

ANÁLISIS ECONÓMICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOGAS DE MANERA SOSTENIBLE A PARTIR DE NOPAL (*OPUNTIA FICUS*) EN LA ZONA NORTE DEL ESTADO DE MÉXICO

M. en C. Blanca Gabriela Cuevas González¹, Dra. Patricia Delgadillo Gómez²,
Dra. Thelma Beatriz Pavón Silva³

Resumen—Al determinar la rentabilidad financiera de inversión de una planta de biogás a base de nopal (*opuntia ficus*) en la zona norte del estado de México donde el sector rural favorezca el desarrollo humano y sostenible para mejorar alternativas de ingresos de los productores vinculándolos con los procesos de agregación de valor para la producción de insumos.

La planta a pequeña escala para uso y consumo de energía en la zona de Otumba y San Juan Teotihuacán donde se generaría un ahorro económico generando su autoproducción y autoabastecimiento para beneficio social. Se llevó la evaluación económica-financiera del proyecto, a partir de los criterios del valor que reflejan el costo de oportunidad de invertir en el proyecto. La obtención de biocombustible más económico, permitirá a tener energía barata y de calidad ya que los resultados que se obtiene son positivos ya que se tiene un estimado de asumiendo un rendimiento medio en metano de $198 \text{ m}^3 \text{ tMS}^{-1}$ puede estimarse una media de producción de metano de $750 \text{ a } 900 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

Palabras clave— Opuntia, energías alternas, bioenergía, biogás.

Introducción

La energía es indispensable para el desarrollo de la vida. En el planeta la mayor parte de la energía está basada en el petróleo, el carbón y el gas natural. El uso de estos combustibles ha contribuido a generar dos situaciones desfavorables. Primero, el problema del aumento de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero que influyen en el cambio climático. Segundo, la creciente demanda de energía por el aumento poblacional viene acompañada con la disminución en las reservas de petróleo. Ante estas situaciones se han generado búsquedas de fuentes alternativas de energía como la energía solar, la eólica, de biomasa y la geotérmica (Solis 2013).

Biocombustibles es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa, estos es, organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos, que son alcoholes, éteres, ésteres y otros componentes químicos obtenidos a partir de productos agrícolas, del procesamiento de productos agroindustriales o de residuos orgánicos, llamados biomasa, como las plantas herbáceas y leñosas, residuos de la agricultura y actividad forestal, y una gran cantidad de desechos industriales, como los desperdicios de la industria alimenticia.

Se suele definir como biogás a la mezcla de gases que se obtiene de la fermentación anaerobia de la materia orgánica donde se presenta primordialmente de metano (CH_4) entre un rango de 45 a 70% y bióxido de carbono (CO_2) en una cantidad de 30 a 45% así como monóxido de carbono, oxígeno, hidrógeno, ácido sulfhídrico, nitrógeno y amoníaco y agua en cantidad variable y algunos otros compuestos (Altshuler, J. 2011).

Producción de nopal en el estado de México, se da en los Municipios de Axapusco, Cuautitlan Izcalli, Melchor Ocampo, San Martín de las Pirámides, Temascalapa, Nopaltepec y Teotihuacan. Los habitantes de los Municipios de Nopaltepec, Axapusco y Otumba se dedican al cultivo del nopal tunero y xoconostle. El principal productor de nopal verdura es la Delegación de Milpa Alta del Distrito Federal. Sin embargo, en el Estado de México la siembra y producción de nopal verdura ha comenzado a incrementarse, aunque la siembra (428 hectáreas) no representa casi nada frente a lo que siembra en el Distrito Federal (4,159 hectáreas) o Morelos (1,459 hectáreas) que es el segundo productor a nivel nacional.

¹ La M. en Ing. Amb. es Profesor Tiempo Completo de la Unidad Académica Profesional Acolman UAEM, Camino de Caleros No. 11 Col. Ejidos de Santa Catarina Acolman Edo de México, México. bgcuevasg@uaemex.mx (autor correspondiente)

² La Dra. Patricia Delgadillo Gómez es Profesor de Tiempo Completo de Informática Administrativa, Centro Universitario Ecatepec UAEM, Av. José Revueltas No. 17 Col. Tierra Blanca 55020 Ecatepec, Estado de México, México pdelgadillo@uaemex.mx

³ La Dra. Thelma Beatriz Pavón Silva es Profesor Tiempo Completo de la Unidad Académica Profesional Acolman UAEM, Camino de Caleros No. 11 Col. Ejidos de Santa Catarina Acolman Edo de México, México. tbpavons@uaemex.mx

A nivel Estatal el Estado de México, Otumba es el principal Municipio productor de nopal . En este lugar se concentra el 73% de la siembra, lo sigue con una siembra bastante menor San Martín de las Pirámides (16 %).

La biomasa del nopal representa una fuente renovable de gran potencial, ya que puede obtenerse diversos biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos que pueden ser utilizados en autoconsumo como en la producción de calor, electricidad y combustibles para el transporte (Callejas 2006).

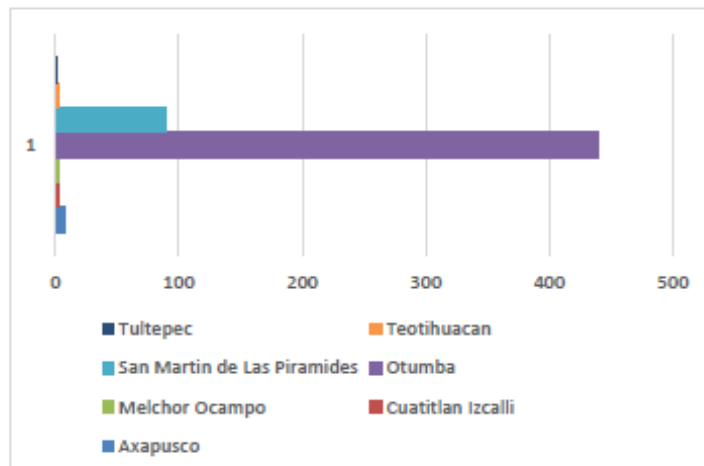


Figura e1. Estado de México: Superficie sembrada de Nopal (546 hectareas)

El Estado de México es el tercer productor más importante de nopal verdura, y aporta 8% de la producción nacional, algunos productores de los municipios con mayor producción están ubicados en Otumba, San Martín de las Pirámides, Temascalapa, Nopaltepec, Axapusco, y San Juan Teotihuacán se agruparon en 134 organizaciones para facilitar la comercialización de esta hortaliza (SAGARPA, 2012) En a tabla 1 se muestra la producción y el valor de producción reportado por el anuario estadístico de producción agrícola del gobierno del estado de México. Donde se reporta que lque los municipios son de tipo cíclico y perenne en una modalidad de riego y temporal que reporta el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2012.

Municipio	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor producción (Miles de Pesos)
1 Axapusco	7.00	7.00	152.00	21.71	1,400.00	212.80
2 Cuautitlan Izcalli	2.00	2.00	150.00	75.00	1,700.00	255.00
3 Melchor Ocampo	3.00	3.00	240.00	80.00	1,700.00	408.00
4 Otumba	440.00	440.00	38,880.00	88.36	1,697.22	65,988.00
5 San Martín de Las Pirámides	90.00	90.00	7,200.00	80.00	1,700.00	12,240.00
6 Teotihuacan	3.00	3.00	225.00	75.00	1,700.00	382.50
7 Tultepec	1.00	1.00	75.00	75.00	1,700.00	127.50
	546.00	546.00	46,922.00	85.94	1,696.73	79,613.80

Tabla No. 1 Producción de nopal en municipios del Estado de México.

El nopal como principal insumo para obtener biocombustibles

En México se tiene un potencial en materia de recursos energéticos renovables, resultado de su gran diversidad agrícola y de sus condiciones climáticas y geográficas, cuyo desarrollo permitiría al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía, (SAGARPA, 2009), tal y como se ejemplifica en este caso con el Nopal.

Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) este se localiza en Cuernavaca Morelos, en México ha trabajado en la investigación y valoración de las fuentes de energía renovables. En 2010 se iniciaron trabajos para determinar la factibilidad de producción del biogás a partir del nopal, uno de los cultivos con más tradición en México que se utiliza como alimento tanto para humanos, como para el ganado. Esto motivado por la búsqueda de fuentes de energía renovables de acuerdo a la Ley de Promoción de los Bioenergéticos, la Ley de Energías Renovables y la Ley de Cambio Climático

La empresa Camébaro SPR de R.L. ubicada en Zitácuaro, Michoacán construyó y puso en operación de un biodigestor para la producción de biogás. Dicha instalación tiene un volumen de 100 m³ y una capacidad de procesamiento de ocho toneladas de nopal por día. Actualmente, por requerimientos propios de la empresa, la planta opera a un 20% de su capacidad, pero puede ser llevada al 100% en el mediano plazo y demostrar que la tecnología es viable tanto técnica, como económicamente.

El cultivo del nopal se identifica como una importante fuente de bioenergéticos a través de su conversión a biogás mediante el proceso de digestión anaerobia. La poca agua que necesita para su cultivo, sus nutrientes y adaptabilidad a suelos pobres en climas desérticos y semidesérticos, lo hacen idóneo para esta aplicación (Ake Madera Miguel 2018).

La Gerencia de Energías Renovables (GER) del IIE ha realizado pruebas de laboratorio para determinar la producción y rendimiento del biogás del nopal, las cuales se han enfocado en la determinación del rendimiento del biogás por unidad de masa del nopal, así como las condiciones bajo las cuales esto es posible. Cabe señalar que la producción del nopal para utilizarlo como fuente de energía renovable tiene impactos positivos y beneficios sociales, económicos y ambientales.

Es importante avanzar en el tema, a través de estudios que permitan determinar los beneficios reales del cultivo del nopal con fines energéticos a través de la producción del biogás, con el fin de contribuir al desarrollo de tecnologías respetuosas con el medio ambiente, que es una de las líneas de desarrollo tecnológico con las que cuenta el Instituto.

Puede consultar más información en el artículo: Producción del biogás con nopal, escrito por José Luis Arvizu Fernández, investigador líder del área de biomasa de la GER. Del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias

Descripción del Método

Bajo la revisión de literatura se parte de un trabajo de Uribe et al (1990 en la cual se reportan la mejor producción de biogás don se lleva la digestión de cladodios de nopal con estiércol de vacuno. Las mezclas son de porcentajes de 0, 25, 50, 75, 100% de nopal donde de manera óptima a una carga total de 28 g STL-1 y una temperatura de 30 °C y a un PH de 6.1 se obtiene los mejores rendimientos que reportan Terán-Varela, O. M. y Alcántara Hernández, B. D. 2009.

Porcentaje de nopal en el sustrato (%)	Tiempo transcurrido hasta el cese de producción de biogás (d)	pH	Biogás producido (ml)	Solidos totales introducidos	Rendimiento (L biogás kg ST ⁻¹)
0	38	7.5	1800	28	64
25	32	7.4	1700	28	61
50	29	6.7	1500	28	54
75	21	6.1	2200	28	79
100	15	5.3	836	28	30

El proceso comienza una vez que se ha producido la recolección de la penca cladodios de nopal (paleta de nopal); cortada y junto con guanos de animales y paleta en pudrición, se utiliza para la alimentación de estiércol de bovino y generación de biogas en digestores.

El proceso de descomposición de la materia orgánica por el que se consigue el biogás es a partir de nopal (*opuntia ficus*)

Es por digestión anaeróbica. Los rendimientos de este proceso se determinan por metros cúbicos de gas por kilogramo de sólidos volátiles (SV) que existen en el digestor. Los sólidos volátiles que son sólidos que se gasifican en el proceso se determinan por calcinaron en una mufla a una temperatura de 550 °C hasta obtener un peso constante de la muestra los que corresponde a la materia orgánica contenida en el sustrato y el poder el poder calorífico (PC) tanto de metano (0.486Kcal m⁻³) como los sustratos considerados, se determina los rendimientos energéticos del proceso de digestión anaerobia.

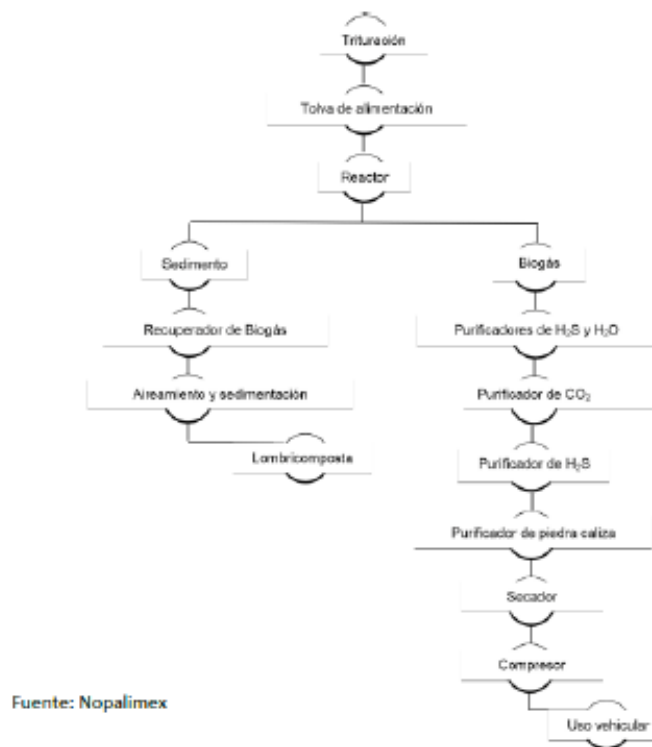
La determinación del rendimiento de cultivo se tiene que estimar producción así como la superficie disponible del materia prima de nopal (*opuntia ficus*) se elige la zona de estudio Otumba y San Martin de la Pirámides por ser los productores que puedes suministrar la materia prima a la planta.

El rendimiento del cultivo se estima mediante la relación de precipitación anual con el rendimiento de materia seca de la zona elegida en zonas árida

$$\text{Rendimiento (tMSha-1 año-1)} = 0.067 + P^{1.1653}$$

P= Precipitación media anual (mm)

Esta función se considera para P entre 150-500 mm siendo la precipitación media anual promedio de San Juan Teotihuacán y Otumba de 152 lo que da como resultado un rendimiento de cultivo de 2.336 MSha⁻¹ año⁻¹ de esta forma se obtiene e potencial de biomasa disponible anualmente sería el resultado de multiplicar este rendimiento por la superficie previamente considerada en caso de Otumba es 440 ha sembradas con una producción 38,880.00 Ton de nopal. Los niveles de metano son del 70% con una relación de 3 a 1 de nopal y estiércol de bovino con una temperatura de trabajo de 30°C. El cladodio s en digestión anaerobia de estiércoles, favorece la fermentación metanógena manteniendo un pH de un pH neutro o ligeramente básico se enriquece el metano si se tiene un pH de neutro



Fuente: Nopalimex

Figura 1. Proceso de Producción del biogás para vehículos automotores

El proceso de producción de biogás la materia orgánica que es el nopal es triturada para posteriormente se va al alimenta al biodigestor que también es limado tanque de fermentación el que se establecen condiciones anaerobias y en la cual el consorcio microbiano a base de bacterias generan el biogás donde también se tiene un sistema de

sedimentación, donde este se va al tanque de purificación por filtros y posteriormente es llevado a un tanque de almacenamiento donde este es secado y comprimido para distribuir a su consumo.

En cuanto a los subproductos obtenidos la fracción del digestado en su fase sólida se podría vender como composta o utilizada en los cultivos de nopal, la fase líquida que es rica en compuestos minerales se pueden utilizar en fertirrigación puede ser vendida como composta

Dentro de este proceso se tiene las siguientes ventajas:

- Bajo costo de instalación y mantenimiento
- Almacenamiento de energía en biomasa
- Recuperación de suelos y zonas áridas
- Recuperación de agua
- Intensivo en mano de obra
- Diversificación de la producción
- Humus, fertilizante natural
- Energía para calefacción; gas
- Energía eléctrica para motores e instalaciones

Así como al comparar con otras alternativas de energía en la tabla 1 se ven las opciones y la ventaja de uso de generador eléctrico por uso de biogás de nopal con respecto costo - inversión que reporta otras tecnologías

Tecnología	Costo US/KWh	Inversión US/KW
Solar fotovoltaica*	0.25-0.50	3.5-7.0
Turbinas eólicas*	0.050-0.10	1500-1800
Hidráulica *	0.115	1.600
Geotérmica*	0.030	1.200
Generador eléctrico (nopal)**	0.050	1.200

*Fuente: SENER

**Fuente:Nopalimex

Tabla 1. Costo en dólares de diferentes tecnologías
Comentarios Finales

Resumen de resultados

En este trabajo de investigación presenta el potencial del cultivo de chumbera o más conocido como nopal (*Opuntia ficus-Indica*) para la factibilidad de inversión en la construcción de una planta de biogás, esta mediante la producción de biogás por digestión anaerobia en sistemas mesófilos donde se reportan rendimientos de sólidos volátiles con un 58.2 % de metano y un 40 % de bióxido de carbono Ya determinado el potencial del nopal se eligió el diseño propuesto onde se obtiene el biogás a escala industrial que permita la transformación de los cladodios o en biocombustible donde esta misma planta genere su propia energía para operar. Este estudio se ha llevado a cabo para las comunidades de Otumba principalmente por ser el municipio con mayor superficie sembrada y cosechada de nopal. Las hectáreas que se destinan al cultivo de la chumbera o nopal es de 440 HA con un rendimiento de 88.36 % (ton/Ha)

Conclusiones

Los resultados demuestran la necesidad de.... Es indispensable que.... La ausencia del factor.... Fue quizás inesperado el haber encontrado que... (Se ha de indicar aquí qué importancia, relevancia, o impacto tienen los resultados de la investigación)

Recomendaciones

Los investigadores interesados en continuar nuestra investigación podrían concentrarse en el factor XY y su influencia en la población rural. Podríamos sugerir que hay un abundante campo todavía por explorarse en lo que se refiere a.... (Se incluyen actividades que se deben hacer en el futuro). Mediante a digestión anaerobia de cladodios de nopal en un sistema mesófilo con un tiempo de retención de 26 días se obtiene rendimientos de 500 L de biogás Kg DV-1.

El promedio de biogás obtenido es de 50 % con un rendimiento de 257 L CH₄ Kg SV-1. Por lo tanto a partir de una tonelada de materia seca de nopal y obteniendo un porcentaje del 77 se obtiene aproximadamente 150 -160 m³ de metano A partir de valor medio de producción anual de biomasa de 5tMS ha⁻¹ año⁻¹) y asumiendo un rendimiento medio en metano de 198m³ tMS-1 puede estimarse una media de producción de metano de 750 a 900 m³ ha⁻¹

Referencias

Ake Madera Miguel 2018. Biogás con Nopal para vehículos en sustitución de combustibles fósiles. Cámara de Diputados LXIII Legislatura México

Altshuler, J. 2011. La energía y el hombre [Online]. Cuba. Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia23/HTML/articulo09.htm> [Accessed 18 de octubre 2011].

Callejas, J. N.; Matus-Gardea, J. A.; García-Salazar, J. A.; Martínez-Damián, M. Á. y Salas-González, J. Ma. 2006. Situación actual y perspectivas de mercado para la tuna, el nopalito y derivados en el Estado de México. *Agrociencia* 43:73-82.

Camembaro SPR de R.L. Zitácuaro Michoacán www.nopalimexgasyenergia.com

Nopaltimex . Mexico. Biogas-Electricidad verde www.nopalimexgasyenergia.com

Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias. Gobierno de México Producción de biogás con Nopal Consultado el 19 de octubre del 2019 <https://www.gob.mx/ineel/prensa/produccion-de-biogas-con-nopal-67466>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. Plan Rector del Sistema Producto Nopal y Tuna Estado de México. 29 p.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2012. Cierre de la producción agrícola. Nopalitos. <http://www.siap.gob.mx>. (consultado mayo, 2013).

Terán-Varela, O. M. y Alcántara Hernández, B. D. 2009. Estrategias de comercialización para los productores de nopal verdura. Instituto Politécnico Nacional (IPN). 19 p. <http://cocyteh.hidalgo.gob.mx/descargables/ponencias/Mesa%2019.pdf>. (consultado mayo, 2019).

Solis Segura, L. M. & López Arriaga, J. A. 2003. Principios básicos de contaminación ambiental, México, UAEM