



FRONTERA BIOTECNOLÓGICA

Biotecnología Ambiental

*Conocimiento como
herramienta de mejora*

■ El papel de los
miRNAs en
plantas de interés
agronómico

■ Nutigenómica
*Camino seguro
hacia la salud*

SEP

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"



El Instituto Politécnico Nacional y la Red de Biotecnología del IPN
a través del
Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA)
organiza

**1ST BIOTECHNOLOGY
WORLD SYMPOSIUM &**

**9^o ENCUENTRO NACIONAL
DE BIOTECNOLOGÍA DEL IPN**

Líneas de Investigación:

Biotecnología Alimentaria

Biotecnología Vegetal

Biotecnología Ambiental

Biotecnología Médica y Farmacéutica

Desarrollo de Procesos Biotecnológicos

Biotecnología Acuícola y Pecuaria

Del 13 al 16 de octubre, Tlaxcala
www.9encuentro.cibatlaxcala.ipn.mx



Directorio
Instituto Politécnico Nacional
Dr. Enrique Fernández Fassnacht
Director General

Secretaría General

Daffny J. Rosado Moreno

Secretario Académico

Norma Patricia Muñoz Sevilla

Secretaria de Investigación y Posgrado

Óscar Jorge Súchil Villegas

Secretario de Extensión e Integración Social

María Eugenia Ugalde Martínez

Secretaria de Servicios Educativos

José Jurado Barragán

Secretario de Gestión Estratégica

Dely Karolina Urbano Sánchez

Secretaria de Administración

Cuauhtémoc Acosta Díaz

**Secretario Ejecutivo de la Comisión de Operación
y Fomento de Actividades Académicas**

Salvador Silva Ruvalcaba

Secretario Ejecutivo del

Patronato de Obras e Instalaciones

Adriana Campos López

Abogada General

Jesús Ávila Galinzoga

Presidente del Decanato

Jorge Edgar Puga Álvarez

Coordinador de Comunicación Social

Juan Rivas Mora

Director del Centro de Difusión de Ciencia y Tecnología

David Guillermo Pérez Ishiwara

Director Interino del CIBA IPN Tlaxcala

Raúl Jacobo Delgado Macuil

Subdirector Académico y de Investigación CIBA IPN Tlaxcala

Ángel Eduardo Absalón Constantino

Subdirector de Vinculación CIBA IPN Tlaxcala

Erik Ocaranza Sánchez

Subdirector de Innovación Tecnológica CIBA IPN Tlaxcala

Gonzalo Pérez Araiza

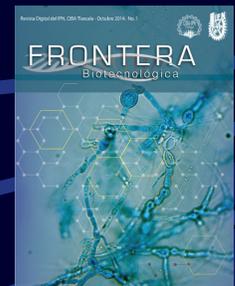
SopORTE Técnico

Ismael Sánchez González

Desarrollo web

Octavio Juárez Ocelotl

Diseño y Diagramación Frontera Biotecnológica



Diseño de Portada: Octavio Juárez Ocelotl
Fotografía: Germán Zafrá. Características macroscópicas
y microscópicas de hongos que conforman el consorcio
microbiano degradador de PAHs.

Cintillo legal

FRONTERA BIOTECNOLÓGICA, año 2, número 1, marzo - abril 2014, es una publicación bimestral editada por el Instituto Politécnico Nacional a través del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 57296000, Ext. 87816. <http://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx>, Editor responsable: Dr. Ángel Eduardo Absalón Constantino. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2013-041111522100-203, otorgado por Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Dr. Ángel Eduardo Absalón Constantino, Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, fecha de última modificación, 02 de diciembre del 2014.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

CONTENIDO

3

Mensaje editorial

4

Producción de bioetanol a base de biomasa lingocelulósica

Elva Lorena Vázquez Montoya, Eusevio Nava Pérez, Silvia Luna Suárez, Claudia Castro Martínez

16

Avances en el uso de microorganismos para la remediación de suelos contaminados con Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

German Zafra, Ángel E. Absalón, Diana V. Cortés-Espinosa

26

El importante papel de los miRNAs en plantas de interés agronómico

Flor de Fátima Rosas-Cárdenas, Silvia Luna-Suárez, Stefan de Folter

36

Los residuos valen si son bien aprovechados

Héctor Luna, Vanesa Chicato, Dalia Castillo, Wendy López, Myrna Solís, Erik Ocaranza

46

*Nutrigenómica
Alimentación adecuada y personalizada, camino seguro hacia la salud*

Crisrthian Johany Pérez Parada, Soley Berenice Nava Galicia y Martha Bibbins Martínez

56

Uso del lactosuero para la elaboración de queso

Ogilver Tenaza, Myrna Solís, Erik Ocaranza

Mensaje Editorial

La Biotecnología Moderna constituye una ciencia multi- y trans-disciplinaria en la que convergen conocimientos de frontera de disciplinas diversas como la Biología Molecular, la Genética, la Ingeniería Bioquímica, la Física, la Química, la Medicina, las nanociencias y muchas otras más. Hecho que ha permitido el avance vertiginoso de la Biotecnología en la última centuria. Numerosos descubrimientos han contribuido a la generación de nuevos productos y servicios para la salud humana, la veterinaria, la agricultura, el sector energético, la industria alimentaria, el medio ambiente y en general en todas las ramas de las ciencias biológicas.

No obstante los grandes descubrimientos que se han realizado y que han permitido ubicar a la Biotecnología como uno de los pilares fundamentales de la economía de los países desarrollados, es claro para todos que en economías emergentes como la nuestra, falta recorrer un largo camino para apuntalar a la Biotecnología como un eje fundamental del desarrollo y de manera muy importante para que el sector industrial y la sociedad en general tengan acceso a todos sus beneficios.

En nuestro país existen varias instituciones educativas, centros de investigación públicos y privados así como diversas empresas que trabajan activa e intensamente en la generación de nuevo conocimiento en esta área.

Es por eso que la revista Frontera Biotecnológica del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional abre a partir de este número un espacio electrónico de calidad que tiene como objetivo dar a conocer los avances recientes

en el campo de la Biotecnología. La meta es acercar el conocimiento biotecnológico a los sectores productivos, académicos y a la sociedad en general, para que pueda usar este conocimiento como una herramienta en la mejora de productos, servicios y su calidad de vida en general.

En esta primera edición, nosotros presentamos seis artículos de diferentes áreas de la biotecnología. El tema central de este número es la biotecnología ambiental. En cuatro documentos se hace una remembranza de las tecnologías actuales para el tratamiento de aguas residuales, la bioremediación de suelos contaminados, y el aprovechamiento de desechos y subproductos para la generación de fuentes de energía como el bioetanol y el biogás.

De igual forma, se incluye un documento que pretende exponer los avances en el estudio de los microRNAs y el papel fundamental que tienen en la regulación de diferentes funciones fisiológicas de las plantas. Y la forma en que este conocimiento puede ser utilizado en la mejora de actividades agronómicas. Al final, también se incluye un artículo muy interesante sobre nutrigenómica, que nos muestra una relación muy importante entre la genética personal y la nutrición.

Finalmente, a nombre de todo el comité editorial queremos agradecer a todos los patrocinadores de la revista quienes han apoyado enormemente en su creación y la divulgación de la misma. Lo cual, ayuda a completar la misión del Instituto Politécnico Nacional que es llevar “La Técnica al Servicio de la Patria”.



PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A BASE DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA

ELVA LORENA VÁZQUEZ MONTOYA¹, EUSEBIO NAVA PÉREZ¹, SILVIA LUNA SUÁREZ², CLAUDIA CASTRO MARTÍNEZ¹.

¹ CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, Depto. Biotecnología Agrícola, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes Num.250, Col. San Joachin, Guasave, Sin. C.P. 81101, México. Tels.: 01-687-87296-25 y 26, Ext. 87684.

² CIBA-IPN Tlaxcala, Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 5729 6000, Ext. 87814.

RESUMEN

En la actualidad a nivel comercial el bioetanol se obtiene como producto de fermentación de materias azucaradas y amiláceas, es una alternativa como combustible líquido para el sector del transporte aunque de momento no puede sustituir totalmente a la gasolina, pero si puede ser incluido en mezclas con esta y su combustión es amigable con el ambiente. La producción de bioetanol se puede clasificar en base a la materia prima utilizada como: primera, segunda y tercera generación. Los de primera generación dependen de cultivos alimenticios, esto genera la necesidad de producir bioetanol de segunda generación el cual requiere de insumos a base de biomasa lignocelulósica incluyendo los residuos industriales, de cultivos y madera, así como cultivos energéticos, los cuales son abundantes y no pone en riesgo la seguridad alimentaria. En la actualidad producir bioetanol con biomasa lignocelulósica es un gran reto tecnológico para llevar a cabo los cuatro pasos principales en su producción: 1) pretratamiento para deslignificar y exponer la celulosa, 2) hidrólisis celulolítica, 3) fermentación alcohólica y 4) purificación/separación del producto. Un inconveniente en el proceso es la baja actividad específica y eficacia de las enzimas comercializadas para degradar la celulosa, aumentando el costo de producción de estos complejos enzimáticos. A nivel mundial se está realizando investigación para solucionar los desafíos de producir bioetanol de segunda generación y llevarlo a nivel comercial para cubrir la escases del combustible fósil con un recurso renovable.

PALABRAS CLAVE : Biocombustible, bioetanol, biomasa lignocelulósica

ABSTRACT

Currently commercially bioethanol is produced as a product of fermentation of sugary and starchy materials, as an alternative liquid fuel for the transport sector but for now cannot fully replace gasoline, but it can be included in mixtures with this and its combustion is environmentally friendly. Bioethanol production described above is classified in first generation feedstock depends on food crops, this creates the need to produce second-generation bioethanol which requires inputs based on lignocellulosic biomass including industrial waste, crop and wood and energy crops, which are plentiful and not put food security at risk. Currently bioethanol with lignocellulosic biomass is a major technological challenge to perform the four major steps in its production: 1) pretreatment for expose the cellulose, 2) cellulolytic hydrolysis, 3) alcoholic fermentation and 4) purification/ separation product. A disadvantage of the process is the low specific activity and effectiveness of the enzymes to degrade cellulose marketed, increasing the cost of production of these enzyme complexes. Worldwide research is being done to solve the challenges of producing second-generation bioethanol and take commercially to meet a renewable resource with the scarcity of fossil fuel.

KEY WORDS: Biofuel, bioethanol, lignocellulosic biomass.

Bioenergía

La bioenergía ha sido el gran recurso bioenergético de la humanidad en su evolución a lo largo de los siglos, hasta la llegada de la revolución industrial, y sigue siendo un recurso esencial en los países menos desarrollados. Este tipo de energía se replantea como apuesta tecnológica de futuro a escala global, principalmente para suplir el vacío de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La bioenergía derivada de materias primas celulósicas (incluyendo los residuos industriales, de cultivos y madera, así como cultivos energéticos y no sustratos alimenticios, como maíz o caña de azúcar) es particularmente prometedor para aumentar el suministro de energía renovable (Carroll y Somerville, 2009; Liang *et al.*, 2012). La biomasa lignocelulósica es una fuente de materia prima renovable, abundante e inagotable, es rica en azúcares complejos, que pueden ser convertidos a combustible líquido para el transporte y otros productos químicos utilizando estrategias que incluyen la degradación de los carbohidratos complejos y una subsiguiente fermentación de los azúcares simples. La mayoría de la biomasa lignocelulósica (70% aproximadamente) esta compuesta de: celulosa, hemicelulosa, y lignina (O'Donovan *et al.*, 2013; Abramson *et al.*, 2010.; Somerville *et al.*, 2010).. Particularmente, la celulosa se propone como materia prima para la producción de bioetanol, sustituto de la gasolina producida a partir del petróleo.

La organización estructural de estos polímeros en la pared celular vegetal hace que tales materias primas sean de difícil conversión en la producción de bioetanol en comparación con el almidón. No obstante, la

biomasa lignocelulósica es prácticamente inagotable y es ahora el objetivo primordial para la producción comercial de biocombustibles y requiere de avances en muchas áreas de la ciencia y de la ingeniería. (Sarkar *et al.*, 2012, O'Donovan *et al.*, 2013).

Biocombustibles

La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos en México define como biocombustibles a los carburantes obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades agrícola, pecuaria, silvícola, acuacultura, algacultura, residuos de la pesca, domésticos, comerciales, industriales, de microorganismos y de enzimas, así como sus derivados producidos por procesos tecnológicos sustentables (SAGARPA, 2011). La producción mundial de biocombustibles líquidos destinados al transporte aumentó de 16 mil millones de litros en el año 2000 a más de 100 mil millones de litros en el año 2011. En la actualidad, alrededor del 3% del combustible utilizado en el transporte por carretera, proviene de los biocombustibles biodiésel y bioetanol, y la proporción de estos es considerablemente más alta en algunos países (por ejemplo: en 2009 Brasil produjo el 23%); según la Agencia Internacional de Energía (AIE), en el 2050 hasta el 27 % del total del combustible para transporte podría provenir de biocombustibles (FAO, 2013).

Según la AIE los biocombustibles líquidos se pueden clasificar en:

1) *Primerageneración*. Son los que actualmente se producen a nivel comercial a partir de azúcar de caña y maíz. En general, dependen de cultivos que utilizan técnicas similares a las cosechas agrícolas alimenticias.

2) *Segunda generación o lignocelulósicos*. No compiten por la utilización de suelos agrícolas, sino que son producidos a partir de biomasa lignocelulósica como la contenida en la paja, hierba, tallos, caña, raíces, madera, cáscaras, etc. Estos biocombustibles se encuentran en la fase pre-comercial.

3) *Tercera generación*. Son los biocombustibles provenientes de algas y otros microorganismos, así como el hidrógeno procedente de la biomasa. Aún se encuentra en la fase de desarrollo, muy lejos de su producción a gran escala y comercialización a corto plazo.

Uno de los biocombustibles que ha cobrado mayor importancia en los últimos años a nivel mundial es el bioetanol, producto principalmente a base de maíz y caña y cuya producción encabezan Estados Unidos y Brasil. El biodiesel en cambio se obtiene principalmente en Europa a partir por lo general de cultivos oleaginosos como colza, soya, canola y girasol. Actualmente en México el mercado para los biocombustibles tiene dos grandes vías de comercialización, la primera es la demanda que Petróleos Mexicanos (PEMEX) generara al comenzar a adquirir bioetanol o biodiesel para la oxigenación y venta de sus combustibles al público en

general, la segunda es la exportación a mercados donde la demanda será superior a su capacidad instalada de producción; en este caso, Estados Unidos representa un mercado potencial por la alta demanda que existe para bioetanol, la cual obedece a la necesidad de cumplir con los mandatos establecidos en su legislación vigente en materia de uso de energías y combustibles de origen renovable (SAGARPA, 2011).

Bioetanol

El etanol o alcohol etílico (CH₃-CH₂-OH) es el más común de los alcoholes líquidos y se caracteriza por ser un compuesto líquido, incoloro volátil, inflamable y soluble en agua. Este puede ser obtenido sintéticamente a partir del petróleo, o por conversión de materiales derivados de la biomasa, a través de la fermentación de sus azúcares o de ingredientes que se convierten en azúcar como el almidón, éste es el método más simple de producirlo y se le llama bioetanol. En Brasil y otros países tropicales que actualmente producen etanol, la materia prima más utilizada es la caña de azúcar, mientras que los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) utilizan la



Comercializadora e Importadora de Equipo para Laboratorio

www.labequim.com.mx

Manejamos las más prestigiadas marcas de equipo y consumibles para laboratorio

- Microscopios
- Estereo microscopios
- Autoclaves
- Viscosímetros
- Balanzas
- Criostátos
- Hornos de secado
- Centrífugas
- Cámaras climáticas
- Campanas de flujo laminar
- Consumibles de Histología
- Microtómicos
- Centro de inclusión
- Reactivos
- Cámaras para microscopio
- Medidores de pH
- Termociclador de PCR tiempo real
- Micropipetas
- Kits para biología molecular
- Refrigeradores para laboratorio
- Procesador de Tejidos



ventas@labequim.com.mx
Tel. 01(222) 219 88 18 / 274 50 72 / 73 Fax. 01(222) 274 50 72

remolacha azucarera y el componente feculento de los cereales como maíz, trigo, cebado, centeno, además de las papas y la yuca. No obstante, esta materia prima representa solo una pequeña parte de la masa vegetal total. En la mayoría de los casos, la materia vegetal se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina; las dos primeras se pueden convertir en alcohol una vez convertidas en azúcar, aunque este procedimiento es más difícil que el de convertir almidón en azúcar simple por ejemplo, glucosa. Actualmente se utilizan una amplia gama de cultivos como materia prima para producir bioetanol y biodiésel (Figura 1). Aunque, la producción mundial de bioetanol se deriva de la caña de azúcar o el maíz compitiendo con la producción alimentaria (Cuadro 1). A pesar de que el bioetanol se ha utilizado mayoritariamente como base en la producción de bebidas alcohólicas,

tales como cervezas, vinos, licores, etc. tiene además una serie de aplicaciones en la industria química, farmacéutica, y más recientemente como combustible para automóviles. El bioetanol ha sido usado como combustible automotor desde el nacimiento de los automóviles. En 1894, mientras Louis Renault, Armand Peugeot, Herbert Austin, Henry Ford, Karl Benz y otros intentaban adaptar el motor de combustión interna recientemente inventado en vehículos, simultáneamente en Francia y Alemania se investigaba como llevar a cabo la utilización del etanol en estos motores. Desde entonces y hasta nuestros días, el uso de este alcohol en vehículos automotores ha tenido un considerable avance, principalmente porque su uso reduce la dependencia del petróleo, disminuye emisiones contaminantes y se amplían las fuentes de energía alternativas para uso automotor (CONAE, 2014).

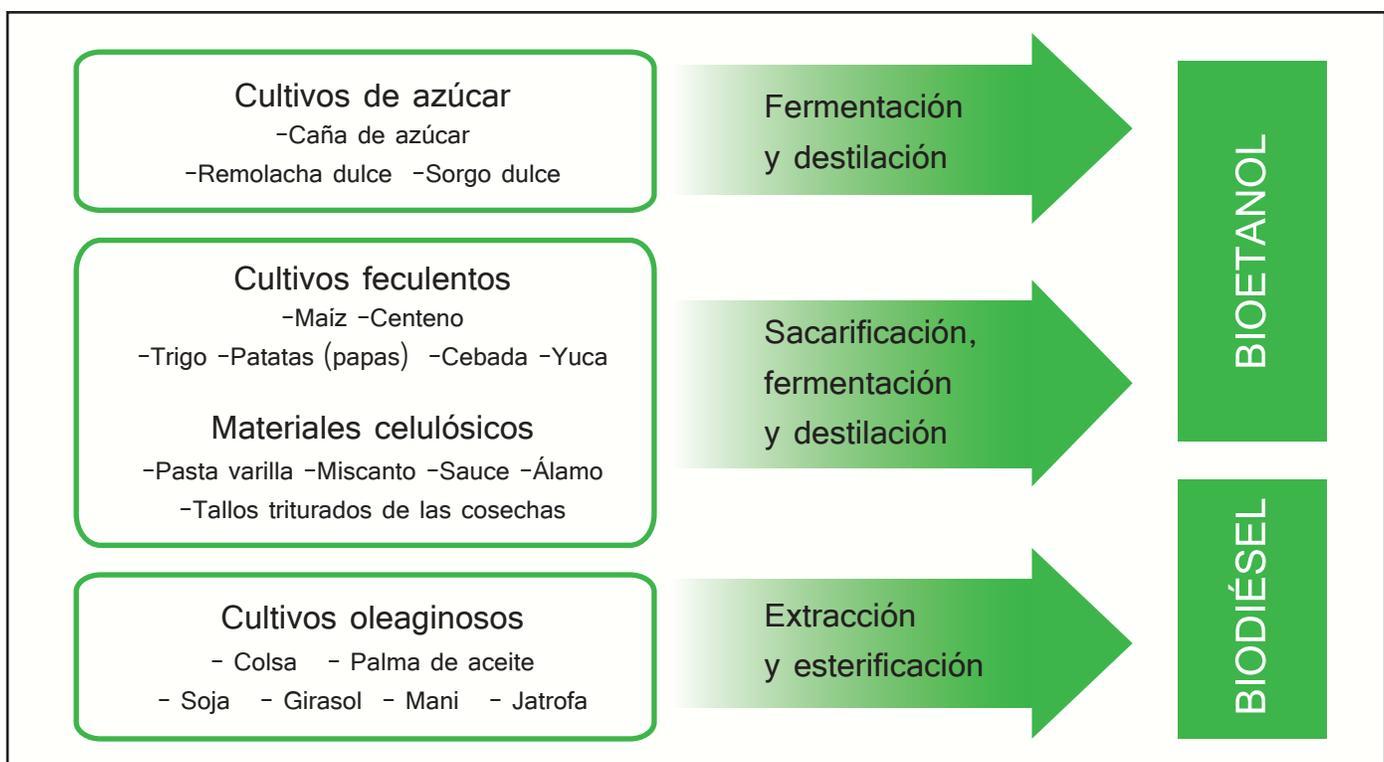


Figura 1. Conversión de materias primas agrícolas a biocombustibles líquidos (FAO, 2008).

Como biocombustible el etanol requiere tener por lo menos 99.5 grados Gay Lussac y puede ser empleado directamente como combustible o como un añadido a la gasolina en distintas concentraciones. La mezcla más común es para oxigenar a la gasolina, en una concentración de alrededor de 5%, reemplazando a un oxigenante llamado éter metil tert-

butilico (MTBE), que es altamente contaminante del suelo y del agua subterránea.

El etanol puede mezclarse con gasolina o quemarse puro en motores de encendido por chispa ligeramente modificados. Un litro de etanol contiene aproximadamente el 66 % de la energía suministrada por un litro de petróleo, pero posee un nivel más elevado de octanaje y, mezclado con gasolina para el transporte, mejora el rendimiento de esta última. Optimiza el consumo de combustible en los vehículos, reduciendo la emisión de monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar y carcinógenos. No obstante, la combustión de etanol también provoca una reacción más fuerte con el nitrógeno de la atmósfera, lo que puede provocar un aumento marginal de los gases de óxido de nitrógeno. En comparación con la gasolina, el etanol contiene solo una cantidad ínfima de azufre. Por tanto, la mezcla de etanol con gasolina

Cuadro 1. Rendimientos de algunas materias primas en la producción de etanol (Sánchez y Cardona, 2008).

Operador	Lugar	Capacidad de etanol (Ton / Año)	Escala	Estatus
Abengoa, Bioenergy	Salamanca, España	4 000	Demo	BC
BioGasol	Bornholm, Dinamarca	4 000	Demo	P
DTU, BioGasol	Copenhague	10	Piloto	OP
SEKAB	Örnsköldsvik, Suecia1	00	Piloto	OP
	Örnsköldsvik, Suecia4	500	Demo	P
	Örnsköldsvik, Suecia	50 000	Demo	P
	Örnsköldsvik, Suecia1	20 000	Comercial	P
Inbicon, DONG Energy	Fredericia, Dinamarca	110	Piloto	OP
	Fredericia, Dinamarca	1 100P	iloto	OP
	Kalundborg, Dinamarca	4 000	Demo	BC
Procetol 2G, Futurol	Pomacle, Francia1	40P	iloto	BC
	Pomacle, Francia2	840	Demo	P
Düd-Chemie	München, Alemania2		Piloto	OP

ayuda a reducir el contenido de azufre del combustible y, por consecuencia, bajan las emisiones de óxido de azufre, componente de la lluvia ácida y carcinógeno (FAO, 2008).

La biomasa lignocelulósica utilizada como materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación, está compuesta de polisacáridos (celulosa y hemicelulosa), lignina y una pequeña fracción restante de ácidos, sales minerales y cenizas (Fang *et al.*, 2010). La celulosa (20-50%) y la hemicelulosa (20-35%), las cuales son de vital interés en la producción de etanol, comprenden las dos terceras partes de la biomasa seca (Kumar *et al.*, 2009). La primera de ellas es un polímero formado por la unión de moléculas β -1,4-O-glucosídico mientras la última corresponde a un polímero de pentosas, sobre todo de D-xilanos y de otros azúcares como arabinosa, galactosa, glucosa y manosa (Mosier *et al.*, 2005). Mientras que

la lignina (10-35%) es un material que brinda rigidez a la biomasa (Kumar *et al.*, 2009).

El proceso de producción de bioetanol a partir de material lignocelulósico en general consta de cuatro pasos principales: 1) pretratamiento, 2) hidrólisis, 3) fermentación y 4) purificación/separación del producto. El pretratamiento es necesario para alterar la estructura y el tamaño macroscópico y microscópico de la biomasa, así como también su composición y estructura química submicroscópica (Yang y Wyman, 2001). De esta forma, la hidrólisis de la fracción carbohidratada a monómeros de azúcar puede ser alcanzada de manera más rápida y con conversiones considerables. En otras palabras, se busca hidrolizar la hemicelulosa, solubilizar la lignina y liberar la celulosa (Fang *et al.*, 2010; Sukumaran *et al.*, 2009; Wyman *et al.*, 2005). Antes de que ocurra la

hidrólisis celulolítica se realiza un proceso de desintoxicación de los componentes resultantes del pretratamiento por separación o adición de compuestos, con el objetivo de evitar la inhibición de los agentes biológicos en las etapas de hidrólisis y fermentación (Cardona y Sánchez, 2006).

En la hidrólisis de la celulosa, ocurre la conversión de los polímeros carbohidratados a monómeros de azúcar. En la hidrólisis enzimática, la celulosa es transformada en azúcares de seis carbonos (hexosas) como glucosa, galactosa y manosa, las cuales pueden ser fermentadas a etanol por varios microorganismos. Por otro lado, los azúcares de cinco carbonos (pentosas) como xilosa y arabinosa, son inmediatamente fermentadas por algunas cepas nativas, usualmente con baja conversión (Sukumaran *et al.*, 2009). Aquellas pentosas que no se pueden fermentar

Cuadro 2. Plantas comerciales, piloto y proyectadas para la producción de bioetanol de segunda generación en Europa (Gnansounou, 2010).

Autor y año	Materia prima	Metodología	Producción de Etanol
Kuhad <i>et al.</i> , 2010	Periódico	Hidrólisis enzimática: coctel comercial de exoglucanasas, β -glucosidasa y xylanasa. Tipo de fermentación: batch y fed-batch con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .	Batch: 5.64 g/L Fed-batch: 14.8 g/L
Cervereó <i>et al.</i> , 2010	Residuo de almendra prensada de Palma	Hidrólisis enzimática: enzimas comerciales. Tipo de fermentación: batch con <i>S. cerevisiae</i> .	12.5 g/L
Quevedo <i>et al.</i> , 2012	Crisantemo <i>Dendranthema grandiflora</i>	Hidrólisis: <i>Pleurotus ostreatus</i> Fermentación: batch con <i>S. cerevisiae</i> .	7.6 \pm 0.24 g /L
Kim <i>et al.</i> , 2013	Alcachofa de Jerusalem <i>Helianthus tuberosus</i> L.	Pretratamiento: H ₂ SO ₄ 0.1 a 8.0 % (v/v) y álcali. Hidrólisis enzimática: celulasa Cellic @ CTec2. Sacarificación y fermentación simultánea: batch y fed-batch con <i>Kluyveromyces marxianus</i> CBS1555.	Batch: 29.1 g/L Fed-batch: 70.2 g/L

BC: Bajo Construcción. P: Planeado

OP: Operacional

en el paso anterior de xilosa y arabinosas, son fermentadas a etanol por *Saccharomyces pombe*, *S. cerevisiae* y *S. amucae* (Cardona y Sánchez, 2006).

Finalmente, las corrientes resultantes de la fermentación es una mezcla de bioetanol, lignina residual, hemicelulosa y celulosa que no reaccionaron, cenizas, enzimas, microorganismos, entre otros componentes y agua. El producto antes mencionado es purificado por procesos de destilación o con la utilización de membranas, generando un bioetanol de alta pureza. En el Cuadro 2 se presentan las plantas piloto, comerciales y proyectadas para la producción de bioetanol de segunda generación en Europa al 2010.

El costo de producción de los biocombustibles, el impacto ambiental, la sustentabilidad y la calidad de estos en relación con los combustibles fósiles son consideraciones esenciales a analizar dentro de las perspectivas de la producción de bioetanol. En América del Norte las especies forrajeras perenes son una fuente de materia prima prometedora para los biocombustibles de segunda generación, debido a su bajo requerimiento de agua e insumos, su impacto ambiental es positivo, su alta capacidad de adaptación a las tierras de baja calidad y a la no competencia con la producción de alimentos en las tierras de mejor calidad (Vijai et al., 2013). La sostenibilidad de la



QUÍMICA VALANER

A lo largo de nuestra historia, Química Valaner, se ha consolidado como una empresa líder en la introducción y comercialización de tecnologías de amplio reconocimiento en el mundo, siendo nuestra premisa ser un pilar para el alcance de los objetivos de nuestros clientes, donde la disponibilidad de tecnologías de punta, no sean una limitante.

Además, siempre responsable de la preservación del medio ambiente, Química Valaner, ha incorporado a México, lo último en tecnologías ecológicas, cuyos desechos no representen un peligro de contaminación.

Actualmente, los equipos, insumos, instrumentos y reactivos que comercializa Química Valaner, cubren tres campos clave de desarrollo tecnológico de nuestro país:

- Investigación y enseñanza Científica básica
- Investigación y diagnóstico molecular
- Diagnóstico clínico

Para Química Valaner, el compromiso de máxima satisfacción de nuestros clientes, es la constante que nos guía, integrando un robusto equipo de asesores y ejecutivos de ventas, con el ideal de brindar un servicio integral y personalizado, acorde a los requerimientos y objetivos de nuestros clientes.



bioenergía de segunda generación se está impulsado y apoyado en Europa dentro de programas de certificación internacional, incluida la Dirección de Energías Renovables 2009/28/CE (EU-RED), la Sostenibilidad Internacional y Certificación del Carbono, la mesa redonda sobre Biocombustibles Sostenibles y la Asociación Mundial de la Bioenergía (Scarlat y Dallemand, 2011). A nivel mundial estudios han sido realizados sobre la producción de bioetanol utilizando diferentes materias primas lignocelulósicas (Cuadro 3).

Es probable que debido a varios factores, incluyendo la necesidad de eficiente tecnologías de conversión, la resistencia de los agricultores a plantar especies sin un mercado viable de bioenergía y de construir biorefinerías comerciales sin suministro de materia prima viable a largo plazo, sean los elementos que limitan la producción a nivel industrial de los biocombustibles de segunda generación (Mitchell et al., 2012). Otro inconveniente es la baja actividad específica y eficacia de las enzimas comercializadas hasta el momento para degradar la lignocelulosa y los altos costos de producción de estos complejos enzimáticos. Las enzimas son uno de los principales pilares necesarios para un futuro sostenible del bioetanol, la apasionante tarea de los últimos años sugiere que hay muchos caminos viables a seguir para mejorar aún más en el ámbito de

Cuadro 3. Producción de bioetanol de segunda generación de manera experimental.

Cultivo	Rendimiento agrícola (Ton / ha)	Rendimiento de etanol	
		Litros etanol / Ton	Litros etanol / ha
Caña	100	70	7 000
Bagazo de caña	27	140	3 780
Maíz	8	370	5 003
Bagazo de maíz	9	227	2 043
Yuca	20	180	3 600
Sorgo dulce	35	86	3 010
Remolacha	60	100	6 000

los biocombustibles de segunda generación (Harris et al., 2014).

Finalmente, cabe mencionar que existen grandes desafíos para reducir los costos en la producción de bioetanol, muchos de los cuales pueden ofrecer importantes oportunidades para la investigación y la innovación. En particular, en el Laboratorio de Biocombustibles del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa) del Instituto Politécnico Nacional, se están realizando estudios sobre la utilización de la biomasa lignocelulósica de algunos residuos de cultivos vegetales como maíz y moringa, así como de diversos microorganismos con capacidad celulolítica, para contribuir al avance de los retos biotecnológicos dentro de la producción de bioetanol de segunda generación.

Referencias

- Abramson, M., Shoseyov, O., y Shani, Z. (2010).** Plant cell wall reconstruction toward improved lignocellulosic production and processability. *Plant Science* 178: 61-72.
- Cardona, C. A. y Sánchez, O. J. (2006).** Energy consumption analysis of integrated flowsheets for production of fuel ethanol from lignocellulosic biomass. *Energy*, 31:2447-2459.
- Carroll, A. y Somerville, C. (2009)** Cellulosic biofuels. *Annu Rev Plant Biol* 60:165-182. doi:10.1146/annurev.arplant.043008.092125
- Cerveró, J. M., Skovgaard, P. A., Felby, C., Sørensen, H. R. y Jørgensen, H. (2010).** Enzymatic hydrolysis and fermentation of palm kernel press cake for production of bioethanol. *Enzyme Microbial Technology*, 46(3-4):177-184.
- Choudhary, S., Liang, S., Cai, H., Keoleian, G. A., Miller, S. A., Kelly, J., y Xu, M. (2014).** Reference and functional unit can change bioenergy pathway choices. *Int J Life Cycle Assess* 19:796-805. DOI 10.1007/s11367-013-0692-z. En: EPA (2012) Emissions & Generation Resource Integrated Database (eGRID). U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- CONAE, 2014.** Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Ficha técnica: Vehículos con Etanol. <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/466/1/images/vehiculoetanol.pdf>
- Fang, X., Shen, Y., Zhao, J., Bao, X. y Qu, Y. (2010).** Status and prospect of lignocellulosic bioethanol production in China. *Bioresource Technology*, 101: 4814-4819.
- FAO (2008).** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. En: El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Pag. 3-80.
- FAO (2013).** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La bioenergía y los biocombustibles, vías de las sostenibilidad. <http://www.fao.or/bionergy/28392-0a61de8f511d0a4do8b2137bc929214a7.pdf>
- Gnansounou, E. (2010).** Production and use of lignocellulosic bioethanol in Europe: Current situation and perspectives. *Bioresource Technology*, 101: 4842-4850.
- Harris, P. V., Xu, F., Kreel, N. E., Kang, C. y Fukuyama, S. (2014).** New enzyme insights drive advances in commercial ethanol production. *Chemical Biology* 19:162-170
- Quevedo, H. B., Monsalve, M. F., Narváez, R. P., Pedroza, R. A. y Velázquez, L. M. (2012).** Ethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* using lignocellulosic hydrolysate from *Crysanthemum* waste degradation. *World Journal Microbiology and Biotechnology*, 29:459-466.
- Kim, S., Park, J. M. y Kim C. H. (2013).** Ethanol production using whole plant biomass of Jerusalem artichoke by *Kluyveromyces marxianus* CBS1555. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 169:1531-1545.
- Kuhad, R. C., Mehta, G., Gupta, R. y Sharma, K. K. (2010).** Fed batch enzymatic saccharification of newspaper cellulose improves the sugar content in the hydrolysates and eventually the ethanol fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biomass Bioenergy*, 34(8):1189-1194.
- Kumar, S., Singh, S. P., Mishra, I. M. y Adhikari, D. K. (2009).** Recent Advances in production of bioethanol from lignocellulosic biomass. *Chemical Engineering Technology*, 32: 517-526.

Liang, S., Xu, M. y Zhang, T. (2012). Unintended consequences of bioethanol feedstock choice in China. *Bioresour Technology* 125:312–317. doi:10.1016/j.biortech.2012.08.097

Mitchell, R., Vogel, K. P. y Uden, D. R. (2012). The feasibility of switchgrass for biofuel production. *Biofuels* 3, 47 Mitchell, Rob, Vogel Kenneth, P., Uden, Daniel R., 2012. The feasibility of switchgrass for biofuel production. *Biofuels* 3: 47-59.

Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M. y Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96: 673-686.

O'Donovan, A., Gupta, V.K. y Tuohy, M.G. (2013). Recent updates in acid pretreatments and SEM analysis of acid pretreated grass biomass. In: Gupta, V.K., Tuohy, M.G. (Eds.), *Biofuel Technologies; Recent Developments*. Springer Science Publishers, USA, pp. 97- 118.

Sánchez, O. y Cardona, C. (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol From different feedstocks. *Bioresource Technology* 99: 5270-5295.

SAGARPA, (2011). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Bioenergéticos. Fecha de consulta: mayo 30 de 2014.
<http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/introduccion/por-que-son-importantes.html>.

Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S. y Aikat, K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: an overview. *Renewable Energy* 37 (1):19-27.

Scarlat, N. y Dallemand, J. F. (2011). Recent developments of biofuels/bioenergy sustainability certification: a global overview. *Energy Policy* 39: 1630-1646.

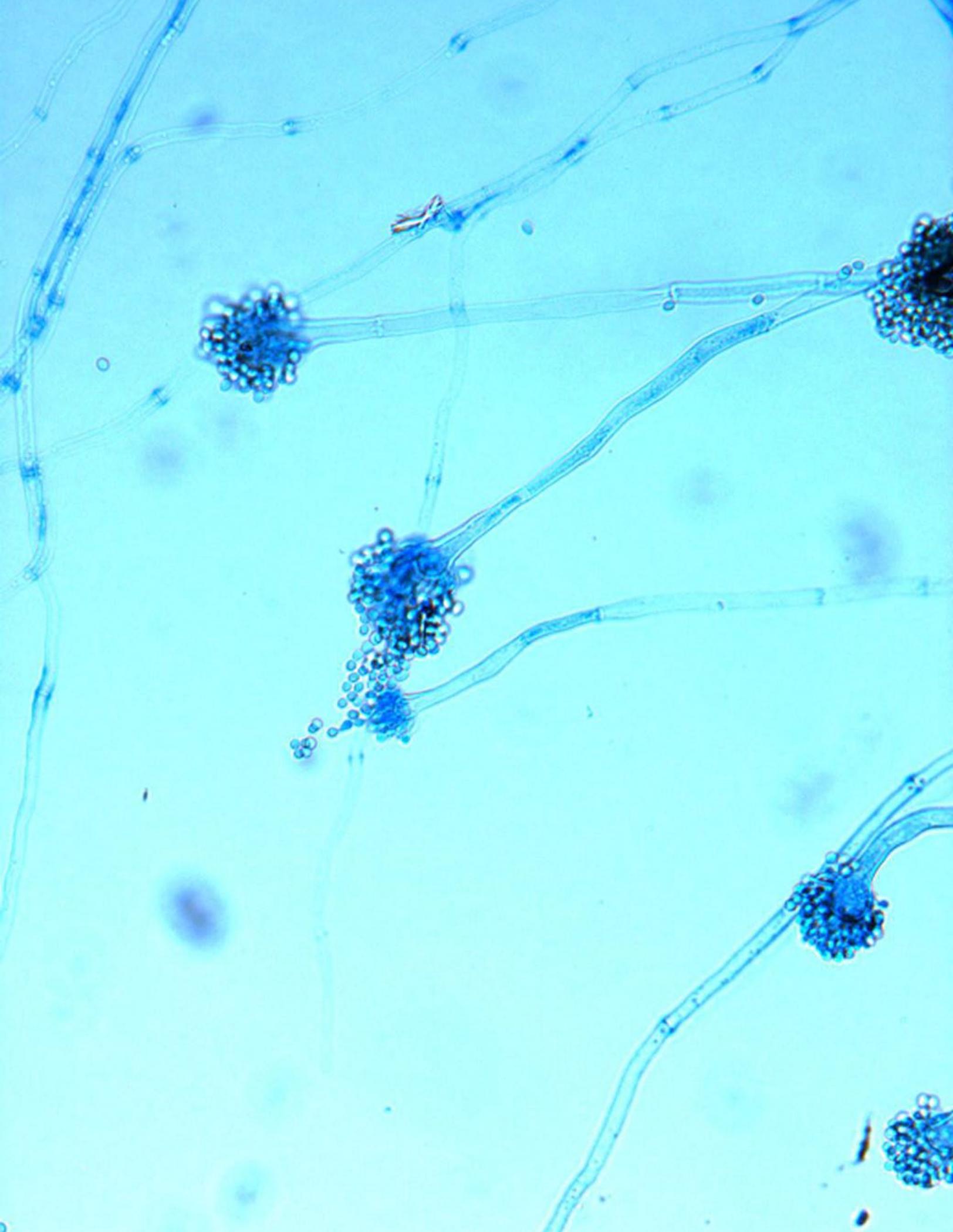
Somerville, C., Youngs, H., Taylor, C., Davis, S.C. y Long, S.P. (2010). Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science* 329: 790-792.

Sukumaran, R. K., Surender, V. J., Sindhu, R., Binod, P., Janu, K. U., Sajna, K. V., Rajasree, K. P. y Pandey, A. (2009). Lignocellulosic ethanol in India: Prospects, challenges and feedstock availability. *Bioresource Technology*. Vol. 101: 4826-4833.

Vijai, G. K., Potumarthi, R., O'Donovan, A., Kubicek, C. P., Dutt, M. G. y Tuohy, G. (2014). Bioenergy Research: An Overview on Technological Developments and Bioresources. En: *Bioenergy Research: Advances and Applications*. Editorial Elsevier, Amsterdam, 36-41.

Wyman, C. E., Dale, B. E., Elander, R. T., Holtzapple, M., Ladish, M. R. y Lee, Y. Y. (2005). Coordinated development of leading biomass pretreatment technologies. *Bioresource Technology*. Vol. 96:1959-1966.

Yang, B. y Wyman, C. E. (2008). Pretreatment the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol. *Biofuels Bioproducts and Biorefining*. Vol. 21: 26-40.



AVANCES EN EL USO DE MICROORGANISMOS PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS.

GERMAN ZAFRA, ÁNGEL E. ABSALÓN, DIANA V. CORTÉS-ESPINOSA

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN). Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala, México.

* Autor principal. E-mail: dcortes@ipn.mx. Tel./fax: +52 (248) 48707 65

RESUMEN

La contaminación de los suelos con hidrocarburos es un problema ambiental prioritario. Los episodios de contaminación continua con petróleo crudo y sus derivados, favorecen el depósito y acumulación de compuestos xenobióticos y potencialmente tóxicos en los suelos. Uno de los contaminantes ambientales que se consideran prioritarios debido a su alta toxicidad y persistencia, son los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs). Los PAHs son hidrocarburos que poseen características que favorecen su toxicidad y persistencia en el suelo, representando un riesgo para la flora y la fauna de los hábitats afectados. En esta nota se describen brevemente las investigaciones realizadas y algunos de los avances obtenidos en el CIBA-IPN en cuanto a la biorremediación de suelos contaminados con PAHs utilizando microorganismos nativos, modificados genéticamente y consorcios microbianos mixtos. Los resultados obtenidos demuestran que la biorremediación es una tecnología eficaz y promisoria para la remediación de suelos contaminados con PAHs, representando una alternativa costo-efectiva y amigable con el medio ambiente.

Palabras Clave: Biorremediación, PAHs, microorganismos, suelos, degradación

ABSTRACT

Contamination of soils with hydrocarbons is a priority environmental problem. Continuous contamination with crude oil and its derivatives favor the deposition and accumulation of xenobiotics and potentially toxic compounds in soils. One of the environmental pollutants considered as a priority in Mexico because of its high toxicity and persistence are the Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). PAHs possess characteristics that favor their toxicity and persistence in soil, representing a risk for the flora and fauna of affected habitats. This note briefly describes the research conducted at CIBA-IPN regarding the bioremediation of soils contaminated with PAHs by using native and genetically modified microorganisms, as well microbial consortia. The results demonstrate that bioremediation is an effective and promising technology for the remediation of soils contaminated with PAHs, being a cost-effective and environmentally friendly alternative.

Key Words: Bioremediation, PAHs, microorganisms, soils, degradation

Introducción

Durante las últimas décadas el avance de diferentes actividades industriales a nivel mundial, pero en especial de la industria petroquímica y de refinación del petróleo, ha dado origen a grandes cantidades de residuos peligrosos. Los accidentes y emergencias ambientales tales como fugas, derrames e incendios durante el almacenamiento y transporte del petróleo crudo y sus derivados, así como la disposición no controlada de los residuos que se generan, contribuyen en gran medida a la contaminación de los suelos y cuerpos de agua. En el caso particular de México, existe un número elevado de sitios con suelos contaminados con hidrocarburos. Según PEMEX, al finalizar el año 2013 el área total de la superficie de suelo afectada con hidrocarburos fue de 1,020.24 hectáreas, tan solo un 0.3% menos que el año 2012. Además

se presentaron 153 eventos de fugas y derrames; en total, tan solo en 2013 se estima un total de 7276 barriles de hidrocarburos derramados en suelos [1]

Los constantes episodios de contaminación con petróleo y sus derivados favorecen el depósito y acumulación de compuestos tóxicos en los suelos. Uno de los contaminantes ambientales que se consideran prioritarios debido a su alta toxicidad y persistencia son los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs). Los PAHs son compuestos químicos presentes en el petróleo crudo y poseen características físicas y químicas que favorecen su persistencia en el ambiente, así como de altos niveles de toxicidad. Por lo tanto los PAHs son contaminantes ambientales que pueden tener un fuerte impacto sobre la flora y la fauna de los hábitats afectados, resultando en la acumulación de productos

Thermolab

Única aprobada para pruebas de estabilidad
La mejor tecnología en vitrocuidad

Ideal para monitorear temperatura en procesos de distribución

Análisis de tiempo de vida de anaquel

Determinación de proteínas

Equipos de Laboratorio

- AGITADOR MAGNÉTICO
- AGITADOR ORBITAL
- AUTOCLAVE
- BALANZA ANALÍTICA
- BAÑO CON AGITACIÓN
- BAÑO REFRIGERADO
- BAÑO ULTRASÓNICO
- CÁMARA DE HUMEDAD
- CÁMARA PARA PRUEBAS DE ESTABILIDAD
- CAMPANA DE FLUJO LAMINAR
- CAMPANA EXTRACTORA DE HUMO
- CENTRÍFUGA CLÍNICA
- CENTRÍFUGA C/S REFRIGERACIÓN
- CENTRÍFUGA DE PISO
- CONCENTRADOR DNA / PROTEÍNAS
- CONGELADOR
- CONTENEDOR DE NITRÓGENO L
- CUARTOS DE GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO
- DIGESTOR KJELDAHL
- FERMENTADOR
- HOMOGENEIZADOR
- HORNO
- HORNO DE HIBRIDACIÓN
- INCUBADORA BOD
- INCUBADORA CO₂
- LIOFILIZADOR
- MICROCENTRÍFUGA
- MICROPIPETA
- MUFLA
- PARRILA C/S AGITACIÓN
- PROPÍPETA
- RECIRCULADOR DE AGUA
- REFRIGERADOR
- SONICADOR
- TERMOBLOCK
- TITULADOR
- ULTRACENTRÍFUGA
- ULTRACONGELADOR
- VORTEX

Labores de Biología Molecular

Labores de Control Ambiental

Control de Calidad

Control de Seguridad

Labores de Biotecnología

Labores de Física-Química

Resposta no mayor a 72 hrs.

Garantía mínima de 1 año

Soporte Técnico

Servicio de mantenimiento

Stock para entrega inmediata

Partners: VELER EQUIPMENT, PATAGON, Biocchetti, SONICS, NORLAKE, Hettich, JESICO, ITABIS, AC Gene, ENVIRON, hanil, INFORS HT, SOBEL, POL-EKO, ELERBACH, VELP SCIENTIFICA

Facebook: /Thermolab, Twitter: /ThermolabMX, LinkedIn: /in/thermolab, YouTube: /ThermolabMex

Primera Cerrada de Alifolares No. 6 Col. Granjas Coapa C.P. 14330 México D.F.

www.thermolab.mx

T [5255] 5603-4700 clientes@thermolab.mx

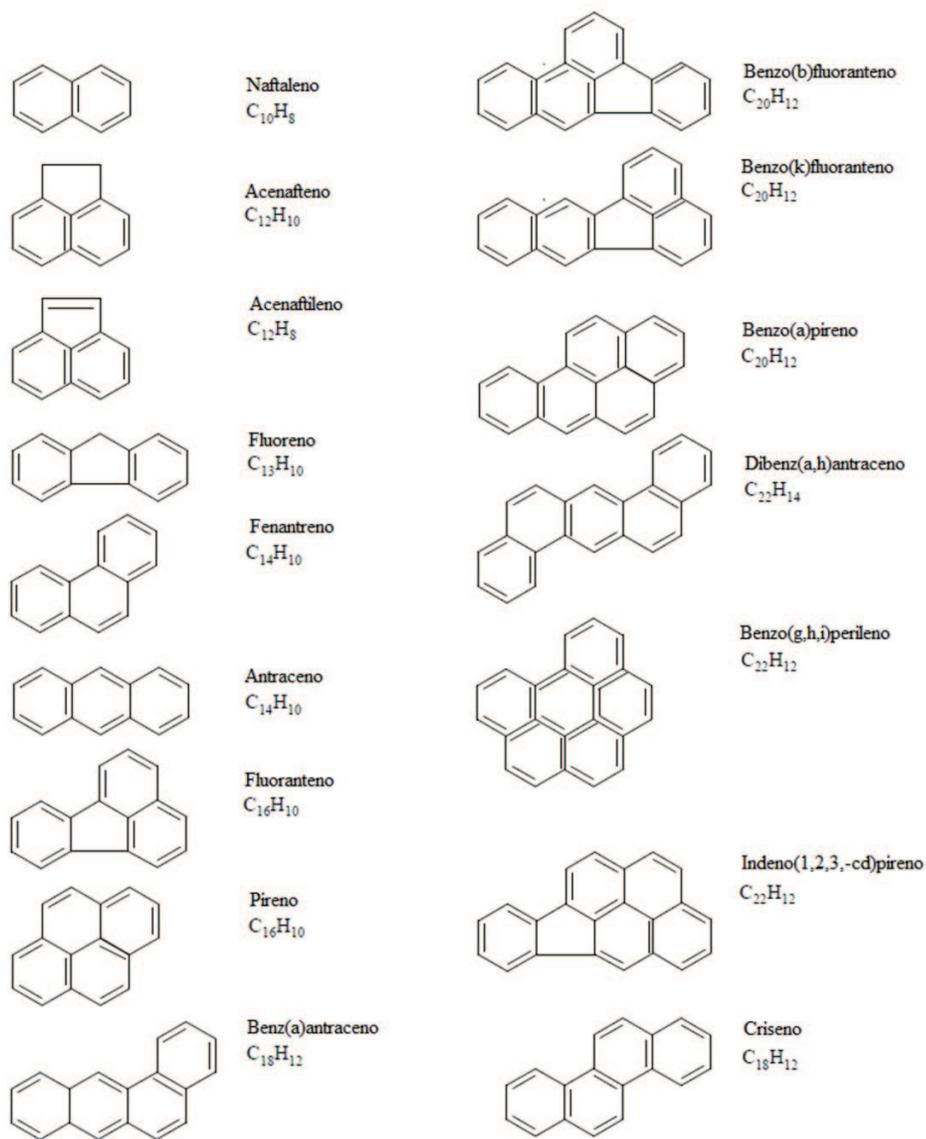


Figura 1. Estructura y fórmula molecular de 16 PAHs designados como contaminantes prioritarios por la US-EPA

químicos tóxicos y en problemas de salud graves o defectos genéticos en animales y seres humanos. La agencia de protección ambiental de USA ha designado a 16 de estos compuestos como prioritarios por su alta toxicidad y recalcitrancia (figura 1) [2].

En respuesta a esta problemática el grupo de investigación en *biotecnología ambiental y biorremediación* del CIBA-IPN ha venido adelantando investigaciones relacionadas con la recuperación y remediación de los suelos contaminados con PAHs y otros

hidrocarburos. El trabajo realizado hasta el momento se centra en la biorremediación de los suelos utilizando microorganismos tales como hongos y bacterias para descontaminar los suelos. En este artículo se describe de forma breve algunas de las estrategias y resultados obtenidos como resultado de estas investigaciones.

Biorremediación de suelos

Para eliminar o reducir la contaminación de los suelos con PAHs u otros hidrocarburos existen varias tecnologías y estrategias, cuyas condiciones óptimas de operación están determinadas principalmente por las propiedades físico-químicas del contaminante, su concentración y por las condiciones ambientales predominantes [3]. Existe un factor importante en la implementación de una tecnología de remediación: su costo. En este sentido la biorremediación, que se basa

en el uso de microorganismos para degradar los contaminantes, es una tecnología prometedora debido a su alta eficiencia y costo-efectividad. Desde hace más de tres décadas se ha demostrado que microorganismos tales como bacterias, hongos y algas poseen actividades catabólicas específicas que pueden ser aprovechadas para la remediación de aguas y suelos contaminados con PAHs [4]. La biorremediación hace uso de la versa-

tilidad metabólica de los microorganismos para degradar diferentes contaminantes peligrosos, entre ellos los PAHs.

El objetivo principal de la biorremediación es transformar los contaminantes orgánicos en compuestos no tóxicos o mineralizarlos a dióxido de carbono (CO₂) y agua [5]. Para esto, nuestra investigación se basa en el uso de dos estrategias generales: 1) la adición de microorganismos degradadores de contaminantes a los suelos o bioaumentación y 2) bioestimulación ambiental mediante la adición de fertilizantes y texturizantes, con el fin de mejorar las condiciones generales de crecimiento de los microorganismos degradadores en los suelos. Estas dos estrategias pueden aplicarse en el suelo mediante métodos como land farming, el composteo y las biopilas para la degradación de los PAHs en suelos [5].

Uso de hongos nativos

El papel de los hongos en el proceso de biodegradación de los PAHs y los mecanismos asociados al mismo se conocen ampliamente [6]. Dos grupos se encuentran directamente asociados con la degradación de PAHs: los hongos ligninolíticos (basidiomicetos), que aunque producen enzimas ligninolíticas que degradan PAHs no se adaptan bien al suelo y los hongos no ligninolíticos (principalmente ascomicetos), habitantes normales de los suelos pero que no producen la gama de enzimas producidas por los basidiomicetos.

Trichoderma asperellum H15 es un hongo filamentoso no ligninolítico aislado por nuestro grupo de un suelo contaminado con petróleo crudo pesado en el estado de Veracruz (figura 2). Este y otros hongos aislados del mismo suelo se caracterizaron por ser capaces de degradar hidrocarburos y presentar niveles de tolerancia elevados hacia diferentes tipos de PAHs [7]. El trabajo

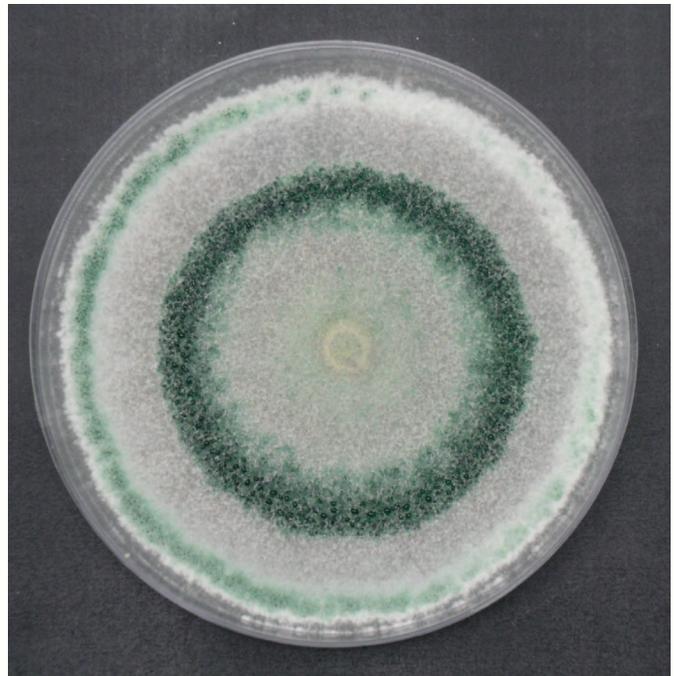


Figura 2. *Trichoderma asperellum* H15 en una placa de medio PDA después de 5 días de cultivo

posterior con *Trichoderma asperellum* H15 consistió en probar su capacidad para degradar PAHs de bajo (fenantreno) y alto peso molecular (pireno y benzo[a]pireno) en suelo a nivel laboratorio, mediante bioaumentación y bioestimulación con bagazo de caña. *Trichoderma asperellum* H15 se adaptó rápidamente al suelo contaminado, produciendo más CO₂ que cuando se cultivaba en suelos no contaminados, indicando una mayor actividad metabólica. Este hongo consiguió degradar entre 60 y 80% de los PAHs presentes en los suelos contaminados durante un periodo de dos semanas de tratamiento. También se observó que algunas enzimas, tales como lacasa, catecol dioxigenasa y diferentes peroxidasas no ligninolíticas estaban implicadas en diferentes momentos del proceso de degradación de los PAHs en sistemas de microcosmos. Los resultados mostraron el potencial de *T. asperellum* de ser usado en un proceso de biorremediación a mayor escala, gracias a su elevada

tolerancia, gran adaptación al suelo y a la producción de enzimas útiles para la degradación de hidrocarburos. Este es además el primer reporte de la utilización de esta especie de hongo en la biorremediación de hidrocarburos.

Uso de hongos modificados genéticamente

Como se mencionó anteriormente, los hongos no ligninolíticos no poseen la maquinaria enzimática capaz de degradar PAHs que poseen los hongos ligninolíticos, pero si pueden poseer otros tipos de enzimas útiles para hacerlo (como en el caso de *Trichoderma asperellum* H15). En consecuencia, otro de los trabajos llevados a cabo en el CIBA-IPN consiste en mejorar genéticamente hongos no ligninolíticos para que produzcan las enzimas de los hongos ligninolíticos [8]. De esta manera se busca mejorar la degradación de los PAHs en suelos combinando las características de ambos tipos de hongos que permitan acelerar el proceso.

Aspergillus niger SCB2 es un hongo aislado a partir de bagazo de caña, que inicialmente mostró niveles de tolerancia altos (800 ppm) y una capacidad moderada de degradar PAHs [9]. Este hongo fue modificado genéticamente para que produjera la enzima ligninolítica manganeso peroxidasa (MnP), producida originalmente por el hongo ligninolítico *Phanerochaete chrysosporium*, con el fin de aumentar su capacidad de degradación de PAHs. El hongo resultante fue denominado *Aspergillus niger* MnP+7 y se comprobó que después de la modificación era capaz

de producir la enzima MnP. En orden de probar la efectividad de la nueva cepa para degradar PAHs, se realizaron ensayos con suelos contaminados con 600 ppm de fenantreno, en donde se observó que la cepa podía degradar hasta 44% en un periodo de 14 días, en comparación con 7% que degradó la cepa sin modificar SCB2. Además la cepa transformante aumentó su capacidad de tolerar PAHs. Esto demuestra una vez más que los algunos hongos no ligninolíticos son una buena alternativa para su aplicación en sistemas de biorremediación, ya que pueden ser degradadores eficientes de PAHs y a la vez adaptarse bien y no ser desplazados fácilmente en el suelo por otros microorganismos.

Uso de consorcios microbianos

Un consorcio microbiano es la combinación

Científica Senna S.A. de C.V. ofrece soluciones para la investigación científica, nuestra compañía ofrece productos de marcas con renombre internacional, como son:

- SENNA** (CIENTIFICA)
- NOVUS BIOLOGICALS** (Today's Research. Tomorrow's Discovery)
 - Anticuerpos, Lisados, Peptidos, Proteínas y Kits
- ATCC**
 - Líneas celulares, bacterias, sueros y medios de cultivo
- MO BIO Laboratories, Inc.**
 - Extracción de ácidos nucleicos, enzimas, reactivos
- CORNING**
 - Material de Plástico, cajas de cultivo celular, multiplacas
- RayBiotech, Inc.** (the protein array pioneer company)
 - Microarreglos de Anticuerpos y Proteínas y Kits de Elisa
- cellgro**
 - Medios de Cultivo, suplementos, antibióticos
- Cytoskeleton, Inc.**
 - Anticuerpos para detectar actina y proteínas
- GOLDBIO.COM** (GOLD BIOTECHNOLOGY USA)
 - Reactivos, antibióticos, enzimas, factores de crecimiento
- IBI SCIENTIFIC**
 - Reactivos para biología molecular, electroforesis

Para mayor información de productos o marcas que ofrecemos favor de comunicarse a:
 Tel: (55) 5740-2603 info@cientificasenna.com www.cientificasenna.com

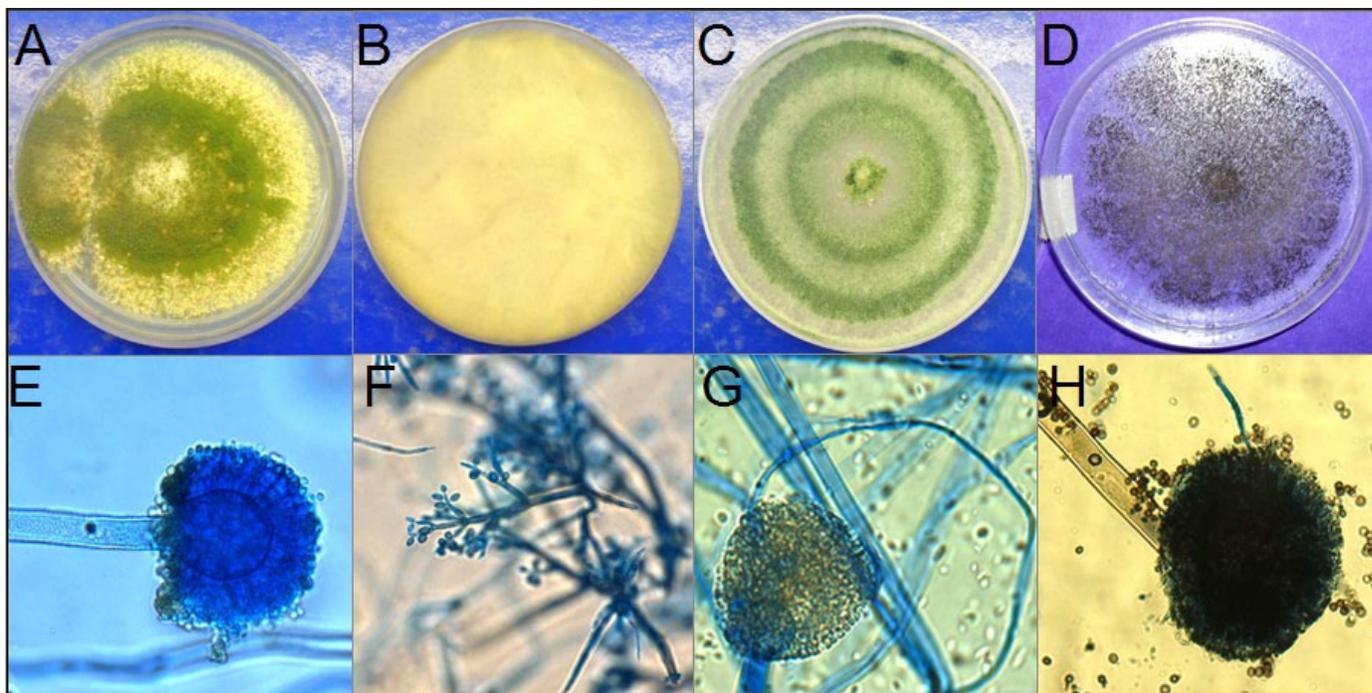


Figura 3. Características macroscópicas y microscópicas de hongos que conforman el consorcio microbiano degradador de PAHs. A, E) *Aspergillus nomius* H7. B, F) *Rhizomucor variabilis* H9. C, G) *Trichoderma asperellum* H15. D, H) *Aspergillus niger* LiP5.

de dos o más microorganismos diferentes conviviendo simbióticamente [10]. Para fines de biorremediación, la posibilidad de degradar y mineralizar un contaminante es mayor cuando las actividades enzimáticas de dos o más microorganismos se combinan [11]; por ello se han propuesto combinaciones definidas entre hongos y bacterias como una forma de mejorar la degradación de PAHs en los suelos, en especial de alto peso molecular [12].

Nuestro grupo de investigación está trabajando en la evaluación de las condiciones óptimas bajo las cuales sea posible implementar una tecnología de biorremediación de suelos contaminados mediante la bioaumentación con consorcios microbianos y la bioestimulación con residuos agroindustriales. Como parte de este trabajo se aislaron 21 cepas de hongos y 29 de bacterias a partir de suelos altamente contaminados con PAHs. Varios de estos hongos y bacterias

mostraron una resaltante tolerancia hacia concentraciones elevadas de PAHs [7, 13] y por consiguiente el potencial para degradar hidrocarburos en suelos. A partir de estos microorganismos se construyó un consorcio microbiano degradador conformado por 5 diferentes hongos (*Aspergillus flavus* H6, *Aspergillus nomius* H7, *Rhizomucor variabilis* H9, *Trichoderma asperellum* H15 y *Aspergillus fumigatus* H19) y 7 bacterias (*Klebsiella pneumoniae* B1, *Enterobacter sp.* B3, *Bacillus cereus* B4, *Pseudomonas aeruginosa* B6, *Streptomyces sp.* B8, *Klebsiella sp.* B10 y *Stenothrophomonas maltophilia* B14) (figura 3)[7].

El uso del consorcio en el tratamiento de un suelo contaminado con 1000 ppm de PAHs llevó a una degradación del 88% de fenantreno, 48% de pireno y 57% de benzo[a]pireno después de 14 días de tratamiento, utilizando como texturizantes y soporte de crecimiento tres residuos agroindustriales

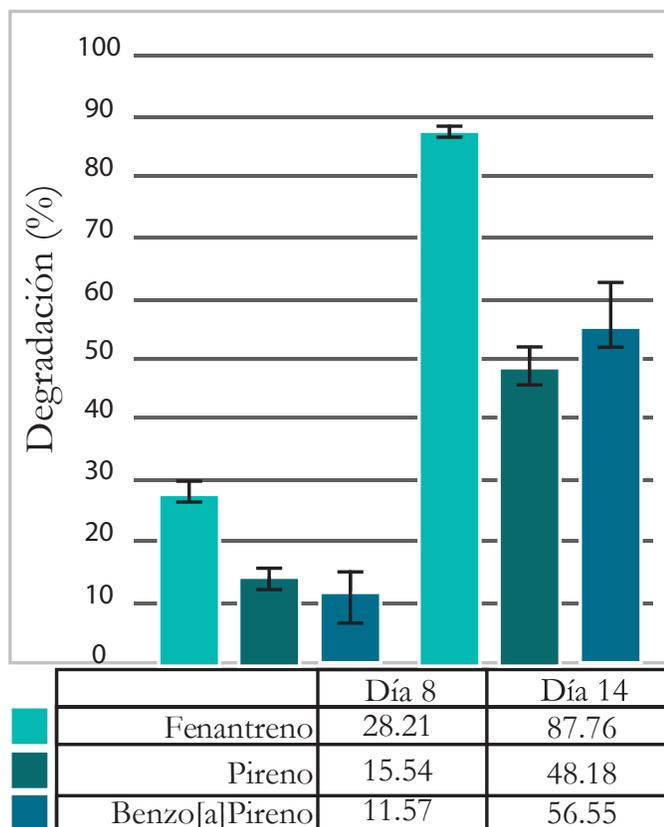


Figura 4. Degradación de PAHs a los 8 y 14 días por un consorcio microbiano en un suelo contaminado con PAHs

(bagazo de caña, paja de trigo y rastrojo de maíz) (figura 4). Este estudio, además de mostrar elevadas tasas de degradación de PAHs, representó el primer estudio en donde se evaluó la tolerancia de los microorganismos a concentraciones extremas de PAHs, llevando a la construcción de un consorcio microbiano altamente tolerante que se podría utilizar en sitios con niveles de contaminación muy elevados. Las principales ventajas del consorcio degradador son 1) el sitio del cual se aisló (altamente contaminado) y 2) su elevada tolerancia hacia PAHs de bajo y alto peso molecular, facilitando en general su adaptación y competición en sitios contaminados y asimismo aumentando la velocidad de degradación.

Conclusiones y perspectivas futuras

Los avances obtenidos y la investigación de los procesos y microorganismos asociados a la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados demuestran que la biorremediación es una tecnología viable, que puede utilizarse de forma barata y eficaz. En paralelo se están adelantando más investigaciones en cuanto al uso y optimización de las condiciones de degradación, tanto de microorganismos nativos como modificados genéticamente y a la supervivencia de los microorganismos degradadores en los suelos a través del tiempo. Son necesarios estudios adicionales para probar las tecnologías y microorganismos desarrollados por nuestro grupo a nivel de campo, así como para mejorar el entendimiento de los efectos e interacciones microbianas producidas en los suelos durante los procesos de biorremediación.

Agradecimientos

Los trabajos mencionados en esta nota fueron financiados por CONACYT proyecto CB2008-105643, IPN proyectos SIP20131157, SIP20144071 y CONACYT beca 269828.

REFERENCIAS

1. **PEMEX, Informe Anual 2013.** http://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Documents/informes_art70/2013/Informe_Anual_PEMEX_2013.pdf. Accessed 12 May 2014.
2. **US-EPA, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs).** (Office of Solid Waste, United States Environmental Protection Agency), <http://www.epa.gov/wastes/hazard/wastemin/minimize/factshts/pahs.pdf>. Accessed 12 May 2014.
3. **S. Gan, E.V. Lau, H.K. Ng, J. Hazard.** Mater. 172, 532-549, (2009).
4. **A.L. Juhasz, R. Naidu,** Int. Biodet. Biodegr. 45, 57-88, (2000).
5. **M. Alexander,** Biodegradation and bioremediation. 2nd edn. (Academic Press, San Diego, 1999).
6. **C.E. Cerniglia, G.R. Sutherland. in K.N. Timmis** (ed). Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology. Springer, Berlin ; London, 2010, pp. 2079-2110.
7. **G. Zafra, A.E. Absalón, M.C. Cuevas, D.V. Cortés-Espinosa,** Water Air Soil. Poll. 225, 1826, (2014).
8. **D.V. Cortés-Espinosa, Á.E. Absalón. in V. Kutcherov, and A. Kolesnikov** (eds). Hydrocarbon, 2013.
9. **B. Perez-Armendariz, O. Loera-Corral, L. Fernandez-Linares, F. Esparza-Garcia, R. Rodriguez-Vazquez,** Lett. Appl. Microbiol. 38, 373-377, (2004).
10. **M.T. Madigan, T.D. Brock,** Brock biology of microorganisms. 12th edn. (Pearson/Benjamin Cummings, San Francisco, CA, 2009).
11. **C.J. van der Gast, C.J. Knowles, M. Starkey, I.P. Thompson,** J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 29, 20-27, (2002).
12. **S. Boonchan, M.L. Britz, G.A. Stanley,** Appl. Environ. Microbiol. 66, 1007-1019, (2000).
13. **G. Zafra, A.E. Absalón, D.V. Cortés-Espinosa,** Second International Symposium on Bioremediation and Sustainable Environmental Technologies, A-13, (2013).



EL IMPORTANTE PAPEL DE LOS miRNAs EN PLANTAS DE INTERÉS AGRONÓMICO

FLOR DE FÁTIMA ROSAS-CÁRDENAS^{1*}, SILVIA LUNA-SUÁREZ¹, STEFAN DE FOLTER².

¹Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN), Exhacienda San Juan Molino, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, México.

²Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (LANGEBIO), CINVESTAV-IPN, Km. 9.6 Libramiento Norte, Carretera Irapuato-León, CP 36821 Irapuato, Guanajuato, México.

FRC: frosasc@ipn.mx

SLS: sluna@ipn.mx

SdF: sdfolter@langebio.cinvestav.mx

*Corresponding autor: Dra Flor de Fátima Rosas Cárdenas, frosasc@ipn.mx

RESUMEN

Los microRNAs (miRNAs) han emergido como importantes reguladores de la expresión génica, permitiendo el estudio de diversos procesos biológicos en plantas. El descubrimiento de la función de estas moléculas en la producción de cereales, el desarrollo y la maduración de frutos, la respuesta a estrés, la producción de pigmentos y otros procesos, abre un nuevo camino para el estudio de plantas de interés agronómico.

Palabras Clave

MicroRNAs, plantas de interés agronómico, regulación génica

ABSTRACT

MicroRNAs (miRNAs) have emerged as important regulators of gene expression, allowing the study of several biological processes. The discovery of the involvement of miRNAs in biomass production in cereals, fruit development and ripening, production of pigments, and other processes, opens numerous opportunities to study agronomically important crops.

Key Words

MicroRNAs, agronomically important crops, gene regulation

RYE

TODO PARA SU LABORATORIO

Estándares de Absorción Atómico - Reactivos Químicos y de Alta Pureza - Balanzas - Papel Filtro - Bombas Peristálticas - Vidriería

SHEL LAB
ATAGO EPPENDORF
CORNING WHATMAN OHAUS
BROOKFIELD BECTON DICKINSON
MERCK MILLIPORE GILSON FERMONT
THERMO SCIENTIFIC THERMO ORION HACH

01 800 7777 RYE (793)
www.reactivosyequipos.com.mx

Monterrey México Chihuahua Torreón Saltillo Aguascalientes S.L.P Guadalajara Mérida Irapuato y muchas ciudades más!

Introducción

Los microRNAs (miRNAs) son RNAs de cadena sencilla de 21-24 nucleótidos y han surgido como importantes reguladores de la expresión génica, a través de la complementariedad perfecta o casi perfecta a secuencias de RNAm (Xie et al. 2010) (Khraiweh et al. 2010). Esta unión conduce a la degradación inducida por el corte del RNAm o bien a la supresión de su traducción. Ambos procesos eventualmente resultan en la disminución del gen blanco (Meyers et al. 2006). El aumento de la evidencia muestra que el inventario de miRNAs de cualquier especie comprende un conjunto de miRNAs antiguos conservados, así como muchos especie-específicos recientemente involucrados (Allen et al. 2004; Carra et al. 2009; Cuperus et al. 2011).

Identificación de los miRNAs

Se ha demostrado que diversas especies de plantas contienen más de 100 miRNAs en su genoma (Axtell et al. 2007; Zhu et al. 2008; Klevebring et al. 2009). El primer miRNA de plantas fue descubierto en el 2002 (Reinhart et al. 2002), a partir de ese momento y hasta junio de este año 7057 miRNAs de 73 especies de plantas se han reportados en la base de datos de miRNAs (miRBase; <http://www.mirbase.org/>). El aumento de la evidencia muestra que

el repertorio de los miRNAs de cualquier especie comprende un conjunto de miRNAs antiguos y conservados, así como un grupo de miRNAs especie-específicos recientemente involucrados (Cuperus et al. 2011; Nozawa et al. 2012; Chávez-Montes et al., 2014). El hecho de que un gran número de miRNAs están conservados evolutivamente en el reino



**INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS
PARA UNA VIDA MEJOR**

EQUIPAR, S.A DE C.V. ha sido por más de 70 años un proveedor sólido y confiable de instrumentos científicos y productos técnicos de vanguardia para todo tipo de empresas.

	COLE-PARMER		MASTERFLEX	
BUCHI		PARR		BELLINGHAM + STANLEY JULABO
	BINDER NEW BRUNSWICK		BROOKFIELD OAKTON	
EPPENDORF OHAUS		EQUIPAR MUEBLES SARTORIUS		LABCONCO THERMO ORION

OFICINA CENTRAL

Juan Sánchez Azcona 1447,
Col. Del Valle, Delegación Benito Juárez, C.P. 03100,
México, D.F.
Tel: 52 (55) 54 20 99 01
equipar@equipar.com.mx

SUCURSAL QUERÉTARO

Calle Palma Cariota No. 2021,
Col. Palmares,
Querétaro, Qro.
Tel: (442) 688 1204
sucursalqueretaro@equipar.com.mx

SUCURSAL GUADALAJARA

Av. Del Parque No. 34,
Col. San Andrés C.P. 44810
Guadalajara, Jalisco.
Tel: (33) 3657 3598
ventasguadalajara@equipar.com.mx

www.equipar.com

vegetal desde plantas basales hasta plantas superiores (Chávez-Montes et al., 2014), se ha utilizado como un indicador práctico para la identificación o la predicción de miRNAs por búsqueda de homología en otras especies basados en las secuencias altamente conservadas de miRNAs maduros (Zhang et al. 2006). Las tecnologías de secuenciación

masiva han facilitado la identificación de miRNAs conservadas o altamente expresados en las plantas así como miRNAs específicos o de baja expresión, mostrando una compleja y diversa población de miRNAs; los cuales, se ha demostrado tienen funciones claves en diferentes especies.

En frutos, la secuenciación "high-throughput" fue utilizada por primera vez para identificar sRNAs de tomate que incluyeron miRNAs de frutos verdes jóvenes (Moxon et al. 2008). Recientemente, se ha utilizado para el análisis de miRNAs en varias etapas de desarrollo del fruto (Mohorianu et al. 2011; Zuo et al. 2012), donde se han encontrado varios miRNAs con diferentes perfiles de expresión durante el desarrollo, sugiriendo la importancia de los miRNAs en este proceso.

El papel regulatorio de los miRNAs

Procesos donde participan los miRNAs

Los estudios funcionales de miRNAs han generado una gran cantidad de información en plantas modelo como Arabidopsis y tomate, mostrando que los miRNAs participan en una amplia variedad de procesos biológicos y metabólicos, desempeñando una función importante en los patrones del desarrollo, la señalización de hormonas (Chen et al. 2012), morfogénesis y polaridad de las

Lab-Tech A la vanguardia de la investigación

CON MAS DE 35 AÑOS DE EXPERIENCIA EN LA DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE EQUIPO, MATERIAL Y MOBILIARIO PARA LABORATORIO

Protecting your laboratory environment
LABCONCO

Thermo
SCIENTIFIC

MOBILIARIO

ZEISS

MP
MP Biomedicals

www.labtech.com.mx



hojas (Sieber et al. 2007), la diferenciación y el desarrollo floral (Zhu & Helliwell 2011), la separación de órganos y la formación de su contorno (Nikovics et al. 2006), las respuestas al estrés (Sunkar & Zhu 2004) y la resistencia a los patógenos (Jones-Rhoades et al. 2006). Así mismo, se ha demostrado que inclusive la cantidad y perfil de expresión de estas moléculas varía entre variedades de la misma especie, tal es el caso de *Arabidopsis lyrata* y *Arabidopsis thaliana* (Fahlgren et al. 2010). En plantas de interés agronómico, entre los que se incluyen cereales, leguminosas y especies frutales, recientemente se ha demostrado que éstas moléculas también tienen una importante función (Zhang et al. 2011; Mohorianu et al. 2011; Karlova et al. 2013; Zhu et al. 2009).

Funciones de los miRNAs en plantas de interés agronómico

Para conocer las funciones de los miRNAs en los diversos procesos biológicos, es esencial identificar sus genes blancos y explorar sus interacciones. Los blancos de muchos de estos miRNAs se han validado o predicho incluyendo principalmente factores de transcripción. Por ejemplo, se ha demostrado que miR172 regula a genes tipo *AP2* (*SIAP2α*) en tomate (Chung et al. 2010; Karlova et al. 2011), los cuales se ha confirmado que son reguladores negativos de la maduración en tomate. En este mismo modelo se encontró que miR156/miR157 es complementario al gen *CNR* (*COLORLESS NON-RIPENING*), un gen que codifica una proteína de unión al promotor *SQUAMOSA* (*SBP*) (Manning et al. 2006), un regulador positivo de la maduración de los frutos de tomate (Dalmay 2010). Dicho gen se ha demostrado es un blanco *in vivo* de miR156 en tomate (Moxon et al. 2008). En fresa, al

igual que en otras especies de plantas, se ha demostrado o predicho que varios genes como *SPL*, *SBP*, *NAC*, *AP2*, *MYB*, *F-box*, dedos de zinc (*C2H2*) y de resistencia a enfermedades (*NBS-LRR*), proteínas de unión a RNA, Lacasa y la Sintasa de ent-kaureno son regulados por miRNAs. Por lo tanto, la identificación de los miRNAs que regulan la expresión de factores de transcripción involucrados en el desarrollo de frutos y cereales o de los genes implicados en estos procesos, contribuirá a una mejor comprensión de la regulación del desarrollo de plantas de interés agronómico.

Trabajos de sobreexpresión de estas moléculas han permitido conocer su función en plantas de interés agronómico como arroz, maíz y tomate. Se ha mostrado que miR156 es un miRNA conservado en todo el reino vegetal pero en tomate se ha encontrado entre sus blancos *CNR*, un regulador positivo de la maduración. Además, la sobreexpresión de miR156 en tomate mostró fenotipos similares a los reportados en *Arabidopsis* (Wu & Poethig 2006), arroz (Xie et al. 2006) y maíz (Chuck et al. 2007); como enanismo, una estructura arbustiva, hojas más abundantes y una floración tardía. Lo que ha sugerido una función conservada evolutivamente de miR156 y sus genes blancos de la familia *SBP* en el desarrollo vegetal. Además de estas características, en tomate se mostró que miR156 tiene la capacidad de regular el tamaño y rendimiento de los frutos, mostrando un nuevo camino en el campo de la regulación de la expresión génica durante el desarrollo y maduración de frutos (Zhang et al. 2011). Por otro lado, en el pasto varilla (*Panicum virgatum* L.) la sobreexpresión de este miRNA resultó en varias alteraciones morfológicas y condujo al mejoramiento en la producción de biomasa (Fu et al. 2012). Estos

trabajos demuestran que la conservación y la abundancia de los miRNAs juegan un papel clave en los procesos biológicos donde pueden existir funciones generales y/o especie-específicas.

También se ha observado que existe una variación de estas moléculas entre variedades o plantas mutantes de una especie; por ejemplo, al comparar frutos de fresa de plantas silvestre del cultivar de fresa 'Sachinoka' y de la mutante White-flesh, la cual tiene un contenido significativamente mayor de azúcar total soluble, en el estadio rojo-completo de la fresa, se encontró que cuatro miRNAs fueron sobreexpresados y cinco fueron reprimidos en los frutos de la mutante White-flesh en comparación con los frutos silvestres, donde encontraron que la expresión de miR399a mostró el mayor cambio teniendo una correlación negativa

con el contenido de azúcares (Li et al. 2013). La predicción del gen blanco de miR399 mostró que este miRNA puede desempeñar un papel importante en la homeostasis del fosfato de los frutos de fresa (Li et al. 2013).

Función de los miRNAs en la resistencia de plantas de interés agronómico

En fresa, un estudio de miRNAs y la predicción de sus genes blancos, sugirió que varios genes de resistencia a enfermedades como los tipo *NBS-LRR* (nucleotide binding site-leucine rich repeat) son blancos de miR4374 (Ge et al. 2013). De igual forma, en plantas de manzana un miRNA denominado Md-miRln11 (*Malus domestica* microRNA Ln11) que se predijo tiene como blanco el gen *Md-NBS* que codifica para una proteína NBS-LRR (Ma et al. 2013a) tuvo mayor expresión en variedades de resistencia baja o susceptibles

SOLUCIONES PARA EL SECTOR BIOFARMACÉUTICO

ZETASIZER NANO



SEC-MALS



ARCHIMEDES



NANO SIGHT



Una amplia gama de instrumentos de alto rendimiento para una variedad de requisitos de aplicaciones biofarmacéuticas.

Malvern Instruments provee instrumentación y tecnología para la caracterización biofísica de partículas y el conocimiento para apoyar a científicos e ingenieros a entender y controlar las propiedades de los sistemas dispersos tales como proteínas y polímeros en solución, partículas y nanopartículas en suspensión o emulsión, sprays, aerosoles, polvos y soluciones industriales.

Los equipos Malvern utilizan tecnología de punta y siempre a la vanguardia. Son utilizados para medir tamaño y forma de partícula; potencial zeta; carga de proteínas; peso, masa, tamaño y conformación molecular; propiedades reológicas e identificación química, en sectores que van desde biofarmacéuticas hasta químicos industriales, cemento, plásticos y polímeros, etc.; en áreas de investigación y desarrollo, control y producción.

Malvern Instruments – México
 Av. Patriotismo 130-102, Col. Escandón, México, D.F. 11800.
 Tel.: (55) 56 79 46 08 y 56 84 65 48



Material relationships

www.malvern.com

(Ma et al. 2013b), en contraste con el perfil del gen *Md-NBS* el cual fue significativamente más alto en las variedades con alta resistencia que en las variedades susceptibles. Estos trabajos sugieren que la investigación sobre estos miRNAs puede proporcionar una mejor comprensión de sus funciones relacionadas con la resistencia de las especies.

Función de los miRNAs en el estrés de las plantas

Plantas transgénicas de hierba *Creeping Bentgrass* donde se sobreexpresó *Osa-miR319a* mostraron cambios morfológicos y exhibieron una mayor tolerancia a drogas y salinidad asociada con un mayor contenido de cera en las hojas y retención de agua, pero una reducción en la absorción de sodio. La mayor tolerancia al estrés abiótico en plantas transgénicas se relaciona con una significativa baja de la expresión de los genes blancos de *miR319*, lo que implica un potencial para su uso en el desarrollo de nuevas estrategias moleculares para modificar genéticamente las especies de cultivo para una mayor resistencia al estrés ambiental (Zuo et al. 2012; Zhou et al. 2013). Además se ha encontrado la participación de *miR169* en las respuestas a la carencia de nitrógeno en *Arabidopsis* (Zhao et al. 2011). Otros miRNAs como *miR398* y *miR408* se sobreexpresan en respuesta al déficit hídrico en *Medicago truncatula* (Trindade et al. 2010). También se han encontrado algunos miRNAs que responden a la respuesta de estrés en leguminosas (Arenas-Huerta et al. 2009). Estos resultados proporcionan evidencia de que los miRNAs tienen papeles funcionales que pueden ayudar a las plantas para hacer frente a las fluctuaciones en la disponibilidad de nutrientes y estrés.

Uso de los miRNAs para producción de pigmentos

Del mismo modo, se ha observado que un incremento en la expresión de algunos miRNAs, puede afectar la concentración de pigmentos en las plantas; por ejemplo, en *Arabidopsis* la sobreexpresión de *miR156* promueve la acumulación de antocianinas, esto se debe a que al menos uno de los blancos de *miR156* (*SPL9*), regula negativamente la acumulación de este pigmento mediante la prevención directa de la expresión de genes de biosíntesis de antocianinas a través de la desestabilización de un complejo de activación de la transcripción *MYB-bHLH-WD40*. Así mismo, una reducción de la actividad de *miR156* resulta en altos niveles de flavonoles. Lo que sugirió que es posible la manipulación del contenido de antocianina y flavonoles en plantas a partir de estas moléculas (Gou et al. 2011).

Conclusiones

Todos estos trabajos demuestran la importante función de los miRNAs en diversos procesos de interés agronómico. Lo que sugiere que aunque los miRNAs pueden estar conservados y tener funciones conservadas, algunos pueden tener funciones adicionales en las diferentes especies. El descubrimiento y estudio de estas moléculas brinda un nuevo camino en la investigación de diversos procesos como la resistencia a enfermedades y estrés y un mejoramiento en la producción de frutos y cereales.

REFERENCIAS

- Allen E, Xie Z, Gustafson AM, Sung GH, Spatafora JW, Carrington JC. 2004.** Evolution of microRNA genes by inverted duplication of target gene sequences in *Arabidopsis thaliana*. *Nature Genetic*. 36(12):1282–90
- Arenas-Huertero C, Pérez B, Rabanal F, Blanco-Melo D, De la Rosa C, et al. 2009.** Conserved and novel miRNAs in the legume *Phaseolus vulgaris* in response to stress. *Plant Molecular Biology*. 70(4):385–401
- Axtell MJ, Snyder JA, Bartel DP. 2007.** Common functions for diverse small RNAs of land plants. *Plant Cell*. 19(6):1750–69
- Carra A, Mica E, Gambino G, Pindo M, Moser C, et al. 2009.** Cloning and characterization of small non-coding rnas from grape. *Plant Journal*. 59(5):750–63
- Chavez-Montes RA, Rosas-Cárdenas FF, De Paoli E, et al. (2014)** Sample sequencing of vascular plants demonstrates widespread conservation and divergence of microRNAs. *Nature Communications*. 5:3722 1–15
- Chen L, Wang T, Zhao M, Zhang W. 2012.** Ethylene-responsive miRNAs in roots of *Medicago truncatula* identified by high-throughput sequencing at whole genome level. *Plant Science*. 184:14–19
- Chuck G, Meeley R, Irish E, Sakai H, Hake S. 2007.** The maize tasselseed4 microRNA controls sex determination and meristem cell fate by targeting *Tasselseed6/indeterminate spikelet1*. *Nature Genetics*. 39 (12):1517–21
- Chung MY, Vrebalov J, Alba R, Lee J, McQuinn R, et al. 2010.** A tomato (*Solanum lycopersicum*) APETALA2/ERF gene, SLAP2A, is a negative regulator of fruit ripening. *Plant Journal*. 64(6):936–47
- Cuperus JT, Fahlgren N, Carrington JC. 2011.** Evolution and functional diversification of miRNA genes. *Plant Cell*. 23(2):431–42
- Dalmay T. 2010.** Short RNAs in tomato. *Journal of integrative plant biology*. 52(4):388–92
- Fahlgren N, Jorgede S, Kasschau KD, Sullivan CM, Chapman EJ, et al. 2010.** MicroRNA gene evolution in *Arabidopsis lyrata* and *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell*. 22(4):1074–89
- Fu C, Sunkar R, Zhou C, Shen H, Zhang J-Y, et al. 2012.** Overexpression of miR156 in switchgrass (*Panicum virgatum* L.) results in various morphological alterations and leads to improved biomass production. *Plant Biotechnology Journal*. 10(4):443–52
- Ge A, Shangguan L, Zhang X, Dong Q, Han J, et al. 2013.** Deep sequencing discovery of novel and conserved microRNAs in strawberry (*fragaria×ananassa*). *Physiologia Plantarum*. 148(3):387–96
- Gou JY, Felippes FF, Liu CJ, Weigel D, Wang JW. 2011.** Negative regulation of anthocyanin biosynthesis in *Arabidopsis* by a miR156-targeted SPL transcription factor. *Plant Cell*. 23(4):1512–22
- Jones-Rhoades MW, Bartel DP, Bartel B. 2006.** MicroRNAs and their regulatory roles in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 57:19–53
- Karlova R, Rosin FM, Busscher-Lange J, Parapunova V, Do PT, et al. 2011.** Transcriptome and metabolite profiling show that APETALA2A is a major regulator of tomato fruit ripening. *Plant Cell*. 23(3):923–41
- Karlova R, van Haarst JC, Maliepaard C, van de Geest H, Bovy AG, et al. 2013.** Identification of microRNA targets in tomato fruit development using high-throughput sequencing and degradome analysis. *Journal of Experimental Botany*. 64(7):1863–78
- Khraiwesh B, Arif MA, Seumel GI, Ossowski S, Weigel D, et al. 2010.** Transcriptional control of gene expression by microRNAs. *Cell*. 140(1):111–22
- Klevebring D, Street NR, Fahlgren N, Kasschau KD, Carrington JC, Lundeberg J, Jansson S. 2009.** Genome-wide profiling of populus small RNAs. *BMC Genomics*. 20 (10):62
- Li H, Mao W, Liu W, Dai H, Liu Y, et al. 2013.** Deep sequencing discovery of novel and conserved microRNAs in wild type and a white-flesh mutant strawberry. *Planta*. 2013 238(4):695–713
- Ma C, Lu Y, Bai S, Zhang W, Duan X, et al. 2013.** Cloning and characterization of miRNAs and their targets, including a novel miRNA-targeted NBS-LRR protein class gene in apple (golden delicious). *Molecular Plant*. 1–14
- Manning K, Tör M, Poole M, Hong Y, Thompson AJ, et al. 2006.** A naturally occurring epigenetic mutation in a gene encoding an SBP-box transcription factor inhibits tomato fruit ripening. *Nature Genetics*. 38(8):948–52
- Meyers BC, Souret FF, Lu C, Green PJ. 2006.** Sweating the small stuff: microRNA discovery in plants. *Current*

Opinion in Biotechnology. 17(2):139–46

Mohorianu I, Schwach F, Jing R, Lopez-Gomollon S, Moxon S, et al. 2011. Profiling of short RNAs during fleshy fruit development reveals stage-specific sRNAome expression patterns. *Plant Journal*. 67(2):232–46

Moxon S, Jing R, Szittyá G, Schwach F, Rusholme Pilcher RL, et al. 2008. Deep sequencing of tomato short RNAs identifies microRNAs targeting genes involved in fruit ripening. *Genome Research*. 18(10):1602–9

Nikovics K, Blein T, Peaucelle A, Ishida T, Morin H, et al. 2006. The balance between the MIR164a and CUC2 genes controls leaf margin serration in Arabidopsis. *Plant Cell*. 18(11):2929–45

Nozawa M, Miura S, Nei M. 2012. Origins and evolution of microRNA genes in plant species. *Genome Biology and Evolution*. 4(3):230–39

Reinhart BJ, Weinstein EG, Rhoades MW, Bartel B, Bartel DP. 2002. MicroRNAs in plants. *Genes & Development*. 16(13):1616–26

Sieber P, Wellmer F, Gheyselinck J, Riechmann JL, Meyerowitz EM. 2007. Redundancy and specialization among plant microRNAs: role of the miR164 family in developmental robustness. *Development*. 134(6):1051–60

Sunkar R, Zhu J. 2004. Novel and stress-regulated microRNAs and other small RNAs from Arabidopsis. *Plant Cell* 16:2001–19

Trindade I, Capitão C, Dalmay T, Fevereiro MP, Santos DM. 2010. MiR398 and miR408 are up-regulated in response to water deficit in *Medicago truncatula*. *Planta*. 231(3):705–16

Wu G, Poethig RS. 2006. Temporal regulation of shoot development in Arabidopsis thaliana by miR156 and its

target SPL3. *Development*. 133(18):3539–47

Xie K, Wu C, Xiong L. 2006. Genomic organization, differential expression, and interaction of SQUAMOSA PROMOTER-BINDING-like transcription factors and microRNA156 in rice. *Plant Physiology*. 142(1):280–93

Xie Z, Khanna K, Ruan S. 2010. Expression of microRNAs and its regulation in plants. *Seminars in Cell & Developmental Biology*. 21(8):790–97

Zhang B, Pan X, Cannon CH, Cobb GP, Anderson TA. 2006. Conservation and divergence of plant microRNA genes. *Plant Journal*. 46(2):243–59

Zhang X, Zou Z, Zhang J, Zhang Y, Han Q, et al. 2011. Over-expression of sly-miR156a in tomato results in multiple vegetative and reproductive trait alterations and partial phenocopy of the sft mutant. *FEBS letters*. 585(2):435–39

Zhao M, Ding H, Zhu J, Zhang F, Li W. 2011. Involvement of miR169 in the nitrogen-starvation responses in Arabidopsis. *New Phytologist*. 190(4):906–15

Zhou M, Li D, Li Z, Hu Q, Yang C, et al. 2013. Constitutive expression of a miR319 gene alters plant development and enhances salt and drought tolerance in transgenic creeping bentgrass. *Plant Physiology*. 161(3):1375–91

Zhu Q-H, Helliwell CA. 2011. Regulation of flowering time and floral patterning by miR172. *Journal of Experimental Botany*. 62(2):487–95

Zhu Q-H, Upadhyaya NM, Gubler F, Helliwell CA. 2009. Over-expression of miR172 causes loss of spikelet determinacy and floral organ abnormalities in rice (*Oryza sativa*). *BMC Plant Biology*. 9:149

Zuo J, Zhu B, Fu D, Zhu Y, Ma Y, et al. 2012. Sculpting the maturation, softening and ethylene pathway: the influences of microRNAs on tomato fruits. *BMC Genomics*. 13(1):7



LOS RESIDUOS VALEN SI SON BIEN APROVECHADOS

HÉCTOR LUNA^{1,2}, VANESA CHICATTO¹, DALIA CASTILLO¹,
WENDY LÓPEZ¹, MYRNA SOLÍS¹, ERIK OCARANZA¹

¹ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional. CIBA-IPN Tlaxcala, Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 5729 6000, Ext. 87814.

² Centro de Investigación en Cambio Climático de la Universidad Autónoma de Tlaxcala

Resumen

En el tren de vida de la sociedad actual se lleva implícita la generación de residuos, tanto orgánicos como inorgánicos, además un porcentaje elevado de dichos materiales no se dispone adecuadamente y son arrojados al medio ambiente contaminándolo. Si bien una fracción de los residuos principalmente inorgánicos son reciclados, los del tipo orgánico también pueden ser aprovechados. En este trabajo se presentan dos casos de utilización de residuos, la elaboración de compostas con lodos de plantas de tratamiento de agua y su aplicación en el cultivo de maíz y frijol para incrementar la producción de ambos granos. Y la co-digestión de residuos de jitomate para producir biogás, donde la adición de 20% de estiércol de vaca permitió obtener biogás con 37% de metano.

Palabras clave: residuos, composta, digestión anaeróbica, biogás

Abstract

Now a day in the way of live it is involved the residues generation, organic and inorganic, the high porcentaje of such materials that are non properly disposed, are throw in the ambient producing contamination. Part of the residues (inorganic) are recycled, the organic type could be used too. We present two cases of residues use, for the compost made with sludge from wastewaters treatment plants and it use on maize and beans crop, to improve the production; and the co-digestion of tomate residues to produce biogas, where the addition of 20% cow manure get a biogas wit 37% methane.

Key words: residues, compost, anaerobic digestion, biogas

1. Introducción

1.1 Generación y problemática actual ocasionada por los residuos

Debido a las diferentes actividades productivas que desarrollan las sociedades, generan cantidades cada vez mayores de residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Es bien sabido que todas las actividades humanas crean efectos adversos sobre el medio ambiente, porque en el proceso de producción y reproducción de sus condiciones de vida el hombre explora, transforma, almacena, distribuye, intercambia y consume bienes y servicios. Adicionalmente el incremento de la población y la cultura consumista que se ha dado en los últimos años, principalmente hacia el uso de producto desechable, conlleva a la generación de altas cantidades de residuos, que en muchas ocasiones son arrojados en el medio contaminándolo. Por este mal manejo se contaminan las aguas, el aire y afecta la salud pública. Además su disposición en los rellenos sanitarios trae consigo gastos y la imperiosa necesidad de buscar más sitios para ubicar la creciente cantidad de residuos.

Cuando los residuos son dispuestos en tiraderos no controlados, a cielo abierto o vertidos en cuerpos de agua superficiales, causan impactos negativos en el ambiente, el agua subterránea de los acuíferos puede contaminarse por la infiltración de los lixiviados (Semarnat-INE, 2001 y 2004). Los residuos también afectan la calidad del aire, ya que están asociados frecuentemente a la generación de malos olores, así como a la producción de humos, gases y partículas en suspensión, por la quema intencional o espontánea de éstos. Por otro lado, la proliferación de vectores capaces de transmitir enfermedades tales como la

presencia de ratas, cucarachas e insectos asociados a los tiraderos, puede provocar la transmisión de enfermedades como el cólera, disentería, leptospirosis y amebiasis, entre otras (Semarnat-INE, 2001).

Dentro de la problemática urbana, el enorme volumen de residuos que se acumula en las ciudades es uno de los problemas más importantes, ya que según las estadísticas, la producción per cápita a nivel mundial fluctúa entre 0.9 y 1.8 kg por día. Por ejemplo, se estima que en Canadá son 1.8; Estados Unidos, 1.5; Suiza, 1.2; Japón, 1.0 y México, 0.9 Kg/per capita (SEMARNAT, 2011). Este incremento se ha dado porque a pesar de que la sociedad tiene conocimiento de los problemas ambientales que trae consigo los residuos, y de que materiales como el plástico tardan varias décadas en degradarse, si es que lo hacen, hoy en día el consumo de plástico y materiales que se destinan a embalaje está a la alza. En México el volumen de materiales destinados a envases y embalajes ha presentado un aumento del 2005 al 2011 del 10.3% en papel, cartón 9%, en metal 8.4% y en vidrio solo un 0.6%. En 2011 la producción en México de materiales para este fin fue en millones de toneladas de plástico 2.64, de

vidrio 3.4, papel y cartón 2.43, de metal 0.6 y de madera 0.93 (Conde, 2012). Con el amplio uso de empaques se consumen materias primas y energía que podrían destinarse a otro fin más redituable, además de que el uso de embalajes incrementa los costos y por ende el precio final de los productos, mismo que debe absorber el consumidor. Una manera de reducir estos problemas es el reciclado y reúso de los materiales.

En México el 49% de los residuos corresponde a los inorgánicos, como son el papel y cartón (15%), vidrio (6%), plástico (6%), textil (2%), metal (3%) y otros tipos de residuos (17%) (SEMARNAT, 2005), éstos son reciclables de primera instancia; sin embargo el porcentaje de reciclado de los mismos es mínimo. En el país se recicla apenas 3.3% del volumen de los residuos generados; destacando el papel y cartón, vidrio, plástico, metal y textiles (SEMARNAT, 2007). Aunque mucha de la basura que se puede reciclar se recupera directamente en los contenedores y en los vehículos de recolección, esta cifra podría llegar al 12% (Sedesol, 2005).

El restante 51 % de los residuos generados son de naturaleza orgánica, como son los residuos de alimentos, de jardines,

BELLA EDAD
CREMA ANTI-EDAD

EMPRESA 100% POBLANA

BELLA EDAD
CREMA ANTI-EDAD
DE NOCHE
CONT. NET. 50 gr

BELLA EDAD
CREMA ANTI-EDAD
DE DIA
CONT. NET. 50 gr

VISÍTANOS Bella Edad

CONOCE NUESTROS PRODUCTOS

agrícolas y pecuarios, entre otros, mismos que a la fecha están muy poco aprovechados. En la mayoría de los países de América Latina y del Caribe la cantidad de materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos supera el 50% del total generado, de los cuales aproximadamente el 2% recibe tratamiento adecuado para su aprovechamiento, el resto es confinado en rellenos sanitarios (Jaramillo y Zapata, 2008), siendo que sus componentes pueden ser aprovechados de diferentes maneras.

En el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada hemos llevado a cabo diversos proyectos encaminados al aprovechamiento de residuos agroindustriales, en el presente documento se describen dos de ellos:

2. Discusión de casos:

2.1 Caso 1. Elaboración de composta con lodos de plantas de tratamiento de agua

El compostaje es un proceso biológico mediante el cual es posible convertir residuos orgánicos en composta, gracias a la acción de diversos microorganismos aeróbicos. Las aplicaciones más comunes del compostaje incluyen el tratamiento de residuos agropecuarios, residuos de jardinería, de cocina, residuos sólidos municipales y lodos (Semple et al., 2001). El Compostaje se lleva a cabo mezclando la materia orgánica y dando condiciones de humedad y aireación para que los microorganismos la desintegren formando un material estable e higiénico (Bernal-Calderón y Gondar-Bouzada, 2007). Se ha reportado que las compostas son mejoradores del suelo, ya que regeneran la fertilidad, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio; mantienen el pH óptimo

para la agricultura, evitan cambios extremos de la temperatura, incrementan la actividad microbiana, controlan la erosión (Rodríguez et al., 2006) y aumentan la productividad agrícola (Widman et al., 2005).

Por otro lado, los lodos procedentes de las plantas tratadoras de aguas residuales municipales causan un impacto ecológico negativo, debido a que contienen microorganismos patógenos y pueden presentar metales pesados, por tanto su acumulación y su nula aplicación directa se ha convertido en un grave problema (Jiménez et al., 2004). El manejo y disposición de este residuo se vuelve más complejo debido a la gran cantidad que se genera, tan sólo en México se estima que la producción de lodos asciende a más de 12 millones de toneladas por año (Colín et al., 1994); éstos se han considerado en muchas ocasiones como material no reciclable de primera instancia, y por tanto no son reintegrados al ciclo natural. Además, los lodos no son valorizados a pesar de su alto contenido de materia orgánica e inorgánica y la presencia de microorganismos que desempeñan un papel importante en la mineralización de compuestos orgánicos (Aravena et al., 2007). Estas características los hacen un material susceptible de aprovecharse, siempre y cuando no representen un riesgo para la salud y cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes (NOM-004-SEMARNAT-2002).

Este proyecto estuvo encaminado a reciclar biosólidos (lodos) de dos plantas de tratamiento de agua residual a través del proceso de compostaje, y posteriormente evaluar su efecto en campo sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tabla 1. Componentes utilizados para preparar las compostas

Residuo	Compostas				
	1	2	3	4	5
Lodos de planta de tratamiento 1	30% 0		45% 0		45%
Lodos de planta de tratamiento 2	30%	35%	25% 0		45%
Residuos de empacadora de chile	30%	55%	25%	75% 0	
Rastrojo de maíz	10%	10% 5	%	25%	10%
Relación C/N	21/1	18/1	37/1	21/1	19/1

Se evaluaron cinco compostas preparadas con lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales, residuos orgánicos de una empacadora de chiles y rastrojo de maíz. Las compostas 1, 2 y 3 se elaboraron con todos los componentes indicados pero en diferentes proporciones, la composta 4 no tuvo lodos y la composta 5 no tuvo residuos de chile. La composición de residuos con que se prepararon las compostas se muestra en la tabla 1.

Las compostas se aplicaron en el municipio de Alzayanca, Tlaxcala para la siembra de maíz y frijol. Como control se usó una parcela donde no se adicionó composta ni fertilizante. Se encontró que en el cultivo de maíz las plantas donde se aplicaron las compostas crecieron más que las del control (figura 1).

La producción de grano también fue mayor usando las compostas, como se observa en la figura 2; destaca la composta 4 donde se obtuvo la mayor producción de maíz. Esta composta se elaboró únicamente con los

residuos de la empacadora de chile y rastrojo, lo cual indica que los residuos alimenticios son muy buenos candidatos para elaborar composta y aplicar en lugar de fertilizantes. Si bien en la región de Alzayanca se reportan producciones de 2.5 ton/ha (COPLADET, 2010), en este caso la producción fue menor debido a que se hizo solo una aplicación de composta. Para que el rendimiento incremente

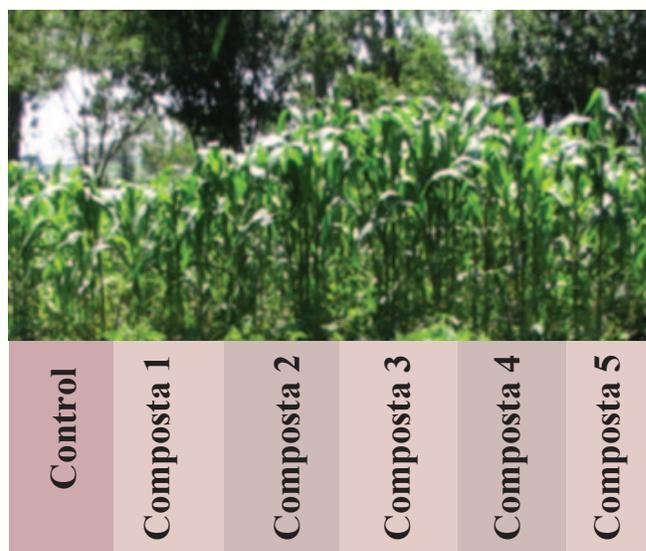


Figura 1. Fotografía de plantas de maíz donde se aplicaron los diferentes tratamientos

es importante continuar aplicando composta año con año, ya que con cada aplicación las condiciones y fertilidad del suelo incrementan.

En el cultivo de frijol la composta 5, que fue elaborada únicamente con los lodos y rastrojo que se adicionó para dar textura y permitir la aireación, fue con la que se obtuvo la mayor producción (figura 2), con las compostas 1, 2, 4 y 5 se obtuvo más frijol que con el control.

Los lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua, pueden someterse a compostaje junto con otros residuos orgánicos para obtener un material rico en nutrientes que puede ayudar a resolver la problemática de la alta erosión que hay en buena parte de los suelos de México, además llevando a gran escala ésta propuesta se traerían otros beneficios: reducir la contaminación por la mala disposición de los lodos y residuos, reducción en el envío de estos materiales a los rellenos sanitarios, incrementando la vida útil de éstos.

Caso 2. Aprovechamiento de residuos de cultivo de jitomate como fuente de energía alternativa

La búsqueda de fuentes de energía renovables, es una constante en la

Producción de Maíz y Frijol

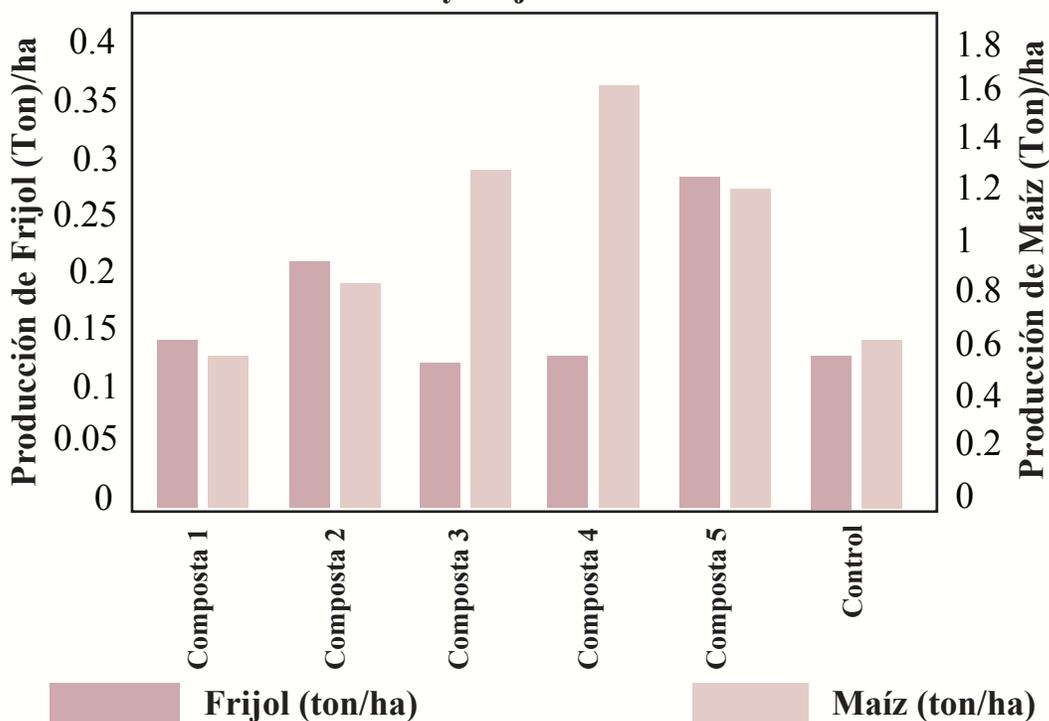


Figura 2. Producción de maíz y de frijol obtenida con la aplicación de las compostas

actualidad, esto debido al agotamiento de los recursos como el petróleo y el gas natural. Por ello proyectos enfocados hacia el aprovechamiento de residuos y su posterior transformación en una fuente de energía como en este caso el gas metano, son de vital importancia. La utilización de los residuos agrícolas para la producción de biogás y fertilizante orgánico es un nuevo campo para la aplicación de métodos biotecnológicos que permitan lograr un alto rendimiento en la producción.

La digestión anaerobia es un proceso microbiano donde una comunidad de bacterias fermentativas y acetogénicas junto con arqueas metanogénicas convierten la materia orgánica en dióxido de carbono y metano, formando lo que se conoce como biogás (Kraat, *et al.*, 2010). El biogás se compone principalmente de metano y dióxido de carbono, pero

también contiene varias impurezas. El biogás con un contenido de metano superior al 45% es inflamable, por lo que se considera como una energía limpia y renovable, que promete ser una buena sustitución de los combustibles fósiles (Krause, 2008).

En la digestión anaerobia se produce además del biogás, un residuo digerido el cuál es una mezcla de partículas degradadas de materia orgánica, biomasa microbiana y componentes inorgánicos.

La digestión anaeróbica se lleva a cabo por un consorcio de microorganismos y se afecta por varios factores como pH, temperatura, tiempo de retención hidráulico, relación C/N, entre otros (Rasy *et al.*, 2007). Según la temperatura el proceso se clasifica en psicrófilos, mesófilos y termófilos (Al-Seadi *et al.*, 2008). El intervalo de pH óptimo para los microorganismos formadores de metano es alrededor de 6.7-7.5. Si el valor del pH llegará a ser menor a 6.5 se vería afectado el proceso de fermentación e incluso interrumpirse. La relación C/N se recomienda de 20/1 a 30/1 (Deublein y Steinhauser, 2008).

Durante la producción agrícola se generan residuos, como son tallos, hojas, raíces y frutos que no son cosechados, los cuales usualmente son almacenados a cielo abierto sin ningún aprovechamiento; en otros casos, se trozan y esparcen en los campos,

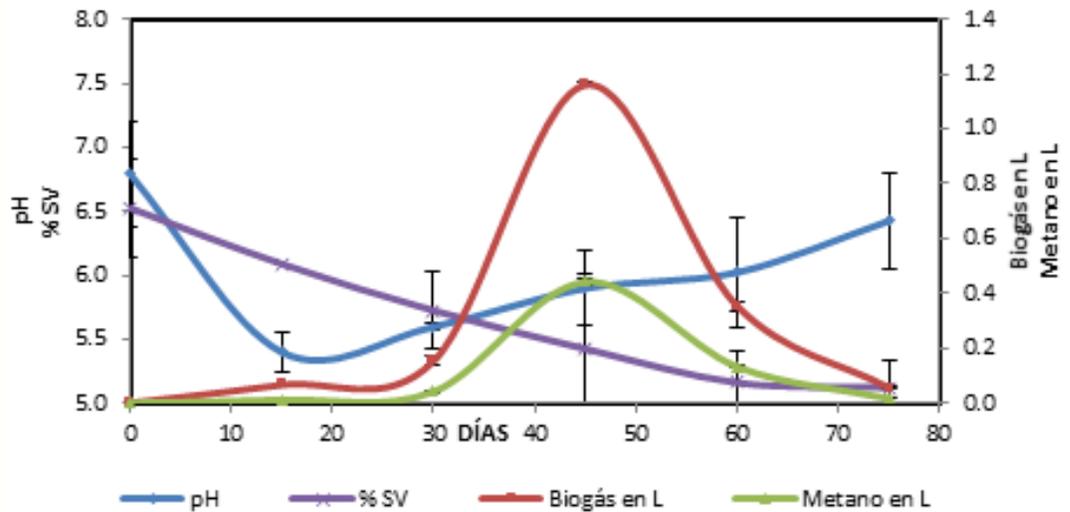


Figura 3. Variación en pH, % sólidos, producción de biogás y metano

pero a estas condiciones la descomposición es muy lenta y en muy baja cantidad estos residuos se utilizan para elaborar composta. En esta investigación se evaluó el uso de los residuos de jitomate para producir biogás mediante la co-digestión de los mismos con estiércol de vaca, con la finalidad de abatir los costos por la adquisición de gas L.P. para el calentamiento de los invernaderos.

Los residuos del cultivo de jitomate se trozaron en pedazos de 1.0-1.5 cm, se mezclaron con 20% de estiércol de vaca en base seca y se adicionó agua hasta alcanzar un contenido de sólidos totales del 10%. La mezcla de residuos se colocó en digestores de plástico y se burbujeó nitrógeno para eliminar el oxígeno, se mantuvieron a una temperatura constante de 30°C durante 70 días. Al inicio, durante y al final del proceso de digestión se midió el pH, sólidos volátiles, la producción de biogás y de metano, como se muestra en la figura 3.

Se observó un descenso de pH por la formación de ácidos; la reducción de sólidos volátiles es un indicador de que efectivamente

se llevó a cabo la descomposición de la materia orgánica. En total se obtuvo un contenido de metano del 37%, si bien no es superior al 45% requerido para que el biogás sea combustible, se puede pasar por filtros de hidróxido de potasio, ya que este compuesto absorbe rápidamente el dióxido de carbono, con lo cual se enriquecerá el contenido de metano en el biogás y puede entonces ser usado como combustible.

Los residuos agrícolas en co-digestión con estiércoles pueden ser empleados para producir biogás, una fuente de energía renovable, con ello se abaratarían los costos de producción de jitomate por no requerir ya la adquisición de gas L.P. para calentar los invernaderos y se incrementaría la producción, ya que los jitomates requieren temperaturas templadas para su buen desarrollo.

Conclusiones

Una de las graves problemáticas que afectan a la sociedad es la generación de residuos y las afectaciones que se producen por su inadecuada disposición, en estos dos casos se ejemplificó cómo, bajo procesos de descomposición microbiana, es posible aprovechar los componentes de los residuos para obtener productos de interés, como es el caso de la composta o la obtención de biogás. Si estas dos tecnologías se aplicaran a gran escala, se resolvería gran parte de la mencionada problemática con beneficios adicionales, como son contar con un material que ayude a mejorar los suelos, reducir la adquisición de fertilizantes con la consecuente disminución ambiental que su uso inadecuado ocasiona y tener fuentes de energía alternativa. Los residuos bien aprovechados valen mucho.

Bibliografía

Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R. (2008); "Biogas Handbook."; ISBN 978-87-992962-0-0; Published by University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark, <http://www.sdu.dk>.

Aravena R.C, Valentin C.C, Diez J.M.C, Mora G.M.L., Gallardo A.F. (2007). Aplicación de lodos de planta de tratamiento de celulosa: efecto en algunas propiedades físicas y químicas de suelos volcánicos. *J Soil Sc Nutr* 7: 1-14.

Bernal-Calderón M.P, Gondar Bouzada D.M (2007). Producción y gestión de los residuos orgánicos: situación actual a nivel mundial, comunitario y estatal. En: Moreno Casco J, Moral Herrero R (Eds.). *Compostaje*. Mundi-Prensa, Madrid. pp. 9-43.

Colín A. (1994). Estudio integral de lodos residuales. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México. 12-45pp.

Conde Ortiz M. P. Presente Futuro de la Industria del Plástico en México. Centro Empresarial del Plástico, 2012.

COPLADET (2010). Dirección de informática y estadística. Unidad de Estadística, Tlaxcala, México.

Deubleien, D., Steinhäuser A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources* Wiley-VCH, Second Edition, Germany, pp. 448.

Jaramillo H. G., Zapata M. L. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. 2008. Presentada en La Universidad de Antioquia para la obtención del título de Especialista en Gestión ambiental.

Jiménez B., Méndez J.M., Barrios J.A., Salgado G. y Sheinbaum C. (2004) Characterization and evaluation of potential reuse options for wastewater sludge and combined sewer system sediments in Mexico. *Water Sci Technol.* 4(1),171-178.

Krakat N., Schmidt S., Scherer P. 2010. Mesophilic Fermentation of Renewable Biomass: Does Hydraulic Retention Time Regulate Methanogen Diversity. *Appl Environ Microbiol.* 76(18): 6322-6326.

Krause L., Díaz N., Edwards R., Gatermann K-H., Krömeke H., Neuweger H., Pühler A., Runte K., Schüter A., Stoye J., Szczepanowski R., Tauch A., Goesmann A., (2008) Taxonomic composition and gene content of a methane-producing microbial community isolated from a biogas reactor. *Journal of Biotechnology* 136, pp. 91-101.

Rasy S., Veijanen A., Rintala J. (2007) Trace compounds of biogas from different biogas production plants. *Energy* 32, pp. 1375-1380.

Rodríguez S.M.A, Córdova y Vázquez A. (2006). Manual de Compostaje Municipal: tratamiento de residuos sólidos urbanos. SEMARNAT-INE-GTZ, 1ra Ed., México, pp. 101.

SEDESOL, 2005. Residuos Peligrosos en el Mundo y en México. Capítulo 7, 344 -365.

SEMARNAT (2002). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental - Lodos y Biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

SEMARNAT, 2002. Informe de la situación del medio ambiente en México, 3 Suelos. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Compendio de Estadísticas Ambientales.

SEMARNAT, 2005. Cruzada Nacional por un México Limpio, Subdelegación de Planeación y Fomento Sectorial. En: <http://www.semarnat.gob.mx/slp/mexicolimpio/mexicolimpio.shtml>

SEMARNAT. Indicadores básicos del desempeño ambiental de México: 2005. México. 2005.

SEMARNAT. Informe Anual Profepa 2007. México. 2008.

SEMARNAT. Informe Anual Profepa 2010. México. 2011.

SEMARNAT-INE. Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos en México. México. 2001.

SEMARNAT-INE. Contaminación por pilas y baterías en México. México. 2004.

Semple K.T., Reid B.J., Fermor T.R. (2001). Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. *Environ. Pollution*, 112: 269 - 283.

Widman F.B., Herrera R.F., Cabañas V.D. (2005). El uso de compostas provenientes de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos de Yucatán. *Rev Ing Acad* 9: 31-38.



“Si pudiéramos darle a cada individuo la cantidad correcta de alimento y ejercicio, ni muy poco ni demasiado, habríamos encontrado el camino más seguro hacia la salud”

Hipócrates

NUTRIGENÓMICA

*Alimentación adecuada
y personalizada, camino
seguro hacia la salud*

CRISTHIAN JOHANY PÉREZ PARADA, SOLEY BERENICE NAVA
GALICIA Y MARTHA DOLORES BIBBINS MARTÍNEZ*

Instituto Politécnico Nacional CIBA-IPN Tlaxcala, Ex-Hacienda San Juan Molino
Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México.

Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 5729 6000, Ext. 87814.

*Tel: 57296000 ext. 87822, e-mail: mbibbinsm@ipn.mx

RESUMEN

Este artículo está centrado en la descripción de la NUTRIGENÓMICA y la importancia de esta ciencia, en nutrición y salud humana. En las diferentes secciones en las que se estructuró el artículo, se hace una breve introducción sobre el impacto de los alimentos y particularmente, de los distintos nutrientes que los constituyen, en la homeostasis celular; es decir en los mecanismos que controlan la proliferación, diferenciación, supervivencia y territorialidad de las células que forman parte de los diferentes tejidos de nuestro organismo.

De igual manera se resalta la importancia de comprender la participación directa o indirecta de los nutrientes en la regulación de la expresión génica, y su relación con los procesos que favorecen el mantenimiento de la salud, así como la prevención, tratamiento y posible progresión de enfermedades.

Finalmente se mencionan las perspectivas futuras en este importante campo de investigación, encaminadas a lograr una nutrición integral que asegure la salud en las distintas etapas en la vida de los seres humanos.

Palabras clave: Tecnologías ómicas, nutrigenómica, nutrición

ABSTRACT

This article focuses on the description of the Nutrigenomics and the importance of this science; in nutrition and human health. In the different sections in which this article is structured, there is a brief introduction on the impact of food and particularly in the different nutrients that constitute it during cellular homeostasis; it refers to the mechanisms that control the proliferation, differentiation, survival and territorial cells belonging to different body tissues.

Similarly, it alludes to the importance of understanding the direct or indirect involvement of nutrients in the regulation of gene expression and its relation to the processes that favor the maintenance of health and the prevention, treatment and possible progression of disease.

Finally, future prospects are discussed in this important field of research, aimed at achieving a comprehensive nutrition to ensure health at different stages in the life of human beings.

Key words: Nutrigenomics, omics technologies, nutrition

INTRODUCCIÓN

Desde hace miles de años se reconoce que la nutrición desempeña un papel crucial en la aparición de enfermedades, siendo clave para el mantenimiento de una buena salud. Esta aseveración es importante, ya que las enfermedades no infecciosas derivadas de una mala alimentación han reemplazado a las enfermedades infecciosas como principal causa de mortalidad. Las enfermedades cardiovasculares, la obesidad, el cáncer y la diabetes son responsables de 35 millones de muertes al año en todo el mundo, se estima que esta cantidad aumentará globalmente en un 22% para el año 2030. Sin embargo, una gran proporción de estas enfermedades, concretamente, un 80% de infartos y diabetes de tipo II, y un 40% de cánceres podrían ser evitados con una dieta adecuada y un aumento del consumo de alimentos beneficiosos como frutas y verduras. La importancia de una correcta alimentación para el mantenimiento de la salud será mayor según vaya envejeciendo la población mundial, donde una de cada cuatro personas tendrá más de 60 años para el 2050 (Bloom et al., 2011).

A lo largo de la historia nuestro genoma ha sido optimizado por y para un entorno de alimentos que difiere considerablemente de lo que actualmente consumimos. Los estudios de nutrición arqueológica indican que las

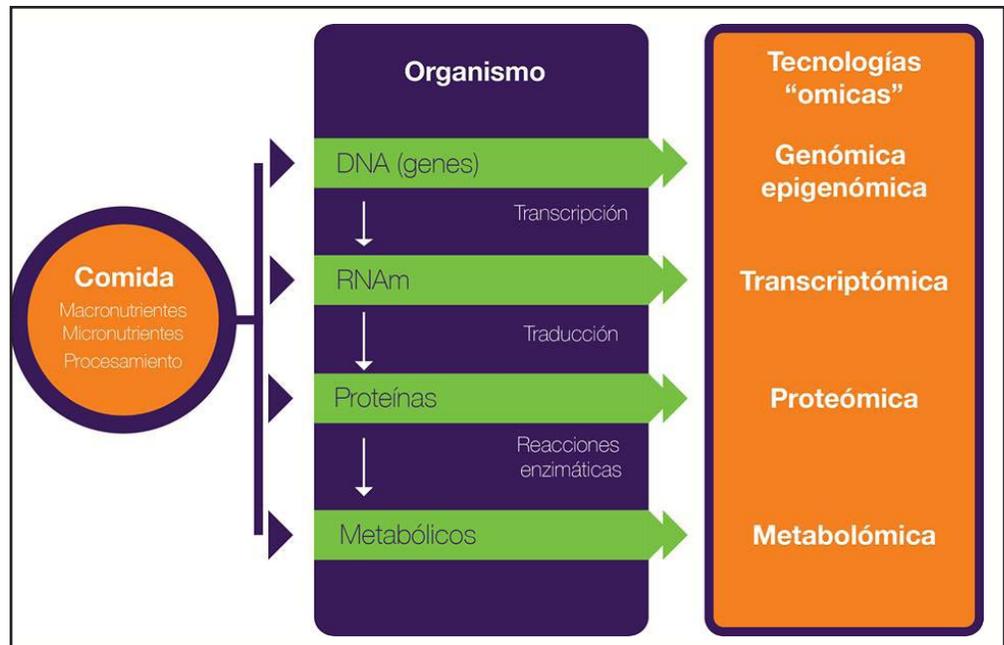


Fig. 1 La nutrigenómica tiene como objetivo identificar y caracterizar los efectos de los componentes de los alimentos sobre la expresión del genoma en varios niveles moleculares, basándose en las tecnologías “ómicas” para mejorar la salud. Fuente: Nutrigenomic foods: What will we be eating tomorrow? (Constantin y Wahli, 2013).

dietas de nuestros antepasados contenían diferentes cantidades de vitaminas, minerales esenciales y tipos de grasas en comparación a nuestra dieta moderna, además de que la presencia de azúcares, sal y alcohol era limitada (Eaton, 2006).

Durante el siglo XIX, la industrialización cambió drásticamente nuestra comida, tanto cualitativa como cuantitativamente, a través de técnicas agrícolas masivas y técnicas de elaboración de alimentos, incluyendo conservación, aditivos, entre otros procesos, mientras tanto, nuestro genoma se ha mantenido casi sin cambios, con una tasa de mutación de aproximadamente 0.3% por cada millón de años (Constantin y Wahli, 2013). Esta variabilidad en la respuesta a cambios en la dieta está en parte causada por las diferencias interindividuales del genoma humano, siendo estas y otras diferencias las que en parte explican la heterogénea respuesta humana a la dieta.

El estudio de estos efectos ha conducido al desarrollo de las ciencias ómicas, para definir y caracterizar alimentos que reflejan la acción de los nutrientes en la estructura y expresión del genoma humano y, en última instancia, en la salud (fig. 1). Esto comprende todos los cambios que se pueden observar en el plano de genes (genómica y epigenómica), transcripción de genes (transcriptómica) y proteínas como los productos codificados por los genes (proteómica), así como el perfil más dinámico de los metabolitos (metabolómica), cuyo conjunto aplicado a la nutrición es la nutrigenómica (Rist et al., 2006; Sanhueza y Valenzuela, 2012).

La genómica nutricional es la ciencia de las interacciones bidireccionales entre los genes y nutrientes (fig.2), que puede ser estudiada desde 2 puntos de vista distintos pero complementarios: 1) el de la nutrigenómica: el cual estudia la influencia de los nutrimentos sobre los genes, que tiene como finalidad entender cómo los nutrientes que incorporamos con la dieta influyen en la homeostasis celular, alterando la actividad génica, la producción de proteínas y/o la producción de metabolitos y, 2) el de la nutrigenética: que se ocupa de entender el cómo responden los genes frente a una dieta determinada, teniendo en cuenta la variación en la población y sobre todo la individual, analizando las variaciones genéticas,

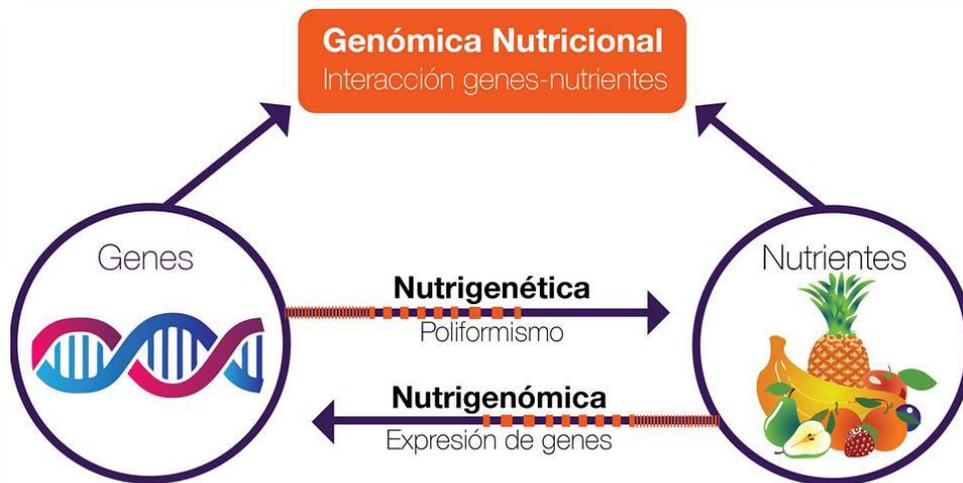


Fig. 2: La Nutrigenómica o Genómica Nutricional se divide en 1- Nutrigenómica propiamente dicha, que estudia el efecto de los nutrientes en la actividad génica, y 2- la Nutrigenética, que analiza cómo la variabilidad del genoma afecta a la manera en que utilizamos los nutrientes, y cómo esta variabilidad está ligada a la aparición de enfermedades. Fuente: Nutrigenómica y Nutrigenética: hacia la nutrición personalizada (De Lorenzo et al., 2011).

generalmente suelen ser polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs, por sus siglas en inglés) o mutaciones genéticas, como alteran el metabolismo de algunos nutrimentos, aumentando o disminuyendo el riesgo a padecer enfermedades relacionadas con la nutrición (Gómez-Ayala, 2007; Zeisel, 2007; De Lorenzo, 2012).

NUTRIGENÓMICA

Los nutrimentos, así como muchas otras sustancias biológicamente activas contenidas en los alimentos, pueden tener una influencia directa sobre la expresión de muchos genes. Este efecto puede traducirse en cambios fenotípicos asociados a un estado disfuncional debido a que estas alteraciones genéticas producen cambios en la función de algunas proteínas o enzimas. Finalmente producen un desequilibrio homeostático derivando en el establecimiento de alguna enfermedad (Martí, et al., 2005).

Los componentes de los alimentos se

dividen en macronutrientes (proteínas, carbohidratos y grasas), necesarios en grandes cantidades y principalmente funcionan como combustible o proveedores de calorías y micronutrientes (vitaminas, minerales, fitonutrientes, aminoácidos esenciales y ácidos grasos), que son necesarios en menores cantidades, pero son esenciales en muchos procesos reglamentarios (fig.3). Un ejemplo es los múltiples efectos de la vitamina A en todos los tejidos, que incluye funciones en el desarrollo, proliferación y diferenciación celular, el metabolismo y la apoptosis, son ejemplos bien caracterizados de la regulación de micronutrientes directamente sobre la expresión de los genes (Constantin y Wahli, 2013; McGrane, 2007).

Otros componentes de los alimentos, tales como el ácido fólico, colina y las vitaminas B12, B2 y B6, actúan sobre la expresión de genes a través de un mecanismo diferente, llamado epigenética, la cual incluye la modificación del genoma mediante la adición o eliminación de marcadores moleculares a regiones de ADN o las proteínas

histonas (alrededor de la cual el ADN se enrolla). Estas etiquetas modifican la accesibilidad de los factores de transcripción de los genes y la maquinaria de transcripción sin cambiar la secuencia primaria del ADN (Constantin y Wahli, 2013).

Aunque son generalmente reversibles, las modificaciones epigenéticas son bastante persistentes e incluso pueden ser transmitidas a la descendencia, hasta la segunda o tercera generación. La mayoría de estas modificaciones se aplican en la etapa

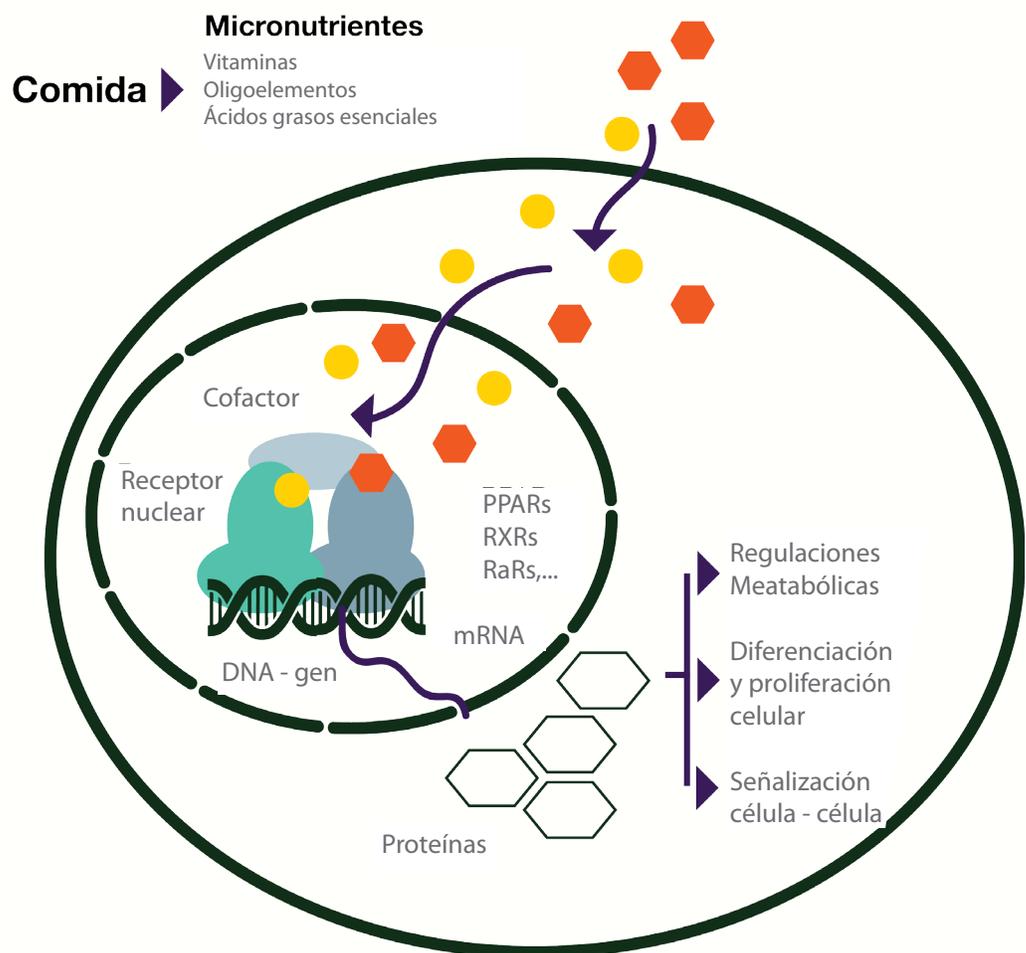


Fig. 3. Ingredientes de comida tales como ácidos grasos, algunas vitaminas y oligoelementos puede modular la expresión génica a través de receptores nucleares y / o cofactores. Fuente: Nutrigenomic foods: What will we be eating tomorrow? (Constantin y Wahli, 2013)

intrauterina, un fenómeno que se conoce como programación de desarrollo y sirve para "preparar" el organismo para el entorno futuro en el cual se espera que viva después del nacimiento (Reik et al., 2001).

IMPORTANCIA DE LA NUTRIGENÓMICA

La aplicación de la nutrigenómica se centra en aspectos medulares en salud humana, entre ellos:

1. Conocer los mecanismos de acción de los nutrientes a nivel molecular
2. Desarrollar intervenciones dietarias basadas en evidencias científicas para restablecer la salud y el peso adecuado
3. Para hacer declaraciones de salud apropiadas de productos alimenticios
4. Prevención de enfermedades relacionadas con la alimentación
5. Desarrollo de portafolios dietarios específicos para enfermedades específicas
6. Para incrementar la efectividad de una terapia para una enfermedad existente.

GENÉTICA Y NUTRICIÓN

Tomando en cuenta numerosos resultados de estudios llevados a cabo hasta el momento, referentes al impacto de la alimentación sobre diversas patologías, se puede deducir dos puntos importantes a la hora de entender la relación entre genética y nutrición:

1. Las recomendaciones nutricionales generales dirigidas a la sociedad son aquellas que producen un beneficio óptimo a la mayoría de la población. Sin embargo, puede haber un subgrupo de personas que no respondan de la misma manera que la mayoría. La causa de este comportamiento anómalo será muy probablemente genético, ya que la variación genética es una de las

principales fuentes de diferencias entre los individuos de una misma población, que comparten un mismo ambiente.

2. Las recomendaciones nutricionales dirigidas al individuo deberán tener en cuenta su perfil genético y ser por tanto personalizadas, para poder así detectar aquellas excepciones a las recomendaciones generales que, de otra manera, podrían haber favorecido un estado patológico.

La mayor parte de las variantes encontradas en el genoma completo explican sólo una parte de las diferencias interindividuales en la predisposición genética a la enfermedad (heredabilidad perdida). Un análisis publicado en Junio del 2010 por Park, et al., estimaba que, sumando todos los estudios hechos para la enfermedad de Crohn, existían 142 SNPs asociados con la enfermedad, pero que sólo explican el 20% de la variación genética existente para dicha enfermedad, este es, actualmente uno de los mayores problemas a la hora de poder trasladar la nutrigenética a la práctica nutricional, ya que su capacidad predictiva es, de momento, reducida (De Lorenzo, 2012).

GENOMAS EN INTERACCIÓN

El futuro de la nutrición y la salud humana será determinado por la comprensión de las interacciones entre tres conjuntos de genomas:

1. El Genoma Humano, en su versión más amplia, que incluye genoma, epigenoma, transcriptoma, proteoma y metaboloma,
2. El genoma de nuestros alimentos, ya que son en su mayor parte, seres vivos, y como tales poseen un genoma que sintetiza moléculas bioactivas, pero que por similitud estructural, pueden llegar a interferir con nuestro

metabolismo y 3. Finalmente el genoma de nuestra microbiota, considerándolo como un "órgano" adicional en un estado de simbiosis con el huésped humano, siendo el conjunto de microorganismos que colonizan nuestro cuerpo, los cuales viven en el tracto digestivo formando un ecosistema complejo que influye de manera muy importante en el metabolismo de su organismo anfitrión, llamado metagenoma y considerado como nuestro "segundo genoma". El 90% de las células presentes en la flora intestinal de nuestro cuerpo son bacterias. Durante su paso por el tracto gastrointestinal, los nutrientes son metabolizados por esta enorme cantidad y diversidad de bacterias, y nosotros absorbemos los resultados de su metabolismo y los subproductos asociados.

Este escenario, ya de por sí complejo, se complica si consideramos que los nutrientes son mezclas de una gran variedad de compuestos a diferentes concentraciones. Por lo tanto, además de nuestra propio genoma, se acoge un genoma suplementario cuya actividad también está influenciada por nuestra dieta, y que contiene 150 veces más genes que nuestro genoma eucariota (De Lorenzo 2012; Lepage *et al.*, 2013).

RETOS PRESENTES Y FUTUROS DE LA NUTRIGENÓMICA

La nutrigenómica ya está influyendo en múltiples aspectos de la cadena alimentaria (agricultura, producción alimentaria, seguridad alimentaria y garantía de calidad) y ayudando a conseguir mejoras en el campo

THOMSON REUTERS ES EL PROVEEDOR LÍDER MUNDIAL DE SOLUCIONES E INFORMACIÓN INTELIGENTE PARA EMPRESAS Y PROFESIONALES.

Combinamos experiencia en la industria y tecnologías innovadoras para suministrar información esencial para los tomadores de decisiones.

Web of Science™ – La base de datos de indexación de la investigación científica de todas las áreas de conocimiento líder en el mundo.

EndNote® – Herramienta para administrar y organizar su investigación. Gestor de referencias y creación de bibliografía; práctico y sencillo.

InCites™ – Una vista de 360° del desempeño investigativo de su institución. Métricas sobre producción, financiamiento y reputación.

<http://ip-science.thomsonreuters.com/>



©2014 Thomson Reuters. All rights reserved.
Thomson Reuters and the Kinesis logo are trademarks of Thomson Reuters.



THOMSON REUTERS

de la nutrición humana y de la salud. El avance tecnológico continuado debería acelerar el desarrollo de los productos alimentarios funcionales, mientras que una más amplia comprensión de las interacciones gen-dieta ayudará a convertir la idea de la nutrición personalizada en algo más próximo a la realidad (Sutton, 2007).

Para ello, los objetivos a mediano y largo plazo de la investigación genómica nutricional deben ser claros y localizados alrededor de los siguientes puntos clave:

- La identificación de los factores (factores de transcripción, moléculas transportadoras, etc.) que actúan como sensores de nutrientes, así como los nutrientes a los que son sensibles y los genes sobre los que actúan.
- La identificación de las vías metabólicas y los genes influenciados por los nutrientes, así como la cuantificación de las variaciones que éstos producen en la actividad génica.
- La comprensión de los procesos de desregulación metabólica producida por nutrientes y la identificación de genotipos, epigenotipos y metagenotipos de riesgo que los favorecen.
- El desarrollo de modelos y biomarcadores que permitan detectar señales de desregulación metabólica o estrés celular producido por la dieta y que pueda desembocar en trastornos de la salud.
- La elaboración de sistemas expertos que permitan, computacionalmente, integrar toda esta información para poder determinar la nutrición óptima en base al genoma individual (De Lorenzo 2012).

REFERENCIAS

Bloom DE, Cafiero ET, Jané-Llopis E, Abrahams-Gessel S, Bloom LR, Fathima S, Feigl AB, Gaziano T, Mowafi M, Pandya A, Prettner K, Rosenberg L, Seligman B, Stein AZ, y Weinstein C. 2011. The Global Economic Burden of Noncommunicable Diseases. Geneva: World Economic Forum.

Constantin N y Wahli W. 2013. Nutrigenomic foods: What will we be eating tomorrow?. *Nutrafoods*,12:3-12.

De Lorenzo D. 2012. Perspectivas presentes y futuras de la Nutrigenómica y la Nutrigenética en la medicina preventiva. *Nutr. clín. diet. Hosp*, 32(2):92-105.

De Lorenzo, D et al. 2011. Nutrigenómica y Nutrigenética: hacia la nutrición personalizada. 2011. Libro. ISBN: 978-8493891015. Libbooks, Barcelona.

Eaton SB. 2006. The ancestral human diet: what was it and should it be a paradigm for contemporary nutrition?. *Proc Nutr Soc*, 65:1-6.

Gómez-Ayala AE. 2007. Nutrigenómica y nutrigenética. La relación entre la alimentación, la salud y la genómica. *Offarm*; 26(4): 78-85.

Lepage P, Leclerc MC, Joossens M. 2013. A metagenomic insight into our gut's microbiome. *Gut*, 62:146-158.

Martí A, Moreno-Aliaga MJ, Zulet MA, Martínez JA. 2005. Avances en nutrición molecular: nutrigenómica y/o nutrigenética. *Nurt. Hosp.*; 20(3): 157-164.

McGrane MM. 2007. Vitamin A regulation of gene expression: molecular mechanism of a prototype gene. *J Nutr Biochem*,18:497-508.

Park J. 2010. Estimation of effect size distribution from genome-wide association studies and implications for future discoveries. *Nat Genet.*, 42, 570-575.

Reik W, Dean W, Walter J. 2001. Epigenetic reprogramming in mammalian development. *Science* 293:1089–1093.

Rist MJ, Wenzel U, Daniel H. 2006. Nutrition and food science go genomic. *Trends Biotechnol*, 24:172–178.

Sanhueza J, Valenzuela A. 2012. Nutrigenomics: revealing molecular aspects of a personalized nutrition. *Rev Chil Nutr.*, 39:(71-85).

Sutton KH. 2007. Considerations for the successful development and launch of personalised nutrigenomic foods. *Mutat Res* 622:117–121.

Zeisel. 2007. Nutrigenomics and metabolomics will change clinical nutrition and public health practice: insights from studies on dietary requirements for choline. *Am J Clin Nutr.*; 86:542-8.

GLOSARIO

ADN: Ácido desoxirribonucleico. Es la molécula que contiene y transmite la información genética de los organismos excepto en algunos tipos de virus (retrovirus).

ARN: Ácido ribonucleico. Es una molécula lineal de hebra sencilla encargada de transferir la información genética del ADN para que se puedan fabricar las proteínas.

Gen: Unidad de herencia que ocupa una posición concreta en el genoma (locus) y está constituido por una secuencia de ADN que codifica un ARN funcional

Genoma: Conjunto de secuencias de ADN que caracterizan a un individuo

Nutrición: Ciencia o disciplina que estudia las reacciones del organismo a la ingestión de los alimentos y nutrientes.

Nutrigenómica: Disciplina que estudia cómo interaccionan los alimentos y sus componentes con la información codificada en nuestros genes.



USO DEL LACTO
SUERO PARA LA
ELABORACIÓN DE
QUESO.



OGILVER TENIZA^{1,2}, MYRNA SOLÍS¹, ERIK OCARANZA¹.

¹ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional. CIBA-IPN Tlaxcala, Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 5729 6000, Ext. 87814.

² Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Tlaxcala.

RESUMEN

La industria de quesos en México es muy importante por su volumen de producción, al elaborar el queso se obtiene como subproducto el lacto suero, el cual contiene proteínas, azúcares y minerales, compuestos indispensables para la dieta humana. Sin embargo, y a pesar de su valor nutrimental, este subproducto es desaprovechado y en algunos casos desechado en el ambiente ocasionando problemas de contaminación. En este trabajo se evaluó el uso del lacto suero concentrado y del lacto suero deshidratado,

para la elaboración de queso tipo Oaxaca. Se encontró que la adición de hasta 10 % de lacto suero concentrado o 1% de lacto suero en polvo permite obtener un producto con las características del queso Oaxaca y con un rendimiento similar al utilizando únicamente leche.

Palabras Clave: lacto suero, deshidratación, queso Oaxaca

ABSTRACT

The cheese industry in Mexico is very important for the production volume, during the cheese production, the whey is produced too; this sub by-product contains proteins, sugar and minerals, important compounds for the human diet. However, and besides the nutrimental value, this by-product is not used and in some cases is throw to the ambient making contamination problems. In this work we evaluate the use of concentrated whey and powder whey to make Oaxaca cheese. We found that adding until 10% concentrated whey or 1% dehydrated whey, let to produce Oaxaca cheese with the same characteristics and in the same quantity that using only milk.

Key Words: whey, dehydratation, Oaxaca cheese

1. INTRODUCCIÓN

El queso se obtiene mediante la coagulación de la leche por la acción de cuajo u otros coagulantes (enzimas específicas o ácidos orgánicos permitidos), como subproducto se obtiene el lacto suero (Hinrichs, 2001). La cantidad de lacto suero residual es 5 a 10 veces mayor en volumen que la de queso producido. Este efluente industrial por ser rico en proteínas es muy valioso para la industria alimentaria y farmacéutica (Mehra *et al.*, 2006). En países desarrollados el lacto suero se puede encontrar en el mercado en polvo, concentrado y como aislado proteínico (Johnson, 2006). El lacto suero, además de su aporte nutrimental, contribuye a la cremosidad, a la textura, a la capacidad de retención de agua, y a la opacidad y adhesión de varios alimentos (McIntosh *et al.*, 1998; Johnson, 2006). Los usos del lacto suero comprenden también la formulación

de leches reconstituidas y de alimento para animales (Young, 2005).

Sin embargo el lacto suero forma parte de los contaminantes más severos que existen, ya que para su tratamiento biológico demanda una elevada cantidad de oxígeno de 40,000 a 60,000 mg/L (Cristiani *et al.*, 2000). Cuando un compuesto con una alta demanda bioquímica de oxígeno, como el suero de leche, se vierte a cuerpos de agua, los microorganismos que lo degradan necesitan una gran cantidad del oxígeno disuelto en el agua, y si la cantidad de éste baja significativamente, se producen olores fétidos por putrefacción y se provoca la muerte por asfixia de la fauna de estos ecosistemas (Carrillo, 2006). Por otro lado, se han desarrollado diversas aplicaciones para el lacto suero con el fin de minimizar los costos de su tratamiento y aumentar los beneficios derivados de su comercialización. Sin embargo el utilizar los componentes del lacto suero requiere una tecnología más compleja y por tanto mayor inversión a fin de obtener derivados de alto valor agregado (Vega *et al.*, 1998).

El objetivo del presente trabajo fue demostrar que el lacto suero concentrado o deshidratado puede usarse en la misma empresa para la elaboración de queso tipo Oaxaca, ello como una alternativa para minimizar la contaminación que se produce hoy en día por el desechado de dicho subproducto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización fisicoquímica del lacto suero

El lacto suero fue proporcionado por una empresa fabricante de quesos ubicada en el estado de Tlaxcala. A las muestras se les

determinó: pH (potenciómetro ORION modelo 410a) y se cuantificó el contenido de grasa, proteína, lactosa, sales minerales, sólidos no grasos, sólidos totales y humedad con el analizador de lácteos MilkoScan (S-54B, FOSS Electric A/S, Hilleroed, Dinamarca).

2.2 Ultrafiltración del lacto suero

Para obtener el lacto suero concentrado, se empleó un equipo de ultrafiltración (Marquardt et al., 1985) multi-etapas NIRO (RO, modelo R, marca GEA, Wisconsin, EUA), bajo las condiciones de operación siguientes: presión de entrada a la membrana 5.5 kg cm^{-2} , flujo de concentrado 9.3 L s^{-1} , presión 3.7 kg cm^{-2} , temperatura $25 - 45 \text{ }^\circ\text{C}$, y tamaño de corte de membrana de 10 KDa . Una vez ultrafiltrado el lacto suero con el Milkoscan se analizó su composición.

2.3 Deshidratación de lacto suero concentrado

El deshidratado del lacto suero se efectuó por el método de secado por aspersion en un secador tipo *spray dryer* Marca Galaxi (Modelo 2520, Buenos Aires, Argentina). Las condiciones de operación fueron: temperatura de aire de entrada 200°C y de salida 80°C ; velocidad de evaporación de 250 L h^{-1} . El lacto suero deshidratado obtenido tuvo un contenido de humedad de aproximadamente 3%.

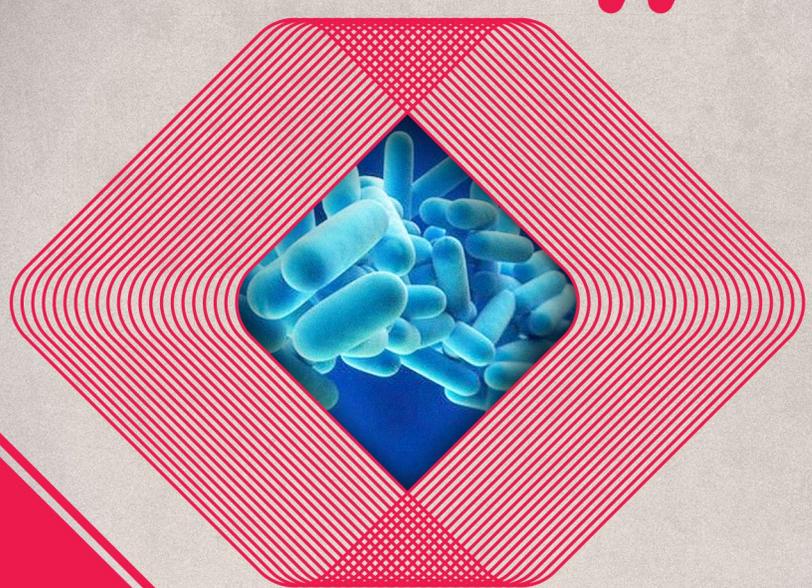
2.4 Formulación de queso con lacto suero concentrado

Se elaboró queso tipo Oaxaca

siguiendo el proceso de elaboración indicado la empresa que proporcionó el suero, con la variante de que se utilizaron diferentes cantidades de lacto suero concentrado: 0, 5, 7, 10, 12, 15 y 19 % en volumen, mismo que se adicionó a leche bronca previamente pasteurizada; en todos los casos el volumen de trabajo fue de 4 L. A las mezcla de leche y suero se adicionó el cuajo, la mezcla se mantuvo a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ por 2 horas hasta la separación de fases y formación de la cuajada. La cuajada se separó del lacto suero por prensado manual,



Lotto Bio Nano Laboratories (Lotto Labs) es una compañía que nació con la convicción de innovar, desarrollar, aplicar y generar riqueza en el campo de la bionanotecnología.



También realizamos estudios para el establecimiento y/o escalamiento de bioprocesos utilizando enzimas, archeas, bacterias, levaduras, mohos, células animales y células vegetales. Además de brindar servicios de renta de equipos, construcción de bioreactores y maquila de productos en el área de la biotecnología.



Lotto Bio Nano Laboratories
Poetas 446 Panorama
León, Guanajuato, México
Tel. 52.477.717.1496
info@lotto-labs.com
www.lotto-labs.com

se pasó por agua caliente a 80 oC durante 2 minutos (amasado) y se procedió a hilar y por último se saló. Una vez formulado el queso se determinó el rendimiento promedio por litro de leche. Las muestras se prepararon por triplicado para reportar el rendimiento promedio por litro de leche utilizada.

2.5 Formulación de queso tipo Oaxaca con lacto suero deshidratado

Se preparó queso tipo Oaxaca siguiendo el mismo procedimiento indicado en 2.4, pero en este caso se adicionando 1 % en peso de lacto suero deshidratado, como control se utilizó 1% de leche en polvo, ya que es la proporción en que se maneja en la empresa cuando la oferta de leche baja o incrementa la demanda de queso. Se determinó el rendimiento promedio de las tres muestras que se prepararon.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización fisicoquímica del lacto suero

La tabla 1 muestra la composición promedio de: a) la leche utilizada para elaborar el queso, b) del lacto suero obtenido de la formulación de queso tipo Oaxaca, c) del lacto suero concentrado por ultrafiltración y d) del lacto suero deshidratado.

Se observa que durante la elaboración del queso se aprovechó solamente la grasa de la leche y parte de las proteínas, componentes que se coagularon al formarse el queso; el resto se eliminó en el lacto suero, por lo que este contiene casi la mitad de las proteínas originales de la leche y prácticamente la totalidad de la lactosa.

Después de concentrar el suero por ultrafiltración, el contenido de grasa y de proteínas aumentaron, en el caso de la grasa en 3.7 veces y en el caso de las proteínas se duplicó su contenido, alcanzando valores cercanos al contenido nutricional de la leche. Mientras que al deshidratar el suero el contenido de proteína aumentó sustancialmente en 17 veces y la grasa aumentó ahora en 2.6 veces respecto al suero concentrado. Mediante los procesos de ultrafiltración y el deshidratado se concentraron los componentes básicos del lacto suero, por lo que es factible elaborar queso ya que se incrementaron los contenidos de la grasa y las proteínas a valores cercanos a los de la leche.

3.2 Uso del lacto suero concentrado para la formulación de queso tipo Oaxaca

Una vez verificada la composición y características del lacto suero se procedió a formular queso tipo Oaxaca, se evaluó

Tabla 1. Análisis de la leche, lacto suero de queso Oaxaca, lacto suero concentrado y lacto suero deshidratado

Parámetro	Leche bronca	Suero del queso Oaxaca	Suero concentrado	Suero deshidratado
pH	6.42	6.30 ± 0.124	5.77 ± 0.52	7.97
% de grasa	3.25	0.29 ± 0.062	1.08 ± 0.13	2.82
% de proteína	3.12	1.25 ± 0.029	2.66 ± 0.26	47.32
% de lactosa	4.46	4.48 ± 0.047	4.67 ± 0.27	14.9
% de sales minerales	0.88	0.75 ± 0.004	0.82 ± 0.01	9.1
% de sólidos totales	11.51	6.47 ± 0.038	9.23 ± 0.59	94.86

Tabla 2. Rendimiento de queso Oaxaca con la adición de lacto suero concentrado

% Lacto suero Concentrado adicionado	Rendimiento (g queso/L leche)
Testigo sin suero	112.7 ± 0.41
5%	113.5 ± 0.08
7%	113.6 ± 0.57
10%	113.8 ± 0.68
12%	113.2 ± 0.06
15%	11.07 ± 0.61
19%	10.76 ± 0.72

el rendimiento al adicionar diferentes cantidades de lacto suero concentrado. En la tabla 2 se muestran los rendimientos de las formulaciones de queso tipo Oaxaca con la adición de diversos porcentajes de lacto suero concentrado y del testigo sin la adición del mismo.

En todos los casos al adicionar lacto suero concentrado el rendimiento fue similar al del testigo empleando 100 % leche, mismo que fue de alrededor de 110 g/L leche. Este rendimiento coincide con el reportado por SAGARPA (2004), quien indica que al formular queso el rendimiento es de 9 a 11 kg/100 L leche. Se observó que los quesos que se elaboraron con la adición de 5, 7 y 10 % de lacto suero concentrado fueron fáciles de hilar, pero al incrementar este porcentaje, el producto adquirió una constitución chiclosa, por lo que no fue posible obtener el queso con la apariencia y consistencia típica del queso tipo Oaxaca.

Esto se puede explicar porque al adicionar mayores cantidades de lacto suero concentrado la cantidad total de proteínas y grasa en la mezcla leche-lacto suero bajó. Se sabe que las proteínas son las responsables de la alineación espacial de las hebras del

queso, por ello debe haber una cantidad mínima de éstas para que se obtenga el queso tipo Oaxaca; si la cantidad de proteínas en la mezcla leche-lacto suero es baja, se dificulta la obtención del queso hilado. Por otro lado, es importante el contenido de grasa

butírica, ya que en la pasta amasada e hilada la grasa se distribuye en las hileras siguiendo la orientación de los arreglos de las fibras de proteína, por lo que si es pequeña la cantidad de grasa, el hilado es deficiente (Mehmet y Sundaram, 1997); lo cual explica porque con las mezclas con contenidos de lacto suero concentrando mayores al 10 % el hilado fue deficiente y se obtuvo una masa con consistencia chiclosa. La cantidad sugerida de lacto suero concentrado a adicionar a la leche para la producción de queso tipo Oaxaca es máximo del 10 %.

Las formulaciones de queso obtenidas con máximo 10% de lacto suero concentrado presentaron las siguientes ventajas sobre las demás formulaciones estudiadas: a) buena incorporación de los componentes del lacto suero (principalmente grasa y proteínas), b) el comportamiento en el proceso de elaboración del queso tipo Oaxaca fue aceptable, c) se obtuvo el mismo rendimiento pero utilizando menor cantidad de leche, lo que se traduce en un ahorro económico por el costo de leche. Por otro lado hay reportes que indican que el uso del lacto suero fermentado puede reducir el tiempo de acidificación de la leche, que es la etapa más larga durante la elaboración de

Tabla 3. Rendimiento de queso Oaxaca elaborado con lacto suero deshidratado o leche en polvo

Formulación del queso R	rendimiento (g queso/L leche)
1 % Lacto suero deshidratado	125.0 \pm 0.51
1 % Leche en polvo	117.5 \pm 0.55

queso Oaxaca (Aguilar-Uscanga et al., 2006).

El análisis fisicoquímico de los lacto sueros resultantes de cada una de las muestras experimentales fue similar respecto a la muestra formulada sin la adición de lacto suero, esto indica que el lacto suero que se vaya obteniendo se puede seguir concentrando y aplicando para la elaboración del queso tipo Oaxaca.

3.3 Uso de lacto suero deshidratado para la formulación de queso tipo Oaxaca

El lacto suero deshidratado se empleó para la elaboración de queso tipo Oaxaca, ello con la finalidad de evaluar la sustitución de la leche en polvo por este subproducto. Es común que en las empresas cuando la demanda de queso es mayor o cuando la oferta de leche baja se utiliza leche en polvo. En la tabla 3 se

WILEY

Libros en línea, Revistas Científicas, Base de datos

Descubre más en:
Wileyonlinelibrary.com



muestran los rendimientos obtenidos al formular queso tipo Oaxaca con la adición de 1 % de lacto suero deshidratado y se hizo la comparación con una muestra formulada con 1 % de leche en polvo (que es la cantidad usualmente adicionada por las empresas).

El rendimiento utilizando lacto suero deshidratado fue similar que empleando leche en polvo, por lo que el lacto suero deshidratado se puede utilizar perfectamente para sustituir la leche en polvo que se usa en las empresas productoras de queso. Por otro lado, el uso de lacto suero deshidratado en lugar de leche en polvo, no afectó al procesado de queso Oaxaca; el producto se obtuvo con las características propias de este tipo de queso, fue fácil de hilar y la consistencia fue aceptable. Al analizar el lacto suero obtenido en esta serie de experimentos, nuevamente se constató que se tienen parámetros muy similares a los obtenidos para el lacto suero en una formulación típica de queso tipo Oaxaca. Es decir, que el lacto suero resultante de estas formulaciones adicionado ahora lacto suero deshidratado también se puede volver a procesar para la formulación de más queso.

Por otro lado, se sabe que hay fluctuaciones importantes en los precios, oferta y demanda de la leche, lo que afecta a los productores, como es el caso del periodo de invierno, donde se eleva el costo de manutención de las vacas, ya que hay un encarecimiento de los forrajes y con ello, en algunas ocasiones hacen incosteable la elaboración del queso. Los resultados obtenidos abren adicionalmente un campo de aplicación para el lacto suero y una alternativa para los productores, que pueden emplear su mismo subproducto en cualquier época del año para la elaboración de queso, teniendo mayor interés su uso en épocas de escasez

o encarecimiento de la leche en cualquiera de sus presentaciones. Además, al contar con una alternativa para el uso del lacto suero, se evita su eliminación a cielo abierto y reduce los problemas de contaminación que esto genera.

CONCLUSIONES

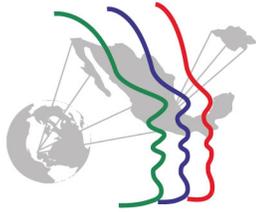
El lacto suero ya sea concentrado o deshidratado puede utilizarse para elaborar más queso, por lo que la implementación de estos resultados pueden ser una alternativa atractiva para las empresas económicamente hablando, ya que además pueden comercializar el suero deshidratado con las empresas que utilizan leche en polvo; adicionalmente evitarían la construcción y operación de una planta de tratamiento para que sus descargas cumplan con la normatividad ambiental, pero lo principal es el beneficio ya que al valorizarse el lacto suero las empresas reducirán su desecho al medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Ogilver Teniza García fue becario CONACyT; con el registro número 203575 en los años 2006-2007.

REFERENCIAS

- Aguilar-Uscanga R., Montero-Lagunes B., De la Cruz L., Solís-Pacheco R., y García H. (2006).** Uso de lacto suero fermentado para reducir el tiempo de acidificación del queso Oaxaca. *Agrociencias*, 40, 569-575.
- Carrillo A. (2006).** Tratamiento y reutilización del suero de leche. *Mundo lácteo y cárnico*, 6, 27-30.
- Cristiani E., Netzahuatl A., Juárez C., Ruiz N., Galindez J. (2000).** Batch and fed batch cultures for the treatment of whey with mixed yeast culture. *Proces Biochem.* 35, 549-657.
- Hinrichs J. (2001).** Incorporation of whey in cheese. *Intern Dairy J.* 11, (4), 495-503.
- Johnson B. (2006).** Los concentrados de proteínas de lacto suero y sus aplicaciones en productos bajos en grasa. *Mundo lácteo y cárnico*, 2, 24-28.
- Marquardt F., Pederson T., y Francis H. (1985).** Modified whey product and process including ultrafiltration and demineralization. US patent 4,497,836.
- McIntosh G., Royle P., Le Leu R., Register G., Johnson M., Grinsted R., Kenward R. y Smithers G. (1998).** Whey proteins as functional food ingredients. *Internal Dairy J.* 8, 425-434.
- Mehmet A. y Sundaram K. (1997).** Anisotropy in tensile properties of mozzarella cheese. *J. Food Scien.* 62, 1031-1033.
- Mehra R., Marnila P. y Korhonen H. (2006).** Milk immunoglobulins for health promotion. *Intern Dairy J.* 16, 1262-1271.
- SAGARPA (2004).** Subsecretaria de Desarrollo Rural. Elaboración de quesos tipo panela y Oaxaca. Sistema de agronegocios pecuario, México, 10.
- Vega A., Fernández J., Coca J. (1998).** Revalorización del suero lácteo. Productos derivados de la lactosa de interés en la industria alimentaria. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 3, 113-120.
- Young S. (2005).** Productos de lacto suero de leche en quesos procesados empacados en frío y pasteurizados. *Mundo Láctico y Cárnico*, 3, 10-15.



1ST BIOTECHNOLOGY WORLD SYMPOSIUM



9^º ENCUENTRO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA DEL IPN



REACTIVOS Y EQUIPO, S.A. DE C.V.



DiagnoCell Laboratorios, S.A. de C.V.



EQUIPO CIENTÍFICO Y DE LABORATORIO



GE Healthcare



Reactivos, Instrumental y Equipo de Laboratorio Químico



Herramientas para el progreso



COMERCIALIZADORA ALTERNATIVA





CIBA - IPN

INVESTIGACIÓN +

POSGRADOS

- Maestría en Biotecnología Aplicada
- Maestría en Biotecnología Productiva
- Doctorado en Biotecnología Aplicada
- Doctorado en Biotecnología Productiva

Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada

Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal
Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México.