente y económicamente atractivo.

De acuerdo a información del especialista A. Vélez- Jiménez los agaves constituyen el mejor insumo para la producción de etanol. En colaboración con el Dr. Remigio Madrigal (Investigador de la U. Autónoma Chapingo) se desarrolló una variedad de *A. tequilana weber* que contiene tres veces más azúcares que la caña de azúcar, hasta 42 °Brix, y produce cuatro veces más celulosa, hasta 26 t ha⁻¹ año⁻¹ que el eucalipto de rápido crecimiento y el cuádruple de biomasa, hasta 200 t ha⁻¹ año⁻¹ que el álamo transgénico generado en USA para producción de biomasa para etanol celulósico (Cuadro 1).

Vélez Jiménez resalta que los agaves son el insumo ideal para una biorrefinería integrada, con tres principales ramas de producción sustentable, cuyo modelo se aprecia a continuación:

Cuadro 1. Ejemplos de insumos para la producción de etanol celulósico.

Producto/Proceso	ÁLAMO (transgénico)	AGAVE (variedad mejorada)	SWITCHGRASS
Años para cosecha	7	6	10
Biomasa seca ton/ha/año	13 – 20	80	6 – 20
Producción de etanol litros/ha/año	4,920 – 7,570	30,280	2,271 – 7,570
Balance energético	12	12+ (Est.)	7
Valor agrícola o silvícola de la tierra	ALTO	MUY BAJO	MUY ALTO
Requerimientos de agua y agroquímicos	ALTO	MUY BAJO	MUY ALTO



Conclusiones y recomendaciones

- ✓ El nopal y el maguey representan dos de los recursos naturales con mayor futuro, dado el aumento de la superficie árida, el incremento del CO₂ y sus reducidas necesidades hídricas y tecnológicas, por lo que su aprovechamiento integral deberá de ser revalorado.
- ✓ Los productos bioenergéticos obtenidos del nopal y del maguey pueden utilizarse como combustible alternativo en aquellas comunidades rurales del país donde el suministro de energía sea deficiente o bien no se tiene acceso a fuentes convencionales.
- ✓ Los estudios efectuados hasta el momento aun son a nivel laboratorio o planta piloto, por lo que su escalamiento a nivel industrial está por confirmarse; no obstante, su potencial es alto.

Bibliografía

1. SAGARPA. 2009. Programa de producción sustentable de insumos para bioenergéticos y de desarrollo científico y tecnológico 2009-2012. Gobierno Federal. México. 23 p.
2. Méndez G., S. de J.; García H. J.; Rössel K., D.; Tarango A., A.; Talavera M., D. y B. Figueroa S. 2004. Recomendaciones para el establecimiento de plantaciones de nopal tunero en el Altiplano Potosino. Coedición Colegio de Postgraduados-Comisión Nacional de las Zonas Áridas. 24 p. **ISBN:** 968-839-421-1.
3. Varnero, T. M y V. García de Cortázar. 2006. Producción de bioenergía y fertilizantes a partir de los nopales. **In:** Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 162. pp. 113-120. **ISBN:** 92-5-305518-9.
4. *Ibídem*.
5. Uribe, J. M., Varnero, M.T. and C. Benavides. 1992. Biomass of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L., Mill) as bovine manure anaerobic digestion accelerator. *Simiente*. 62(1):14-14.
6. Obach, J. and M. P. Lemus. 16 octubre, 2009. http://100re.net/showartikel_ppv.asp?ID=13144.
7. Contreras, S. y J. Toha C. 1984. Biogas production from a suspension of homogenized cladodes of the cactus *Opuntia* cacti. *Ferment. Technol.* 62(2):601-605.
8. FAO. 2008. FAO. 2008. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. BIOCMBUSTIBLES: perspectivas, riesgos y oportunidades. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. pp. 11-25 **ISSN:** 0251-1371.
9. Moßhammer, M. R., Stintzing, F. C. and R. Carle. 2006. Cactus pear fruits (*Opuntia* spp.): A review of processing technologies and current uses. *J. PACD*. 1-26.
10. Prieto-García, F., Filardo-Kerstup, S., Pérez-Cruz, E., Beltrán- Hernández, R., Román-Gutiérrez, A. y M. Méndez-Marzo. 2006. Caracterización física y química de semillas de opuntias (*Opuntia* spp.) cultivadas en el estado de Hidalgo, México. *BIOAGRO* 18(3): 163-169.
11. Ennouri, M, Bourret E., Mondolot L. and A. Hamadi. 2005. Fatty acid composition and rheological behavior of prickly pear seed oils. *Food Chemistry* 93:431–437
12. Tan, C.P. and .B. Che Man. 2000. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils: comparison of thermal properties and chemical composition. *J Am Oil Chem Soc.* 77. 143–155.
13. Piga, A. 2004. Cactus pear: A fruit of nutraceutical and functional Importance. *J. PACD*. 9-22.
14. Moßhammer *et al.*, *Op. cit.*
15. Sáenz, C. y E. Sepúlveda. 2006. Producción de alimentos para consumo humano por la pequeña industria. **In:** Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 162. pp. 65-97. **ISBN:** 92-5-305518-9.
16. Bravo, E. 2008. Encendiendo el debate sobre los biocombustibles, cultivos energéticos y soberanía alimentaria en América Latina. Ed. Capital Intelectual S. A. HIVOS. Quito, Ecuador. 135 p.
17. Varnero y García de Cortázar *Op.cit*

18. Retamal, N., Durán, J. M. & J. Fernández. 1987. Ethanol production by fermentation of fruits and cladodes of prickly pear cactus [*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller]. *J. Sci. Food Agric.* 40, 213–218.
19. Varnero y García de Cortázar *Op.cit*
20. González G., Y., O. González R. y J. Nungaray A. 2005. Potencial del bagazo del agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *E-gnosis on line*. Vol (3) artículo 14.
21. Canché E., G., A. Ku Choc, F. Uicab Ballote, S. Duarte Aranda, C. Kantún Uicab, F. Barahona Pérez, L. Alzate Gaviria, A. Magdub y B. Canto Canché. 2008. Caracterización de los residuos lignocelulosicos de *A. fourcroydes* y su potencial aplicación en la producción de bioenergía. *In*: CD de memorias de la V Reunión Nacional de la Red Mexicana de Bioenergía. Morelia, Mich., México. Septiembre 2008.
22. Magdub, A. y F Barahona. 2006. Obtención de alcohol del jugo de desfibrado de hojas de henequén. *Uuy a Táan*. Fundación PRODUCE Yucatán. 2(4). 12-15.
23. Saucedo-Luna, J., A. J. Castro-Montoya, M. Martínez-Pacheco, J. Campos-García. 2008. Obtención de etanol anhidro a partir de bagazo del *Agave tequilana Weber*. *In*: CD de memorias de la V Reunión Nacional de la Red Mexicana de Bioenergía. Morelia, Mich., México. Septiembre 2008.
24. González *et al. Op.cit*.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO	
RAD: 12-47608- -7	FECHA: 2013-07-25 16:14:05
DEP: 2020 DIRECCION DE NUEVAS CREACIONES	EVE: 1 REGISTRO/DEPOSITO/CONCESION/DEPOSITO
TRA: 2 PATENTES DE INVENCION	FOLIOS: 5
ACT: 519 PRESENTACION	

DIRECCIÓN DE NUEVAS CREACIONES

2020
Bogotá, D.C.,

Abogado(a)/Señor(a)
GABRIEL LEON RAMIREZ
LUIS CARLOS VELASCO RODRIGUEZ

Asunto: Radicación: 12-47608- -7
 Trámite: 2
 Evento: 1
 Actuación: 519
 Oficio: 13496
 Folios: 5

Patente de Invención	X			Patente de Modelo de Utilidad	
Vía Nacional	X				
Vía PCT (Fase Nacional)		Capítulo I		Capítulo II	
No. Solicitud Internacional					
Fecha de Presentación Internacional					

Como resultado del Examen de Fondo realizado, con fundamento en el Artículo 45 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, se comunica:

1. Documentos estudiados

Descripción:	Rad. N° 12-047608-00006-0000	20/marzo/2013
Reivindicaciones:	Rad. N° 12-047608-00006-0000	20/marzo/2013
Dibujos:	Rad. N° 12-047608-00006-0000	20/marzo/2013

2. Objeto de la invención

De acuerdo con lo establecido en el numeral 1.2.2.2 del Capítulo Primero del Título X de la Circular Única para efectos del examen de patentabilidad, se tendrá en cuenta la tasa pagada por el solicitante al momento de comenzar el examen para las reivindicaciones adicionales; esto es que cuando la solicitud contenga más de diez (10) reivindicaciones y no se haya pagado la tasa complementaria, sólo se estudiarán las cubiertas por la tasa pagada. Por lo tanto, se estudiaran las reivindicaciones 1 a 4.

Título de la solicitud: “Biocombustible ecológico a partir del nopal” (Fl. 1).

El problema planteado en esta solicitud consiste en la necesidad de obtener un biocombustible ecológico el cual es un sustituto natural o alternativo de la gasolina de

origen fósil con un octanaje desde 80 octanos hasta 105 octanos, reduciendo emisiones contaminantes y obtenido a partir de una fuente renovable como toda la planta de nopal que no es cultivada en suelos fértiles.

Para resolver este problema técnico, la solicitud en estudio proporciona un procedimiento para la obtención de biocombustible ecológico a partir de nopal de los 80 octanos hasta los 105 octanos caracterizado por que una vez obtenido el bioetanol de nopal, se procede a adicionar los aditivos 125 ml de benceno C_6H_6 , 125 ml de tricarbonil metilciclopentadienil manganeso $C_9H_7MnO_3$, 125 ml de tetraetilo de plomo $(CH_3CH_2)_4Pb$ todas estas proporciones se agregan por cada 10 galones de bioetanol de nopal.

El objeto de la presente solicitud se relaciona con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP): C 07 C 31/08, C 12 P 7/06.

3. De la solicitud de patente

Reivindicaciones (Art 30 D 486, Art 22 PCT)

Durante la evaluación de claridad y concisión de las reivindicaciones, esta Oficina encontró que:

- Las reivindicaciones 1, 2 y 4, no son claras porque presentan resultados a obtener *“obtenemos biocombustible ecológico a partir de nopal con un octanaje que va de los 80 octanos hasta los 105 octanos”, “producimos un galón de biocombustible es decir de 7 kilos se obtienen 8 litros de jugo de nopal de esos 8 litros al ser destilados producimos 3.75 litros de etanol de nopal y con ese nivel de octanaje”,* lo cual no es permitido, puesto que las citadas reivindicaciones incluirían no sólo la solución propuesta por el solicitante, sino todas las alternativas presentes o futuras que lleguen a ese resultado.
- La reivindicación 4 referida a un producto en particular a un biocombustible ecológico, se incluyen características del proceso *“una vez obtenido el metanol de nopal CH_3OH procedemos ha adicionar los aditivos, en las siguientes proporciones; 125 ml de benceno C_6H_6 , 125 ml de tricarbonil metilciclopentadienil manganeso $C_9H_7MnO_3$, 125 ml de tetraetilo de plomo $(CH_3CH_2)_4Pb$ todas estas proporciones se agregan por cada 10 galones de metanol de nopal después de este proceso obtenemos biocombustible ecológico a partir de nopal con un octanaje que va de los 80 octanos hasta los 105 octanos”,* es decir, esta reivindicación de producto también se encuentran definas en términos del procedimiento de fabricación. Las reivindicaciones deben caracterizar un producto por la forma o constitución del mismo y las partes que lo componen, es decir, la composición y sus rangos. Al respecto no debe olvidarse que las reivindicaciones de producto y de procedimiento son diferentes y, por ello, deben redactarse de manera independiente en el pliego reivindicatorio. Sobre las mismas, el Tribunal Andino de Justicia ha dicho lo siguiente:

“El objeto de la invención de producto está constituido por un cuerpo cierto destinado a llenar una necesidad industrial que el estado de la técnica aún no ha satisfecho. En cambio, el objeto de la invención de procedimiento se encuentra conformado por “una serie o sucesión de operaciones que inciden sobre una materia (solida, liquida o gaseosa) que se encamina a la obtención de una cosa o un resultado”. (Otero Lastres, José Manuel. Ob. Cit)¹.

- La reivindicación 1 no es clara, porque la cantidad de biocombustible a la que se agregan los aditivos en las proporciones reivindicadas difiere de lo divulgado en la descripción, dado que refiere *“por cada 10 galones de biocombustible ecológico a partir de nopal”* y en la descripción se refiere a *“por galón de etanol*

¹ Proceso 129-IP-2007

de metanol de nopal". Se sugiere corregir esta inconsistencia entre la descripción y la reivindicación modificando la descripción o la reivindicación para que concuerde.

- Las características técnicas de la reivindicación 4 se encuentran en la reivindicación 1, reclamando la misma materia, por lo tanto, el capítulo reivindicatorio no es conciso. Se le sugiere al solicitante incluir estas características técnicas, en una sola reivindicación.
- La reivindicación 2 que es de proceso no muestra la secuencia de etapas técnicas por medio de las cuales se transforme una materia en un producto o se obtenga un resultado. Es así como los "pasos" se limitan a suministrar una serie de elementos (materias primas, procesos, etc.) y resultados a obtener, pero no se reivindican las etapas técnicas con sus condiciones técnicas (temperaturas, flujos, presiones, etc), por todo lo anterior esta reivindicación no es clara. Se sugiere realizar las aclaraciones respectivas o definir la invención por sus características esenciales y estructurales, teniendo en cuenta de no modificar o ampliar la material ya divulgada.
- En las reivindicaciones 1 y 4, se sugiere hacer la conversión de unidades de volumen (galones) al Sistema Internacional de unidades.
- Observa este Despacho que en la reivindicación 3 se pretende reclamar varios compuestos conocidos en el estado de la técnica y le restan concisión al capítulo reivindicatorio.
- El capítulo reivindicatorio no es conciso porque contiene un excesivo número de reivindicaciones independientes, lo cual hace difícil definir cuál es el objeto que se busca proteger.

El capítulo reivindicatorio se debe modificar ya que no es claro el objeto que se busca proteger, dado que las reivindicaciones son las características técnicas esenciales de una invención, para las cuales se reclama la protección legal mediante la solicitud de patente. En el caso de una patente concedida, las reivindicaciones aprobadas determinan el alcance de la protección legal otorgada. Por lo tanto, la definición de las reivindicaciones debe realizarse teniendo en cuenta las siguientes indicaciones:

- a) Las reivindicaciones deben definir el objeto cuya protección se solicita; ser claras y concisas y sustentarse enteramente en la descripción.
- b) La esencia o razón de ser de una reivindicación consiste en definir la invención, indicando sus características técnicas, dándole el alcance de la protección. Las reivindicaciones deberán delimitar claramente la invención respecto al estado de la técnica o tecnología anterior, de modo que se observe en forma concisa lo nuevo que se está aportando a la tecnología y todo aquello que lo hace diferente de lo ya existente.
- a) En la redacción de las reivindicaciones, se aconseja iniciar con la reivindicación menos limitativa, es decir más amplia, que contenga el menor número de características técnicas posibles pero si suficientes para cumplir con el requisito de novedad, e incluir, una a una, dichas características limitativas en las reivindicaciones posteriores, que en cualquier caso serán dependientes de la primera. El grado de importancia de las características técnicas de la invención a los efectos de redacción de las reivindicaciones deberá determinarse en función del estado técnica más próxima a la invención. De esta forma podrá determinarse que características deberán incluirse necesariamente en la reivindicación principal y cuales podrán formar parte de las reivindicaciones dependientes.

- b) Cada reivindicación consta de un preámbulo y una parte caracterizadora. El preámbulo normalmente coincide con el título de la invención y sirve de introducción informativa sobre el objeto que va a ser protegido. Contiene la información técnica conocida en el estado de la técnica del objeto que se pretende proteger. La parte caracterizadora, que suele seguir al preámbulo precedida por la frase “caracterizado por “, recoge las características técnicas que van a ser protegidas y que constituyen la novedad frente al objeto conocido del estado de la técnica.
- c) Las reivindicaciones pueden ser independiente o dependientes. Las reivindicaciones independientes deben contener todas las características esenciales que definen la invención, mientras que las reivindicaciones dependientes son definiciones particulares de la invención. En su redacción, las reivindicaciones dependientes hacen referencia en el preámbulo de la reivindicación principal de la cual dependen y definen en su parte caracterizadora, las características técnicas particulares que se desean proteger.
- d) En la redacción y estructura de las reivindicaciones se debe:
- Evitar inconsistencias entre la descripción y las reivindicaciones.
 - Evitar en la medida de lo posible caracteres funcionales, es decir, la definición de un producto por la funcionalidad del mismo.
 - Evitar incluir en las reivindicaciones referencia a los dibujos o figuras de la descripción técnica.
 - Exponer las “características técnicas de la invención “. Esto significa que no deben contener declaraciones refiriéndose, por ejemplo, a las ventajas comerciales, resultados a obtener, usos u otras consideraciones no técnicas.

En caso que una solicitud incluya dibujos, las características técnicas mencionadas en las reivindicaciones podrán ir seguidas de signos de referencia, relativos a las partes correspondientes de esas características en los dibujos, si facilitan la comprensión de las reivindicaciones. Los signos de referencia se colocaran entre paréntesis.

- a) Una forma de presentar una reivindicación es hacerlo en dos partes: preámbulo (puede ser el título de la solicitud) y parte caracterizante. En este caso la estructura es la siguiente:
- El preámbulo indicara primero cual es la materia de la invención (aparato, proceso, composición, etc.) y seguidamente las características técnicas necesarias o elementos necesarios para definir la invención pero que combinadas forman parte del estado de la técnica. Esto último solo se aplica a las reivindicaciones independientes.

La parte caracterizante define las características que en combinación con el preámbulo se desean proteger, es decir las características que la invención añade al estado de la técnica.

Ver ejemplos de redacción de las reivindicaciones para una solicitud de patente².

Descripción (Art 28 D 486)

La descripción no es clara porque la información que contiene no permite que el la persona del oficio normalmente versada en la materia pueda comprender el problema técnico y la solución aportada por la invención.

Se sugiere hacer la conversión de unidades de volumen (galones), al Sistema Internacional de unidades.

2 http://api.sic.gov.co/WEB/assets/pdf/Guia_patentes.pdf

4. Determinación del Estado de la Técnica

El estado de la técnica se determinó con base en la fecha de presentación de la solicitud de patente nacional, es decir 21 de marzo de 2012.

Consultadas las fuentes de información con que se cuenta, se encontró el siguiente documento que anticipa el objeto de esta solicitud:

Ítem	Documento	Título	Fecha de Publicación
D1	Artículo 1	“Biocombustibles a base de nopal y maguey”	13/Noviembre/2010
D2	Artículo 2	“Química Orgánica”	1992

El documento D1 divulga el proceso de producción de etanol a partir de nopal y maguey como opción energética sustentable debido a su alta eficiencia productiva de biomasa en condiciones restrictivas de suelo y agua (Méndez-Gallegos, et al. Biocombustibles a base de nopal y maguey. IX Symposium – Taller Nacional y II Internacional de Producción del Nopal y Maguey. México. 12 y 13 de noviembre de 2010. Edición especial No. 5-2011Año, N°, Págs. 83 a 93, resumen).

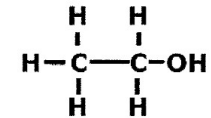
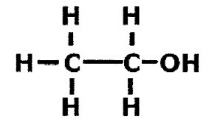
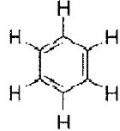
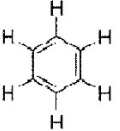
El documento D2 divulga los compuestos orgánicos y estructura de etanol, benceno, tetraetilio de plomo y tricarbonil metilciclopentadienol manganeso. (Química orgánica. McMurry. Grupo editorial Iberoamérica S.A. Estados Unidos de América. 1992. Págs. 44, 501, 600, 669 a 673).

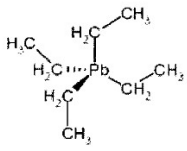
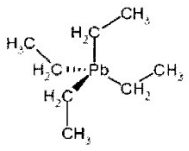
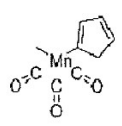
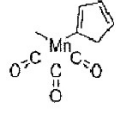
5. Examen de Patentabilidad (Art 14 D486)

Novedad (Art 16 D486)

La reivindicación 3 consiste en “*Reivindicamos los siguientes componentes de formula (...)*” (Ver página 18 del radicado N° 12-047608-00006-0000).

Comparación de las características técnicas esenciales, con las del estado de la técnica:

Características esenciales	D2
Reivindicamos los siguientes componentes de fórmula:	Compuestos orgánicos (Introducción):
 Etanol	 Etanol (Pág. 600)
 Benceno	 Benceno (Pág. 501)

 Tetraetilio de plomo	 Tetraetilio de plomo (Pág. 44)
 Tricarbonil metilciclopentadienol manganeso	 Tricarbonil metilciclopentadienol manganeso (Págs. 669 a 673) Compuesto organometálico³

De acuerdo con la tabla anterior, las características esenciales de la composición de la reivindicación 3 habían sido divulgadas previamente en el documento D2, por lo tanto, la materia reivindicada no es nueva.

En consecuencia, la reivindicación 1 no es nueva o carece de novedad, según lo divulgado en el documento D2.

Nivel inventivo (Art18 D486)

La reivindicación 1 consiste en “Un procedimiento para la obtención de Biocombustible ecológico a partir de nopal de los 80 octanos hasta los 105 octanos (...)” (Ver página 17 del radicado N° 12-047608-00006-0000).

Comparación de las características técnicas esenciales, con las del estado de la técnica:

Características esenciales	D1
Procedimiento para la obtención de Biocombustible ecológico a partir de nopal de los 80 octanos hasta los 105 octanos caracterizado porque:	Proceso de producción de etanol a partir de nopal (resumen; Pág. 88, líneas 4 a 25)
Una vez obtenido el bioetanol de nopal CH ₃ -CH ₂ -OH, adicionar los aditivos en las siguientes proporciones:	Obtener etanol (resumen; Pág. 88, líneas 4 a 25)
125 ml de benceno	No menciona
125 ml de tricarbonil metilciclopentadienol manganeso C ₉ H ₇ MNO ₃	No menciona
125 ml de tetraetilio de plomo (CH ₃ CH ₂) ₄ Pb	No menciona
De todas estas proporciones se agregan por cada 10 galones de bioetanol de nopal	No menciona

El documento D1 se considera el estado de la técnica cercano a la invención definida en la reivindicación 1 porque divulgan el proceso de producción de etanol a partir de nopal.

La diferencia entre la invención definida en la reivindicación 1 y el proceso de D1 consiste en que este último no menciona la incorporación de aditivos en las siguientes proporciones: 125 ml de benceno, 125 ml de tricarbonil metilciclopentadienol manganeso C₉H₇MNO₃, 125 ml de tetraetilio de plomo (CH₃CH₂)₄Pb, donde todas estas proporciones se agregan por cada 10 galones de bioetanol de nopal.

El efecto que logra el incluir aditivos como el tricarbonil metilciclopentadienol manganeso C₉H₇MNO₃, tetraetilio de plomo (CH₃CH₂)₄Pb y el benceno es que aumentan el nivel de octanaje del biocombustible, por lo cual es más eficiente.

Por lo tanto, el problema técnico objetivo que pretende resolver esta invención se puede

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Methylcyclopentadienyl_manganese_tricarbonyl

formular así: ¿cómo modificar el proceso conocido en D1 para aumentar el nivel de octanaje del biocombustible obtenido a partir del nopal, para hacerlo más eficiente?

Sin embargo, una persona normalmente versada en la materia con el saber general de la técnica (*“aumento de octanaje”*⁴) y con una serie de conocimientos específicos de la invención, estaría motivada a realizar pruebas de rutina para obtener las cantidades de aditivos que se deben agregar al bioetanol obtenido en el proceso que se da a conocer en D1, para aumentar y obtener el octanaje deseado en el biocombustible, tal como se encuentra reclamado en la reivindicación 1 de la solicitud, motivo por el cual se considera obvia. Cabe decir, que la solución al anterior problema técnico objetivo se encuentra dentro de un proceso de optimización de procesos, lo cual se encuentra dentro de la práctica habitual de la persona versada en la materia que trabaje en la formulación y producción de biocombustibles.

En relación a las reivindicaciones 2 y 4 estas no mencionan características técnicas tangibles que puedan brindarle novedad y/o nivel inventivo al objeto reivindicado, puesto que estas se encuentran redactadas en términos de resultados a obtener.

6. Conclusión

Los requisitos de Patentabilidad de la presente solicitud están afectados así:

Item	Documento	Reivindicaciones afectadas	Requisito que afecta
D1	Artículo 1	1, 2 y 4	Nivel Inventivo
D2	Artículo 2	3	Novedad

⁴ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/159/htm/sec_6.htm

En cumplimiento del artículo 45 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, se le indica que debe dar respuesta dentro del término de sesenta (60) días contados a partir de la fecha de notificación de la presente comunicación. En caso de no dar respuesta al presente requerimiento, o si a pesar de la respuesta subsistieran los impedimentos para la concesión, se denegará la patente.

Se invita al solicitante se sirva indicar, si así lo considera, su renuncia al término faltante de sesenta (60) días para dar respuesta a este requerimiento y presentarla por escrito.

Finalmente, se le recuerda al solicitante que si como respuesta a este requerimiento llegara a modificar el capítulo reivindicatorio y éste contenga más de diez (10) reivindicaciones, no pagará la tasa de modificación voluntaria pero sí la correspondiente al pago por reivindicación adicional.

Notifíquese el presente oficio conforme a lo dispuesto en el numeral 5.2, literal e), del capítulo quinto del título primero de la Circular Única No. 10 de 2001.



JOSÉ LUIS SALAZAR LÓPEZ
Director de Nuevas Creaciones (c)

El anterior requerimiento fue notificado por fijación en lista, de fecha 2013-07-30

Elaboró: Yenny Marcela Campos Borda
Revisó: Olga Ximena Benavides Salazar
Revisó: Maria Del Socorro Pimienta Corbacho



IX SIMPOSIUM-TALLER NACIONAL Y II INTERNACIONAL DE PRODUCCION DEL
NOPAL Y MAGUEY

Escobedo, N.L., México; 12 y 13 de Noviembre de 2010 Edición Especial No.5-2011

R E S P Y N



Revista Salud Pública y Nutrición
Edición Especial 5-2011



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey

IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional

"Desarrollo y Bienestar Sustentables a Través del Nopal y Maguey"

Memorias

Viernes 12 y Sábado 13 de noviembre de 2010

Biblioteca de Ciencias Agropecuarias y Biológicas
Campus de Ciencias Agropecuarias,
Facultad de Agronomía UANL,
Escobedo, N.L.





BIOCOMBUSTIBLES A BASE DE NOPAL Y MAGUEY

Méndez-Gallegos, S. de J¹.; Rössel, D¹.; Amante-Orozco, A¹.; Talavera-Magaña, D.;
García-Herrera, J¹. y A. Velez-Jiménez*.

¹Colegio de Postgraduados, *Campus* San Luis Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hgo. SLP. CP. 786000.
Tel/fax: + 52 496 9630240. *Responsable del proyecto agave.

Correo-Electrónico: jmendez@colpos.mx; *proyectoagaves@gmail.com*

Resumen

La economía de nuestro país se sustenta en los ingresos derivados de la venta de petróleo; sin embargo, nuestras reservas están en declinación, y la seguridad energética de nuestro país está en riesgo. En México, las políticas energéticas se han basado en el fomento y propagación de especies vegetales, cuya sustentabilidad ambiental está aún por confirmarse. Adicionalmente, agroecológicamente tienen fuertes limitaciones para ser producidas masivamente a nivel nacional, por sus requerimientos de agua, nutrientes y susceptibilidad fitosanitaria. Considerando lo anterior, es necesario buscar alternativas bioenergéticas de especies que tengan, resistencia a factores adversos, bajos requerimientos de insumos y tecnología, y que tengan una alta productividad. El maguey (*Agave* spp) y el nopal (*Opuntia* spp) dos de las mas plantas más representativas de nuestro país, podrían representar una potencial opción energética sustentable debido a su alta eficiencia productiva de biomasa en condiciones restrictivas de suelo y agua. Lo anterior, permitiría incorporar a la producción de estos insumos, aquellas áreas degradadas en las cuales los cultivos tradicionales no prosperan, brindando con ello la posibilidad de promover las actividades agrícolas y generar empleo en el medio rural.

Palabras clave: Agave, Nopal, bioenergéticos, Uso potencial.

Abstract

The economy of our country is based on revenues from oil sales, but our reserves are in decline, and energy security of our country is at risk. In Mexico, energy policies have been based on the promotion and propagation of plant species, but its environmental sustainability is yet to be confirmed. Moreover, those plants have strong agroecological limitations for an extensive production at the national level, due to their need for water, nutrients and plant susceptibility. Considering this, it is necessary to find bioenergy alternatives with species that show resistance to stress, need low input requirements and technology, and achieve high productivity. Maguey (*Agave* spp) and cactus pear (*Opuntia* spp) are two of the most representative plants in our country, that could represent a potential option for sustainable energy due to its high efficiency of biomass production under restrictive conditions of soil and water. Additional to the production of these inputs, degraded areas where traditional crops do not thrive could

be used, thus providing the possibility of promoting agricultural activities and generate employment in rural areas.

Key words: *Agave*, Nopal, bioenergy, potencial use.

Introducción

Ante la inminente crisis energética ocasionada por el agotamiento de las reservas petroleras, y el deterioro ambiental y de salud pública originados por el empleo de combustibles fósiles, surge la necesidad de explorar y desarrollar fuentes de bioenergía con alto potencial. Para responder a estos desafíos las políticas públicas se han focalizado particularmente hacia el impulso y desarrollo de los llamados “cultivos bioenergéticos” particularmente el piñón mexicano *Jatropha curcas*, la higuera *Ricinus communis*, el sorgo dulce *Sorghum bicolor* y la remolacha azucarera *Beta vulgaris*, cuya producción sustentable está aún por confirmarse.

México cuenta con un alto potencial de recursos bioenergéticos, resultado de su biodiversidad y de sus condiciones climáticas y geográficas, cuyo desarrollo permitiría al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía (1). Ante esta situación, la detección y aprovechamiento de fuentes alternativas no contaminantes como las obtenidas a partir de la biomasa representan una excelente oportunidad para que especies con alta productividad tales como el Nopal (*Opuntia* spp) y el Maguey (*Agave* spp) plantas típicas de nuestro país sean consideradas en el portafolio bioenergético.

El nopal y el maguey presentan varias ventajas competitivas en relación a los cultivos bioenergéticos tales como: alta eficiencia productiva, amplio rango de adaptación, rápido crecimiento, bajos requerimientos de insumos y de tecnología, por lo que se pueden establecer y desarrollar en diferentes regiones agroecológicas de nuestro país, constituyéndose en opciones energéticas con un alto potencial. Un aspecto importante de resaltar es que en su producción no se desplazan cultivos, ni se abren nuevas tierras y se pueden establecer en suelos pobres y con problemas de erosión.

En este documento se presenta de manera preliminar el aprovechamiento de los residuos del nopal y del maguey como fuentes potenciales de biomasa para la obtención de biocombustibles. Esto permitirá el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del medio rural, mediante la diversificación de las actividades agrícolas, la generación de subproductos con un alto valor agregado y la autogeneración de su energía. Esto, sin duda, representa un amplio abanico de oportunidades técnicas y socioeconómicas para el aprovechamiento sustentable de dichos recursos.

Oportunidades del nopal como insumo en la obtención de biocombustibles

El nopal (*Opuntia* spp) es considerada como una de las plantas más versátiles de la naturaleza y con múltiples formas de aprovechamiento sobre todo en aquellas regiones donde otros cultivos tradicionales no pueden prosperar. Su aprovechamiento va desde el estrictamente agrícola, tanto en la alimentación humana y animal, al industrial, cosmético y medicinal hasta la obtención de combustibles líquidos y gaseosos (2).

En la actualidad a través del desarrollo de tecnologías más avanzadas y eficientes, así como de la disponibilidad de infraestructura y equipos más modernos, la biomasa del nopal representa una opción energética con alto potencial, dada su capacidad de obtener biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos que pueden ser utilizados en la producción de calor, electricidad y combustibles para el transporte, los cuales tienen la particularidad de ser de autoconsumo y de manera descentralizada. No obstante, a pesar de la importancia social y económica que representa el nopal para los habitantes de nuestro país, la experiencia que se tiene sobre la generación de biocombustibles a partir de la biomasa tiene un carácter modesto y experimental.

Producción de biogás

De acuerdo con Varnero y García de Cortázar (3) los tratamientos de residuos sólidos orgánicos biodegradables con fines de descontaminación y de reciclaje se basan principalmente en técnicas donde participan microorganismos y enzimas en presencia o ausencia de oxígeno, para convertir un residuo orgánico o sustrato en un producto de valor agregado. Se distinguen dos grandes grupos de bioprocesos:

- ✓ Aeróbico, donde los residuos orgánicos biodegradables se degradan mediante una oxidación bioquímica, generando CO_2 y H_2O , energía calórica y materia orgánica estabilizada; dentro de este tipo de proceso se encuentran el compostaje y la lombricultura.
- ✓ Anaeróbico o fermentación metanogénica, donde las transformaciones del material biodegradable ocurren por una reducción bioquímica, generando una mezcla gaseosa, combustible, llamada biogás y cuyos principales componentes son el metano (CH_4) y el anhídrido carbónico (CO_2) y una materia orgánica estabilizada denominada bioabono.

Mediante este último proceso se obtiene el biogás utilizando para ello estructuras especialmente diseñadas (biodigestores), donde se combinan otros factores (temperatura, humedad, etc.). En los últimos años esta opción ha representado una de las alternativas más atractivas, para los habitantes de las comunidades rurales de México, para satisfacer sus necesidades de energía en la preparación y cocción de sus alimentos.

A pesar de que la información que existe sobre la producción de biogás utilizando al nopal es reducida y aislada se desprenden algunas tendencias interesantes encontradas en la bibliografía. Las experiencias obtenidas destacan que los cladodios no constituyen por sí solos un buen material metanogénico. La incorporación de cladodios en la digestión anaeróbica de estiércoles, favorece la fermentación metanogénica, siempre que el pH de las mezclas se mantenga dentro de rangos neutros o ligeramente ácidos. La composición del biogás que se produce en la fermentación metanogénica está estrechamente relacionada con el pH de las materias primas que se biodigieren. Por lo tanto, con valores de $\text{pH} < 5,5$, el biogás se concentra en CO_2 , disminuyendo su calidad combustible; en cambio, con pH neutro a básico, se enriquece en metano. Este valor es más fácil de obtener a medida que

aumenta la proporción de guano animal en la mezcla y que la edad del cladodio utilizado sea mayor de un año (4).

Los niveles más altos de metano (arriba del 70 %) fueron alcanzados cuando se hizo una mezcla de 3:1 de nopal y estiércol de bovino, a una temperatura de 30 °C (5). Por su parte, Obach y Lemus (6) señalan que después de 83 días de proceso continuo se obtuvieron tasas de generación de gas de 0,861 m³ kg⁻¹ de sólidos volátiles, con un 58.2 % de metano y un 40 % de de bióxido de carbono. Por su parte, Contreras y Toha (7) observaron que cladodios homogenizados de nopal pueden emitir hasta un 17 % de hidrogeno en las primeras horas de incubación. Aunque esta tendencia tendría que ser comprobada, bajo otras condiciones.

La fundación PRODUCE Aguascalientes en colaboración con el Sistema Producto Nopal y Personal Técnico del INIFAP – Pabellón, actualmente lleva a cabo el montaje de un biodigestor y ya está realizando pruebas preliminares para la producción de biogás cuyos resultados podrán ser de gran utilidad en el escalamiento industrial y en la masificación de la técnica.

En el Colegio de Postgraduados, *Campus* San Luis Potosí, como parte de los objetivos estratégicos de la Línea Prioritaria de Investigación de “**Energía Alternativa y Biomateriales**” se han venido desarrollando acciones dirigidas a la obtención de biogás a partir de recursos naturales potenciales propios de las zonas áridas, así como de residuos y desechos orgánicos. Para tal fin, se ha diseñado un sistema simple y práctico que permite probar diversos factores y combinaciones y obtener resultados en un periodo de tiempo reducido, bajo condiciones controladas. Esto permite generar información susceptible de ser aplicada masivamente con productores o a nivel industrial o comercial con mayores probabilidades de éxito (Figura 1).

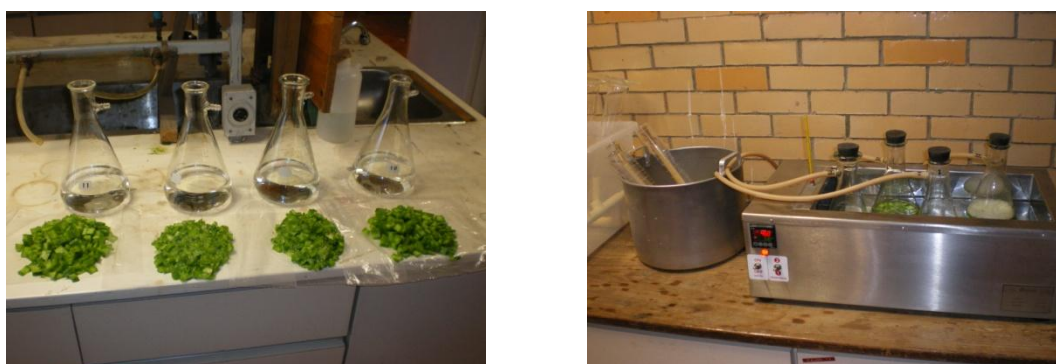


Figura 1. Vista de la preparación de las muestras y del sistema de biodigestión y captación del biogás.

En este momento se está llevando a cabo la optimización del proceso mediante la evaluación de los factores que mayor influencia presentan tales como: temperatura, pH del sustrato, la edad del cladodio, tamaño del trozo, contenido de humedad y porcentaje de inóculo en la mezcla, entre otros aspectos, sobre la cantidad y la calidad del biogás.

De los resultados preliminares, se desprende que es factible obtener biogás usando como sustrato cladodios de nopal y se está generando una estrategia para la transferencia de la tecnología a productores. Cabe aclarar que también como resultado del proceso de biodigestión es posible obtener un bioabono (sólido y líquido de alta calidad nutritiva) que puede ser empleado en el enriquecimiento de las mismas plantaciones de nopal.

Obtención de biodiesel

El biodiesel es producido a partir de la combinación de aceite vegetal o grasa animal con un alcohol y un catalizador por medio de un proceso químico conocido como *transesterificación*. Dado que el biodiesel se puede producir a partir de una amplia gama de aceites, los combustibles resultantes exhiben una mayor variedad de propiedades físicas, como viscosidad y combustibilidad, que el etanol (8).

El fruto presenta entre 150 y 300 semillas, las cuales contienen en promedio 100 mg kg^{-1} en base seca de lípidos totales (9). Al respecto, Prieto-García *et. al.* (10), señalan que las semillas contienen componentes básicos que pueden permitir su utilización como complemento nutritivo u otro producto útil en la agroindustria y su contenido de grasas puede oscilar entre 16,99 y un 19 %. Los principales ácidos grasos son C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, con un nivel excepcionalmente alto de ácido linoléico (arriba del 70 %), así como el de los aceites insaturados (88 %) (11). Por este motivo Tan y Che Man (12) señalan que la composición de la semilla de la tuna es similar a la del girasol y a la semilla de la uva.

En la porción comestible y la cascara se encuentran ácidos grasos polinsaturados, principalmente el ácido linoleico (13). Adicionalmente, también contienen lípidos aunque en proporciones menores 8.7 mg kg^{-1} en base seca. Bajo diferentes métodos se han obtenido contenidos de aceite que oscilan entre los 98 y 139 g kg^{-1} de semilla. No obstante, es necesario considerar que son métodos a nivel laboratorio que difícilmente se pueden extrapolar a un proceso industrial, por lo que dichas tecnologías necesitan ser generadas (14).

Sáenz y Sepúlveda (15) sobre este aspecto en particular, señalan que dado el bajo rendimiento del aceite de semillas de la tuna, solo sería rentable su extracción si estuviera asociada a la industria procesadora de fruta, ya sea de pulpas, jugos u otros productos, en los que la semilla fuera un desecho cuyo volumen hiciera interesante la extracción del aceite.

Considerando la gran variabilidad de tunas que se encuentran en México, existen algunas especies o cultivares con presencia de semillas grandes y numerosas las cuales son poco apreciadas comercialmente, podrían ser utilizadas en la extracción de aceites comestibles o industriales o bien en la obtención de productos o complementos alimenticios.

En este contexto, en el Colegio de Postgraduados *Campus* SLP, actualmente se completando la caracterización química y bromatológica y se lleva a cabo un estudio del perfil de ácidos grasos de diferentes especies cultivadas y silvestres a fin de determinar la cantidad y calidad del aceite

producido. Asimismo, se cuenta ya con una trituradora y una planta para la producción artesanal de biodiesel que puede funcionar en combinación con otras energías alternas como la solar y la eólica.

Producción de etanol

El etanol (C_2H_5OH), también conocido como alcohol etílico, se obtiene a partir de tres tipos de materia prima: los productos ricos en sacarosa (caña de azúcar, la melaza y el sorgo dulce, etc.); las fuentes ricas en almidón cereales (maíz, trigo, sorgo, cebada, etc.) y tubérculos (yuca, camote, papa, etc.) y mediante la hidrólisis de los materiales ricos en celulosa como la madera y los residuos agrícolas. El etanol es un líquido inflamable, incoloro y es el alcohol de menor toxicidad. Posee un alto octanaje y una mayor solubilidad en gasolina que el metanol (16).

Pocos son los estudios relacionados sobre la utilización del nopal con fines de obtención de bioetanol, ya que como lo señala Varnero y García de Cortázar (17) la tecnología de producción de etanol es más compleja que la producción de biogás. El proceso de fermentación alcohólica, debe ser seguido por una destilación para obtener el combustible; además, de la necesidad de disponer de levaduras específicas para maximizar la producción de etanol.

Uno de los estudios más interesantes fue realizado por Retamal *et al.* (18) al someter a fermentación cladodios de nopal mediante una hidrólisis ácida (1 N HCl , $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 min) y enzimática (cellulase, $47\text{ }^{\circ}\text{C}$, 4 h , $\text{pH } 4.5$) utilizando *Saccharomyces* sp. Se produjeron $8,6\text{ L}$ de 100 kg cladodios por lo que no se considera competitivo en relación a las frutas fermentadas. Con una densidad de $635\text{-}5000$ plantas por hectárea, se podría obtener una media de entre 300 y $3,000\text{ L}$ de etanol en plantaciones no regadas y con riego, respectivamente. Cabe destacar que ante la reciente escalada de los precios internacionales del petróleo y ante la inminente reducción de los subsidios en nuestro país a las gasolinas, la alternativa de generar etanol a partir de los cladodios o bien de los azúcares presentes en la tuna podrían en un futuro cercano ser una realidad, no sin antes verificar el balance energético de dichas opciones.

Potencial dendroenergético

Por dendroenergía se puede entender como la energía extraída a partir de los recursos leñosos. Esta energía puede ser empleada principalmente domésticamente (calefacción, cocción de alimentos y en los boiler, entre otras). Esta es la forma más común de los biocombustibles sólidos y actualmente aun cubre casi el 50% de las necesidades energéticas. La otra forma sólida es el carbón vegetal, así como las briquetas, pellets y aglomerados.

Cuando los cladodios maduran se lignifican y se tornan fibrosos, su contenido de humedad se reduce, lo que les da una consistencia casi leñosa. En estas condiciones podrían tener una posibilidad de uso como combustible, tal como se realiza en algunos países de África (19). En el centro de nuestro país como resultado de la helada presentada en 1997 los tallos de las plantas de nopal secas son empleados en la quema de ladrillos (Figura 2). En las Islas Canarias, España las pencas secas son empleadas en el ahumado de los quesos de oveja, lo cual da origen a un sabor muy particular y

apreciado (Figura 3). También se usan como combustible los tallos de la especies de *O. imbricata*, *O. tunicata* y *O. leptocaulis*, entre otras. Lo que pone de manifiesto la importancia que el nopal representa como recurso natural en el medio rural.



Figura 2. Tallos de nopal que son empleados en la quema de ladrillos en Zacatecas.



Figura 3. Horno utilizado en Tenerife, Islas Canarias, para ahumar quesos, utilizando cladodios de nopal.

Potencial del maguey como fuente de bioenergía

El maguey (*Agave* spp) representa una parte importante de nuestro legado histórico y cultural y actualmente representa una fuente importante de empleo y de generación de recursos para nuestro país. México, es considerado centro de origen y de diversidad de los agaves, éstos pertenecen a la familia Agavaceae en la cual se reconocen 9 géneros y alrededor de 300 especies presentes en el continente americano, 272 de ellas reportadas en nuestro país. Es quizás la planta con mayor utilización y aprovechamiento a nivel mundial. De la planta se pueden obtener bebidas alcohólicas y fermentadas, alimentos, forraje para rumiantes, fibras, material de construcción, papel y productos terapéuticos, entre otros. Recientemente, también se le ha encontrado un alto potencial en la producción de conglomerados para la fabricación de muebles y como sustrato para la producción de hongos y compostas. No obstante, se considera que ha sido subutilizado en la elaboración de productos agroalimentarios e industriales y de alto valor agregado.

Ante las implicaciones sociales y económicas que conlleva el empleo de productos alimenticios (caña de azúcar, maíz, etc.) en la obtención de biocombustibles y las limitaciones agroecológicas para la producción masiva de los cultivos energéticos en nuestro país. Por ello, el maguey representa una excelente alternativa para impulsar el desarrollo sustentable del país, dada su alta productividad aun en condiciones restrictivas de humedad, temperatura y suelo, y a que en su producción no se requiere abrir nuevas tierras al cultivo, se pueden reconvertir suelos marginales o degradados y sus requerimientos de insumos son muy bajos.

México tiene en los agaves una fuente potencial de energía y el insumo ideal para desarrollar bioindustrias sustentables, sobre todo ante la presencia de características biológicas y físico-químicas

que le permiten ser considerado un insumo de interés para ser empleado en diferentes procesos biotecnológicos tales como la producción de biocombustibles.

De acuerdo con el Consejo Regulador del Tequila para 2007 existían alrededor de 395 millones de plantas de agave azul. En relación al maguey verde o mezcalero aunque las cifras no son consistentes, las estadísticas señalan que el promedio ronda en las 14,000 ha de plantaciones comerciales. Aunque no se contabiliza el inventario de las plantaciones silvestres, tan solo en el sureste del estado de Zacatecas, se estima que existen más de 5 millones de plantas, en una superficie de 12,000 ha, con densidades promedio de 1500 plantas ha⁻¹. Lo anterior, brinda una idea del potencial del maguey para ser empleado como insumo bioenergético, sobre todo ante los problemas de comercialización y saturación del mercado que están enfrentando los productores de agave.

Durante la producción de fibras (henequén, ixtle, etc.) o derivado del proceso de producción de tequila o mezcal se generan miles de toneladas anualmente de pencas, residuos de hoja, fibras cortas y bagazo, los cuales quedan en la magueyera o son depositados en los alrededores de las desfibradoras y tequileras convirtiéndose en una fuente de contaminación (20,21).

La producción de etanol a partir de la hoja del maguey ha sido explorada desde inicios del siglo pasado, pero su despegue industrial aun es incipiente (22). No obstante, los estudios desarrollados son alentadores, tal es el caso de la utilización del bagazo, fibra residual que se obtiene después de que el agave es sometido al proceso de extracción de jugos, el cual representa aproximadamente el 40 % del peso total de agave procesado y actualmente se generan alrededor de 1.05×10^8 kg año⁻¹, de los cuales la mayoría se utiliza como composta. Al ser sometido a procesos de hidrólisis química y enzimática, fermentación y purificación se logró obtener un rendimiento de 280 g de etanol kg⁻¹ de residuos de agave (23).

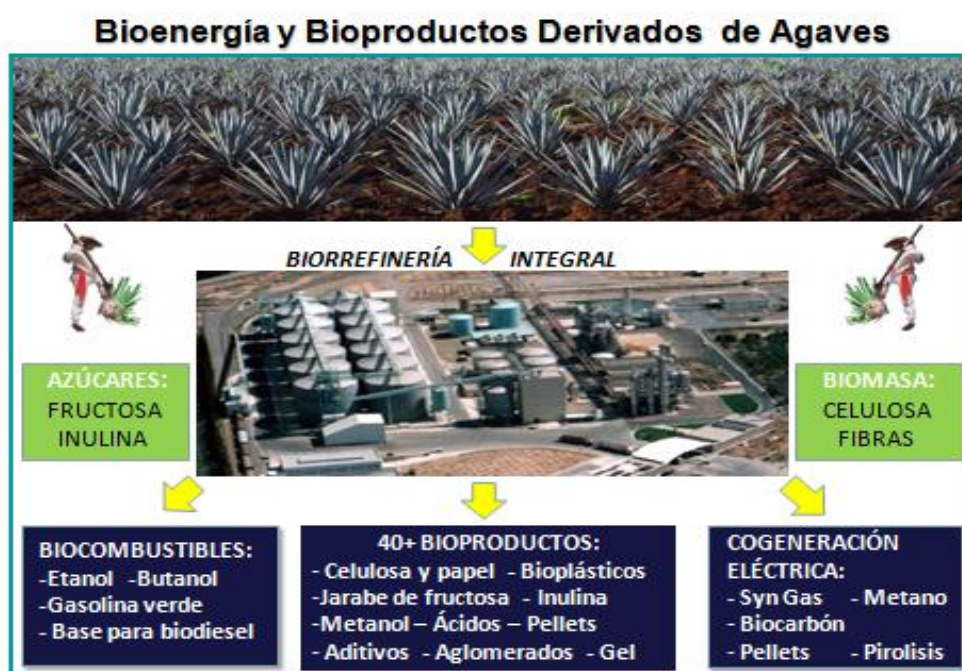
González *et al.* (24) concluyeron que el bagazo de *agave tequilana* es un material viable para ser usado como substrato en procesos fermentativos, por lo que existen grandes oportunidades de investigación para desarrollar procesos de bioconversión ya que es técnicamente factible, eficiente y económicamente atractivo.

De acuerdo a información del especialista A. Vélez- Jiménez los agaves constituyen el mejor insumo para la producción de etanol. En colaboración con el Dr. Remigio Madrigal (Investigador de la U. Autónoma Chapingo) se desarrolló una variedad de *A. tequilana weber* que contiene tres veces más azúcares que la caña de azúcar, hasta 42 °Brix, y produce cuatro veces más celulosa, hasta 26 t ha⁻¹ año⁻¹ que el eucalipto de rápido crecimiento y el cuádruple de biomasa, hasta 200 t ha⁻¹ año⁻¹ que el álamo transgénico generado en USA para producción de biomasa para etanol celulósico (Cuadro 1).

Vélez Jiménez resalta que los agaves son el insumo ideal para una biorrefinería integrada, con tres principales ramas de producción sustentable, cuyo modelo se aprecia a continuación:

Cuadro 1. Ejemplos de insumos para la producción de etanol celulósico.

Producto/Proceso	ÁLAMO (transgénico)	AGAVE (variedad mejorada)	SWITCHGRASS
Años para cosecha	7	6	10
Biomasa seca ton/ha/año	13 – 20	80	6 – 20
Producción de etanol litros/ha/año	4,920 – 7,570	30,280	2,271 – 7,570
Balance energético	12	12+ (Est.)	7
Valor agrícola o silvícola de la tierra	ALTO	MUY BAJO	MUY ALTO
Requerimientos de agua y agroquímicos	ALTO	MUY BAJO	MUY ALTO



Conclusiones y recomendaciones

- ✓ El nopal y el maguey representan dos de los recursos naturales con mayor futuro, dado el aumento de la superficie árida, el incremento del CO₂ y sus reducidas necesidades hídricas y tecnológicas, por lo que su aprovechamiento integral deberá de ser revalorado.
- ✓ Los productos bioenergéticos obtenidos del nopal y del maguey pueden utilizarse como combustible alternativo en aquellas comunidades rurales del país donde el suministro de energía sea deficiente o bien no se tiene acceso a fuentes convencionales.
- ✓ Los estudios efectuados hasta el momento aun son a nivel laboratorio o planta piloto, por lo que su escalamiento a nivel industrial está por confirmarse; no obstante, su potencial es alto.

Bibliografía

1. SAGARPA. 2009. Programa de producción sustentable de insumos para bioenergéticos y de desarrollo científico y tecnológico 2009-2012. Gobierno Federal. México. 23 p.
2. Méndez G., S. de J.; García H. J.; Rössel K., D.; Tarango A., A.; Talavera M., D. y B. Figueroa S. 2004. Recomendaciones para el establecimiento de plantaciones de nopal tunero en el Altiplano Potosino. Coedición Colegio de Postgraduados-Comisión Nacional de las Zonas Áridas. 24 p. **ISBN:** 968-839-421-1.
3. Varnero, T. M y V. García de Cortázar. 2006. Producción de bioenergía y fertilizantes a partir de los nopales. **In:** Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 162. pp. 113-120. **ISBN:** 92-5-305518-9.
4. *Ibídem.*
5. Uribe, J. M., Varnero, M.T. and C. Benavides. 1992. Biomass of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L., Mill) as bovine manure anaerobic digestion accelerator. *Simiente*. 62(1):14-14.
6. Obach, J. and M. P. Lemus. 16 octubre, 2009. http://100re.net/showartikel_ppv.asp?ID=13144.
7. Contreras, S. y J. Toha C. 1984. Biogas production from a suspension of homogenized cladodes of the cactus *Opuntia* cacti. *Ferment. Technol.* 62(2):601-605.
8. FAO. 2008. FAO. 2008. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. BIOCMBUSTIBLES: perspectivas, riesgos y oportunidades. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. pp. 11-25 **ISSN:** 0251-1371.
9. Moßhammer, M. R., Stintzing, F. C. and R. Carle. 2006. Cactus pear fruits (*Opuntia* spp.): A review of processing technologies and current uses. *J. PACD*. 1-26.
10. Prieto-García, F., Filardo-Kerstup, S., Pérez-Cruz, E., Beltrán- Hernández, R., Román-Gutiérrez, A. y M. Méndez-Marzo. 2006. Caracterización física y química de semillas de opuntias (*Opuntia* spp.) cultivadas en el estado de Hidalgo, México. *BIOAGRO* 18(3): 163-169.
11. Ennouri, M, Bourret E., Mondolot L. and A. Hamadi. 2005. Fatty acid composition and rheological behavior of prickly pear seed oils. *Food Chemistry* 93:431–437
12. Tan, C.P. and .B. Che Man. 2000. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils: comparison of thermal properties and chemical composition. *J Am Oil Chem Soc.* 77. 143–155.
13. Piga, A. 2004. Cactus pear: A fruit of nutraceutical and functional Importance. *J. PACD*. 9-22.
14. Moßhammer *et al.*, *Op. cit.*
15. Sáenz, C. y E. Sepúlveda. 2006. Producción de alimentos para consumo humano por la pequeña industria. **In:** Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 162. pp. 65-97. **ISBN:** 92-5-305518-9.
16. Bravo, E. 2008. Encendiendo el debate sobre los biocombustibles, cultivos energéticos y soberanía alimentaria en América Latina. Ed. Capital Intelectual S. A. HIVOS. Quito, Ecuador. 135 p.
17. Varnero y García de Cortázar *Op.cit*

18. Retamal, N., Durán, J. M. & J. Fernández. 1987. Ethanol production by fermentation of fruits and cladodes of prickly pear cactus [*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller]. J. Sci. Food Agric. 40, 213–218.
19. Varnero y García de Cortázar *Op.cit*
20. González G., Y., O. González R. y J. Nungaray A. 2005. Potencial del bagazo del agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. E-gnosis on line. Vol (3) artículo 14.
21. Canché E., G., A. Ku Choc, F. Uicab Ballote, S. Duarte Aranda, C. Kantún Uicab, F. Barahona Pérez, L. Alzate Gaviria, A. Magdub y B. Canto Canché. 2008. Caracterización de los residuos lignocelulosicos de *A. fourcroydes* y su potencial aplicación en la producción de bioenergía. In: CD de memorias de la V Reunión Nacional de la Red Mexicana de Bioenergía. Morelia, Mich., México. Septiembre 2008.
22. Magdub, A. y F Barahona. 2006. Obtención de alcohol del jugo de desfibrado de hojas de henequén. Uuy a Táan. Fundación PRODUCE Yucatán. 2(4). 12-15.
23. Saucedo-Luna, J., A. J. Castro-Montoya, M. Martínez-Pacheco, J. Campos-García. 2008. Obtención de etanol anhidro a partir de bagazo del *Agave tequilana Weber*. In: CD de memorias de la V Reunión Nacional de la Red Mexicana de Bioenergía. Morelia, Mich., México. Septiembre 2008.
24. González *et al. Op.cit*.