

Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria,
Acuacultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos

Convocatoria 2017-03



ANEXO B. DEMANDA DEL SECTOR 2017-03

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:

Temas Estratégicos:

Demanda 3.- “Producción de bioetanol de 2ª generación, a partir de residuos agroindustriales y enzimas obtenidas de microorganismos autóctonos”.

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 Proyecto (multidisciplinario e interinstitucional) propuesto, debe cumplir con todos los productos esperados

Tema Estratégico

I. Demanda 3. “Producción de bioetanol de 2ª generación, a partir de residuos agroindustriales y enzimas obtenidas de microorganismos autóctonos”.

II. Beneficiarios del Proyecto

Sector productivo agroindustrial, Instituciones, Universidades, Centros e Institutos de investigación públicos y privados con cobertura a nivel nacional, que de manera individual o colectiva con experiencia en diferentes temas de investigación, innovación, producción y transformación de insumos para bioenergéticos y coproductos, y puedan beneficiarse con los resultados de la investigación, innovación y la producción de insumos para bioenergéticos y coproductos.

III. Antecedentes

Una visión integral retrospectiva, actual y de escenarios futuros deseables en cuanto a cambio climático y desarrollo sostenible la ofrece el Acuerdo de París, (Organización de las Naciones Unidas ONU-Convención Marco sobre el Cambio Climático, 2015), generado en Diciembre del 2015 dentro de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre el Cambio Climático.

Dentro de algunos de los elementos que fundamentan este acuerdo se encuentran:

a).- la aceptación consciente de que *“el cambio climático representa una amenaza apremiante y con efectos potencialmente irreversibles para las sociedades humanas y el planeta”* y que en consecuencia requiere una participación internacional apropiada para reducir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero;

b).- el contenido y alcances de la resolución A/RES/70/1 de la Organización de las Naciones Unidas-Asamblea General, 2015, de nombre: “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, en particular los objetivos 7, 8 y 9:

Objetivo 7. “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”.

Objetivo 8.”Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos”

Objetivo 9. “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación”.

La naturaleza misma de la demanda específica motivo de esta convocatoria está inmersa en su totalidad en este tipo de objetivos y escenarios de compromisos hacia el desarrollo sostenible. El bioetanol ha demostrado ser una alternativa como combustible frente a fuentes fósiles. Sin embargo, en la medida en que el bioetanol provenga de materias primas que no sean cultivos básicos para la alimentación, o de monocultivos, y particularmente que su origen se encuentre en fuentes de residuos agrícolas lignocelulósicos, esto es, bioetanol de 2ª. generación, se estará en sintonía con compromisos de menor impacto ambiental (Tilman, et al., 2009).

Las paredes celulares de las plantas son el componente básico del material lignocelulósico o fibroso (Buchanan, Grissem y Jones, 2015), mismo que contribuye a la arquitectura de la planta. La lignocelulosa está constituida por polisacáridos (celulosa, hemicelulosa) y compuestos aromáticos (lignina). La celulosa, polímero de glucosa, se encuentra aproximadamente en un 40% del material lignocelulósico; por su parte la hemicelulosa, polímero en cuya composición pueden participar como monómeros diferentes hidratos de carbono (manosa, xilosa, glucosa, galactosa y arabinosa) participa aproximadamente en un

20% de la lignocelulosa; por lo que respecta a los compuestos aromáticos están representados por la lignina, polímero del fenil-propano, y que es aproximadamente el 20% de la lignocelulosa (Lange, 2007). En síntesis, que para que un material lignocelulósico se transforme en sustrato viable para la reacción central y directa de producción de bioetanol, se requiere convertir a la celulosa y hemicelulosa a hidratos de carbono (C₆ y C₅) fermentables y separar a la lignina.

La primera planta comercial de bioetanol 2a. generación “Beta Renewables” o “BioCrescentino”, se abrió en Octubre 2013 en Crescentino, Italia, con una capacidad productora de 75 millones de litros anuales. Los accionistas son Biochemtex (compañía de Mossi & Ghisolfi, Italia), TPG Capital (Texas Pacific Group de los E.U.A) y Novozymes (de Dinamarca). En base a su información manifiestan que invirtieron 150 millones de euros y 7 años de investigación y desarrollo (I & D) en el centro I & D de Rivalta Scrivia en Italia (provincia de Alessandria), y las pruebas a nivel de planta piloto, se realizaron en una planta de capacidad de 1 tonelada de biomasa por día.

La biomasa que procesan es rastrojo de trigo local, rastrojo de arroz y caña común o falso bambú (*Arundo donax* L) de la familia Poaceae o gramínea.

Manifiesta “Beta Renewables” que si bien algunas compañías han sido capaces de obtener bioetanol a nivel laboratorio utilizando biomasa lignocelulósica, se han enfrentado con “muy altos costos para transferir estos procesos a escala industrial”. Sin embargo, con la tecnología que desarrollaron y que denominaron Proesa^{MR}, expresan que los costos son “muy competitivos”. Resumen dicha tecnología en un tratamiento de la biomasa a altas temperaturas y presiones, lo que hace viable la separación de celulosa y hemicelulosa de la lignina. A continuación se realiza la hidrólisis enzimática de los polisacáridos lo que produce los azúcares fermentables por levadura para la producción de etanol. Indican que la lignina junto con el biogás derivado del proceso se recuperan y se utilizan en la caldera para generar energía y calor.

Mencionan también que participan o han participado en 4 proyectos más de producción de bioetanol a partir de material lignocelulósico bajo el esquema tecnológico Proesa ^{MR}: en los Estados Unidos de América (E.U.A.), a partir de pastos locales; en Brasil, de bagazo de caña de azúcar; en la República Popular China, de rastrojos de trigo y de maíz; y en la República de Eslovaquia a partir de rastrojo de trigo.

En México, se ha realizado (Borja-Bravo, et al., 2013), una estimación del promedio anual de la producción de rastrojos de cuatro cultivos: maíz, sorgo, trigo y cebada, alcanzando 37.5 millones de toneladas, lo que representa de acuerdo a los autores el 83.4% de residuos de cosecha (rastrojos) en el país. Agregan también que el cultivo del maíz es el mayor proveedor de rastrojos (56%), esto es aproximadamente 31 millones de toneladas. Del período 2008 al 2011, los siguientes 13 estados encabezaron la producción de rastrojos de maíz: Sinaloa, Jalisco, Chiapas, Michoacán, México, Guerrero, Guanajuato, Veracruz, Chihuahua, Puebla, Oaxaca, Hidalgo y Tamaulipas (Borja-Bravo, et al., 2013).

Existen otras fuentes de material lignocelulósico en el país como lo es el bagazo de caña de azúcar. En base al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014, los siguientes estados son productores de caña de azúcar (ordenados de mayor a menor producción): Veracruz, Jalisco, San Luis Potosí, Oaxaca, Tamaulipas, Chiapas, Nayarit, Tabasco, Morelos, Michoacán, Puebla, Quintana Roo, Colima, Sinaloa y Campeche. La producción en toneladas de caña de azúcar para el 2014 fue de aproximadamente 57 millones de toneladas, lo que implica que se generaron ~16 millones de toneladas de bagazo de caña de azúcar (~28% de la caña).

Se suman a las fuentes de biomasa lignocelulósica en México, residuos de agave, piña, coco y sorgo dulce entre otros.

La generación de tecnologías con criterio de desarrollo sostenible para la producción en México de bioetanol por regiones, a partir de materias primas nacionales, implica necesariamente la participación multidisciplinaria (científicos, ingenieros, humanistas) y la vinculación interinstitucional.

IV. Problemática

A nivel nacional, se han identificado algunos factores en la actividad primaria que forman parte de la problemática existente para la producción de biocombustibles, como son:

1. No se cuenta con material vegetativo disponible para establecer cultivos comerciales bioenergéticos.
2. Baja productividad de insumos bioenergéticos existentes.
3. Poca transferencia de tecnología de investigaciones en insumos para bioenergéticos.
4. Poca organización de los actores de la cadena de valor de bioenergéticos.
5. Baja o nula producción de biocombustibles por falta de insumos/cultivos para bioenergéticos.
6. Existencia de grandes volúmenes de residuos lignocelulósicos en México.
7. No se cuenta con tecnologías propias para el desarrollo de procesos de bioenergéticos de 2ª generación, con el menor impacto ambiental.
8. No se cuenta con enzimas propias para la producción de azúcares fermentables a partir de residuos lignocelulósicos.
9. No se cuenta con un estudio económico-financiero que justifique la producción a escala industrial de bioetanol de 2ª generación con cultivos bioenergéticos.

10. Se desconoce el balance energético real del proceso de producción de bioetanol a partir de tecnologías propias para 2ª generación, que justifique su producción en función de un gasto energético positivo.

V. Logros y avances

Como ya se mencionó, la primera producción industrial de bioetanol de 2ª generación a nivel mundial, inició en Octubre 2013, en un país desarrollado (Italia), utilizando como materia prima principalmente residuos hemicelulósicos de origen local, con una tecnología que a decir de sus desarrolladores es rentable y con autosuficiencia energética, ya que la lignina separada y el biogás producido es reciclado para la generación de energía.

Por otra parte, se tiene registro de un proyecto de investigación de título: *New feedstock and innovative transformation process for a more sustainable development and production of lignocellulosic ethanol o BABETHANOL*, ahora concluido, y que fue patrocinado por la Comunidad Europea (No. Proyecto 227498) a través del Programa de Cooperación sobre Energía FP7, con un monto igual a 4,389 841 euros. Este proyecto estuvo vigente del 05-01-2009 al 30-04-2013.

Participaron 6 países (México, Costa Rica, Francia, Italia, Finlandia y España). Por México la Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., Consejo Regulador del Tequila, A.C. y la empresa Procazúcar, S.A. de C.V. Hasta donde se puede conocer, se alcanzaron avances parciales en el desarrollo de una tecnología para la producción de etanol de 2ª generación con una sola materia prima de México: fibra de agave azul, pero no existe ninguna planta piloto (tratamiento de 1 tonelada de bagazo por día) en México de este tipo.

En Septiembre del 2015 en el Instituto Tecnológico de Veracruz, se inauguró la primer planta piloto de etanol a partir de sorgo dulce, apoyada con el fondo

SAGARPA-CONACYT, proyecto # 173411, la cual puede procesar hasta 3 toneladas de sorgo dulce por día, lo que genera alrededor de 1.2 a 1.5 toneladas de bagazo por día, siendo en México una de las plantas pilotos productoras de bioetanol a partir de la biomasa del cultivo de sorgo dulce.

VI. Propósito de la Demanda:

Producción de bioetanol de segunda generación a partir de enzimas obtenidas de microorganismos autóctonos con cultivos energéticos agroecológicos.

VII. Objetivos

1.1 Objetivo General:

Producir bioetanol carburante de segunda generación, como elemento de diversificación del sector agroindustrial, basado en un esquema de transformación del material lignocelulósico en azúcares fermentables.

1.2 Objetivos Específicos:

1. Identificar al menos siete residuos agroindustriales: caña de azúcar, maíz, agave, piña, coco, sorgo dulce, trigo, cebada, de entre otros, que provean el mayor contenido de celulosa y hemicelulosa para la obtención de bioetanol de segunda generación.
2. Determinar el rendimiento, composición y potencial de uso de los materiales lignocelulósicos, así como de los hidrolizados ácidos, alcalinos y enzimáticos de los residuos lignocelulósicos (caña de azúcar, maíz, agave, piña, coco, sorgo dulce, trigo, cebada, de entre otros), para la producción de bioetanol.
3. Desarrollar y/o validar procesos de producción de bioetanol de segunda generación utilizando al menos siete materiales con mayor potencial para producirlo.

4. Evaluar el uso de enzimas comerciales y enzimas de microorganismos autóctonos, en la hidrólisis enzimática de los residuos lignocelulósicos para la obtención de azúcares fermentables, a nivel laboratorio y planta piloto.
5. Establecer las mejores condiciones alcanzadas a nivel laboratorio en las diferentes etapas del proceso, así como el uso eficiente de residuos, fermentación y el modo de operación del biorreactor para el escalamiento y evaluar la factibilidad operativa a nivel planta piloto.
6. Implementar la instrumentación y el control de las variables del proceso de fermentación y destilación en la planta piloto, para poder evaluar en Planta Piloto los procesos escalados y establecer las mejoras necesarias hacia la optimización.
7. Determinar la eficiencia energética de cada uno de los procesos.
8. Determinar la factibilidad técnica-económica-financiera de la producción de bioetanol a partir de los hidrolizados lignocelulósicos de (caña de azúcar, maíz, agave, piña, coco, sorgo dulce, trigo, cebada, de entre otros), así como de los productos intermedios y subproductos generados durante el proceso de producción de bioetanol.
9. Determinar, el Balance Energético, la Reducción de Gases de Efecto Invernadero, el Análisis de Ciclo de Vida y proyectar la sostenibilidad de los procesos involucrados.
10. Establecer cursos de capacitación teórico- prácticos (al menos 30 horas.) para la profesionalización de técnicos y usuarios en la producción de etanol de segunda generación.
11. Generar guías y manuales para realizar auto-estudios de pre-factibilidad de la producción de bioetanol de segunda generación.
12. Generar guías y manuales de operación de la tecnología para la producción de bioetanol de segunda generación elaborados a partir de biomasa residual a nivel planta piloto.

VIII. Justificación

Este proyecto propone el aprovechamiento integral de los residuos de procesos agroindustriales que eventualmente pudieran tener otros usos, como combustibles (bagazo de la caña de azúcar y del sorgo dulce), como alimento para animales (rastrajo de maíz y cebada), o como base para producir biofertilizantes (bagazos de coco, piña, trigo, agave) entre otros, así como el uso de sorgo de grano. Estos usos alternativos, aunque importantes, pueden ser superados al destinarse a la producción de bioetanol anhidro de 2ª generación, además de generar subproductos.

Por otro lado, el aprovechamiento de estos residuos agroindustriales y cultivos amiláceos para producir bioetanol anhidro contribuye a sustituir materias primas que pueden destinarse a producir alimentos que se consideran prioritarios por el acelerado crecimiento demográfico, sin embargo, aunque éste es un problema de suma importancia, el calentamiento global debido al aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera y la contaminación ambiental por los productos derivados de la producción y transformación de los combustibles fósiles puede acabar con la existencia del ser humano sobre el planeta. De ahí la importancia de orientar la economía hacia modelos energéticos renovables, como la producción de bioetanol anhidro como combustible y/o como carburante-oxigenante de las gasolinas.

El proyecto apoya el desarrollo regional sostenible por su orientación ecológica, generación de empleos y contribución a limitar el proceso migratorio.

IX. Productos a entregar

- Base de datos de la producción y disponibilidad de al menos siete residuos agroindustriales: (caña de azúcar, maíz, agave, piña, coco, sorgo dulce, trigo, cebada, de entre otros), considerados para producir bioetanol anhidro de segunda generación.
- Identificación de los siete residuos agroindustriales que provean la mayor cantidad de biomasa para convertir a bioetanol de segunda generación.
- Base de datos para la producción de enzimas hidrolíticas (celulasas, xilanasas) para la generación de azúcares fermentables para la producción de bioetanol.
- Planta piloto integral de segunda generación (capacidad de conversión de al menos 1 tonelada de biomasa por día), única en su tipo con tecnología Mexicana.
- Base de datos del balance energético de todos los procesos de segunda generación.
- Estudio de factibilidad técnica-económica-financiera para la escala de producción óptima posible, de 2ª generación.
- Generación de tecnología para obtener la mayor producción de azúcares fermentables en los siete residuos agroindustriales
- Capacitación a productores, técnicos e industriales a través de cursos, diplomados, demostraciones y simposios, para formar especialistas en la producción de bioenergéticos a nivel campo y proceso para que presten asesoría técnica en la producción de bioenergéticos a los productores e industriales.
- Registro de al menos dos patentes.
- Proceso de producción de bioetanol de 2ª generación “llave en mano” a nivel planta piloto.

X. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECYO

El “Proyecto de Bioeconomía 2010”, cuenta con una vigencia hasta el 22 de junio de 2018.

Derivado de lo anterior el proyecto a desarrollarse mediante ésta Convocatoria 2017-03, titulada “Producción de bioetanol de 2ª generación, a partir de residuos agroindustriales y enzimas obtenidas de microorganismos autóctonos” deberá cumplir con las actividades y entregables comprometidos, dentro de la vigencia señalada en el párrafo anterior.

XI. Literatura citada

- Beta Renewables, 2016. *Información de sus páginas electrónicas*. Disponible en: <http://betarenewables.com/crescentino/green-revolution> y <http://betarenewables.com/proesa/what-is> [Consultado 10 Enero 2016]
- Borja-Bravo, M., Muro-Reyes, L., Espinosa-García, J.A. y Vélez-Izquierdo, A. 2013. Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Capítulo 1 Producción y consumo de rastrojos en México [pdf] Disponible en: conservacion.cimmyt.org/index.php/es/component/.../1169-rastrojos [Consultado 10 Enero 2016]
- Buchanan, B.B., Gruissem, W. y Jones, R.L., 2015. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. 2a. ed. Chichester: John Wiley & Sons.
- Community Research and Development Information Service CORDIS, 2016. Babethanol. Disponible en: http://cordis.europa.eu/result/rcn/143038_en.html [Consultado: 10 Enero 2016].

- Lange, J.P., 2007. Lignocellulose conversion: an introduction to chemistry, process and economics. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, 1:39–48.
- Organización de las Naciones Unidas ONU-Asamblea General, 2015. *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* [pdf] ONU. Disponible en: <http://www.socialwatch.org/sites/default/files/Agenda-2030-esp.pdf> [Consultado 10 Enero 2016].
- Organización de las Naciones Unidas ONU-Convención Marco sobre el Cambio Climático, 2015. Acuerdo de París [pdf].ONU. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf> [Consultado 10 Enero 2016].
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014. Anuario de Producción Agrícola. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp [Consultado 10 Enero 2016].
- Tilman, D., Socolow, R., Foley, J.A., Hill, J., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T., Somerville, C. y Williams, R., 2009. Beneficial Biofuels-The Food, Energy, and Environment Trilemma. *Science*, 325 : 270-271.

Contacto para consulta técnica sobre la demanda 2017-03

Ing. Jesús G. Arroyo García

Director General de Fibras Naturales y Biocombustibles, SAGARPA

Correo Electrónico: jesus.arroyo@sagarpa.gob.mx

Tel: 01 55 38 71 1000 Ext: 21423