



ANEXO B. DEMANDAS DEL SECTOR 2011-15

I. Demandas por Temas Estratégicos Transversales

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, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos”.

Estas demandas se han clasificado en el área estratégica:

I Temas Estratégicos Transversales

A las empresas públicas, privadas, universidades e instituciones públicas y particulares, centros, institutos, laboratorios y demás personas físicas y morales dedicadas a la investigación y al desarrollo tecnológico, con énfasis en la vinculación con el sector Agropecuario, de Pesca y Acuicultura e Industrial y que se encuentren inscritas en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT) a que se refiere el artículo 25, fracción II de la Ley de Ciencia y Tecnología (LCYT), que tengan intención de participar con propuestas que atiendan más de una demanda, se les sugiere presentarlas por separado, dicha estrategia permitirá el desarrollo eficaz y ágil del proceso de evaluación

I. Demandas por Temas Estratégicos Transversales

Bioenergéticos

Demanda 1.1

Desarrollo de tecnologías de producción de etanol y/o metano con jugo y biomasa sólida de agave tequilero y/o mezcalero proveniente de plantaciones existentes y/o nuevas plantaciones en las regiones de cultivo de México.

Beneficiarios del proyecto

Productores de agave tequilero y/o mezcalero de la república mexicana que se interesen en producir bioenergéticos mediante el aprovechamiento de sus cultivos y de los residuos originados en los procesos de campo e industria.

Antecedentes

El género *Agave* tiene una relación milenaria con la historia de México, ha sido útil en una amplia gama de aplicaciones en el desarrollo cultural de México: alimentos, medicamentos, aspectos religiosos, construcción, textiles e incluso ornamentales. El género pertenece al orden *Asparagales* y a la familia *Agavaceae* con más de 200 especies y más de 47 categorías infraespecíficas, de los cuales el 75 % se encuentran en México, que es el centro de origen del género. Hay alrededor de 135 especies endémicas de *Agave* en México (Narváez-Zapata y Sánchez-Teyer, 2009). De estas, el *Agave tequilana* Weber variedad azul (agave azul) es la especie con mayor importancia económica en México debido a la producción de tequila.

Agave spp, utiliza un tipo de fotosíntesis llamado metabolismo ácido crasuláceo –MAC- (Crassulacean Acid Metabolism, CAM por sus siglas en inglés) el cual reduce la cantidad del agua transpirada por absorción de CO₂ durante la noche y luego internamente asimila azúcares a través de la fotosíntesis durante el día. Al abrir sus estomas por la noche, pierden mucha menos agua de lo que sucedería durante el día. Así, las especies de agave, tienen una eficiencia del uso del agua que puede ser hasta seis veces mayor que el de las especies C3 como el trigo.

Varias especies de agave se cultivan para obtener fibras gruesas o bebidas alcohólicas, así que las prácticas agronómicas están bien establecidas. Sorprendentemente, algunas especies de agave muestran una alta biomasa cosechable en tierras semiáridas, en ciclos de 5 a 6 años (Somerville *et al.*, 2004).

La producción de agave nacional del año 2009 en México, se presenta en Cuadro 1.

Cuadro1. Estados productores de agave en México año 2009

| Ubicación | Superficie Sembrada (ha) | Superficie Cosechada (ha) | Producción (t) |
|-----------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------|
| Jalisco | 107,700.12 | 7,404.22 | 659,707.66 |
| Oaxaca | 15,442.00 | 4,970.00 | 306,742.00 |
| Nayarit | 9,215.03 | 1,572.00 | 118,651.40 |
| Zacatecas | 4,416.00 | 527.00 | 39,445.00 |
| Puebla | 202.00 | 202.00 | 24,000.00 |
| Morelos | 497.00 | 195.00 | 15,630.00 |
| Guanajuato | 7,633.99 | 116.00 | 11,245.00 |
| Tamaulipas | 9,921.42 | 120.00 | 7,200.00 |
| Michoacán | 7,083.37 | 59.00 | 5,900.00 |
| Guerrero | 325.74 | 92.00 | 5,208.00 |
| México | 117.00 | 36.00 | 2,580.00 |
| Querétaro | 37.00 | 28.00 | 1,624.00 |
| Sonora | 48.00 | 0.25 | 9.97 |
| Aguascalientes | 673.00 | 0.00 | 0.00 |
| Baja california norte | 22.00 | 0.00 | 0.00 |
| Baja california sur | 5.00 | 0.00 | 0.00 |
| Colima | 310.33 | 0.00 | 0.00 |
| Quintana roo | 20.00 | 0.00 | 0.00 |
| San Luis Potosí | 90.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sinaloa | 1,579.70 | 0.00 | 0.00 |
| Yucatán | 136.40 | 0.00 | 0.00 |
| | 165,475.10 | 15,321.47 | 1,197,943.03 |

Producción agrícola; cíclicos y perennes; modalidad: riego + temporal; Agave, SAGARPA 25 abril 2011

Demanda

Evaluar el potencial productivo de los agaves tequilero y mezcalero cultivados en México para su uso como fuente de etanol combustible de primera generación.

Objetivo general

Caracterizar, evaluar y determinar el potencial agronómico y energético de la biomasa y jugo de agave tequilero y/o mezcalero para la producción de etanol y metano.

Objetivos específicos

- Recoger y analizar información agronómica sobre la producción de Agave tequilero y/o mezcalero en México, centrándose en las respuestas de las especies a las variables ambientales, edáficas y de manejo.
- Evaluar el contenido de fibra total, azúcares fermentables y no fermentables.
- Desarrollar componentes tecnológicos sustentables para agave tequilero y/o mezcalero como cultivo para bioenergéticos.
- Evaluar la competitividad del cultivo de agave tequilero y/o mezcalero como cultivo para bioenergéticos.
- Evaluar y seleccionar mejores métodos para la obtención de jugo de agave tequilero y/o mezcalero.
- Diseñar y evaluar tecnologías mejoradas de utilización de agave tequilero y/o mezcalero para obtener etanol combustible y metano.
- Determinar balance energético y de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de las tecnologías propuestas.
- Identificar genotipos con potencial para producción de bioenergéticos.
- Analizar los residuos originados en los procesos de campo e industria de agave tequilero y/o mezcalero como bioenergético y sus posibles usos económicos.

Justificación

Especies MAC como *Ananas comosus* (piña), *Opuntia ficus-indica* (nopal), *Agave sisalana* y *A. tequilana* pueden lograr una productividad alta en zonas donde la precipitación es inadecuada. Por otra parte el alto rendimiento potencial de *Opuntia* alcanzó notoriedad en 1900 cuando la productividad de *O. ficus-indica* de 47-50 Mg.ha⁻¹.año⁻¹. El cultivo en todo el mundo de Agave en 2002 fue >500,000 ha, principalmente para fibras y forraje, pero también para la producción de alcohol, ya sea en el forma de tequila (a partir de la doble destilación de fermentado de azúcares de los tallos y añadiendo piña, tallo y bases de hojas de *A. tequilana*), o como mezcal (bebida destilada por separado extraída de otras; ~10 especies) (Borland *et al.*, 2009).

En el contexto de los biocombustibles, las especies MAC ofrecen beneficios por su fisiología más allá de los bajos requerimientos de nutrientes y el uso eficiente del agua (Davi *et al.*, 2011).

Entre los usos potenciales que se le dan a la penca y fibra del agave tequilero se encuentra: abono orgánico, fibras crudas (para la producción de sogas, lazos, estropajos), combustible sólido y artículos de arriería, papel, alimento para ganado y elaboración de pan; sin embargo, el uso como sustrato de las pencas de *A. tequilana* Weber var. Azul desechadas durante la producción de tequila no ha sido investigado. Las características del material fibroso del *A. tequilana* Weber var. Azul son: celulosa 40-50%; hemicelulosa 20-35%; lignina 15-35%; materiales extraíbles 1-5% y cenizas 1-6%. Por lo que representa una fuente importante de biomasa.

Nota: Mg= megagramo 1 tonelada= 1 megagramo. NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.

Logros y avances

La generación y utilización de los biocombustibles se fundamenta en tres aspectos fundamentales:

1. Impulsar el desarrollo rural
2. Asegurar la soberanía energética nacional
3. Cuidado y conservación del medio ambiente

Sin embargo es fundamental evitar la competencia por el uso de suelo entre los cultivos para biocombustibles y los cultivos de alimentos, que pueden poner en riesgo la seguridad alimentaria del país.

Productos esperados

1. Un reporte con información agronómica del cultivo de agave tequilero y/o mezcalero según propuesta a desarrollar en México, centrándose en las respuestas de la(s) especie(s) a las variables ambientales y edáficas, con diferentes paquetes tecnológicos.
2. Reporte del contenido de fibra total, azúcares fermentables y no fermentables de agave tequilero y/o mezcalero.
3. Manual del proceso: producción de etanol y/o metano a partir de agave tequilero y/o mezcalero
4. Informe sobre métodos mejorados para la extracción de jugo y obtención de etanol y metano.
5. Guía de componentes tecnológicos: siembra, cosecha, y manejo poscosecha de agave tequilero y/o mezcalero.
6. Una evaluación de la rentabilidad, competitividad y sustentabilidad económica y ambiental de los cultivos más viables para la producción de biomasa en las regiones con potencial del país para agave tequilero y/o mezcalero, además de la utilización de todos los residuos del proceso y sus coproductos.
7. Evaluación del balance energético y de emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida de los cultivos de agave tequilero y/o mezcalero para etanol y metano, incluyendo las fases agrícolas, de transportes y de transformación industrial.

8. Un folleto tecnológico digital e impreso sobre agave tequilero y/o mezcalero con potencial para producción de bioenergéticos.
9. Evaluación o descripción de al menos un genotipo de agave mezcalero y/o tequilero optimizado como insumo para la producción de bioenergéticos en cada una de la(s) región(es) de producción seleccionada(s).
10. informe sobre los residuos originados en los procesos de campo e industria de agave tequilero y/o mezcalero y de su potencial como bioenergético además de sus posibles usos económicos.

Contacto para consultas técnicas sobre la demanda

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

Ing. Guillermo del Bosque Macías
Director General Adjunto de Bioeconomía
Teléfono (55) 38711000 ext 40182
Correo Electrónico guillermo.delbosque@sagarpa.gob.mx

Literatura citada

- Borland, A.M.; Griffiths, H.; Hartwell, J. and Smith, J.A.C. 2009. Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. *J. Exp. Bot.* 60(10): 2879-2896.
- Davi, S.; Dohleman, F. and Long, S. 2011. The global potential for Agave as a biofuel feedstock. *Global Change Biology.* 3:68-78
- Narváez-Zapata, J.A. and Sánchez-Teyer, L.F. 2009. Agaves as a Raw Material: Recent Technologies and Applications. *Recent Patents on Biotechnology* 3: 185-191.
- Somerville, C.; Bauer, S.; Brininstool, G.; Facette, M.; Hamann, T.; Milne, J.; Osborne, E.; Paredes, A.; Persson, S.; Raab, T.; Vorwerk, S. and Youngs, H. 2004. Toward a systems approach to understanding plant cell walls. *Science* 306: 2206–2211.

Demanda 1.2

Desarrollo de tecnologías de producción de metano y/o etanol a partir de jugo y biomasa de plantaciones existentes y/o nuevas plantaciones, en las regiones de cultivo de agave pulquero de México

Beneficiarios del proyecto

Productores de agave pulquero de la República Mexicana que pretendan utilizar y aprovechar sus cultivos y los residuos originados en procesos de campo e industria para la producción de bioenergéticos.

Antecedentes

El género *Agave* tiene una relación milenaria con la historia de México, ha sido útil en una amplia gama de aplicaciones entre el desarrollo cultural de México: alimentos, medicamentos, aspectos religioso, construcción, textiles e incluso ornamentales. El género pertenece al orden *Asparagales* y a la familia *Agavaceae* con más de 200 especies y más de 47 categorías infraespecíficas se han identificados, de los cuales el 75% se encuentran en México, siendo este el país de centro de origen del género, hay alrededor de 135 especies endémicas de *Agave* en México (Narváez-Zapata y Sánchez-Teyer, 2009).

Agave spp, utiliza un tipo de fotosíntesis llamado metabolismo ácido crasuláceo –MAC- (Crassulacean Acid Metabolism, CAM por sus siglas en inglés) el cual reduce la cantidad de agua transpirada por absorción de CO₂ durante la noche y luego internamente asimila azúcares a través de la fotosíntesis durante los el día. Al abrir sus estomas por la noche, pierden mucha menos agua de lo que sucede durante el día. Así, las plantas MAC tienen una eficiencia del uso del agua que puede ser hasta seis veces mayor que el de las plantas C3 como el trigo.

Varias especies de agave se cultivan para la producción de fibras gruesas y bebidas alcohólicas, así que las prácticas agronómicas están bien establecidas. Algunas especies de agave muestran una alta biomasa cosechable en tierras semiáridas en ciclos de 5 a 6 años (Somerville *et al.*, 2004). Por ejemplo, *A. desertii* crece con 430 mm de lluvia en California da 7 Mt.ha⁻¹.año⁻¹, en seco y *A. salmiana* crece con 320 mm de lluvia en México produce 10 Mt.ha⁻¹.año⁻¹.

Gran parte de la tierra donde ha caído la producción agrícola de diversos cultivos en todo el mundo es semiárida, y parece que la cantidad de tierra que puede estar disponibles para el cultivo de las especies de agave es enorme (Somerville, *et al* 2010).

Nota: Mt= megatonelada 1 millón de toneladas NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.

La producción de agave nacional del año 2009 en México, se presenta en Cuadro 1.

Cuadro1. Estados productores de agave en México año 2009

| Ubicación | Superficie Sembrada (ha) | Superficie Cosechada (ha) | Producción (t) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------|
| Jalisco | 107,700.12 | 7,404.22 | 659,707.66 |
| Oaxaca | 15,442.00 | 4,970.00 | 306,742.00 |

| | | | |
|--------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Nayarit | 9,215.03 | 1,572.00 | 118,651.40 |
| Zacatecas | 4,416.00 | 527.00 | 39,445.00 |
| Puebla | 202.00 | 202.00 | 24,000.00 |
| Morelos | 497.00 | 195.00 | 15,630.00 |
| Guanajuato | 7,633.99 | 116.00 | 11,245.00 |
| Tamaulipas | 9,921.42 | 120.00 | 7,200.00 |
| Michoacán | 7,083.37 | 59.00 | 5,900.00 |
| Guerrero | 325.74 | 92.00 | 5,208.00 |
| México | 117.00 | 36.00 | 2,580.00 |
| Querétaro | 37.00 | 28.00 | 1,624.00 |
| Sonora | 48.00 | 0.25 | 9.97 |
| Aguascalientes | 673.00 | 0.00 | 0.00 |
| Baja california norte | 22.00 | 0.00 | 0.00 |
| Baja california sur | 5.00 | 0.00 | 0.00 |
| Colima | 310.33 | 0.00 | 0.00 |
| Quintana roo | 20.00 | 0.00 | 0.00 |
| San Luis Potosí | 90.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sinaloa | 1,579.70 | 0.00 | 0.00 |
| Yucatán | 136.40 | 0.00 | 0.00 |
| | 165,475.10 | 15,321.47 | 1,197,943.03 |

Producción agrícola; cíclicos y perennes; modalidad: riego + temporal; Agave, SAGARPA 25 abril 2011

La bebida llamada pulque lleva un proceso de fermentación que inicia en el maguey, donde se encuentran microorganismos autóctonos como levaduras, bacterias lácticas, bacterias productoras de etanol y bacterias productoras de exopolisacáridos. Estos microorganismos transforman de manera natural parte de los azúcares disponibles en aguamiel, sin embargo el proceso se acelera por la adición de un inóculo iniciador llamado semilla (una porción de pulque previamente producido). El tiempo de fermentación puede durar de 12 a 48 horas a 25 °C, cuidando que los recipientes no tengan ninguna sustancia que inhiba los microorganismos mesofílicos. A medida que pasa el tiempo se presentan cambios importantes como un incremento en el porcentaje de etanol y formación de exopolisacáridos como β -glucanos y dextranos; que generan un incremento en la viscosidad transformando el fluido de newtoniano a no newtoniano (Cervantes y Pedroza, 2007).

Problemática

Los cultivos de agave pulquero en México se enfrentan a una fuerte caída de la demanda en su uso tradicional (producción de pulque). Sin embargo, podrían ser una fuente alternativa de azúcares fermentables para la producción de etanol combustible. Por su adaptación a climas subhúmedos y secos y sus bajas exigencias en cuanto a calidad de suelo, los agaves pulqueros no compiten por tierra y aguas para la producción de alimentos y de hecho ya están integrados a sistemas de producción sustentables en la forma de barreras vivas, cercos y formadores / protectores de terrazas para el control de la erosión y en la producción de levaduras para otras fermentaciones.

Algunas cuestiones a dilucidar para poder evaluar el uso de agaves pulqueros como fuente de etanol combustible son las relacionadas a:

- Posibilidad de obtener cultivares con ciclos más cortos hasta la cosecha.
- Técnicas más eficientes y de bajo costo para extraer el jugo azucarado.
- Utilización de las pencas una vez terminada la producción rentable de jugo.
- Tecnologías apropiadas para el almacenaje y conservación del jugo y su posterior fermentación para obtener etanol.
- Posibilidades de obtener otros productos o coproductos de mayor valor agregado (melazas de agave, endulzantes, inulina, etc.)
- Prácticas de cultivo que aumenten la productividad y reduzcan el tiempo hasta cosecha.
- Balance energético y de gases de efecto invernadero positivos de los sistemas de utilización de agaves pulqueros para producción de etanol combustible.

Demanda

Evaluar la productividad y producción de agave pulquero para determinar el potencial de este cultivo como fuente de etanol combustible y otros coproductos alimenticios o energéticos en sistemas integrados de utilización.

Objetivo general

Caracterizar, evaluar y determinar el potencial agronómico y energético de agaves pulqueros para la producción de insumos bioenergéticos, biocombustibles y coproductos alimenticios.

Objetivos específicos

- Recoger y analizar información agronómica sobre la producción de agave pulquero en México, centrándose en las respuestas de las especies a las variables ambientales y edáficas.
- Evaluar rendimientos de jugo (aguamiel) y los contenidos de fibras y azúcares en hojas, cabezas y limpieza de cabezas incluyendo los residuos de las inflorescencias de agave pulquero por edad.

- Desarrollar componentes tecnológicos sustentables (ejemplos) para agave pulquero como cultivo para bioenergéticos.
- Evaluar la competitividad del cultivo de agave pulquero como cultivo para bioenergéticos.
- Evaluar y seleccionar mejor método para la obtención de jugo de agave pulquero, su conservación y transporte a plantas industriales.
- Evaluar sistemas alternativos de aprovechamiento industrial del jugo y pencas de agaves pulqueros para obtener etanol, metano, biocombustibles sólidos y coproductos alimenticios.
- Identificar genotipos con potencial para producción de bioenergéticos de agave pulquero.
- Determinar balances energéticos y de emisiones de GEI de las tecnologías de producción y procesamiento de agave pulquero.
- Analizar y evaluar usos de residuos originados en los procesos de campo e industria de agave pulquero como bioenergético.

Justificación

Algunas especies MAC *Ananas comosus* (piña), *Opuntia ficus-indica* (nopal), *Agave sisalana* y *A. tequilana* pueden lograr una productividad alta en zonas donde la precipitación es inadecuada. El alto rendimiento potencial de *Opuntia* alcanzó notoriedad en 1900 cuando se observó la productividad de *O. ficus-indica* en 47-50 Mg.ha⁻¹.año⁻¹.

El cultivo en todo el mundo de Agave en 2002 fue >500,000 ha, principalmente para fibras y forraje, pero también para la producción de alcohol, ya sea en el forma de tequila (producido a partir de la doble destilación de fermentado de azúcares de piña, tallos y bases de hojas de *A. tequilana*), o como mezcal (bebida destilada por separado extraída de otras; ~10 especies) (Borland *et al.*, 2009).

En el contexto de los biocombustibles, las especies MAC ofrecen beneficios por su fisiología más allá de su baja demanda de nutrientes y el uso eficiente del agua. Otra característica de la fisiología de especies MAC es la acumulación de carbohidratos solubles no estructurales en los tejidos vegetales, lo que las vuelven opciones interesantes como materia prima para etanol (Davi *et al.*, 2011).

Nota: Mg= megagramo 1 tonelada= 1 megagramo. NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.

Logros y avances

En los últimos decenios se ha logrado comprobar la viabilidad técnica y económica de substituir una parte de los combustibles líquidos de origen fósil con biocombustibles como el etanol. Además, existe un proceso acelerado de reemplazo de carbón y petróleo por biocombustibles sólidos, en aplicaciones industriales, residenciales y en la industria eléctrica.

La generación y utilización de los biocombustibles se fundamenta en tres aspectos fundamentales:

1. Impulsar el desarrollo rural
2. Asegurar la soberanía energética nacional
3. Cuidado y conservación del medio ambiente

Sin embargo, es fundamental evitar la competencia por el uso de suelos y agua entre los cultivos para biocombustibles y los cultivos alimenticios, que podrían poner en riesgo la seguridad alimentaria del país.

Productos esperados

1. Un reporte con información agronómica de la producción de agave pulquero en México, centrándose en las respuestas de la(s) especie(s) a las variables ambientales y edáficas.
2. Evaluación de rendimientos de jugo (aguamiel) y contenidos de fibras y azúcares en hojas, cabezas (piñas) y limpieza de cabezas (inflorescencias) de agave pulquero por edad.
3. Descripción de tecnologías y manuales del proceso de producción de etanol y/o metano a partir de agave pulquero como cultivo para bioenergéticos
4. Informe sobre mejores métodos para la extracción, conservación y transporte de jugo
5. Guía de componentes tecnológicos: siembra, cosecha, y manejo poscosecha de agave pulquero.
6. Evaluación de rentabilidad, competitividad y sustentabilidad económica y ambiental de los cultivos en las regiones con potencial para agave pulquero.
7. Determinación de los balances energéticos y de emisiones de GEI de las tecnologías de producción y procesamiento de agave pulquero desde su cultivos hasta la obtención de etanol, metano y coproductos.
8. Análisis y evaluación de usos de residuos originados en los procesos de campo e industria de agave pulquero como bioenergético.
9. Un folleto tecnológico digital e impreso sobre agave pulquero con potencial para producción de bioenergéticos.
10. Al menos un genotipo de agave pulquero seleccionado como insumo para la producción de bioenergéticos en cada una de la(s) región(es) de producción seleccionada(s).

Literatura citada

- Borland, A.M.; Griffiths, H.; Hartwell, J. and Smith, J.A.C. 2009. Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. *J. Exp. Bot.* 60(10): 2879-2896.
- Cervantes, M. y Pedroza, A.M. 2007. El pulque: características microbiológicas y contenido alcohólico mediante espectroscopia RAMAN. *Nova.* 5(008): 135-146.

- Davi, S.; Dohleman, F. and Long, S. 2011. The global potential for Agave as a biofuel feedstock. *Global Change Biology*. 3:68-78
- Narváez-Zapata, J.A. and Sánchez-Teyer, L.F. 2009. Agaves as a Raw Material: Recent Technologies and Applications. *Recent Patents on Biotechnology* 3: 185-191.
- Somerville, C.; Bauer, S.; Brininstool, G.; Facette, M.; Hamann, T.; Milne, J.; Osborne, E.; Paredes, A.; Persson, S.; Raab, T.; Vorwerk, S. and Youngs, H. 2004. Toward a systems approach to understanding plant cell walls. *Science* 306: 2206–2211.
- Somerville, C.; Youngs, H.; Taylor, C.; Davis, S.C. and Long, S.P. 2010. Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science* 329: 790–792.

Contacto para consultas técnicas sobre la demanda

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

Ing. Guillermo del Bosque Macías
Director General Adjunto de Bioeconomía
Teléfono (55) 38711000 ext 40182
Correo Electrónico guillermo.delbosque@sagarpa.gob.mx

Demanda 1.3

Desarrollo de tecnologías de producción de metano y/o etanol a partir de biomasa y/o jugo de plantaciones de agave fibra existentes y/o nuevas plantaciones en las regiones de cultivo de México

Beneficiarios del proyecto

Productores de agave fibra de la república mexicana que pretendan desarrollar, utilizar y aprovechar sus cultivos y los residuos originados en los procesos de campo e industria para producir bioenergéticos.

Antecedentes

El género *Agave* tiene una relación milenaria con la historia de México, ha sido útil en una amplia gama de aplicaciones entre el desarrollo cultural de México: alimentos, medicamentos, aspectos religioso, construcción, textiles e incluso ornamentales. El género pertenece al orden *Asparagales* y a la familia *Agavaceae* con más de 200 especies y más de 47 categorías infraespecíficas se han identificados, de los cuales el 75% se encuentran en México, siendo este el país de centro de origen del género, hay alrededor de 135 especies endémicas de *Agave* en México (Narváez-Zapata y Sánchez-Teyer, 2009).

Agave spp, utiliza un tipo de fotosíntesis llamado metabolismo ácido crasuláceo –MAC- (Crassulacean Acid Metabolism, CAM por sus siglas en inglés) el cual reduce la cantidad de agua transpirada por absorción de CO₂ durante la noche en el frío del desierto y luego internamente asimila esto en azúcares a través de la fotosíntesis durante los más calientes días. Al abrir sus estomas por la noche, pierden mucha menos agua de lo que sucede durante el día. Así, las especies de agave, tienen una eficiencia del uso del agua que puede ser hasta seis veces mayor que el de las especies C3 como el trigo. Varias especies de agave se cultivan para la producción de sisal (fibras gruesas) así que las prácticas agronómicas están bien establecidas. Sorprendentemente, algunas especies de agave se ha informado que muestran una alta biomasa cosechada en tierras semiáridas cuando se las cosecha en ciclos de 5 a 6 años (Somerville *et al.*, 2004).

Henequén, (*Agave fourcroydes* Lem.), es una planta cultivada por su fibra que fue domesticado por los mayas prehispánicos en la Península de Yucatán. Su origen ha sido atribuido a *A.angustifolia* Haw, la única especie silvestre de agave que crece en esta área. Dentro del género, *A. angustifolia* tiene la más amplia distribución a lo largo de la costa del Pacífico, desde el estado mexicano de Sonora a Costa Rica, y a lo largo de la costa atlántica de Costa Rica hasta Tamaulipas, en altitudes que van desde el nivel del mar hasta 1500 msnm. En la Península de Yucatán, esta especie presenta un gradiente de variación morfológica en relación con su distribución geográfica, desde pequeñas plantas asociadas a las dunas costeras, plantas de tamaño intermedio en bosques tropicales caducifolios, y plantas más grandes en los bosques tropicales subcaducifolios. *Agave angustifolia* forma agregados de individuos a través de la propagación vegetativa, ya sea por rizomas o bulbillos, pero también está dotado de una gran capacidad de reproducirse sexualmente. Por lo que se sabe, ninguna investigación se ha publicado sobre la biología reproductiva de la especie.

Henequén es una planta cuyo éxito del cultivo se ha restringido a la Península de Yucatán, algunas regiones de los estados mexicanos de Tamaulipas y Veracruz, Cuba y el Nordeste de Brasil. En estas últimas áreas, el material fue introducido de Yucatán. El porcentaje de germinación de las semillas de henequén es ~ 9%, mientras que la de las plantas silvestres es de ~ 73% (Colunga-García *et al.*, 1999).

La piña del henequén se ha utilizado en la fabricación de una bebida alcohólica a nivel industrial con base en la patente IMPI 219235 (Rendón-Salcido *et al.*, 2007) pero el henequén es más conocido por su fibra. Sus hojas son cosechadas para la producción de fibra, la cual comienza cuatro años después de la siembra y continúa durante 20 años, después de lo cual el tamaño de la hoja comienza a disminuir y la planta se prepara para la producción de flores. Regularmente, una gran proporción de hidratos de carbono producidos por las hojas son destinados a la formación de fibras (Rendón-Salcido *et al.*, 2009)

Problemática

Cultivos como el agave que pueden prosperar en regiones áridas o semiáridas, podrían servir de materias primas celulósicas para obtener biocombustibles.

En el caso del Henequén, su demanda para la producción de fibra entró en marcado descenso a partir de la introducción de fibras sintéticas, lo que causó el abandono de las plantaciones y la virtual desaparición de la industria de cordelería en la mayor parte de las regiones de cultivo. Su posible uso como fuente de biomasa para la producción de etanol es una alternativa para recuperar este cultivo y utilizar tierras marginales para la agricultura. Si bien las hojas del henequén contienen cantidades bajas de carbohidratos solubles fermentables y una mayor proporción de fibras, existe la posibilidad de combinar la extracción de jugo y fibras, como insumos para producir en forma asociada etanol y combustibles sólidos procesados como pellets.

Por su alta productividad de biomasa y baja demanda de insumos, esta fuente de biomasa puede generar biocombustibles con un balance energético muy positivo y bajas emisiones de Gases de Efecto Invernadero a lo largo de su ciclo de vida. Además, la existencia de áreas importantes ya dedicadas al cultivo de henequén evitaría el cambio de uso del suelo.

Los principales problemas a dilucidar y resolver son:

- Identificar las áreas existentes y disponibles para cultivar henequén con altos rendimientos
- Evaluar la productividad y composición de la biomasa de henequén
- Analizar métodos y tecnologías de cosecha y procesamiento mejorados para obtener jugos fermentables, sustratos para biodigestión y fibras
- Diseñar sistemas de producción integrados de etanol, metano y biocombustibles sólidos procesados
- Determinar la competitividad y sustentabilidad de estos sistemas, con especial atención a sus balances energéticos y de emisiones GEI

Demanda

Evaluar el potencial del cultivo de Henequén como fuente de biomasa para bioenergéticos gaseosos, líquidos y sólidos de primera generación.

Objetivo general

Caracterizar, evaluar y determinar el potencial agronómico y energético de jugo y biomasa de agave fibra para la producción de insumos bioenergéticos de primera generación.

Objetivos específicos

- Recoger y analizar información agronómica sobre la producción de agave fibra en México, centrándose en las respuestas de las especies a las variables ambientales y edáficas.

- Evaluar azúcares y fibras contenidas en hojas de agave fibra por edad en forma cualitativa y cuantitativa.
- Desarrollar componentes tecnológicos sustentables para agave fibra como cultivo para bioenergéticos.
- Evaluar la competitividad del cultivo de agave fibra como cultivo para bioenergéticos.
- Evaluar y seleccionar métodos mejorados para obtener y procesar jugo de agave fibra en forma integrada a la obtención de fibra apta para pelletizar
- Identificar genotipos con potencial para producción de bioenergéticos de agave fibra
- Diseñar procesos de aprovechamiento de agave fibra para bioenergéticos como etanol, metano y biocombustibles sólidos.
- Determinar los balances energéticos y evaluar las emisiones de GEIS de las tecnologías de agave fibra en sistemas de producción de bioenergético.

Justificación

Algunos ejemplos de especies MAC *Ananas comosus* (piña), *Opuntia ficus-indica* (nopal), *Agave sisalana* y *A. tequilana*; todos los cuales pueden lograr una productividad casi máxima en zonas donde la precipitación es inadecuada. El alto rendimiento potencial de *Opuntia* alcanzó notoriedad en 1900 cuando la productividad de *O. ficus-indica* de 47-50 Mg.ha⁻¹.año⁻¹.

El cultivo en todo el mundo de Agave en 2002 fue >500,000 ha, principalmente para fibras y forraje, pero también para la producción de alcohol, ya sea en el forma de tequila (producidos a partir de la doble destilación de fermentados de azúcares de los tallos y bases de hojas de *A. tequilana*), o como mezcal, bebida destilada extraída de otras; ~10 especies) (Borland *et al.*, 2009).

En el contexto de los biocombustibles, las especies MAC ofrecen beneficios por su fisiología más allá de su baja demanda de nutrientes y el uso eficiente del agua. Otra característica de la fisiología de especies MAC es la acumulación de carbohidratos solubles no estructurales en los tejidos vegetales, lo que las vuelven opciones interesantes como materia prima para etanol (Davi *et al.*, 2011).

El cultivo de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) fue una de las actividades agrícolas más importantes de los Mayas. Durante la década de los 70 esta actividad empleó cerca de 50% de la población económicamente activa de la península de Yucatán. La planta de henequén requiere de varios años de crecimiento antes de alcanzar el estado productivo. Durante el proceso de crecimiento, el henequén es cosechado conjuntamente con agricultura de roza-tumba-quema (milpa) durante dos o tres años hasta alcanzar su maduración. Este patrón de cultivo produce un mosaico complejo de paisajes con bosque secundario, henequén y milpa-henequén. Así, las grandes áreas de bosque

tropical seco existentes en la Península de Yucatán, consideradas por mucho tiempo como bosques primarios son, sin lugar a dudas, bosques secundarios (Ceccon *et al.*, 2005).

La crisis del sistema productivo basado en el Henequén ha ocasionado el abandono de la mayor parte de las áreas de cultivo. La posibilidad de utilizar henequén como fuente de biomasa para producir bioenergéticos abre nuevas perspectivas para la recuperación de este cultivo, con potenciales beneficios económicos y sociales muy grandes.

Nota: Mt= megatonelada 1 millón de toneladas NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.

Logros y avances

En los últimos decenios se ha logrado comprobar la viabilidad técnica y económica de substituir una parte de los combustibles líquidos de origen fósil con biocombustibles como el etanol. Además, existe un proceso acelerado de reemplazo de carbón, gas natural y petróleo por biocombustibles sólidos, tanto en aplicaciones industriales como residenciales y en la industria eléctrica.

La generación y utilización de los biocombustibles se fundamenta en tres aspectos fundamentales:

1. Impulsar el desarrollo rural
2. Asegurar la soberanía energética nacional
3. Cuidado y conservación del medio ambiente

Asimismo es fundamental evitar la competencia del uso de suelo entre los cultivos para biocombustibles y cultivos alimenticios que podrían poner en riesgo la seguridad alimentaria del país.

Productos esperados

1. Un reporte sobre la información agronómica de la producción de agave fibra en México, centrándose en las respuestas de la(s) especie(s) a las variables ambientales y edáficas.
2. Información detallada sobre productividad, rendimiento y composición de la biomasa cosechable de henequén, con especial atención al contenido de fibra y jugo extraíble y su concentración de azúcares fermentables y no fermentables, a lo largo de ciclo económico del cultivo.
3. Reporte de alternativas de proceso para obtención de jugo y fibras, producción de etanol, metano y biocombustibles sólidos procesados a partir de agave fibra.
4. Un informe sobre métodos mejorados para la extracción de jugo, separación y procesamiento de las fibras.
5. Una guía de componentes tecnológicos: siembra, cosecha, y manejo poscosecha de agave fibra.

6. Una evaluación de la rentabilidad, competitividad y sustentabilidad económica y ambiental de la producción de biomasa para bioenergéticos en las regiones con potencial del país para agave fibra.
7. Una evaluación de los balances energéticos y de emisiones de GEI de las tecnologías de producción y procesamiento de agave fibra en su ciclo de vida para la producción de bioenergéticos.
8. Un folleto tecnológico digital e impreso sobre pulquero con potencial para producción de bioenergéticos.
9. Evaluar y/o descripción de al menos un genotipo de agave fibra seleccionado como insumo para la producción de bioenergéticos en cada una de la(s) región(es) de producción seleccionada(s).

Literatura citada

- Borland, A.M.; Griffiths, H.; Hartwell, J. and Smith, J.A.C. 2009. Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. *J. Exp. Bot.* 60(10): 2879-2896.
- Ceccon, E.; Olmsted, I.; and Campo, A. J. 2002. Vegetación y propiedades del suelo en dos bosques tropicales secos de diferente estado regeneracional en Yucatán. *Agrociencia.* 36: 621-631.
- Colunga-García, P.; Coello-Coello, J.; Eguiarte, L.E.; and Piñero, D. 1999. Isozymatic variation and phylogenetic relationships between henequen (*Agave fourcroydes*) and its wild ancestor *Aangustifolia* (Agavaceae), *Am. J. Bot.* 86: 115-123.
- Davi, S.; Dohleman, F. and Long, S. 2011. The global potential for Agave as a biofuel feedstock. *Global Change Biology.* 3:68-78
- Narváez-Zapata, J.A. and Sánchez-Teyer, L.F. 2009. Agaves as a Raw Material: Recent Technologies and Applications. *Recent Patents on Biotechnology* 3: 185-191.
- Rendón-Salcido, L.; Colunga-GarcíaMarín, P.; Barohona-Pérez L.F.; Pimienta-Barrios, E.; Magdub-Méndez, A. y Larqué-Saavedra, A. 2009. Azúcares y subproductos alcohólicos de henequén (*Agave fourcroydes*) en función de la edad de la planta y el clima. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(1): 39-44
- Rendón-Salcido, L.; Magdub-Méndez, A.; Hernández-Terrones, L. y Larqué-Saavedra, A. 2006. El jarabe de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.). *Rev. Fitotec. Mex.* 30(4): 463-467.
- Somerville, C.; Bauer, S.; Brininstool, G.; Facette, M.; Hamann, T.; Milne, J.; Osborne, E.; Paredes, A.; Persson, S.; Raab, T.; Vorwerk, S. and Youngs, H. 2004. Toward a systems approach to understanding plant cell walls. *Science* 306: 2206–2211.

Contacto para consultas técnicas sobre la demanda

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

Ing. Guillermo del Bosque Macías
Director General Adjunto de Bioeconomía

Teléfono **(55) 38711000 ext 40182**

Correo Electrónico guillermo.delbosque@sagarpa.gob.mx