



## ANEXO B. DEMANDAS DEL SECTOR 2012-08

### **Demandas por Temas Estratégicos Transversales, única: “Factibilidad técnica y financiera del nopal para la producción de metano, etanol y coproductos”**

En atención a la problemática nacional en la que la I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica) tiene especial relevancia, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ha identificado un conjunto de demandas y necesidades del Sector para ser atendidas por la comunidad científica, tecnológica y empresarial con el apoyo del “Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuacultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos”.

Estas demandas se han clasificado en el área estratégica:

#### **I Temas Estratégicos Transversales**

La Demanda Específica debe ser debidamente dimensionada y acotada a través de la siguiente estructura:

**Es importante aclarar que se espera apoyar un solo proyecto por demanda específica, ya que el Macro Proyecto (multidisciplinario e interinstitucional) propuesto, debe cumplir con todos los productos esperados.**

## I. Demandas Única por Temas Estratégicos Transversales

### Bioenergéticos

#### I. Título tema a demandar:

### **“Factibilidad técnica y financiera del nopal para la producción de metano, etanol y coproductos”**

#### II. Beneficiarios del proyecto:

- Integrantes de la cadena agroalimentaria de nopal de los estados productores en México.
- Productores.
- Prestadores de Servicios.
- Agroindustriales.
- Comercializadores.

#### III. Antecedentes:

Hoy en día, tanto la crisis energética y el cambio climático son temas clave en todo el mundo. Varios factores han llevado a la búsqueda de fuentes alternativas de energía procedente de fuentes renovables. Estos incluyen el eliminar el consumo de combustibles fósiles no renovables así como los aspectos perjudiciales ecológicos de utilizar directamente el estiércol y la madera como combustible. De acuerdo con investigaciones recientes y futuras predicciones, el petróleo se agotarán dentro de 40 a 70 años, y el gas natural se terminara dentro de 50 años. Se prevé que la temperatura media global aumentará entre 1.4 y 5.8 °C (Jigar *et al.*, 2011), por lo que es vital, el buscar otras alternativas de combustibles y mitigar prácticas que contribuyan al cambio climático.

Por otra parte, los cactus, debido a su fácil establecimiento por propagación vegetativa, resultan adecuados para la recuperación de suelos que no podrían ser mejorados a través de los métodos agrícolas convencionales debido a factores como la elevación de la pendiente, la pedregosidad, la escasa profundidad, la falta de estructura, los bajos contenidos de materia orgánica, que están por debajo del 1%, y presencia de fuertes procesos erosivos, entre otros. La plantación de arbustos y especialmente de cactus, es la forma más rápida y segura y también la más económica para recuperar áreas degradadas (Guevara *et al.*, 1997).

Existen cerca de 1500 especies de cactus. “Nopal” es el nombre común que reciben las cactáceas del género *Opuntia*; este género incluye a unas 200 especies conocidas mundialmente (Virgueras y Portillo, 2001), algunas de las

cuales producen frutos comestibles (Lee *et al.*, 2002), situación que lo coloca como uno de los géneros más exitosos y ampliamente distribuidos (Rebman y Pinkava, 2001). En México, han sido usados los cladodios y frutos por sus beneficios medicinales, para tratamientos contra arteriosclerosis, diabetes, gastritis e hiperglucemia (Lee *et al.*, 2002). Los cactus *Opuntia* spp., son reconocidos como los cultivos ideales para zonas áridas, en donde *Opuntia ficus-indica* es extremadamente eficiente en la conversión de agua a biomasa y dentro de las varias especies de cactus domesticadas, es el más extendido y de gran importancia económica en la economía agrícola del México moderno (Griffith, 2004).

De acuerdo con el Plan Estratégico Nacional Nopal y Tuna 2011-2015 se dice que se tomarán las acciones que le permitan a este sistema tomar un papel protagónico en 13 estados del país: Aguascalientes, Jalisco, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, México, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala y Zacatecas. En México, el nopal y la tuna se cultivan en 29 entidades federativas; se benefician de esta actividad económica 50 mil familias que se encuentran en zonas con escasez de agua, como zonas desérticas y semidesérticas. El valor de la producción del nopal y tuna es de 2 mil 810 millones de pesos y se generan 3 millones 822 mil 500 jornales. El volumen de producción de la tuna ocupa el lugar 12 y el 16 en valor de producción de las 20 frutas más importantes del país (Comité Nacional Sistema Producto Nopal y Tuna, 2011)

Es importante mencionar, que dicho potencial requiere ser aprovechado en beneficio de los productores agrícolas de México, mediante el desarrollo de investigación que permita posicionar al Nopal como una nueva fuente energética. En ese sentido, algunos trabajos de investigación orientados a diversificar el uso del nopal (*Opuntia* spp) han revelado que tanto de las partes vegetativas (cladodio y cáscara del fruto), como de la pulpa y la semilla del fruto, es factible obtener una gran diversidad de compuestos químicos como aceites comestibles, vitaminas, azúcares, pectinas y colorantes, entre otros, que pueden ser utilizados para obtener bioenergéticos bioetanol y otros productos.

#### **IV. Problemática:**

En cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, el metano es el segundo gas en orden de importancia, tras el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y sus principales fuentes de emisión son: la agricultura (digestión del ganado), los residuos (vertido) y la energía (producción de carbón y distribución de gas natural) (Maqueda *et al.*, 2006).

Cuando el metano escapa a la atmósfera, este es causante potencial de calentamiento global, y se estima que sus efectos son 23 veces mayores que los producidos por el mismo volumen de dióxido de carbono. Sin embargo es posible que una parte del metano generado en los diferentes procesos sea capturado y usado como recurso de energía renovable (Themelis y Ulloa, 2006).

El metano, emitido por las minas de carbón en todo el mundo, representa aproximadamente el 8% de las emisiones antropogénicas de metano del mundo que constituyen un 17% de contribución total a las emisiones de gases de efecto invernadero. Aproximadamente el 64% de las emisiones de metano en su mayoría metano de minas de carbón es liberados antes, durante y después de las operaciones mineras. Por lo tanto, existe una considerable variabilidad en la tasa de flujo y la composición de las emisiones de gases en las operaciones mineras. El gas emitido por arriba del 30% de concentración de metano puede ser utilizado en un gran número de procesos industriales, tales como turbinas de gas para generar poder tan grande como para no tener problema con el suministro para su operación (Su *et al.*, 2004).

En la mayoría de los países con ganadería extensiva, la opción de reducir el número de cabezas para disminuir la emisión de metano por la fermentación entérica estaría en contra del concepto de agricultura sostenible, por lo que la única alternativa viable sería incidir en la calidad de los alimentos consumidos por el ganado, además de llevar a cabo un correcto manejo de los residuos y estiércoles, para favorecer la disminución de licuados y de los procesos anaeróbicos y así contribuir a la reducción de las emisiones provocadas por el tratamiento de estiércoles y purines. Por otra parte, la eliminación de la quema ha de ser un objetivo prioritario, pues es también una práctica agrícola desaconsejable desde el punto de vista de la fertilidad de los suelos, factor de importancia relevante en zonas con problemas de erosión y desertificación (Maqueda *et al.*, 2006).

En ese contexto, la ganadería intensiva, constituye un alto factor contaminante, tanto por los olores como por las deyecciones. Además, las grandes concentraciones ganaderas no coinciden en el espacio “con zonas agrícolas que pudieran absorber sucesivamente las cantidades continuas de excretas”. Algunos autores abogan por la siguiente máxima: descontaminar con la mayor producción de energía, es decir, procesar las deyecciones para obtener gas metano que después se convertirá en energía eléctrica y térmica (Segrelles, 1996).

Tomando en cuenta que la energía que se utiliza en procesos agroindustriales, industriales y agrícolas proviene de combustibles fósiles. La principal fuente de emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera es la quema de combustibles fósiles (gas natural y petróleo) en procesos industriales y de transporte. La concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico aumento a 368 ppm en el año 2000, lo que representa un incremento porcentual de 31%. Se estima que la concentración actual es mayor a la ocurrida durante cualquier período en los últimos 420000 años, y que es muy probable que también sea el máximo de los últimos 20 millones de años. El carbono en la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> constituye una porción muy pequeña del total de este elemento en el sistema climático (IPCC, 2001).

En México en 2005 la superficie sembrada de nopal forrajero fue de 3,927 ha y 77,145 t de forraje, para 2010 dicha superficie incrementó a 18,081 ha y la producción de nopal forrajero fue de 208,492 t (SIAP-SAGARPA, 2011). Por lo anterior la biomasa de nopal puede ser una alternativa como fuente de energía, esto debido a que los cultivos con altos rendimientos en producción de

biomasa cada día cobran mayor importancia, debido a que provocan baja contaminación y son renovables, una opción poco explorada es el uso de biomasa de nopal.

## **V. Logros y Avances:**

La mayoría de los países basan la producción de nopal tuna casi totalmente en una sola variedad; en cambio, México cuenta con una gran riqueza que le permite ofrecer al mercado tunas blancas, amarillas, anaranjadas y rojas, lo que muestra una gran ventaja de México para liderar los mercados internacionales de este producto (Comité Nacional Sistema Producto Nopal y Tuna, 2011).

Actualmente se conoce que el nopal es un cultivo energético totalmente competitivo en comparación con otros cultivos energéticos, además no pone en riesgo la seguridad alimentaria de México.

Adicionalmente las experiencias en investigación realizadas con esta especie en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (Uribe *et al.*, 1992; Varnero *et al.*, 1992; Varnero y López, 1996; Varnero y García de Cortázar, 1998) indican que los cladodios no constituyen por si solos un buen material metanogénico, la incorporación de cladodios de tuna en la digestión anaeróbica de guanos animales, favorece la fermentación metanogénica, siempre que el pH de la mezcla de estas materias primas se mantenga dentro de rangos neutros o ligeramente ácidos.

Por otra parte, la tecnología de producción de etanol es más compleja que la producción de biogás. El proceso de fermentación alcohólica similar en muchos aspectos al de la producción de biogás, debe ser seguido por una destilación para obtener combustible además de la necesidad de disponer de levaduras específicas para maximizar la producción de etanol (García de Cortázar y Varnero 1999).

## **VI. Propósito de la demanda:**

Estimar la factibilidad técnica y financiera del nopal para la producción de metano, etanol y coproductos.

## **VII. Objetivos:**

### **Objetivo General**

Determinar la factibilidad técnica y financiera de nopal cultivado para la producción de metano, etanol y coproductos en las principales zonas productoras de México.

## Objetivos particulares

1. Evaluar el potencial agronómico de genotipos cultivados de nopal para la producción de bioenergéticos en plantaciones comerciales en las principales zona productoras de México.
2. Evaluar el potencial energético de genotipos cultivados de nopal para la producción de biogás en plantaciones comerciales en las principales zona productoras de México.
3. Evaluar el potencial energético de genotipos cultivados de nopal para la producción de etanol en plantaciones comerciales en las principales zona productoras de México.
4. Evaluación de pencas y frutos del nopal de plantaciones comerciales como coproductos en las principales zona productoras de México.
5. Evaluar el uso de coproductos de metanogénesis y etanol como abono orgánico.
6. Determinar costos de producción y rentabilidad de nopal en la producción de biogás y etanol.
7. Determinar el balance energético y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por el uso de biomasa de nopal para obtener y utilizar biogás y etanol.
8. Implementar eventos de transferencia de tecnología en las principales zonas productoras evaluadas, así como elaborar guías técnicas sobre la producción de biogás y etanol.

## VIII. Justificación:

Los cultivos energéticos deben cumplir con una serie de condiciones: a) producir una elevada cantidad de biomasa a bajo costo de producción, b) desarrollarse en tierras marginales, c) no degradar el medioambiente y d) tener un balance energético positivo, es decir que la energía neta contenida en el biocombustible sea superior a la gastada en el cultivo y en el proceso de transformación.

En la actualidad el uso de la biomasa vegetal para la producción de bioenergéticos ha causado gran interés debido a sus costos comparativos y a la condición de ser tecnologías amigables con el ambiente a diferencia de los combustibles fósiles por lo que se ha dado la siguiente convocatoria con la finalidad de establecer los parámetros de producción de metano a partir de componentes del rendimiento de nopal (*Opuntia spp*). México a pesar de ser un país en vías de desarrollo, ocupa el décimo lugar a nivel mundial en emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera solo después de Italia con 385,075 t de CO<sub>2</sub>·año<sup>-1</sup> (WRI, 2003).

La agricultura desempeña una función central como eje económico y social en casi todos los países en vías de desarrollo. La actividad agroindustrial genera una gran cantidad de residuos, de aproximadamente 90% del peso total del producto cosechado, en el cladodio de tuna solo se aprovecha el mucílago equivalente al 10% del peso total. Esta circunstancia se ha traducido en serios

problemas ambientales tales como la aparición de olores fétidos y el deterioro del paisaje; deshacerse de ellos constituye una grave dificultad para la industria (Albarca *et al.*, 2010). El aprovechamiento integral de las frutas es un requerimiento y a la vez una demanda que deben cumplir los países que desean implementar las denominadas “tecnologías limpias” o “tecnologías sin residuos” en la agroindustria. De tal modo que todas aquellas fracciones del fruto, tales como: cáscaras, semillas, etc. no resulten agravantes para el beneficio económico de las empresas y mucho menos para el medio ambiente pudiéndose derivar productos principales o secundarios para la alimentación humana, industria o desarrollo rural (López *et al.*, 2011).

En particular, la tecnología para la generación de biogás a partir de biomasa de nopal se empezó a usar partir de la década de los ochentas. Contreras y Toha (1984) demostraron que el nopal tiene capacidad de producir biogás con la adición del 1% de estiércol en condiciones anaeróbicas y pH 6.0 a temperaturas entre 35 y 40 °C, se produce 0.5 litros de biogás·g<sup>-1</sup> de materia seca de nopal con un contenido promedio de metano del 60%.

Asimismo, el cultivo del nopal es considerado como una alternativa más para la producción de etanol, debido a la cantidad de azúcares contenida en su biomasa y frutos. Se cuenta con experiencias en diferentes países que han logrado producir etanol a partir de pencas de nopal.

#### **IX. Productos a entregar:**

1. Informe sobre el potencial agronómico en la evaluación de genotipos cultivados de nopal para la producción de bioenergéticos en plantaciones comerciales en las principales zona productoras de México.
2. Reporte con resultados técnicos de al menos un método del proceso de producción de producción de metano en genotipos cultivados de nopal en plantaciones comerciales en las principales zona productoras de México.
3. Reporte con resultados técnicos de al menos un método del procesos de producción de etanol en genotipos cultivados de nopal en plantaciones comerciales en las principales zona productoras de México.
4. Reporte técnico sobre evaluación de pencas y frutos del nopal de plantaciones comerciales como coproductos en las principales zonas productoras de México.
5. Informe detallado sobre el uso de coproductos derivados de la producción de metano y etanol como abono orgánico; y su interacción con microorganismos benéficos.
6. Informe de costos de producción y rentabilidad de transformación a biogás, etanol y coproductos de nopal.
7. Un informe detallado del balance energético y de las emisiones de GEI en el ciclo de vida de la producción de biogás, etanol y coproductos de nopal.
8. Implementar eventos de transferencia de tecnología en las principales zonas productoras de nopal en México evaluadas,

9. Elaborar guías técnicas sobre la producción de biogás, etanol y coproductos a partir de los genotipos de nopal estudiados.

#### X. Impactos a lograr con los productos a obtener

Poner a disponibilidad de los productores de nopal, una nueva alternativa para la producción de energías alternativas limpias, ya sea para autoconsumo o venta, que les permita obtener mejores ingresos.

Adicionalmente el nopal y sus productos son útiles para varios propósitos y es difícil encontrar plantas más difundidas y mejor explotadas, particularmente en las zonas áridas y semiáridas de esta manera se han convertido en una fuente amplia de productos y funciones para una agricultura de subsistencia como para la orientada al mercado –Tabla 1- (Guevara *et al.*, 1997).

Tabla1. Usos actuales y potenciales de *Opuntiaspp.*

Rubro	Usos
Alimentación humana (Económico y Social)	Frutos: frescos, jugo, mermelada, yogurt, miel, queso (torta formada por presión de fruto seco), mucilagos, bebidas (fermentadas o no) Semillas: aceites, fragancias Cladodio: nopalito, mucilagos
Energía (Económico, Social, Tecnológico y Ecológico)	Fruto y cladodio alcohol, biogás, leña
Alimentación animal (Económico y Social)	Cladodio (pastoreo directo o cosecha y suministro en corral), fruto
Medicina y cosmetología (Económico, Social, Tecnológico y Ecológico)	Flores: diuréticos, aceites esenciales para perfumería Cladodios: descongestionante, antidiabético, antiarrárrico, mucilagos para uso farmacéutico y cosmético Raíces: diurético
Agronomía, protección y ornamentación del ambiente (Económico, Social, Tecnológico y Ecológico)	Fijación de suelo; cercos, cortinas rompevientos, control de escorrentía y erosión; manejo de cuencas, mejoramiento de suelos; rehabilitación de áreas degradadas; alimentación y refugio de fauna silvestre
Colorantes (Económico, Social, Tecnológico y Ecológico)	Frutos: betaninas Ácido carmínico (tintura de cochinilla roja) para industria cosmetologica, farmacéutica, textil y alimentaria y para actividades artesanales y artísticas
Otros (Económico, Social, Tecnológico y Ecológico)	Cladodios: material plástico elástico y flexible (con características similares al caucho)

- entre paréntesis se indica el impacto directo

#### XI. Literatura citada:

- Abarca, D., Martínez, J., Muñoz, J. y Vargas, G. 2010. Residuos de Café, Cacao y Cladodio de Tuna: Fuentes Promisorias de Fibra Dietaria. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 23( 2): 63-69.
- Comité Nacional Sistema Producto Nopal y Tuna. 2011. Nopal y Tuna un cultivo con alto potencial. *Opuntia Revista Especializada en Nopal, Tuna y Xoconostle*. 1(1):1-50.
- Contreras, S. y J. Toha C. 1984. Biogas production from a suspension of homogenized cladodes of the cactus *Opuntia cacti*. *Jour. Ferment Technol.* 62(6): 601-605.
- García de Cortázar, V. y Varnero, M. T. 1999. Producción de energía. pp. 194-200. In: Barbera, G., Inglese, P. y Pimienta, E. eds. *Agroecología, cultivo y usos del nopal*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 132. Roma.
- Griffith, M. P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *Amer. J. Bot.* 91: 1915-1921.
- Guevara J.C., Martínez E., Juárez M.C. y Berra A.B. 1997. Reclamación de áreas degradadas del piedemonte de Mendoza, Argentina, mediante la plantación de *Opuntia ficus indica* f. *Inermis*. *Multequina*. 6:1- 8
- Jigar E., Sulaiman H. and Bairu A. 2011. Study on renewable biogas energy production from cladodes of *Opuntia ficus indica*. *Journal of Food and Agriculture Science* 1(3), pp. 44-48.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios de gases de efecto invernadero.
- Lee, J. C., Kim, H. R., Kim, J., and Jang, Y. S. 2002. Antioxidant property of an ethanol extract of the stem of *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6490–6496.
- López, M., Mercado, J., Martínez, G. y Magaña, J.L. 2011. Formulación de una mermelada a partir de pulpa y cáscara de tunas (*Opuntia* spp.) elaborada a nivel planta piloto. *Acta Universitaria*, 21(2): 31-36.
- Maqueda, M.R., Carbonell, M.V., Martínez, E. y Flórez, M. 2006. Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 11(2): 14-18.
- Rebman, J.P. and Pinkava, D., J. 2001. *Opuntia cacti* of North American overview. *Florida Entomologist* 84(4): 474-483
- Segrelles, J.A. 1996. Problemas y perspectivas de la ganadería intensiva española. *Mundo ganadero*. 24-28
- SIACON, 2010. SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y DE CONSULTA-SIAP-SAGARPA.
- Su, S., Beath, A., Guo, H. and Mallett, C. 2004. An assessment of mine methane mitigation and utilization technologies. *Progress in Energy and Combustion Science* 31: 123-170
- Themelis, N.J. and Ulloa, P.A. 2006. Methane generation in landfills. *Ren. Energy* 32: 1243–1257
- Uribe, J.M., Varnero, M.T. and Benavidez C. 1992. Biomasa de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill) como acelerador de la digestión anaeróbica de guano de bovino. *Simiente* 62(1):14-18
- Varnero, M.T., Uribe, J.M. y López, X. 1992. Factibilidad de una biodigestión anaeróbica con mezclas de guano caprino y cladodios de tuna (*Opuntia ficus-indica*. L. Mill). *Terra Aridae* 11: 166 - 172.

- Varnero, M.T. y López, X. 1996. Efecto del tamaño y edad de cladodios de tuna en la fermentación metanogénica de guano de bovino. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Boletín N° 11. 80 – 89.
- Varnero, M.T. and García de Cortázar, V. 1998. Energy and biofertilizer production: alternative uses for pruning-waste of cactus-pear (*Opuntia ficus-indica*. L. Mill). pp. 96-102. In: C. Saenz, ed. Proceedings. International Symposium «Cactus pear and nopalitos processing and uses». Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, FAO (International Technical Cooperation Network on Cactus pear. CACTUSNET-FAO). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma.
- Vigueras, A.L.G. and Portillo, L. 2001. Uses of *Opuntia* species and the potential impact of *Cactoblastes cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) in México. Florida Entomologist 84(4): 493-498
- WRI, World Resources Institute. 2003. "CO<sub>2</sub> Emissions by country". Carbon Emissions from energy use and cement manufacturing, 1850 to 2000. Available on-line through the Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) at Washington, DC: World.

**Contacto para consultas técnicas sobre la demanda:**

**Ing. Jaime Paz Arrezola**  
**Secretario Ejecutivo SNITT**  
Teléfono (55) 56398981  
Correo Electrónico [jpaz@snitt.org.mx](mailto:jpaz@snitt.org.mx)

**Ing. Guillermo del Bosque Macías**  
**Director General de Fibras Naturales y Biocombustibles**  
Teléfono (55) 38711000 ext 40182  
Correo Electrónico [guillermo.delbosque@sagarpa.gob.mx](mailto:guillermo.delbosque@sagarpa.gob.mx)