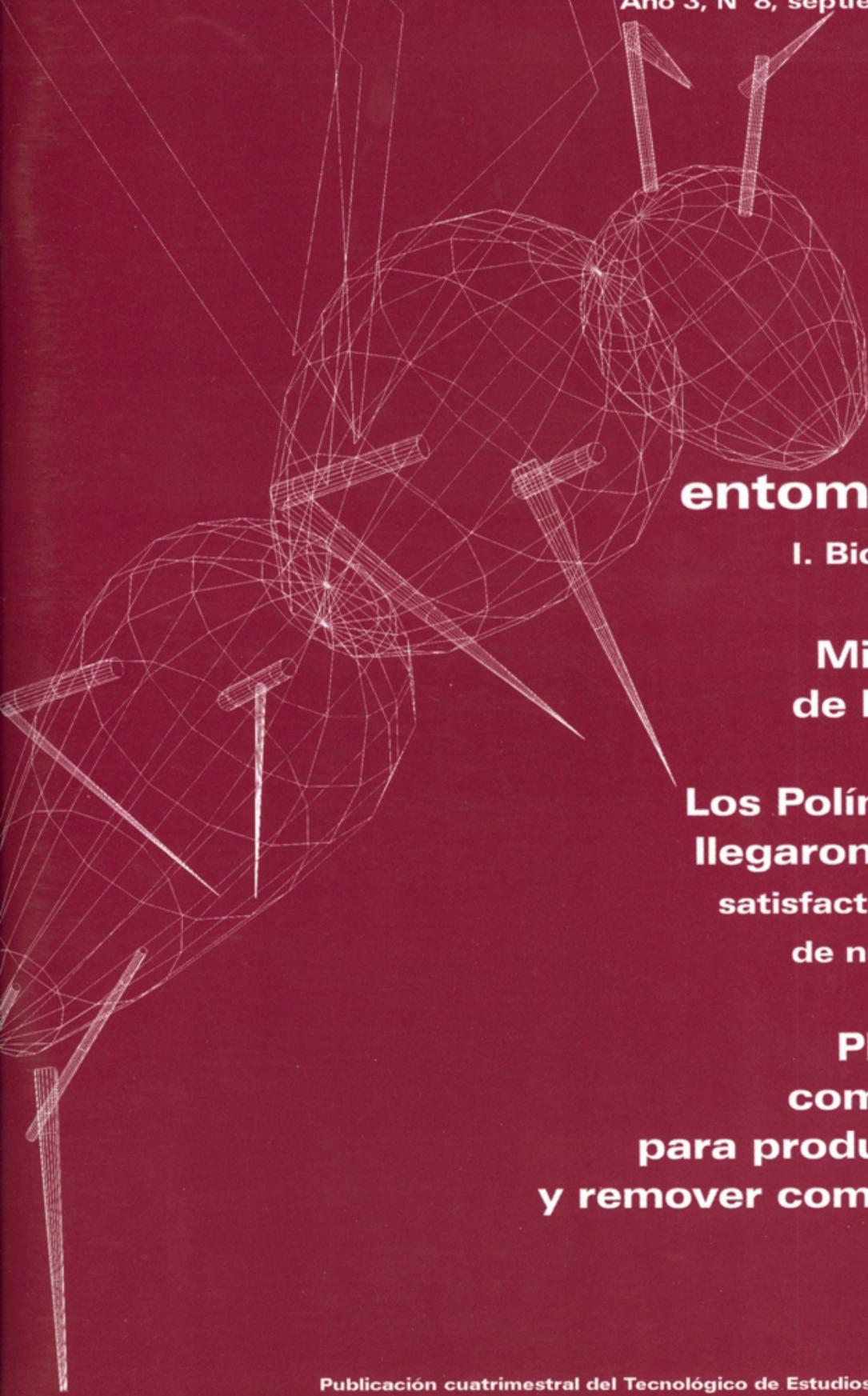


# TECNOCULTURA

Investigación · Ciencia · Tecnología · Cultura

Año 3, N° 8, septiembre-diciembre del 2004

A wireframe illustration of a nematode, showing its internal structure and external features like the head, tail, and various internal organs. The illustration is composed of thin white lines on a dark red background.

## Nemátodos entomopatógenos

I. Biología y ciclo de vida

Mitos y realidades de la fibra dietética

Los Polímeros sintéticos llegaron para quedarse:

satisfactores imprescindibles de nuestro modo de vida

Plantas utilizadas como biorreactores para producir biomolécula y remover compuestos tóxicos

# Editorial



No cabe duda que el ritmo creciente y acelerado de las actividades científicas y tecnológicas, han influido en el desarrollo de la sociedad contemporánea, modificado la manera de vivir y convivir de los pueblos, las formas de comunicación, los modos de pensar y de actuar, e incluso, en algunos casos, transformado las costumbres, tradiciones y creencias, con su inevitable impacto en la propia cultura.

En este contexto, el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE) desde su origen, ha tenido como parte de su misión, promover el conocimiento y la cultura nacional y universal, especialmente la de carácter tecnológico; de ahí la relevancia de editar una revista con el fin de difundir los avances de la investigación y el desarrollo científico en este ámbito, en el contexto de su influencia sobre la sociedad y en la cultura, considerando también los aspectos históricos y filosóficos, así como estudios prospectivos orientados a visualizar el futuro viable y sustentable de nuestro planeta. El objetivo es propiciar la reflexión en que el progreso económico y social depende en cierta medida del uso racional de la producción científica y tecnológica, tanto nacional como la generada a escala mundial. Es por ello que en el año 2002 surge la revista *Tecnocultura*, como un foro abierto a la expresión y como un medio para difundir el quehacer de los docentes e investigadores del TESE y de otras instituciones afines.

Para iniciar la publicación de la revista *Tecnocultura* se contó con el respaldo de un Consejo Editorial integrado por destacados académicos e investigadores de diferentes disciplinas, orígenes y orientaciones filosóficas. Uno de ellos fue el Dr. Manuel Méndez Nonell, Director Adjunto de Ciencia del CONACYT, fallecido recientemente y a quien dedicamos este número como tributo al incondicional apoyo y confianza que otorgó al TESE para realizar esta publicación.

La trayectoria del Dr. Méndez Nonell, constituye un ejemplo de la entrega apasionada por su ámbito de estudio, que fue la ingeniería química metalúrgica, pues con tan sólo 27 años de edad, obtuvo el doctorado en Metalurgia, en la Universidad Sheffield, Inglaterra, y posteriormente se enfocó a la investigación sobre el tratamiento del metal líquido en los procesos de solidificación. Como docente, contribuyó a la formación de estudiantes en las principales universidades del país como la UNAM y el IPN.

De igual forma desempeñó importantes cargos en prestigiadas instituciones, como el CINVESTAV, del IPN, en donde fue fundador y director de la Unidad Saltillo, Secretario Académico y Secretario de Planeación (1999-2000); y también en el CONACYT, en donde ocupó diversos puestos directivos desde el 2001. Recibió numerosos reconocimientos y escribió más de 70 artículos de divulgación científica.

Esta es en verdad una lamentable pérdida para la ingeniería mexicana, sin embargo, su legado de trabajo, dedicación y colaboración entusiasta, permanece y será fuente de inspiración para muchas generaciones de investigadores.

## DIRECTORIO



### GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO

LIC. ARTURO MONTIEL ROJAS  
Gobernador Constitucional  
del Estado de México

ING. AGUSTÍN GASCA PLIEGO  
Secretario de Educación, Cultura y  
Bienestar Social del Estado de México

M. EN C. CARLOS LEÓN HINOJOSA  
Subsecretario de Educación  
Media Superior y Superior



### AUTORIDADES DEL TESE

M. EN A. URIEL GALICIA HERNÁNDEZ  
Director General

M.C. ALFONSO MARTÍNEZ REYES  
Director de Administración y Finanzas

C. P. MARÍA EUGENIA  
BÁTIZ Y SOLÓRZANO  
Directora Académica

ING. ÁLVARO GÓMEZ CARMONA  
Director de Apoyo  
y Desarrollo Académico

M. EN C. MARIO QUEZADA ARAGONEZ  
Director de Vinculación y Extensión

LIC. JAVIER VILLEGAS ALTAMIRANO  
Abogado General

LIC. REYNALDO MONTÚFAR OCHOA  
Contralor Interno

### CONSEJO EDITORIAL

DR. ADOLFO GUZMÁN ARENAS

DR. JUAN JOSÉ SALDAÑA

DR. FELICIANO SÁNCHEZ SINENCIO

DR. MANUEL MENDEZ NONELL

### TECNOCULTURA REVISTA TECNOCULTURA

#### Editor

Lic. María Isabel Arroyo Pérez

#### Corrección de estilo

Lic. Rafael Ortiz Hernández

#### Diseño y formación

L.D. Fernando Rubio Orozco

# Contenido

## En portada



Insecto

**Tecnocultura**, revista de divulgación del conocimiento científico, tecnológico y humanístico del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Año 3, No. 8, septiembre-diciembre 2004. Número de autorización del Comité Editorial de la Administración Pública Estatal A: 205/4/01/04/3. Edita y distribuye la Unidad de Relaciones Públicas y Difusión, domicilio: Av. Tecnológico (antes Valle del mayo) s/n, Col. Valle de Anáhuac, C.P. 55210, Ecatepec, Estado de México. Teléfono y Fax: 5710-4560. Correo electrónico: [difusion@tese.edu.mx](mailto:difusion@tese.edu.mx). Impreso en febrero de 2005. Imprenta: Huazo Impresores, domicilio: Texcoco Mz. 513, Lote 38, No. 76, Cd. Azteca, Ecatepec, Estado de México. Número de Reserva al Título de Derechos de Autor: 04-2004-101417135700-102. Se imprimen 1000 ejemplares. Se autoriza la reproducción total o parcial del material publicado en Tecnocultura, siempre y cuando cite la fuente. Los artículos son responsabilidad de los autores.

<http://tecnocultura.tese.edu.mx>

Los Polímeros sintéticos llegaron para quedarse:satisfactoros imprescindibles de nuestro modo de vida

4



Células vegetales: biorreactores para diseñar y producir biomoléculas y remover compuestos tóxicos

9



14

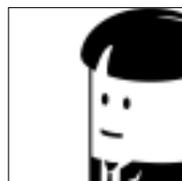
Mitos y realidades de la fibra dietética



Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para la producción de enzimas ligninolíticas de elevado potencial biotecnológico



22



19

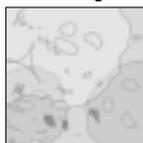
El trabajo del político de empresa y sus procedimientos



28

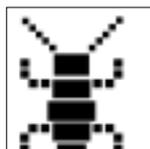
Avances en el uso del Sol-Gel como material para inmovilizar sistemas biológicos

32



Incremento de la biodegradación de hidrocarburos por extracción con solventes en un sistema de suelo en suspensión

36



Nemátodos entomopatógenos. I. Biología y ciclo de vida

27

In memoriam

Dr. Manuel Méndez Nonell



3a

Tecnohumor

# Los Polímeros sintéticos llegaron para quedarse: satisfactores imprescindibles de nuestro modo de vida

José Antonio Arcos Casarrubias\*

**E** **Perspectiva industrial de los polímeros** en la industria de procesos, aproximadamente el 95% de la venta de polímeros sintéticos corresponden a productos que fueron introducidos hace más de 35 años. Nuevos materiales han comenzado a comercializarse, pero desde el punto de vista de las ventas, no serán significativos en tanto no cumplan con características que les confieran propiedades verdaderamente innovadoras, tal y como sucedió con el Nylon (una poliamida) o el Teflón (un fluoropolímero). En este sentido, el desarrollo de materiales con propiedades deseables y controladas, como son la distribución de pesos moleculares, la polidispersidad (qué tan ancha es la distribución), la composición, los grupos funcionales y la arquitectura de la molécula, están en plena consolidación; además, estos nuevos materiales deberán presentar morfología en el orden de los nanómetros. Lo anterior está siendo posible debido a un método novedoso de síntesis de homopolímeros, y particularmente de copolímeros, llamado polimerización mediante radical libre controlada o viviente.<sup>1,2</sup> También, los polímeros conductores intrínsecos de la electricidad, como la polianilina y el polipirrol, entre otros, presentan potencial para modificar la tecnología de los semiconductores; actualmente, mucho es lo que se está investigando acerca de su síntesis en un medio disperso.



Entre los métodos de síntesis de polímeros, está la polimerización vía radical libre (una especie química con electrón desapareado), que es muy significativa, tanto en términos de volumen de producción como en dividendos económicos. Como ejemplo de los primeros, sólo se mencionarán algunos de los polímeros más importantes: el polietileno, el poliestireno, el cloruro de polivinilo, el acetato de polivinilo, la familia de los poliacrílicos y los fluoropolímeros (todos ellos denominados genéricamente como monómeros vinílicos) y las poliacrilamidas. Estos polímeros y sus copolímeros se usan en un amplio tipo de aplicaciones, que abarcan desde vidrios, recubrimientos protectores, bases de pinturas, adhesivos, botellas y películas plásticas, productos para el acabado de pieles y sucedáneo de piel, ceras para pisos, bajo-alfombras, placas de impresión, modificador de la viscosidad, dispersantes, floculantes, en tratamiento de agua, en fibras textiles y en su tratamiento, gel para electroforesis, aditivos del cemento, estabilizadores de suelos, fijador en aerosol para el cabello, resinas de intercambio iónico, entre otras áreas en continuo crecimiento.

Dentro de los segundos, existe una producción de polímeros cuyas características de aplicación los agrupan en plásticos de ingeniería o especialidades, como es el copolímero de acrilonitrilo y estireno, conocido como resina SAN, y el terpolímero de acrilonitrilo, butadieno y estireno o ABS (por sus siglas en inglés); son productos que resisten los disolventes y son fácilmente moldeables para la elaboración de piezas, por ejemplo de autopartes. También, son la base para la fabricación de plásticos reforzados de alto desempeño, usados en la industria aeroespacial.

### **Método de síntesis mediante radical libre**

La importancia industrial que la polimerización vía radical libre presenta, es contundente, dada su utilización masiva;

no obstante, aún quedan aspectos cinéticos y de fenómenos de transporte por dilucidar, y por supuesto, situaciones de ingeniería de reactores de polimerización por entender, optimizar y controlar.

Para el propósito de obtener un producto con propiedades específicas, es imprescindible el manejo de los procesos que cesan el crecimiento de la cadena polimérica, a partir de principios científicos y no sólo del conocimiento empírico. En este sentido, actualmente se está trabajando en la dirección de esclarecer las cinéticas de polimerización, particularmente orientadas hacia la reacción de terminación.<sup>3</sup> Dado que esta reacción no puede ser totalmente suprimida, sí es posible, en cambio, disminuir su intervención hasta el punto que su efecto sobre las propiedades del polímero sean marginales, por lo tanto, es ineludible el entendimiento básico de los mecanismos que ocasionan la cesantía del crecimiento de la cadena, principalmente los relativos a la terminación bimolecular.

En la introducción del artículo de revisión, publicado, en el 2002 por Beuermann y Buback,<sup>4</sup> se estipula: "no obstante la enorme importancia técnica de la polimerización vía radical libre, la comprensión minuciosa de las cinéticas de polimerización todavía están incompletas". Ahí mismo se dice también que para muchas reacciones de polimerización, las constantes de rapidez de los procesos de propagación de la reacción y de terminación no se han determinado en forma precisa.

Lo expresado tiene sustento en la inspección efectuada a la tercera edición del Manual de los Polímeros, de Brandup e Immergut,<sup>5</sup> publicada en 1989, en donde se puede observar una dispersión muy grande de los valores tabulados de las constantes de rapidez, aun para sistemas de polimerización cuyas condiciones de reacción son ostensiblemente idénticas (este artículo recapitula sobre las publicaciones que han aparecido impresas hasta diciem-

### Acerca del autor...

\*Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa. Actualmente se desempeña como profesor investigador en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Su trabajo de investigación lo lleva a cabo en el Laboratorio de Procesos Químicos, del edificio "J", adscrito a la División de Ingeniería Química y Bioquímica, y su línea de investigación son los procesos de polimerización.

bre de 2000 en las diferentes revistas técnicas relativas al campo).

Recíprocamente, el disponer de los valores de las constantes de rapidez tiene, finalmente, un sentido práctico, pues permite describir la distribución de pesos moleculares de los polímeros; asimismo, hace factible la simulación (representar el comportamiento dinámico del sistema de polimerización mediante las ecuaciones diferenciales que lo modelan) y, en consecuencia, se pueden escoger las condiciones de reacción óptimas para conseguir una distribución de pesos moleculares que demanda la aplicación del producto final y, el tipo de reactor para la producción.

fenómeno es importante para la producción y el control de procesos de polimerización mediante radical libre, así como para el desarrollo de procesos novedosos.

La evidencia experimental de la presencia del efecto gel, se detecta en la gráfica de conversión de monómero contra tiempo, en la forma de un repentino aumento de la pendiente (puesto que ésta representa la rapidez de polimerización). En conversión baja, la pendiente es prácticamente constante, y su magnitud depende del tipo de monómero, la concentración del iniciador de la reacción y la temperatura.

Con el avance de la reacción, se llega a un valor de conversión en el cual la pendiente comienza a aumentar de magnitud hasta llegar a un máximo, para luego descender y llegar a cero. Este aumento en la rapidez de polimerización conduce, generalmente, a aumentar la temperatura, lo cual, a su vez, conlleva a incrementar la rapidez de conversión, lo que también origina mayor temperatura, y así sucesivamente. El ciclo se interrumpe cuando el monómero se agota o cuando ya no está disponible para continuar la reacción, debido a las restricciones físicas que impone la elevadísima viscosidad del medio. Por lo tanto, durante el efecto gel, la magnitud de la pendiente de conversión contra tiempo, depende de la efectividad con que se transfiera la energía térmica desde el medio de reacción hacia el exterior.

La figura 1 muestra la conversión porcentual de metacrilato de metilo en función del tiempo, para diferentes experimentos, obtenida mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC). Se puede apreciar que los experimentos realizados a temperatura más alta tienen un tiempo de reacción menor, que la rapidez de reacción a tiempos cortos es constante y que aumenta su valor en función del incremento de la temperatura. También, que para un cierto tiempo de reacción, la rapidez aumenta súbitamente, lo cual es un re-

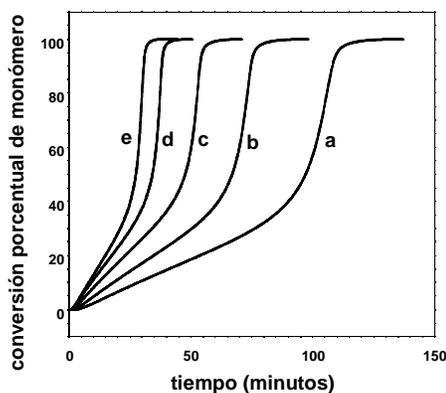


Figura 1.

Gráfica de la conversión porcentual en función del tiempo, correspondiente a la polimerización en masa de metacrilato de metilo, con 0.5% en peso de 2,2'-Azo-bis-isobutironitrilo (AIBN) usado como iniciador de radicales libres. Los experimentos se realizaron a diferentes temperaturas: (a) 60, (b) 65, (c) 70, (d) 75 y (e) 80 °C.

### Comportamiento fenomenológico de los monómeros vinílicos

Los monómeros vinílicos exhiben un comportamiento funesto en el proceso de polimerización mediante radical libre, conocido como efecto gel o "Trommsdorff" o "Norrish-Smith", el cual se manifiesta en la autoaceleración de la rapidez de polimerización durante el intervalo de conversión, comprendido desde la región intermedia a la alta. Este fenómeno puede conducir a que se obtenga un producto con propiedades fuera de especificación, o que la operación del reactor se salga de control, dada la naturaleza exotérmica de la reacción, lo que conduciría a aumentar súbitamente la temperatura, pudiendo ocasionar daño en el reactor, debido al taponamiento de los conductos.

Existen varias formas de evitar la presencia de la autoaceleración y que se usan cotidianamente; una de ellas consiste en el empleo de gran cantidad de agente de transferencia de cadena, lo cual, irremediablemente lleva a producir polímero de bajo peso molecular. Otra manera es la utilización de un volumen considerable de disolvente, sin embargo, eso eleva los costos y hace riesgosa la operación del proceso. Por consiguiente, el entendimiento de este

sultado de la presencia del efecto gel o autoaceleración.

La calorimetría diferencial de barrido mide el flujo de calor relativo que se libera durante el avance de la reacción, lo que se relaciona de manera directa con la conversión de monómero. Esta técnica permite realizar experimentos isotérmicos, debido principalmente a dos causas: la masa del monómero que se usa es pequeña, de alrededor de 10 miligramos, lo cual permite disipar la energía térmica con relativa facilidad, y la otra, se refiere a las técnicas electrónicas de control del equipo, cuya rapidez de respuesta es grande.

### **Teorías para la interpretación del efecto gel y sus limitaciones**

En el medio académico, es aceptada la descripción cualitativa de la autoaceleración característica en la rapidez de polimerización. Se postula que ésta se debe al decremento del coeficiente de terminación bimolecular,  $k_t$ , el cual, a su vez, se origina en las restricciones impuestas a la movilidad de las cadenas poliméricas por parte del aumento de la concentración de polímero, concomitante al avance de la reacción. Sin embargo, no existen modelos que posean capacidad de predicción, es decir, que relacionen la conversión de inicio del efecto gel,  $x_{crit}$ , con la temperatura, la concentración de polímero y el peso molecular. Entre las dificultades principales para conseguirlo está el hecho, sin lugar a duda, de que la causa del inicio del efecto gel no se ha podido aislar. Los diversos intentos por explicar el efecto gel se dividen en dos categorías: la descripción a través de enmarañamiento de las cadenas y la descripción mediante volumen libre; sin embargo, ninguna es adecuada para describirlo satisfactoriamente.

El supuesto de que el inicio de enmarañamiento causa el efecto gel, es inadecuado, dado que la evidencia experimental muestra que el efecto gel se puede presentar en ausencia de cadenas enmarañadas. Además, en sistemas que indudablemente

presentan enmarañamiento, el inicio del efecto gel no se correlaciona con el peso molecular, perdiendo la consistencia con los argumentos de la hipótesis del enmarañamiento.

La idea de relacionar el inicio del efecto gel con la disminución del volumen libre en el sistema, ha estado presente desde los primeros trabajos de investigación sobre el fenómeno de autoaceleración. Al avanzar la polimerización, se va formando un mayor número de macromoléculas y el medio de reacción cambia su densidad, tornándose más denso; por consiguiente, disminuye el volumen libre en el sistema y aumenta la viscosidad; por lo tanto, existe una relación inversa entre el volumen libre y la viscosidad.

Desde un punto de vista microscópico, las moléculas que constituyen al fluido, al adquirir su conformación espacial, dejan huecos entre sí, los cuales forman el volumen libre (cabe mencionar que el comportamiento del sistema es dinámico, es decir, que las moléculas, particularmente las cadenas de polímero, están cambiando continuamente su conformación en el medio y, por consiguiente, en ciertos puntos del medio se forma volumen libre y en otros desaparece: se dice que se presentan fluctuaciones en la densidad). En consecuencia, se ha buscado determinar la dependencia del aumento de la viscosidad del medio con el avance de la reacción y su relación con la disminución del volumen libre. Sin embargo, esta teoría no reproduce el comportamiento de la conversión de monómero contra tiempo en un amplio intervalo de condiciones de reacción. Dado que volumen libre no es una teoría a nivel molecular, no puede relacionar la influencia que tiene el tamaño de la cadena sobre la rapidez de terminación.

La teoría más reciente para explicar la causa del efecto gel, postula que a conversión intermedia, la terminación se establece por la reacción entre una cadena corta y otra larga. Fundamentalmente, la cadena corta es aquella que

no presenta enmarañamiento y la cadena larga está enmarañada. La rapidez de este proceso cinético está determinada por la difusión de la cadena con mayor movilidad, que evidentemente corresponde a la cadena corta. Por lo que el inicio del efecto gel estaría relacionado con la inmovilización de las cadenas cortas del sistema, representado por la disminución abrupta del coeficiente de difusión. Dado que la  $k_t$  se puede relacionar de manera directa con el coeficiente de difusión (que es una propiedad fundamental de las moléculas), esta teoría representa una idea atractiva.

Actualmente, muchos de los trabajos publicados, tanto teóricos como experimentales, están dirigidos en este sentido; así, el énfasis se ha puesto en la medición del coeficiente de difusión de las especies químicas representativas de la dinámica de los sistemas de polimerización y, en la interpretación del proceso de terminación bimolecular entre dos radicales libres.

En los sistemas de polimerización mediante radical libre, se puede identificar un evento cinético básico: la reacción entre cadenas poliméricas, que es, por lo general, un proceso irreversible. La clave para comprender la polimerización lineal, es establecer la dependencia de la rapidez de reacción entre las cadenas de polímero con la longitud de la cadena, la concentración de polímero y la reactividad de los grupos funcionales. Este asunto es uno de los motivos principales para dirigir los esfuerzos de investigación hacia el desarrollo de teorías fundamentales de las reacciones de polímero de alto peso molecular, y el establecimiento de métodos para la medición precisa de la rapidez de reacción entre cadenas de polímero.

Una aplicación posible, resultante de comprender la reacción entre cadenas de polímero con control de una etapa difusiva (reacción entre macrorradicales), está en la síntesis de copolímeros en bloque y de injerto, mediante el procesamiento reactivo y el de compatibilidad de mezclas inmiscibles (el procesamiento reactivo consiste en llevar a cabo la copolimerización de dos monómeros en el interior de un extrusor, de modo que el copolímero formado adquiere el carácter de insumo para otro proceso o de producto final. Por otra parte, dos homopolímeros diferentes en solución, termodinámicamente incompatibles, forman dos fases. La compatibilidad consiste en hacer reaccionar, a través de la interfase, a los dos homopolímeros para formar el copolímero buscado).

## Conclusión

La producción de polímeros mediante radicales libres es muy importante, a la vista de la enorme variedad de satisfactores producidos y de su volumen de ventas. Una fuente principal de problemas generados durante el proceso de producción, es el inicio del efecto gel, que con frecuencia ocasiona que las reacciones de polimerización se tornen incontrolables,

dando como resultado la elevación excesiva de la temperatura, la rápida conversión de monómero y el taponamiento del equipo. Sólo a través del conocimiento básico acerca del origen molecular que causa la autoaceleración, se pueden desarrollar estrategias para mejorar el proceso de producción de polímeros.

En este sentido, la hipótesis más reciente y con mejor perspectiva es la que se refiere a la terminación entre una cadena corta y otra larga; por consiguiente, el entendimiento del comportamiento difusivo de estos sistemas es de capital importancia. En contraparte, desde el punto de vista experimental, las técnicas para la medición del coeficiente de difusión presentan severas restricciones, las cuales tienen su origen en la compleja naturaleza de los sistemas de polímeros. Por ello, a este campo, parte de la comunidad académica e industrial le están dedicando esfuerzos considerables para dilucidar los fenómenos subyacentes en la polimerización vía radical libre.

## Agradecimientos

El autor agradece al Dr. Humberto Vázquez Torres, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, el apoyo brindado para usar el calorímetro diferencial de barrido. Asimismo, a los alumnos Víctor Manuel Carrasco Lázaro (TESE) y César Hirokazu Hirata (Facultad de Química, UNAM) por su ayuda en la obtención de los termogramas.

## Referencias...

1. Matyjaszewski, K. En: Matyjaszewski K., editor, ACS symposium series 768, Washington, D. C.: American Chemical Society, 2000. 2-26.
2. Fukuda, T. y Goto, A. En: Matyjaszewski K., editor, ACS symposium series 768, Washington, D. C.: American Chemical Society, 2000. 27-38.
3. Buback, M. En: Matyjaszewski K., editor, ACS symposium series 768, Washington, D. C.: American Chemical Society, 2000. 39-56.
4. Beuermann, S.; Buback, M., Prog. Polym. Sci. 2002, 27, 191-254.
5. Brandrup, J. y Immergut, E. H., editores, Polymer Handbook, 3a ed., New York Wiley-Interscience, 1989.

# Células vegetales:

## biorreactores para diseñar y producir biomoléculas y remover compuestos tóxicos

Graciano Calva Calva<sup>1</sup>, Josefina Pérez Vargas<sup>2</sup>, Felipe Palma Cruz<sup>3</sup>

Después de casi 40 años de investigación en el área biotecnológica para usar cultivos de células vegetales en la producción de compuestos de importancia biológica, las plantas aún siguen siendo la principal fuente de la mayoría de los productos naturales<sup>a</sup> usados en la industria farmacéutica, cosmetológica y alimentaria. La mayoría de los investigadores que han trabajado en esta área coinciden en que esa falta de éxito es debida a que se conoce muy poco acerca de las rutas de biosíntesis y degradación de estos compuestos. No obstante, los considerables adelantos de última década en el área de la

Biotecnología Vegetal Molecular, ha dado la oportunidad de que las plantas puedan concebirse como verdaderos biorreactores para la producción biotecnológica de metabolitos secundarios o productos naturales y de otras biomoléculas como anticuerpos,<sup>1,2</sup> antígenos<sup>3,4</sup> y proteínas<sup>5,6</sup> así como para la remoción de xenobióticos; compuestos tóxicos para el medio ambiente.<sup>7</sup> Este trabajo hace una remembranza de cómo la manipulación genética y molecular del metabolismo secundario ha dado lugar a esas oportunidades y espontáneamente a nuevas estrategias experimentales y procesos biotecnológicos para la obtención de productos naturales y transgénicos.

### Acerca de los autores...

<sup>1</sup> CINVESTAV-IPN, Depto. Biotecnología y Bioingeniería, Ingeniería Metabólica  
gcalva@cinvestav.mx

<sup>2</sup> Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, División de Ing. Química y Bioquímica, Biotecnología Ambiental, djperezvargas@yahoo.com.mx

<sup>3</sup> Instituto Tecnológico de Oaxaca

### Referencias...

- a** "Productos naturales" se refiere a aquellos compuestos de origen natural que son únicos de una especie de organismo o a un pequeño número de especies estrechamente relacionadas (J. Mann, 1993. Secondary metabolism.).
- b** Xenobióticos: compuestos orgánicos no naturales y tóxicos para los seres vivos. (J. M. Lackie and J.A.T. Dow., 2000. The dictionary of cell and molecular biology

## Obtención de productos naturales en biorreactores

Las plantas han sido la principal fuente de alimentos y de metabolitos secundarios o productos naturales desde tiempos prehistóricos.<sup>8</sup> Este tipo de compuestos, que incluye fármacos, insecticidas, saborizantes, aromas y colorantes, se utilizan comúnmente como materias primas o principios activos en la industria química, farmacéutica, agrícola y alimentaria (Tabla 1). Sin embargo, debido a los problemas ambientales provocados por el hombre y a la sobreexplotación de las fuentes naturales, muchas especies vegetales están en peligro de extinción o han desaparecido ya. Es comprensible entonces, que se esté realizando un gran esfuerzo para obtener ese tipo de compuestos usando técnicas alternativas a las naturales, como el cultivo de células, tejidos y órganos vegetales en biorreactores que en México se han investigado ampliamente desde los últimos 35 años. Estas técnicas, que inicialmente incluían cultivos sumergidos de células en suspensión, células inmovilizadas, brotes, embriones y raíces,<sup>9,10,11</sup> posteriormente abarcaron cultivos de células y raíces transformadas y la obtención de plantas transgénicas.<sup>2,5</sup>

El potencial del cultivo de células, tejidos u órganos vegetales en biorreactores, de manera similar a los procesos de fermentación con microorganismos, para la producción de metabolitos secundarios o productos naturales, fue demostrado plenamente por Zenk et al., en 1976. Zenk logró establecer cultivos de células en suspensión de *Catharanthus roseus* capaces de producir serpentina y ajmalicina, dos alcaloides del indol característicos de esta planta.<sup>9</sup> Algunas de las ventajas de los cultivos de células vegetales con respecto a las técnicas agrícolas tradicionales que han sido enumeradas por diversos autores<sup>10,11</sup> son: 1) independencia de las variaciones de factores climáticos, 2) sistemas de producción definidos y constantes, 3) consistencia en los ren-

Tabla 1.  
Productos naturales e industria de aplicación

Industria	Producto	Planta	Aplicación
Química	Diosgenina	<i>Dioscorea deltoidea</i>	Síntesis de anticonceptivos
	Shikonina	<i>Lithospermum erythrorhizon</i>	Precursor de antraquinonas
	Solasodina	<i>Solanum chrysotrichum</i>	Síntesis de esteroides
Farmacéutica	Codeína	<i>Papaver somniferum</i>	Analgésico
	Quinina	<i>Cinchona ledgeriana</i>	Antipalúdico
	Digoxina	<i>Digitalis lanata</i>	Cardiotónico
	Escopolamina	<i>Datura stramonium</i>	Antihipertensivo
	Vincristina	<i>Catharanthus roseus</i>	Anticancerígeno
	Trigonelina	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	Anticancerígeno
	Alimentaria	Shikonina	<i>Lithospermum erythrorhizon</i>
Ginsenosido		<i>Panax ginseng</i>	Saborizante
Capsaicina		<i>Capsicum spp.</i>	Saborizante
Agrícola	Capsaicina	<i>Capsicum spp.</i>	Insecticida

dimientos y calidad del producto, 4) mínimas necesidades de espacio para el desarrollo de la producción, 5) población celular uniforme y facilidad de extracción del producto, 6) independencia de aspectos políticos. No obstante esas ventajas, después de más de 35 años de investigación, sólo cuatro procesos se han podido establecer de manera comercial: Shikonina, de *Lithospermum erythrorhizon* por la compañía Mitsui Petrochemical Ind. Ltd.,<sup>13</sup> Gingenósido de *Panax ginseng* y Purpurina de *Rubia akane* por Nitto Denko Corp,<sup>10</sup> y Taxol de *Taxos cuspidata* por Phyton Inc.<sup>14</sup> en asociación con Bristol-Myers Squibb Co. Esto se ha debido principalmente a la baja velocidad de crecimiento de los cultivos de células y tejidos vegetales en comparación con los de microorganismos, la baja productividad volumétrica, bajos rendimientos del producto, altos costos de proceso, la inestabilidad del producto en los cultivos y, principalmente, al pobre conocimiento del metabolismo secundario a nivel de intermediarios metabólicos, su enzimas y de su regulación metabólica. El reconocimiento de estos problemas desde finales de la década de los ochenta,<sup>12</sup> originó que desde ese entonces las investigaciones sobre la producción de metabolitos secundarios se dirigieran hacia la aplicación de diversas estrategias para incrementar la productividad de estos compuestos en los cultivos (Tabla 2). La aplicación de esas estrategias, en especial la genética y la biología molecular en combinación con la bioquímica para estudiar el metabolismo secundario y su regulación, condujo las investigaciones a desarrollar nuevas estrategias experimentales que han culminado en la aparición de áreas como la Ingeniería Metabólica y la Agricultura Molecular (molecular farming).

## Ingeniería metabólica

La ingeniería metabólica se refiere a la aplicación de la bioquímica, genética y biología molecular para manipular y estudiar las rutas metabólicas endógenas de un organismo, tiene como objetivo generar cultivos celulares u organismos transgénicos en los que el perfil de los productos naturales característicos de esa especie se vea incrementado o modificado a fin de que adquieran características adecuadas para establecer procesos comercialmente viables.<sup>15,16</sup> En el caso de productos naturales, el objetivo principal en la mayoría de los casos ha sido el incremento en la producción o velocidad de biosíntesis o la reducción del flujo metabólico hacia la formación de productos metabólicamente colaterales. Así, la aplicación de la ingeniería metabólica en plantas ha permitido obtener organismos que sobreacumulan aceites comestibles e industriales,<sup>17</sup> ligninas<sup>18</sup> y almidones<sup>19</sup> de composición constante y controlada, carotenoides y vitaminas A y E,<sup>20</sup> metabolitos secundarios como alcaloides del tropano,<sup>21</sup> flavonoides y antocianinas.<sup>22</sup>

## Ingeniería metabólica y Agricultura molecular

Pero la manipulación de las rutas metabólicas de las plantas ha ido más lejos: ha permitido la introducción de material genético proveniente de otras plantas, e inclusive de microorganismos o animales, para proveer a la planta receptora con funciones y habilidades nuevas, como la producción de nuevos compuestos, asimilación de nuevos sustratos y degradación de xenobióticos.<sup>22</sup> Esto último está permitien-

Tabla 2.

Estrategias para mejorar la producción de metabolitos secundarios en cultivos de células vegetales

<b>Sistemas de Cultivo:</b>
Cultivos de callos
Cultivos de células
Cultivos de brotes
Cultivos de raíces
Cultivos de dos fases
<b>Condiciones de Cultivo:</b>
Optimización del medio de cultivo
Optimización de parámetros nutricionales y fisicoquímicos
Permeabilización celular
Adición de potenciadores (elicitors)
Adición de precursores e intermediarios biosintéticos
Extracción continua del producto
<b>Genética y Biología Molecular Vegetal:</b>
Sobreexpresión de enzimas limitantes de la biosíntesis
Creación de nuevas ramas en las redes metabólicas existentes
Canalización del flux metabólico hacia el producto de interés
Generación de mutantes desreguladas con respecto al producto de interés
Plantas transgénicas sin las ramificaciones de la ruta biosintética principal

La meta de la biorremediación es remover contaminantes orgánicos e inorgánicos a concentraciones indetectables o por debajo de los límites establecidos como seguros o aceptables por las agencias o instituciones reguladoras

do estudiar y entender los mecanismos por los cuales las plantas participan en procesos de remoción de contaminantes del medio ambiente, proceso tecnológico de biorremediación denominado fitorremediación.<sup>16,23,24</sup>

La meta de la biorremediación es remover contaminantes orgánicos e inorgánicos a concentraciones indetectables o por debajo de los límites establecidos como seguros o aceptables por las agencias o instituciones reguladoras como la EPA (Environmental Protection Agency, USA). La biorremediación se ha usado para la destrucción de contaminantes orgánicos del suelo, aguas subterráneas, lodos, sistemas de desechos industriales y gases. El espectro de compuestos susceptibles de ser degradados biológicamente es muy amplio, sin embargo, debido a la proliferación, su amenaza a la salud y ecología, y a su proclividad para ser atacados por una amplia gama de microorganismos, la mayoría de los estudios se han enfocado al petróleo y sus derivados, gasolina y sus constituyentes, hidrocarburos policíclicos aromáticos, alifáticos clorados como el tricloroetileno y tetracloroetileno, y los hidrocarburos aromáticos clorados. A diferencia de los compuestos anteriores, los metales no son degradados, pero en los procesos de biorremediación éstos pueden modificarse para que sean menos tóxicos a los microorganismos y a la vegetación.

Los procedimientos usados para la remoción de contaminantes generalmente son caros, siendo los biológicos los más económicos. Por ejemplo, algunos costos típicos en dólares por tonelada de suelo son: adición de microorganismos a la tierra (*land farming*), de 39 a 88; composteo, de 44 a 110; apilamiento de suelo, de 99 a 110; tratamiento de fangos, de 88 a 165.<sup>25</sup>

Las tecnologías que involucran el uso de plantas superiores para la remoción de contaminantes de suelos y aguas, se denominan fitorremediación. Ésta incluye procesos que involucran la toma de contaminantes por la planta o la

biodegradación por microorganismos que colonizan la raíz o el suelo inmediatamente cerca de la raíz. La porción de suelo íntimamente asociada con las raíces de plantas en crecimiento es denominada rizosfera, que incluye la inmediata superficie de las raíces que está extensivamente colonizada por microorganismos, zona llamada rizoplano. El término rizosfera abarca la superficie de las raíces y el suelo adyacente. El factor clave que distingue los límites de la rizosfera, es la presencia de compuestos de bajo peso molecular excretados por las raíces. Estos compuestos sirven de fuente de carbono para muchos de los microorganismos de la rizosfera, sin embargo para los que se encuentran lejos de ella, la fuente de carbono generalmente son los compuestos de alto peso molecular, poco biodisponibles, que soportan el crecimiento de bacterias y hongos que no son muy activos metabólicamente. La diversidad, actividad y especies que habitan la rizosfera varía apreciablemente con la especie de planta.

Aprovechando la capacidad natural de las plantas para excretar compuestos a su rizosfera, se han obtenido plantas y raíces transformadas capaces de producir y excretar biomoléculas y proteínas recombinantes.<sup>1,24,26</sup> Se ha comprobado también en numerosos estudios, que las plantas son capaces de efectuar los procesos postraduccionales de las proteínas, como acetilación, fosforilación y glicosilación, propios de los animales y demás organismos eucarióticos y que los microorganismos no pueden efectuar.<sup>1,27,28</sup> Esta característica se ha aprovechado para establecer cultivos de células, tejidos y órganos vegetales transgénicos para la producción de proteínas completas o sus epítomos, antígenos vacunales y anticuerpos.<sup>27</sup> De estos cultivos es posible obtener plantas transgénicas productoras de esas biomoléculas, tecnología que se ha denominado Agricultura Molecular (Molecular Farming). En particular, a las plantas transgénicas creadas para la expresión

y suministro de antígenos vacunales, se les ha denominado Vacunas Comestibles, y muchas de éstas se encuentran ya en pruebas a nivel clínico.<sup>28</sup>

Las ventajas de la producción de biomoléculas por cultivos de células y tejidos vegetales transgénicos son las mismas que se mencionaron arriba para los cultivos no transgénicos, pero adicionalmente, la tecnología de agricultura molecular ofrece la posibilidad de obtener proteínas animales con las modificaciones postranscripcionales correctas para obtener la actividad biológica respectiva.

Finalizaremos diciendo que actualmente estamos aplicando estas tecnologías enfocando nuestros esfuerzos a la obtención de compuestos bioactivos como fármacos, antígenos, anticuerpos, y para estudiar los mecanismos remoción de xenobióticos de sitios contaminados con hidrocarburos. Nuestro principal soporte lo constituyen programas sobre ingeniería metabólica de productos naturales y el estudio de la remoción de hidrocarburos aromáticos policíclicos, los cuales se trabajan de manera conjunta entre el laboratorio de Ingeniería Metabólica del Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del CINVESTAV-IPN y el Laboratorio de Biotecnología Ambiental, de la División de Ingeniería Química y Bioquímica del TESE.

## Conclusiones

La supervivencia del hombre en este planeta ha dependido y seguirá dependiendo de las plantas y sus compuestos. Aunque se han investigado intensamente diversas alternativas biotecnológicas para la producción de metabolitos secundarios vegetales o productos naturales por cultivo de células vegetales en biorreactores, sólo algunos procesos se han podido establecer a nivel comercial, debido a que los costos no son comercialmente viables con respecto a las técnicas agrícolas tradicionales de cultivo, aun cuando el rendimiento de varios compuestos en los cultivos *in vitro* es mayor

que en las plantas. El uso de estrategias de Ingeniería Metabólica para incrementar los rendimientos y productividad para la elaboración de productos naturales y transgénicos en plantas o cultivo de células y órganos vegetales, deberá beneficiar espontáneamente a los Bioprocesos y la Agricultura Molecular. Así, la generación de cultivos de células, tejidos y órganos vegetales y plantas transgénicas, ha renovado la esperanza de establecer procesos biotecnológicos, pero ahora no sólo para la producción de los productos naturales, sino también para otros muchos tipos de compuestos bioactivos, como proteínas, anticuerpos y antígenos, y aún más, para la remoción de compuestos tóxicos y nocivos a nuestro medio. 

## Bibliografía...

1. Stoger E.; Sack, M.; Fisher R.; Christou, P. (2002). *Current opinion in Biotechnology* 13: 161-166.
2. Hiatt, A.; Cafferkey, R.; Bowdish, K. (1989). *Nature* 342: 76-78.
3. Mason, H.S.; Lam, D. M.; Arntzen, C. J. (1992). *Proc Natl Acad Sci.* 89: 11745-11749.
4. Zhang, G. G.; Rodrigues, L.; Rovinski, B.; White, K. A.. (2002). *Mol Biotechnol.* 20: 131-136.
5. Giddings, G.; Allison, G.; Brooks, D.; Carter, A. (2000). *Nature Biotechnology.* 18: 1151-1155.
6. Franken, E.; Teuschel; U. Hain, R. (1997). *Current Opinion in Biotechnology* 8: 411-416.
7. Salt, D. E.; Blaylock M.; Kumar, N. P.B.A.; Dushenkov, V., Ensley B. D.; Chet I.; Raskin I. (1995). *Biotechnology* 13: 468-474.
8. Bentley R. (1999). Secondary metabolite biosynthesis: the first century. *Crit. Rev. Biotech.* 19: 1-40.
9. Zenk, M. H.; El-Shagi; H. Arens; J. Stöckigt, E. W. Wester; B. Deus (1976). In: «Plant tissue culture and its biotechnological applications» (Barz W.; E. Reinhard and M. H. Zenk, Eds.) pages 27-43. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
10. Alfermann A. W., M. Petersen (1995). *Plant cell, tissue and organ culture.* 43: 199-205.
11. Fowler, M.; Sepan-Sarkissian, G. (1983). *Adv. Biotech. Proc.* 135-158.
12. Yamada Y.; T. Hashimoto (1990). In: «Progress in plant cellular and molecular biology. Proceeding of the VIIIth International Congress on Plant tissue and cell culture» (H.J.J. Nijkamp, L.H.W. Van Der Plass and J. Van Aartijk Eds.) Pags. 547-554. Amsterdam, The Netherlands, 24-29 June. Kluwer Academic Publisher, London, England.
13. Fujita, Y.; S. Takahashi; Y. Yamada (1985). *Agric. Biol. Chem.* 49(6): 1755-1759.
14. DiCosmo, F.; M. Misawa (1995). *Biotech. Adv.* 13(3): 425-453.
15. Taylor, C. B. (1998). *Plant cell.* 10: 641b-644.
16. Stephanopoulos, G. (1994). *Current opinion in biotechnology.* 5: 196-200.
17. Murphy, D. J. (1999). *Current opinion in biotechnology.* 10:175-180.

18. Campbell, M. M.; Sederoff, R. R. (1996). *Plant Physiol.* 110: 3-13.
19. Heyer, A. G.; Lloyd, J. R.; Kossmann, J. (1999). *Current opinion in biotechnology.* 10: 169-174.
20. Hirschberg, J. (1999). *Current opinion in biotechnology.* 10:186-191.
21. Yun, D. J.; Hashimoto, T.; Yamada, Y. (1992). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 89: 11799-11803.
22. Dixon, R. A.; Lamb, C. J.; Masoud, S.; Sewalt, V. J. H.; Paiva, N. L. (1996). *Gene* 179: 61-71.
23. Salt, D. E.; Blaylock, M.; Kumar, N. P. B. A.; Dushenkov, V.; Ensley, B. D.; Chet, I.; Raskin, I. (1995). *Biotechnology* 13: 468-474.
24. Gleba, D.; Borisjuk, N. V.; Borisjuk, L. G.; Kneer, R.; Poulev, A.; Skarzhinskaya, M.; Dushenkov, S.; Logendra, S.; Gleba, Y. Y.; Raskin, I. (1999). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 96: 5973-5977.
25. Anderson T. A.; E. A. Guthrie and B. T. Walton (1993). *Environ. Sci Technol.* 27 (13): 2630-2636.
26. Shanks, J. V.; Morgan, J. (1999). *Current opinion in biotechnology* 10: 151-155.
27. Trexler, M. M.; McDonald, K. A.; Jackman, A. P. (2002). *Biotechnol. Prog.* 18: 501-508.
28. Giddings, G. (2001). *Current opinion in biotechnology* 12: 450-454.



# Mitos y realidades de la fibra dietética

Dr. Alfonso Totosaus\*

Acerca del autor...

\* Profesor Investigador de la División de Ingeniería  
Química y Bioquímica del TESE.



**E**n los últimos años se ha incrementado el interés por llevar una vida más "sana", donde los principales cambios están (o deberían estar) orientados a la alimentación y la forma de vida. Con frecuencia se recomienda el consumo de alimentos más nutritivos, así como hacer ejercicio, dejando la vida sedentaria.

Un ingrediente que se ha visto últimamente involucrado es la fibra dietética, que tiene un papel muy importante en la digestión. Si recordamos un poco el proceso digestivo, tenemos que éste se inicia al masticar los alimentos (es decir, romper estructuras para liberar componentes, disminuir el tamaño para su deglución y humectarlos con saliva para facilitar su travesía por el esófago). La digestión continúa con el paso de los alimentos por el tracto digestivo, donde los alimentos tragados entran al estómago, el cual completa tres tareas mecánicas: almacenar, mezclar y vaciar. El estómago acopia los alimentos y líquidos tragados, los mezcla y digiere (los destruye, por decirlo de alguna manera, con los líquidos y los jugos digestivos producidos) por acción muscular. Finalmente, el estómago vacía su contenido en el intestino delgado. Aquí es donde se lleva a cabo el proceso más importante, ya que en él los alimentos son terminados de digerir y son disuel-

tos por los jugos del páncreas e hígado. Los nutrientes (proteínas, grasas, azúcares, vitaminas, minerales, etcétera) sólo pueden ser absorbidos por las paredes intestinales si están completamente disueltos, pasando al torrente sanguíneo y de aquí a todas las células del cuerpo donde hacen falta, ya sea con el fin de producir energía para nuestras actividades, o ser almacenados como reserva energética. Las partes no digeridas de los alimentos, pasan al colon y finalmente son deshechadas.

El intestino se convierte en la parte más importante en nuestra nutrición, en razón de que es ahí donde todos los compuestos bioactivos o nutraceuticos pasan y son absorbidos. Las deficiencias en este proceso de absorción, causan enfermedades serias. La fibra dietética, los probióticos y los prebióticos son nutrientes que promueven un intestino más sano. Los alimentos que contienen este tipo de nutrientes se denominan alimentos funcionales. Los compuestos nutraceuticos son aquellos que se dice mejoran la salud, como los ácidos omega-3, licopeno, etcétera, que en los últimos años han sido añadidos a ciertos alimentos (principalmente lácteos). Los probióticos son microorganismos que al ser ingeridos tienen la capacidad de sobrevivir todo el proceso digestivo, llegar al intestino delgado y colonizarlo, es decir, adherirse a la



más de algunos complementos como *Psyllium plantago* o *Plantago ovata*. Recientemente se ha extendido la definición de fibra a otros compuestos, que al no ser digeridos tienen un efecto benéfico sobre la flora intestinal. De hecho, gran parte de los supuestos complejos para bajar de peso milagrosamente, no son más que fibra, que al ser ingeridos con agua, se hidratan en el estómago, dando la sensación de saciedad, aumentando la evacuación y haciendo creer a la gente que baja de peso. Recordemos aquel anuncio donde una guapa conductora asombraba a un perplejo grupo de comensales en algún restaurante de la colonia Condesa, haciendo que una sola cápsula de este prodigioso "complemento" atrapara la grasa que había en un vaso de agua: ¡craso error! (expresión ad hoc a este ejemplo). Primero, las condiciones en el estómago y el proceso digestivo están muy lejos de parecerse a un simple vaso de agua. Como se mencionó, el proceso digestivo involucra una serie de ácidos muy fuertes para digerir los alimentos, como lo pueden comprobar quienes han tenido agruras o gastritis. Segundo, ya dentro de nuestro organismo y en las condiciones que se han venido describiendo, es muy difícil que algo de grasa sea "atrapado" por la panacea reductiva.

Hablando seriamente, debido a que nuevas fuentes de fibra y extractos de ésta son identificados, definidos y comercializados en todo el mundo, surge la necesidad de la redefinición de la fibra dietética, incluyendo "partes comestibles de plantas con carbohidratos análogos que resistan la digestión en el intestino delgado, con la completa o parcial fermentación en el intestino grueso", además de establecer que tales fibras "promueven efectos fisiológicos benéficos tales como la laxación,

Tabla 1. Componentes de la fibra dietética

Componente	Principales grupos	Fuentes
Polisacáridos y oligosacáridos no almidonáceos	Celulosa	Plantas con celulosa (vegetales, betabel, remolacha, algunas semillas)
	Hemicelulosa	Arabinogalactanos (se pueden encontrar en las zanahorias, el maíz, el trigo, los guisantes, los tomates, el vino tinto y el coco), arabinoxilanos y $\beta$ -glucanos (presentes en el grano de cebada, con la que se hace la cerveza), entre otros
	Pectina	Frutas, principalmente naranjas (cítricos)
Carbohidratos análogos	Almidones resistentes y maltodextrinas	Varias plantas como el maíz, chícharo, papa
	Sintetizados químicamente	Polidextrosa, lactulosa, derivados de la celulosa
	Sintetizados por enzimas	Polisacáridos o gomas modificadas
Lignina	Lignina	Madera
Sustancias asociadas a los polisacáridos no almidonáceos	Ceras, cutina, suberina	Presentes en plantas, son ceras que cubren las hojas o parte de las raíces
Fibras de origen animal	Quitina, colágena	La quitina es parte de la cáscara de camarones y algunos insectos. La colágena es parte de los tejidos animales (tendones y otras partes como las orejas)

disminución del colesterol y glucosa sanguíneos". La demanda por fibra dietética y cereales se ha incrementado en los últimos 30 años, debido a que mucha gente trata de aumentar el número de alimentos con fibra, asociándolos con una buena salud, por lo cual muchos alimentos procesados declaran en su etiqueta el contenido de fibra (Figura 1).

Varias definiciones de fibra dietética se manejan actualmente: Fibras Dietéticas que son carbohidratos no digeribles y ligninas, que son parte de las plantas; la Fibra Añadida consiste en carbohidratos extraídos de plantas que no son digeribles y tienen un efecto fisiológico benéfico en los humanos, y la Fibra Total es la suma de las dos anteriores.

Estos compuestos son conocidos como carbohidratos o polisacáridos no digeribles. Los polisacáridos vienen a ser muchas moléculas de sacáridos unidas químicamente, formando un compuesto mucho más grande. Un sacárido no es más que un carbohidrato, como el azúcar. Las unidades de estos polisacáridos son diferentes dependiendo de la fuente, y sus propiedades cambian de acuerdo a la manera como están químicamente unidas. Son estas uniones las que las hacen no digeribles a los humanos. De hecho, ciertos polisacáridos pueden causar indigestión, ya sea en forma de intolerancias, como a la lactosa (el azúcar de la leche), o bien produciendo gases (a partir de soya, frijoles, habas).

Los polisacáridos no digeribles se clasifican en cinco grandes grupos. Primero, están los polisacáridos y oligosacáridos (que según su etimología son polisacáridos pequeños, es decir, de hasta 20 unidades), no almidonáceos (esto es, no son derivados del almidón, extraído primeramente del maíz, el que usaban las abuelitas para planchar o con el que se hace el engrudo para las piñatas). Segundo, tenemos los llamados carbohidratos análogos, que son almidones de otras fuentes, como la papa, remolacha o betabel, chícharo, etcétera; además existen otros polisacáridos obtenidos de otras fuentes (de

microorganismos o por medios químicos). En tercer lugar, está la lignina, que es la sustancia que compone la madera. En el cuarto sitio, están las sustancias asociadas a los polisacáridos no almidonáceos, que son fibras de plantas. Y por último, las fibras de origen animal. Todos ellos están listados en la Tabla 1.

Las implicaciones de la fibra sobre la salud son varias. Algunas investigaciones apuntan a que inhibe el cáncer de colon, reduce la glicemia postprandial (diabetes), ayuda a evitar enfermedades cardiovasculares, mejora la absorción de calcio evitando la osteoporosis, mejora la digestión de grasa facilitando el metabolismo biliar, auxilia en el control de los desórdenes gastrointestinales.

Las fuentes de fibra están por todas partes, como podemos apreciar. Los beneficios son mayores y no implican de ninguna manera un gasto extra, ya que si bien los complementos comerciales tienen cierto costo, las fuentes naturales son baratas y debemos incluirlas en nuestra alimentación. De este modo, es muy recomendable aumentar el consumo de fibra en nuestra dieta y, sobre todo, tener la cultura de leer las etiquetas de los productos que consumimos, no dejarnos llevar por la publicidad y consultar a nuestro médico de confianza respecto a cómo mejorar nuestra dieta. Recordemos que somos los que comemos y nos vemos como nos sentimos.

CINVESTAV-IPN, en el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería.

Sloan, A. E., 2001. Dietary fiber moves back into the mainstream. *Food Technology* 55(7): 18.

Tungland, B. C. y D. Meyer, 2002. Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 1: 73-92.

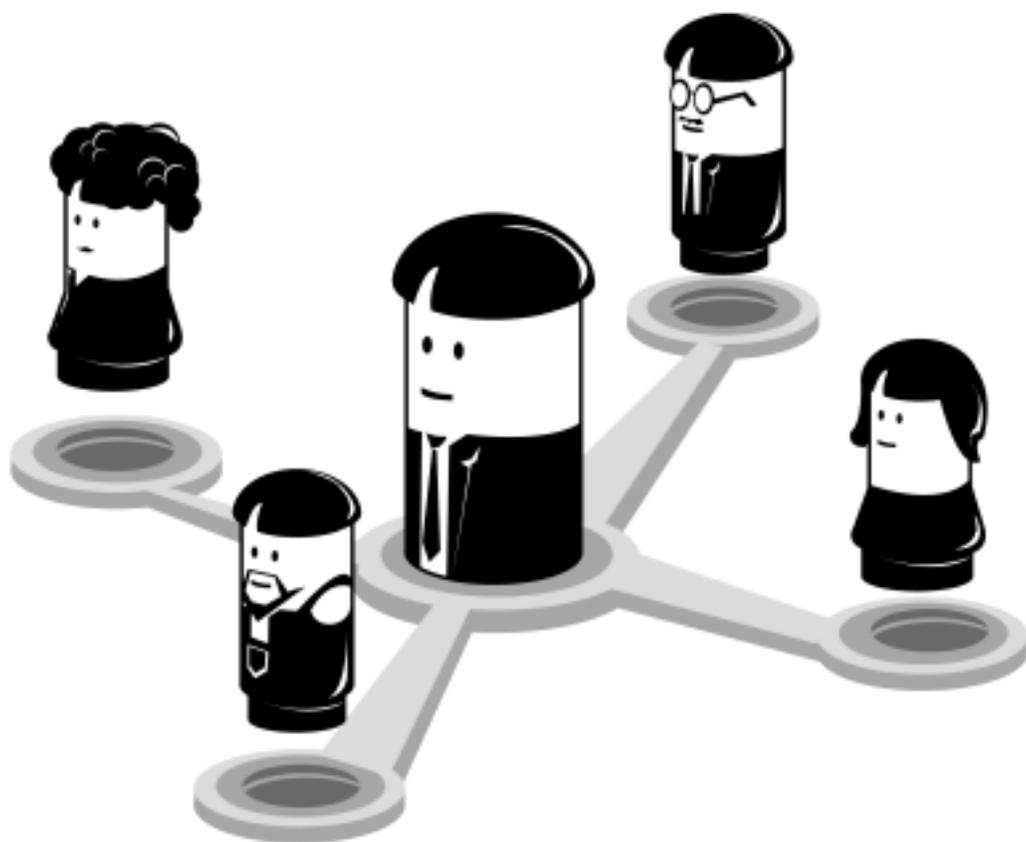
Yates, A. A. y P. Trumbo, 2001. A new approach to vitamin A activity and dietary fiber. *Food Technology* 55(7): 106.

## Más información...

Clemens, R. A., 2001. Redefining fiber. *Food Technology* 55(2): 100.

Gordon D. T., 2002. Intestinal Health through dietary fiber, prebiotics, and probiotics. *Food Technology* 56(4): 23.

Ramos Ramírez, Emma G. y J. A. Salazar Montoya, 2000. Tendencias actuales en nutrición: Fibra dietética. En *Mensaje Bioquímica*, Departamento de Bioquímica, Facultad de Medicina, UNAM, México, pp. 77-87. [La Dra. Ramos se dedica a todo esto de la fibra en alimentos, es investigadora del



# El trabajo del político de empresa y sus procedimientos

L. A. René Francisco Palma Avendaño

**L** I. El trabajo del Político de Empresa a esencia del Político de Empresa (PE), consiste en conseguir realidades cada vez más justas y eficaces del trabajo de un grupo de personas en una organización.

En él recae la responsabilidad de la realidad de la empresa en su conjunto. Aunque comúnmente su trabajo se valora sobre todo por los RESULTADOS obtenidos en un periodo específico, lo que en el fondo le corresponde es la gestación, consolidación y actualización permanente de las bases de eficiencia que producen dichos resultados.

Al actuar directamente en muy diversos elementos de la realidad y conseguir que otros indirectamente lo hagan, pone en marcha y armoniza acciones y series de éstas denominadas Procesos de Gobierno (PG).

De su buena o mala configuración previa a la acción —es decir, del acierto o desacierto en el diseño de los procedimientos que dan forma a los PG—, así como de su buena o mala gestión, depende en alto grado el éxito o fracaso del Político de Empresa.

En tal sentido, la empresa puede entenderse como un sistema de causas, cuyo diseño corresponde a un conjunto de efectos deseados a partir de hechos percibidos y valorados por el Político de Empresa y por el grupo de Alta Dirección (incluyendo a los Órganos de Gobierno).

## II. La acción en la empresa

La empresa es acción. Su existencia está en función de lo que en ella se realiza. La empresa no es un conjunto de acciones aisladas, sino un continuo de acciones VINCULADAS CAUSALMENTE, por medio de intervalos de tiempo con muy diversa magnitud.

Para facilitar su análisis, así como su diseño, desarrollo, medición y control, los procesos se dividen en etapas u operaciones, en función de las tareas humanas que los hacen progresar o de otros criterios que condicionan su operación.

## III. Los procedimientos políticos

El Político de Empresa actúa sobre las causas que producen el movimiento de la empresa, que es la acción. Los procedimientos que aplica con este fin son de naturaleza política, ya que operan sobre la acción humana para modelarla o confi-

gurarla y así conducirla en todos los aspectos relacionados con la empresa (ED, EI y RP):

Dichos procedimientos deben cumplir al menos con dos criterios indispensables para que sean operativos:

**A)** Incidir puntualmente en el terreno de la acción.

**B)** Tener sentido unitario, de modo que las operaciones resulten armónicas entre sí y orientadas a la globalidad de la empresa.

Por lo tanto, el Político de Empresa debe trabajar siempre con una doble perspectiva: la analítica, viendo detalladamente cada uno de los componentes endógenos y exógenos de la realidad, y la sinéctica, viendo la realidad como unidad operante.

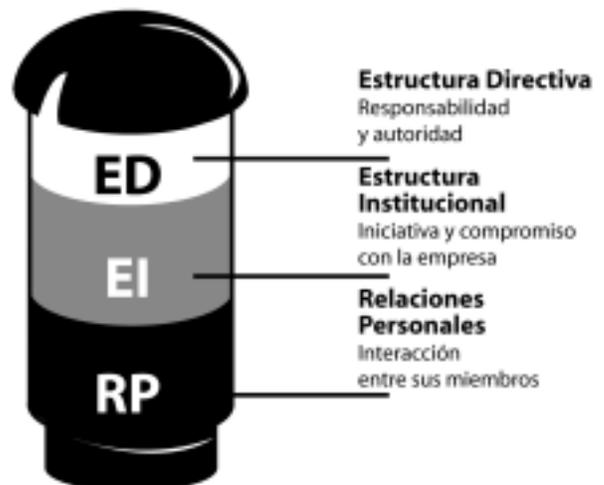
Esta doble perspectiva es propia del Sistema de Operaciones (SO) de la empresa, que constituye la arquitectura de la realidad actual y contiene, al mismo tiempo, el proyecto detallado en donde anticipa las causas que llevarán al futuro elegido.

Un procedimiento político ordena todos los pasos previsibles que transformarán la situación actual, de una o varias operaciones, en la futura elegida. Si está bien trazado, el procedimiento considerará no sólo el punto de partida y los objetivos de inicio, sino los posibles escenarios que se anticipan.

Lo que diferencia a los procedimientos políticos de cualquier otro procedimiento es:

- El sentido o finalidad para la que se adoptan,
- El modo como se aplican.

En el primer caso, los procedimientos se adoptan para incidir en los motivos por los que las operaciones afectadas se realizarán de una manera u otra, y pueden ser aplicados directa o indirectamente a su ejecución.



En el segundo caso, los procedimientos se diseñan considerando los criterios técnicos que harán eficaz la acción y se aplican directamente durante la realización de las operaciones.

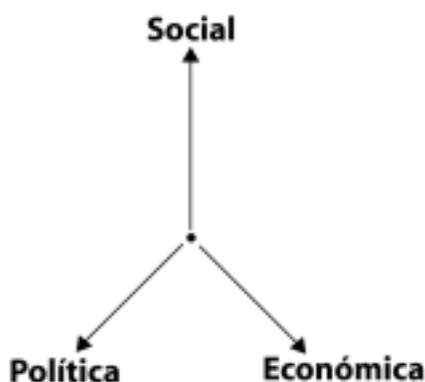
#### IV. Requisitos para asegurar la buena marcha de un procedimiento político

La realización de un procedimiento político depende de múltiples factores, los cuales deben disponerse o anticiparse, de manera que los eventos fortuitos no bloqueen su buena marcha.



#### V. Consideraciones finales

El horizonte conceptual del Político de Empresa, abarca las tres dimensiones de la misma:



Las tres dimensiones del político de empresa

BOZEMAN, Barry. *Todas las Organizaciones son Públicas. Tendiendo un puente entre las Teorías Corporativas Públicas y Privadas*, México, FCE, 1998.

CABRERO Mendoza, Enrique. *Del Administrador al Gerente Público*, México, INAP, 1997.

ETZIONI, Amitai. *The Moral Dimension*, USA, Free Press, 1998.

HABERMAS, Jurgen. *Teoría de la Acción Comunicativa: Complementos y Estudios Previos*, México, REI, 1984.

MONTAÑO, Luis. *La Modernidad organizacional. Una aproximación al estudio de las realidades locales*, México, UAM, 1993.

SENGE, Peter. *La Quinta Disciplina. El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje*, México, Granica, 1998.

El que gobierna la empresa modela su realidad, no la inventa, y lo hace **INCIDIENDO EN LA SUCESIÓN DE EVENTOS**, en el orden de las cosas que ocurren.

Hacer empresa supone entusiasmar a un grupo de personas para llevar a cabo uno o varios fines, que serán comunes a todos y que orientarán sus esfuerzos.

Armonizar y dar sentido a los trabajos de un grupo de personas, provocando el interés por unos fines y el compromiso por unos medios, es crear el sustrato, la base que anima a la empresa, que le da forma y contenido.

Interesar, entusiasmar y comprometer a personas libres y autónomas en un determinado proyecto y provocar el avance cotidiano para su realización, es una tarea eminentemente política.

Por último, es necesario enfatizar que el Político de Empresa debe servirse de Procedimientos de Gobierno para hacer su trabajo, sin ellos es imposible gobernar las acciones que se generan diariamente en la empresa.

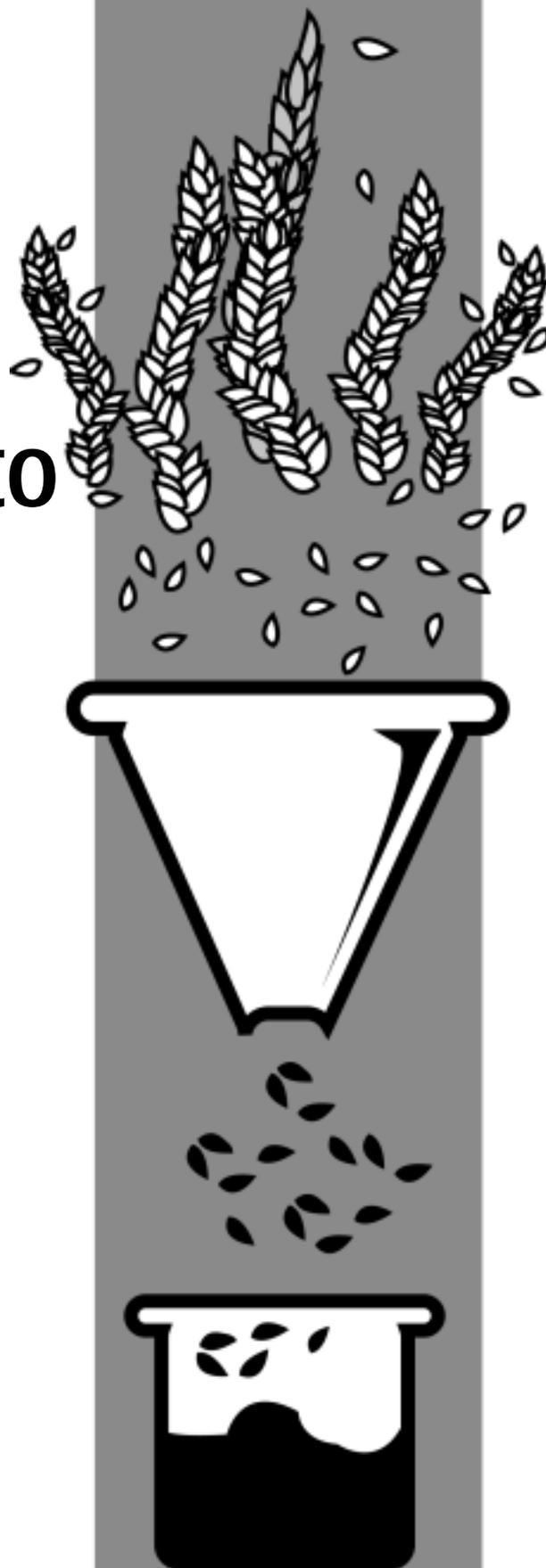
# Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para la producción de enzimas ligninolíticas de elevado potencial biotecnológico\*

M. en C. Ma. Aurora Martínez Trujillo\*\*

Acerca del autor...

\* El presente trabajo, está dedicado a la memoria  
del Ing. Esteban Enrique Martínez Pelayo.

\*\*Profesora e investigadora del Laboratorio de Catálisis Enzimática del  
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec  
auro\_mt@yahoo.com



**G**randes cantidades de materiales celulósicos se desechan anualmente en todo el mundo como desperdicios, creando así problemas de contaminación ambiental. La utilización de dichos materiales como fuente para la producción de enzimas ligninolíticas, representa una amplia posibilidad biotecnológica.

### **Materiales Lignocelulósicos**

Los materiales lignocelulósicos se clasifican generalmente como desperdicios o esquilmos agrícolas (pajas, rastrojos, etcétera), residuos agroindustriales (bagazo de caña, pulpa de café, etcétera), residuos forestales y desechos urbanos (pasto, desperdicio de vegetales de frutas y verduras en mercados, etcétera). En la actividad forestal, la producción de biomasa desperdiciada es todavía mucho mayor, representando aproximadamente el 75% del total de residuos lignocelulósicos totales. Debido a que los procesos de biodegradación natural no funcionan a la misma velocidad con que se generan dichos desperdicios, éstos se acumulan, llegando inclusive a convertirse en un peligro para el equilibrio ecológico.

Los materiales lignocelulósicos están constituidos esencialmente por celulosa (45-60%), hemicelulosa (15-50%) y lignina (10-30%). A la celulosa se le considera inclusive como el material renovable más abundante en la biósfera. El porcentaje de cada uno de estos polisacáridos varía, dependiendo del tipo de vegetal, del tejido y edad del mismo. El principal obstáculo que limita el aprovechamiento total de la celulosa y los otros polisacáridos presentes en los residuos lignocelulósicos, es la asociación íntima que presentan con la lignina. La lignina es un polímero estructural de las plantas, que les confiere rigidez y unión entre sus células. La principal función de la lignina, es proteger a los polisacáridos vegetales contra el ataque microbiano. Sin embargo, este compuesto limita la utilización de la celulosa y hemicelulosa como forraje, ya que su digestibilidad disminuye conforme aumenta el contenido de lignina (Chum & Overend, 2001).

### **Las Enzimas Ligninolíticas**

Debido a la complejidad estructural que presentan los residuos lignocelulósicos, es necesario, para su conversión a

productos solubles, la acción de ácidos o enzimas. El proceso de hidrólisis ácida de la celulosa es muy común, sin embargo, existen algunos problemas asociados con el proceso, como la degradación del producto, la interacción del ácido con los materiales no celulósicos y la corrosión del equipo. Todo lo anterior puede provocar bajos rendimientos, impurezas de los jarabes y altos costos capitales. La utilización exitosa de los materiales lignocelulósicos como una fuente de carbono renovable, depende del desarrollo de procesos tecnológicos económicamente factibles, como lo es la hidrólisis microbiana o enzimática del material lignocelulósico hacia productos de menor peso molecular, como hexosas o pentosas, y la conversión química y/o biológica de dichos productos de hidrólisis hacia otros productos útiles que pueden ser utilizados como combustible líquido y materiales alimenticios. Las celulasas y hemicelulasas, son sistemas enzimáticos producidos por ciertos microorganismos, de entre los que destacan hongos y bacterias, durante la hidrólisis de materiales celulósicos. Debido a que los residuos lignocelulósicos son insolubles, los organismos que los utilizan deben secretar sus enzimas en forma extracelular, con el fin de facilitar el transporte de los productos solubles de estructuras más sencillas del interior de la célula (Gilbert & Hazelwood, 1993).

### **Las Celulasas y Hemicelulasas**

La investigación activa sobre celulasas y otras polisacaridasas, inició a principios de los 50, debido a que se observó el enorme potencial que este tipo de enzimas tenían para convertir a la lignocelulosa en glucosa y otros azúcares solubles. Sin embargo, diversas investigaciones básicas y aplicadas, realizadas durante la década de los 70 y 80, demostraron que la bioconversión inducida de lignocelulosa a azúcares solubles era un tanto difícil y poco económica. A principios de los 80

Hoy día, estas enzimas se aplican ampliamente en la fabricación de alimentos, cervezas y vinos, alimentación animal, textiles y lavandería, la industria de la pulpa y el papel, así como en diversos campos de la investigación y el desarrollo.



comenzó la biotecnología de las celulasas y hemicelulasas, utilizándose en primera instancia a la alimentación animal, seguida por sus aplicaciones en alimentos (Ladish, et al., 1983; Montes-Horcasitas & Magaña-Plaza, 2002).

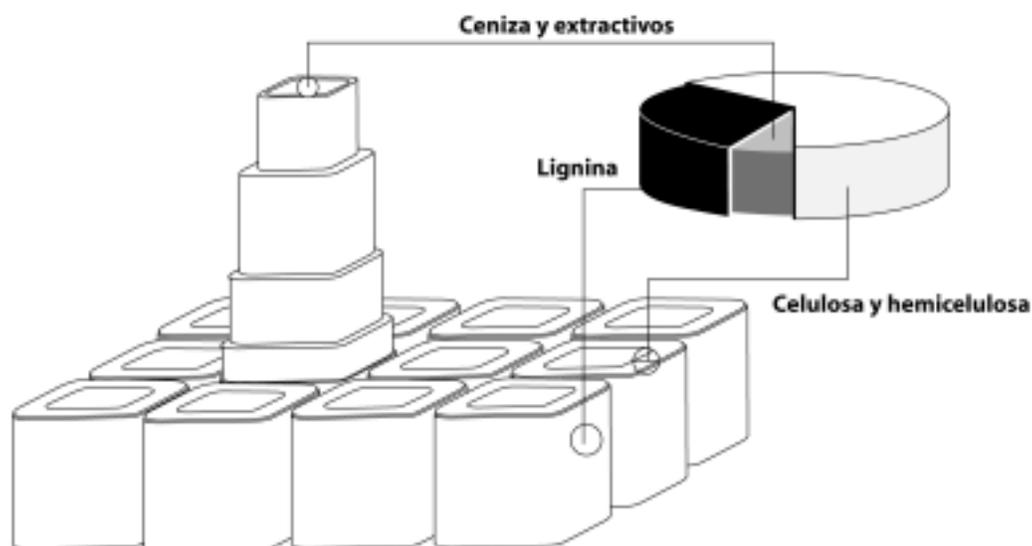
#### Aplicaciones

Las celulasas y hemicelulasas tienen un amplio rango de potenciales aplicaciones en la industria de la alimentación animal. Por ejemplo, enzimas como las  $\alpha$ -glucanasas y las xilanasas han sido usadas exitosamente en la elaboración de dietas para animales monogástricos, aplicándolas con el fin de hidrolizar aquellos polisacáridos no almidonados, tales como las  $\beta$ -glucanas o las arabinoxilanas. La presencia de altos niveles de estos polisacáridos en la dieta de las aves, deriva en una baja velocidad de conversión del alimento, una ganancia lenta de peso y desechos pegajosos o viscosos. La adición de estas enzimas durante la producción del alimento, puede ayudar a degradarlos, mejorando marcadamente la digestión y la absorción de los componentes del mismo, por parte de los animales. Además, se ha observado que con alimentos pretratados enzimáticamente, las aves alcanzan una ganancia de peso considerable. Con lo anterior, se ha visto que el enriquecimiento de los alimentos para aves

y ganado con hemicelulasas, trae consigo algunos beneficios como una mejor formulación de la dieta, la posibilidad de utilización de materias primas baratas o residuos lignocelulósicos, un incremento en el valor energético de los cereales, una mayor digestibilidad, crecimiento y conversión del alimento, y un menor desperdicio, lo cual disminuye de la contaminación ambiental (Bedford & Classen, 1992).

Por otro lado, el forraje con el que se alimenta a los rumiantes, contiene principalmente celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina, y es, por tanto, más complejo que el alimento para pollos y cerdos. En este rubro, se han utilizado preparaciones enzimáticas con altos niveles de celulasa, hemicelulasa y pectinasa, para mejorar su calidad nutritiva. Sin embargo, los resultados obtenidos al respecto son un tanto inconsistentes, sugiriendo que la aplicación de enzimas para mejorar la digestión de la fibra en los rumiantes puede estar ligeramente limitado y no ser tan factible (Chesson, 1987).

Existen además, algunos trabajos que proponen el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos y subproductos agrícolas para la producción de proteína unicelular, utilizada como aditivos en alimentos para animales. Otros, sugieren la sacarificación de los residuos lignocelulósicos para la produc-



ción de etanol, el cual puede ser utilizado posteriormente como combustible (De la Torre, 1981; Chandrakant & Bisaria, 1998).

Por lo general, en la mayoría de los países latinoamericanos, incluyendo México, la biomasa obtenida a partir de los residuos lignocelulósicos, es aprovechada de diversas maneras. Sin embargo, la producción nacional de dichos residuos, abre la posibilidad de utilizarlos en la producción de enzimas que puedan tener una importante aplicación industrial.

En lo que respecta al mercado enzimático, el 60% del suplemento mundial de enzimas industriales son producidas en Europa, y el 40% restante en Estados Unidos y Japón. Además, aproximadamente el 75% de estas enzimas industriales son hidrolasas, siendo las carbohidrolasas el segundo grupo más grande. Por otro lado, la industria de la alimentación animal es un sector importante de agronegocios a nivel mundial, con una producción anual de más de 600 millones de toneladas de alimento, cuyo valor rebasa los 50 billones de dólares. Del total del alimento producido, el mayor porcentaje lo ocupan las granjas de aves de corral, los cerdos y los rumiantes (arriba del 90%), mientras que los alimentos para mascotas y para granjas acuíferas consumen el otro 10% (Bhat, 2000).

El progreso en la biotecnología de las celulasas y la hemicelulasas es en verdad importante y está llamando la atención mundial. Hoy día, estas enzimas se aplican ampliamente en la fabricación de alimentos, cervezas y vinos, alimentación animal, textiles y lavandería, la industria de la pulpa y el papel, así como en diversos campos de la investigación y el desarrollo. Los crecientes avances científicos al respecto, han llevado a la especulación y la anticipación de su enorme potencial comercial en la biotecnología y la investigación. De esta forma, para abastecer la creciente demanda de celulasas y hemicelulasas y para destacar su elevado potencial en la biotecnología y la investigación, es necesario una continua e interdisciplinaria investigación, tanto en aspectos básicos como aplicados. Este desarrollo, junto con una mejora en el conocimiento científico, pueden abrir el camino para un desarrollo exitoso en la biotecnología de las celulasas y hemicelulasas durante el presente siglo.

### ¿Qué hacemos en el Laboratorio de Catálisis Enzimática del TESE?

Debido a la importancia comercial que tienen y tendrán las polisacarosas, en el Laboratorio de Catálisis Enzimática del Tecnológico de Estudios Superiores de

Ecatepec, se está probando actualmente la producción de celulasas y xilanasas, utilizando dos hongos filamentosos: *Phanerochaete chrysosporium* y *Aspergillus niger*. La principal característica de estos hongos es su capacidad para crecer sobre residuos lignocelulósicos, utilizándolos como única fuente de carbono. A la fecha, se han probado tres residuos lignocelulósicos: bagazo de caña, cáscara de cacahuate y cascarilla de arroz, y a partir de los sustratos que resultaron ser los mejores inductores de las actividades enzimáticas en cada hongo (Martínez-Trujillo, et al., 2002), se optimizaron las producciones de dichas enzimas, empleando diferentes herramientas estadísticas (Monroy-Martínez, et al., 2003; Monroy-Martínez, et al., 2004). En últimas fechas, y aprovechando un convenio de colaboración que tiene el TESE con la UNAM, el campo de estudio se amplió y se agregó al cepario una nueva variedad: *Aspergillus flavipes*. Este hongo fue aislado de frutas en descomposición, por lo que ha resultado un excelente productor de xilanasas y de pectinasas, que es otro tipo importante de polisacaridas a nivel industrial (Orozco, 2003). Por lo anterior, los esfuerzos se están encaminando en este momento a estudiar el comportamiento que tiene dicho hongo al degradar distintos tipos de polisacáridos, centran-do el estudio específicamente en la producción de pectinasas. A ese respecto, se ha avanzado al grado de saber el efecto que tienen diversos mono-, di- y poli-sacáridos cuando son la única fuente de carbono para el hongo (Martínez-Trujillo, et al., 2004). Con esos resultados, el siguiente paso es conocer el efecto que tienen el pH y el extracto de levadura en la producción de pectinasas, para que, a largo plazo, seamos capaces de predecir el comportamiento metabólico del hongo ante ciertas condiciones fisiológicas. 

- Bedford, M. R., Classen, H. L. 1992. The influence of dietary xylanase on intestinal viscosity and molecular weight distribution of carbohydrates in rye-fed broiler chicks. In: Visser J, Beldman G, Kusters-van Someren MA, Voragen AGJ, editors. Xylans and Xylanases, progress in biotechnology, Vol. 7. Amsterdam: Elsevier, pp. 361-370
- Bhat, M. K. 2000. Cellulases and related enzymes in biotechnology. *Biotechnology Advances*, 18: 355-383.
- Chandrakant, P., & Bisaria, V. S. 1998. Simultaneous Bioconversion of cellulose and hemicellulose to ethanol. *Critical Reviews in Biotechnology*, 18(4): 295-331.
- Chesson, A. 1987. Supplementary enzymes to improve the utilization of pigs and poultry diets. In: Haresing W., Cole DJA, editors. Recent advances in animal nutrition. London: Butterworths, pp. 71-89.
- Chum, H. L. & Overend, R. P. 2001. Biomass and renewable fuels. *Fuel Processing Technology*, 71: 1-3: 187-195.
- De la Torre, M. 1981. "Producción de proteínas alimenticias de origen unicelular en residuos lignocelulósicos". Tesis de Doctorado. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN-México.
- Gilbert, H. J. & Hazelwood, G. P. 1993. Bacterial cellulases and xilanasas. *J. Gen. Microbiol.* 139, 187-194.
- Ladish, M. R., Lin, K. W., Voloch, M., Tsao, G. T. 1983. Process considerations in the enzymatic hydrolysis of biomass. *Enzyme Microbiol. Technol.* 5:82-100.
- Martínez T., M. A.; Castañeda, G. G.; Peralta P.R. 2002. "Producción de xilanasas y celulasas a partir de sustratos lignocelulósicos utilizando *Phanerochaete chrysosporium* A594. Memorias del III Encuentro Internacional de Biotecnología UPIBI, realizado en la ciudad de Querétaro, del 6 al 9 de noviembre del 2002.
- Martínez, T. M.A.; Trejo, A. B.; Gómez S. C. y Aguilar-O, G. 2004. Efecto de la fuente de carbono en la producción de pectinasas por *Aspergillus* sp. FP-500. Memorias del IV Encuentro Nacional de Biotecnología, UPIBI 2004, celebrado en la ciudad de Tlaxcala, del 10 al 12 de noviembre del 2004.
- Monroy, M. C.; Peralta, P.R.; Castañeda G.G. y Martínez-Trujillo, M.A. 2003. "Optimización de la producción de celulasas con *Phanerochaete chrysosporium* A594". Memorias del Congreso Internacional de Ingeniería Ambiental, celebrado en la ciudad de Mintatitlán, del 10 al 15 de noviembre del 2003.
- Monroy, M. C.; Peralta, P.R.; García R. M. y Martínez-Trujillo, M. A. 2003. "Optimización de la producción de xilanasas con *Phanerochaete chrysosporium* A594". Memorias del III Congreso Internacional, XIV Congreso Nacional y III Exposición de Ingeniería Bioquímica, celebrado en la ciudad de Veracruz, los días 31 de marzo y 1 y 2 de abril del 2004.
- Montes H., C. y Magaña-Plaza, I. 2002. "Enzimas con aplicación industrial". *Avance y perspectiva*, Vol. 21, 279-282.
- Orozco, I. M. 2003. "Evaluación de la capacidad de producción de sistemas enzimáticos complejos por cepas de *Aspergillus*". Tesis de Licenciatura. UNAM.

# InMemoriam

## Dr. Manuel Méndez Nonell



Nació en la ciudad de México en 1957; sus padres fueron Juan Méndez Hoyos y Eloina Nonell González.

Se recibió en 1979 como ingeniero Químico Metalúrgico, egresado de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. A los 27 años obtuvo el doctorado en Metalurgia, en la Universidad Sheffield, Inglaterra. Impartió cátedra a nivel licenciatura y posgrado en la UNAM, la Universidad Autónoma de Coahuila, la Universidad de Nuevo León y en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del IPN, dirigiendo 16 tesis a nivel maestría en ciencias y tres de doctorado.

Su campo de investigación fue el tratamiento del metal líquido en los procesos de solidificación. En lo que respecta a su aportación científica, ésta se resume en la producción de más de 70 artículos de investigación original, publicados en revistas y memorias de circulación internacional con arbitraje, y más de 30 artículos difundidos en ediciones científicas. Dictó 30 conferencias científicas en México, Inglaterra, España, Estados Unidos de América, Canadá, Polonia, Corea, Cuba, Argentina, Brasil, Panamá y Chile; presentó 60 conferencias en eventos y congresos científicos nacionales, desarrolló nueve trabajos de consultoría tecnológica para diversas empresas metalúrgicas, y fue autor de tres patentes, dos de ellas registradas en EUA.

Fue miembro activo de diversas comisiones ad honorem, tales como el Foro Permanente de Ciencia y Tecnología; órganos directivos y consejos técnicos del IMIS, INAOE, CIMAV, CICY, COMIMSA, CIDESI, CIATEQ, CICESE; del Consejo Directivo de la ADIAT; del Patronato de la Facultad de Química de la UNAM; del Consejo Nacional de Sistemas de Universidades Tecnológicas; del Comité Nacional de Materiales ante la OEA; del Comité de Comisiones Dictaminadoras de la UNAM; de la Universidad Autónoma de Nuevo León y de los Comités Editoriales de las revistas Ciencia y Desarrollo, Moldeo y Fundición, Tecnocultura y Vinculación.

Fue invitado por el CONACYT a participar en el Consejo Consultivo de Metalurgia (1989-1990), en el Comité de Selección de Becarios de Posgrado (1989-1991), en el Grupo Especial de Estudio sobre el Sistema Nacional de Investigadores (1989), en el Comité Evaluador de Procesos de Investigación Tecnológica (1989-1990); en el Comité Evaluador de Proyectos de Fortalecimiento al Posgrado Nacional (1990-1991); en el Comité de Recursos Humanos; en la Subcomisión Dictaminadora del Área IV del SIN (1991) y en el Comité de Ciencias Aplicadas (1994-1997). De igual forma, en el Comité de Revistas Científicas Mexicanas (1997-1998), en el jurado del Premio a la Excelencia del Sistema SEP-CONACYT (1998-1999), en el Comité de Proyectos de Infraestructura del mismo Sistema (1998-1999), y en el Consejo Directivo del Sistema Integrado de Información Científica Tecnológica, en el año 2000.

Recibió distinciones académicas como la Medalla "Gabino Barreda" al Mérito Universitario de la UNAM (1980); el Premio Nacional al Investigador del Año, otorgado por el Capítulo México de la American Foundryman's Society (1989); el Premio a Estudiantes de Posgrado de la Universidad de Sheffield; Mención Honorífica en el Concurso Nacional de Aluminio, y la Medalla al Mérito de Honor Metalúrgico de la Universidad de Cracovia, en Polonia (2001).

Desde 1985 fue miembro del Sistema Nacional de Investigadores, donde actualmente contaba con el Nivel II. En su trayectoria profesional tuvo diversas responsabilidades académico-administrativas en el Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados, del IPN (CINVESTAV), en donde fue Fundador y Director de la Unidad Saltillo (1985-1995), Secretario Académico (1995-1998) y Secretario de Planeación (1999-2000).

En el CONACYT fue invitado en abril del 2001 a ocupar la Dirección Adjunta de Desarrollo Científico y Tecnológico Regional. En julio del 2002 fue nombrado Director Adjunto de Desarrollo Regional y Sectorial, y a partir de julio del 2003, fue Director Adjunto de Ciencia.

# Incremento de la biodegradación de hidrocarburos

## por extracción con solventes en un sistema de suelo en suspensión

Dra. Mayola García Rivero\*

**D**urante la biodegradación de hidrocarburos, los componentes de una mezcla no son consumidos con la misma velocidad. En un biorreactor de suelo en suspensión, esto provoca que se presenten dos fases de biodegradación: una inicial rápida, seguida de una etapa de remoción lenta de los compuestos (Huesemann, 1997). La segunda fase es comúnmente atribuida a factores físicos como son la difusión en las partículas de suelo o una fuerte sorción en la materia orgánica. Como consecuencia, después de la fase inicial, cuando ha ocurrido una degradación apreciable, la concentración de hidrocarburos tiende a estabilizarse en un cierto valor que se denomina concentración residual. Se debe considerar también que la acumulación de compuestos residuales puede deberse al carácter recalcitrante, es decir, la resistencia a la degradación biológica, (Gray et al., 2000).

En el caso del diesel, la lenta biodegradación observada es consecuencia de la sorción en la fracción mineral y en el humus del suelo (Cookson, 1995), además de la limitación en la transferencia de masa del suelo hacia la fase acuosa. Por tanto la biodegradación puede incrementarse mediante un tratamiento químico con surfactantes o solventes. En el caso de los surfactantes, se ha demostrado (Yerushalmi, 2003) que la adición no incrementa la biodegradación de hidrocarburos del diesel en el suelo. Adicionalmente, se han encontrado resultados contradictorios y diversas dificultades en la aplicación de surfactantes (Liu et al., 1995).

Acerca de autor...

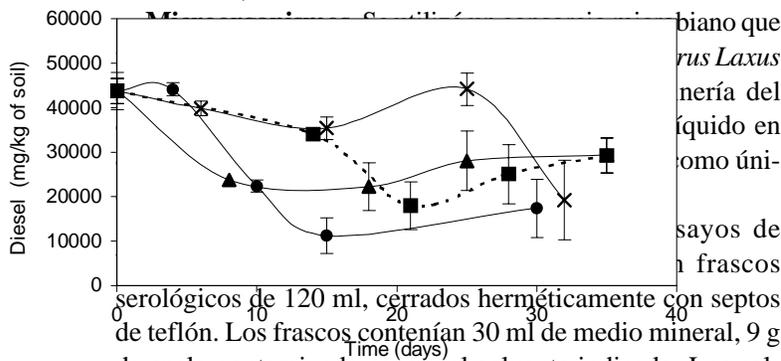
\* Profesora Investigadora del Laboratorio de Catálisis Enzimática del TESE.

La adición de solventes puede incrementar la desorción de hidrocarburos del suelo e incluso incrementar la solubilidad en la fase líquida. Por ejemplo, Jiménez y Bartha (1996) emplearon diversos solventes tales como aceite de parafina. Villemur y col. (2000) usaron aceite de silicón para mejorar la biodegradación de Hidrocarburos poliaromáticos (HPA) En un trabajo reciente, nosotros empleamos tolueno (García et al., 2003) para mejorar la biodegradación de hidrocarburos intemperizados en un sistema de suelo en suspensión. Todos estos estudios demuestran la factibilidad del uso de solventes para incrementar la biodegradación de hidrocarburos del suelo.

El objetivo del presente trabajo fue incrementar la biodegradación de hidrocarburos residuales por la adición de solventes, que permiten reducir las limitaciones en la transferencia de masa en un sistema de suelo en suspensión. Se empleó al diesel como modelo de estudio debido a que es una mezcla pesada, con alto potencial de sorción en el suelo, y además contiene HPA potencialmente tóxicos.

## Materiales y métodos

**Suelo contaminado.** El suelo que se utilizó fue contaminado con diesel fresco para tener una concentración de 40,000 mg/kg SS (suelo base seca). Se mantuvo a temperatura ambiente durante 6 meses y se ha conservado en refrigeración. Para simular el consumo de compuestos rápidamente asimilables, el suelo se mantuvo a 90 C durante 10 días.



Los frascos fueron incubados a 135 rpm y 30°C durante 30 días. Periódicamente se reemplazó la fase gaseosa de los frascos para evitar la acumulación de CO<sub>2</sub>.

**Procedimiento de extracción.** La fase líquida de las muestras fue eliminada por filtración y el suelo se dejó secar a temperatura ambiente. Los hidrocarburos residuales fueron extraídos del suelo por reflujo con cloruro de metileno, durante 8 horas.

**Métodos analíticos.** Los hidrocarburos fueron determinados por cromatografía de gases mediante un Cromatógrafo Varian 3800, equipado con una columna capilar AT-5 y un

Detector de Ionización de Flama. La concentración del contaminante fue cuantificada usando diesel mexicano como estándar.

## Resultados y discusión

**Hidrocarburos residuales.** La concentración de los hidrocarburos residuales durante el tratamiento, se muestra en la Figura 1. Para el control sin solvente, el diesel fue rápidamente consumido al inicio del ensayo, alcanzando una concentración de 17,000 mg/kg de suelo, en los 30 días de cultivo. Se sabe que la fracción más ligera del diesel, que corresponde a casi el 50% de los compuestos, es rápidamente consumida, por lo que se puede suponer que los compuestos residuales son alcanos ramificados y HPA (Nocentini et al., 2000).

Figura 1

Efecto de los diferentes solventes en la biodegradación de hidrocarburos en un sistema de suelo en suspensión: (●) control sin solvente, (■) acetona, (▲) etanol y (X) butanol se adicionaron a una concentración de 8,780 mg/kg de suelo.

Con la adición de solventes no se obtuvo el efecto esperado, al añadir etanol o acetona la degradación de hidrocarburos fue menor a la obtenida en el control sin solvente, 33% en ambos casos, aunque se presentó el mismo perfil de biodegradación: un consumo rápido en los 15 días iniciales, seguido de un decremento en la velocidad de consumo (Huesmann, 1997). Probablemente, por tratarse de solventes más polares que los hidrocarburos, no promovieron la transferencia de masa del suelo hacia la fase líquida. Incluso dichos solventes podrían haber favorecido la sorción de los compuestos en el suelo. Otro aspecto que debe considerarse, es que el diesel se compone en un 70% de compuestos alifáticos; en un trabajo previo, se demostró (García, 2003) que algunos solventes no favorecen el consumo de compuestos alifáticos de un suelo intemperizado altamente contaminado, lo cual justificaría los resultados obtenidos.

Cuando se adicionó butanol, el perfil de hidrocarburos residuales fue diferente, en los 10 días iniciales se presentó un mínimo consumo, hasta alcanzar una degradación del 55%

en los 30 días de cultivo. Alexander y Alexander (2002) sugirieron que el butanol extrae los HPA disponibles de un suelo intemperizado. En este caso no se observó el efecto positivo, ya que la concentración residual corresponde a la de los compuestos HPA, como se mencionó anteriormente, y los cromatogramas obtenidos, véase Figura 2, indican que estos compuestos están presentes en los hidrocarburos residuales. Los resultados sugieren que la adición inicial de solventes no tiene efecto sobre el consumo de los compuestos poliaromáticos y alifáticos de elevado peso molecular. Sin embargo, es probable que los solventes sí tengan un efecto positivo si se adicionan cuando se alcanza la concentración residual. Con el fin de simular el consumo de la fracción fácilmente asimilable, el suelo contaminado se sometió a un tratamiento térmico, manteniéndola a 90°C durante 10 días; el cromatograma del extracto obtenido, Figura 3, demuestra que efectivamente se removieron los alifáticos de bajo peso molecular. Como concentración inicial se determinó 24,700 mg/kg SS.

A

B

C

Figura 2  
Perfil de la cromatografía de gases de los extractos de biodegradación de un suelo contaminado con diesel. (A) concentración original y al final de la prueba, cuando se adiciono (B) butanol y (C) control sin solvente.

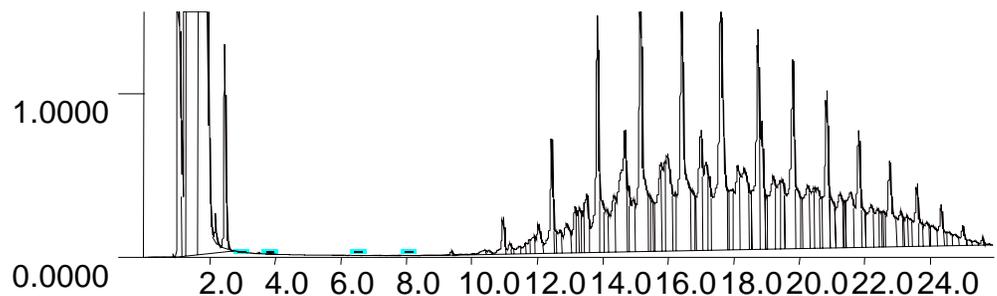


Figura 3  
Perfil de la cromatografía de gases de un extracto de hidrocarburos del suelo sometido a tratamiento térmico.

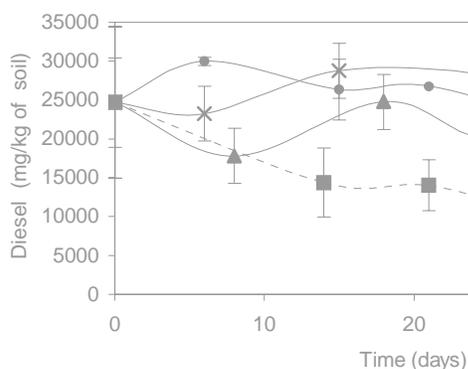
Los resultados de la biodegradación de hidrocarburos del suelo sometido a tratamiento térmico, se muestran en la Figura 4. Se observa que en el control sin solvente hubo un mínimo consumo de hidrocarburos, 16% en 30 días de tratamiento.

alcanzado la concentración residual en un sistema de suelo en suspensión. Estos resultados sugieren también que es posible implementar un tratamiento térmico, seguido de una degradación biológica, lo que permitiría acortar los tiempos de tratamiento.

## Bibliografía...

- Alexander, R. y Alexander, M. (2000). Bioavailability of genotoxic compounds in soil. *Environ. Sci. Technol.*, 34:1859-1593.
- Cookson, J. T. Jr. 1995. *Bioremediation Engineering: Design and Application*. Mc-Graw Hill, Inc. New York. 524 pp.
- García-Rivero, M. (2003). Transferencia de masa y biodegradación de hidrocarburos de un suelo intemperizado en un cultivo de suelo en suspensión. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapala, México D.F.
- Gray, M.; Banerjee, D.; Dudas M. and Pickard M. (2000). Protocols to enhance biodegradation of hydrocarbon contaminants in soil. *Biorem. J.*, 4:249-257.
- Hamed T. A.; Bayraktar, E.; Mehmetoglu, U. and Mehmetoglu, T. (2004). The biodegradation of benzene, toluene and phenol in a two phase system. *Biochem. Engin. J.* 19:137-146.
- Huesmann, M. H. (1997). Incomplete hydrocarbon biodegradation in contaminated soils: limitation in bioavailability or inherent recalcitrance?. *Biorem. J.*, 1:27-39.
- Jiménez, I. and Bartha, R. (1996). Solvent-augmented mineralization of pyrene by a *Mycobacterium* sp. *Appl. Environ. Microbiol.* 31:2311-2316.
- Liste, H. and Alexander, M. B. (2002). Butanol extraction to predict bioavailability of PAHs in soil. *Chemosph.* 46:1011-1017.
- Liu, Z.; Jacobson, A. and Luthy, R. (1995). Biodegradation of naphthalene in aqueous nonionic surfactant system. *Appl. Environ. Microbiol.* 61:145-151.
- Nocentini, M.; Pinelli, D. and Fava, F. (2000). Bioremediation of a soil contaminated by hydrocarbon mixtures: the residual concentration problem. *Chemosph.* 41:1115-1123.
- Villemur, R.; Déziel, E.; Benachenhou, A.; Marcoux, J.; Gauthier, E.; Lépine, F.; Beudet, R. and Comeau, Y. (2000). Two liquid-phase slurry bioreactors to enhance the degradation of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons in soil. *Biotechnol. Prog.* 16:966-972.
- Yerushalmi, L.; Rocheleau, S.; Cimpoia, R.; Sarrazin, M.; Sunahara, G.; Peisajovich, A.; Leclair, G., and Guiot, S. (2003). Enhanced biodegradation of petroleum hydrocarbons in contaminated soil. *Bioremed. J.* 7:37-51.

**Figura 4**  
Biodegradación de diesel, del suelo sometido a tratamiento térmico, en sistema de suelo en suspensión cuando se adicionó (■) acetona, (▲) etanol, (X)butanol y control sin solvente. (●)



La adición de acetona sí promovió el consumo de los hidrocarburos residuales al tratamiento térmico. Al igual que en las gráficas descritas anteriormente, no se observa fase estacionaria y ocurrió un consumo continuo de hidrocarburos, aunque la tendencia parece indicar que alcanzó una concentración residual de aproximadamente 10,000 mg/kg SS. Los resultados se explican debido a que la acetona tiene una menor polaridad y podría ser más similar a la polaridad de la mezcla de hidrocarburos, es decir, facilita la extracción de los compuestos y su disolución en la fase líquida.

Cuando se adicionó etanol o butanol, no se incrementó significativamente el consumo de hidrocarburos con respecto al control sin solvente; en promedio la degradación fue de 13.5% en 30 días de cultivo, siguiendo el perfil descrito anteriormente. Estos resultados también pueden explicarse basándose en la polaridad de los solventes y la polaridad de la mezcla de hidrocarburos.

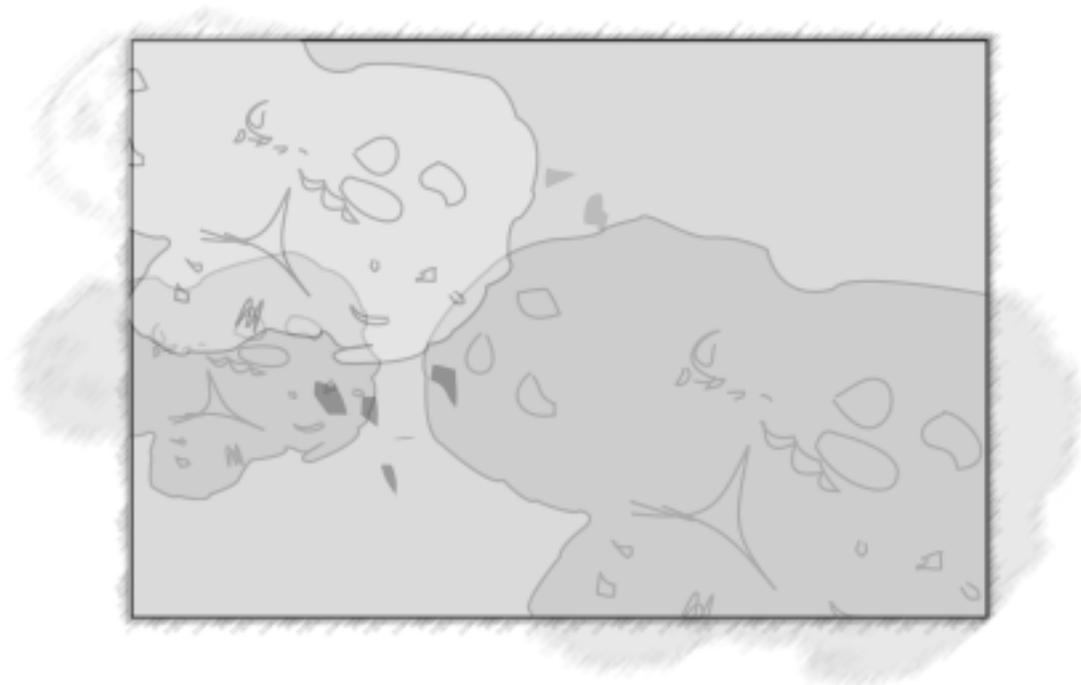
## Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que la disponibilidad de los hidrocarburos residuales puede mejorarse mediante la adición de solventes, una vez que se ha



Sistema de incubación de los frascos utilizados para la biodegradación

# Avances en el uso del Sol-Gel



## como material para inmovilizar sistemas biológicos

Ing. Rafael Pérez Bedolla\*  
y Dra. Ma. Rosario Peralta-Pérez\*\*

**E**n biotecnología podemos definir a la "inmovilización" como un proceso en el que se confinan o localizan enzimas o microorganismos en una región definida del espacio, dando lugar a formas insolubles que retienen la actividad catalítica de dichas sustancias.

Acerca de los autores...

\* Profesora-Investigadora del Laboratorio de Catálisis Enzimática del TESE.

\*\* Profesor-Investigador del Laboratorio de Catálisis Enzimática y estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica



Algunas de las ventajas de la inmovilización son las siguientes:

- Permite mejorar significativamente la estabilidad de la sustancia confinada. Por eso se aplica en la producción industrial de algunos productos químicos, farmacéuticos, en alimentos, en el procesamiento de residuos, así como en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.
- Se logra conservar la actividad biológica por largo tiempo.
- Las sustancias se pueden reutilizar, por lo que disminuyen los costos del proceso.

Las moléculas inmovilizadas están unidas a un soporte insoluble en agua, restringiendo así su movilidad. Algunos de los soportes utilizados son:

- Resinas de intercambio iónico.
- Geles activados con bromuro de cianógeno.
- Poliacrilamida.
- Acetato de celulosa.
- Agar.
- Gelatina.
- Alginato.
- Sílices (precursores del óxido de silicio).

Hace 15 años, aproximadamente, surgió un proceso denominado sol-gel, éste utiliza alcóxidos metálicos como precursores para llevar a cabo el proceso que ha ganado importancia científica y tecnológica durante los últimos años. Este proceso ofrece un nuevo

acercamiento para la preparación de vidrios, cerámicas y actualmente para materiales con aplicación biológica. Por lo tanto, el sol-gel abre la posibilidad de obtener vidrios homogéneos y cerámicos a bajas temperaturas; la viscosidad que se logra cuando se forma un gel, es particularmente conveniente para recubrimientos.

En este sentido, un estudio pionero fue el realizado por Jonson en 1971, quien llevó a cabo el primer encapsulado enzimático utilizando la tripsina como sistema biológico en una matriz de silicio. Posteriormente Mosbach, en 1985, empleó glucosa oxidasa como sistema biológico y al tetraetoxisilano (TEOS) como precursor para el proceso sol-gel. Pero no fue sino hasta 1990 cuando se desató un torbellino de estudios con sistemas enzimáticos; Avnir y su equipo publicaron una serie de trabajos muy importantes sobre la generalización del sol-gel, basados en el encapsulamiento de enzimas (fosfatasa, tripsina, aspartasa, glucosa oxidasa, anhidrasa carbónica, quitinasa y monoamino oxidasa) en matrices de  $\text{SiO}_2$ .

Ellerby y sus colaboradores, reportaron en 1992 la encapsulación de proteínas en geles usando una variación en la metodología sol-gel; asimismo, se reportó la encapsulación de la bacteria *Rodopsina* (BR) en geles, usando un método similar al sol-gel. Los estudios

espectrofotométricos demostraron que las BR mantenían sus propiedades sensitivas a la luz cuando se inmovilizaban dentro del gel y retenían su actividad biológica por largos periodos.

En cuanto a la inmovilización de células en sol-gel, ésta ha sido poco explorada y ya se han reportado usos con resultados positivos. Una nueva tecnología de inmovilización es el empleo de la técnica de sol-gel, como soporte para el crecimiento de microorganismos.

La biotecnología actualmente se ha desarrollado de una forma notable y es una de las disciplinas más importantes de la ciencia. El uso de microorganismos para desarrollar nuevas tecnologías, es un campo que está siendo explotado para dar solución a problemas actuales, pero en algunas ocasiones usa tecnologías caras, requiere de grandes inversiones y trae consigo daños al ambiente.

## EL PROCESO SOL-GEL

Esta química produce una variedad de redes inorgánicas a partir de precursores de alcóxidos metálicos. Los más ampliamente usados son los alcóxidos silanos como el tetra-metoxisilano (TMOS) y el tetraetoxisilano (TEOS).

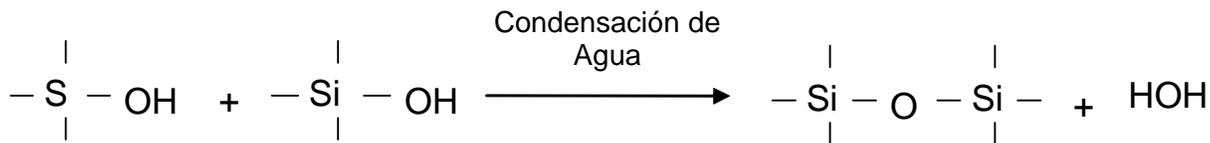
La química sol-gel se basa en reacciones inorgánicas de polimerización para obtener redes inorgánicas; el proceso inicia con la hidroxilación de

alcóxidos metálicos a través de la hidrólisis de grupos alcoxi, y es como sigue:

Dependiendo de las condiciones experimentales, ocurren dos cosas:

**1. Olación:** La formación de puentes hidroxilo mediante la eliminación de moléculas de solvente:

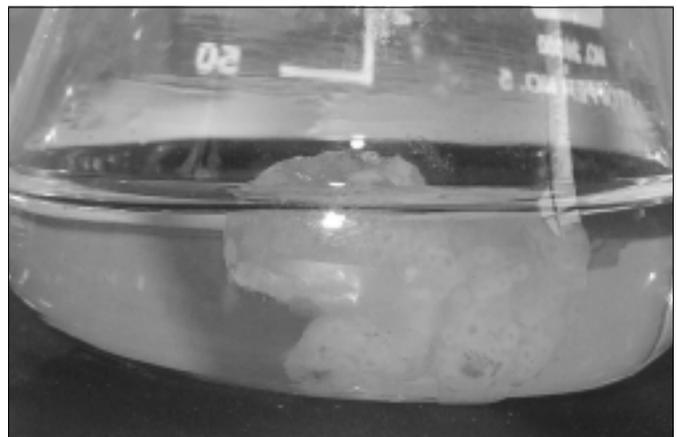
**2. Oxolación:** La formación de puentes de oxígeno a través de la eliminación de moléculas de agua o alcohol:



Estas tres reacciones (Hidrólisis, Olación y Oxolación) están involucradas en la transformación de alcóxidos metálicos precursores, en redes poliméricas de óxidos metálicos con porosidad definida.

La ruta sol-gel permite la obtención de una red sólida, ya sea inorgánica o híbrida, es decir, orgánica-inorgánica (ORMOSILS), a partir de reactivos en estado líquido que constituyen el sol de partida. Esta red, obtenida por el secado a temperatura ambiente del gel húmedo, se caracteriza por poseer una alta porosidad y superficie específica. Esta alta porosidad constituyó, en un principio, uno de los inconvenientes a superar, cuando en los albores de la tecnología sol-gel, el objetivo principal estaba encaminado a la obtención de vidrios densos. Por el contrario, actualmente la porosidad es un valor añadido de los materiales obtenidos a través de esta vía, ya que en ella se puede albergar una segunda fase, constituyendo un material compuesto.

Los materiales sol-gel presentan un gran potencial como plataformas para sensores químicos, debido a varias razones. El procesado a temperatura ambiente permite la incorporación de moléculas o agentes sensibles a la temperatura,



Organismo inmovilizado

en una matriz porosa sin necesidad de modificaciones químicas. Además, los materiales sol-gel tienen otras propiedades interesantes, como la transparencia óptica en el visible y en el infrarrojo cercano, la estabilidad térmica, la baja reactividad química y, lo más importante, se pueden hacer modificaciones en el procesado, que permitan ajustar sus propiedades fisicoquímicas de acuerdo con las necesidades de la aplicación.

La transparencia de los geles obtenidos con la técnica sol-gel, su estabilidad y su habilidad para atrapar grandes moléculas de proteínas y pequeñas moléculas orgánicas e inorgánicas, así como su gran superficie, los hacen únicos para equipos de diagnóstico de fotodetección, así como la preparación de catalizadores industriales.

Los trabajos efectuados reportan resultados con enzimas y proteínas, pero un sistema poco explorado es la inmovilización de hongos; estos juegan un papel ecológico importante, en particular el basidiomiceto *P. chrysosporium* que pertenece al grupo de los llamados "hongos de la pudrición blanca" y posee una gran capacidad degradativa, gracias que produce enzimas extracelulares, lo cual le permite degradar lignina y una gran diversidad de compuestos tóxicos.

*P. chrysosporium* actualmente es objeto de estudios, que se pueden complementar con el uso de nuevas tecnologías y realizar desarrollos tecnológicos, como por ejemplo la "tecnología sol-gel". Una posibilidad es el uso del sol-gel para la inmovilización del hongo y obtener un polímero de sílice que preserve la bioactividad y pueda aplicarse a sistemas como la biorremediación.

## ¿Qué se hace en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec?

El área de la biorremediación es objeto de estudio por parte de los grupos de investigación del TESE.

Actualmente se está concluyendo un trabajo de investigación en el cual se utiliza el proceso sol-gel para inmovilizar al hongo filamentoso *P. chrysosporium* A594 como sistema biológico y el tetrametoxisilano (TMOS) como precursor; éste fue financiado por el Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica, con la Clave 1017.03-P.

El basidiomiceto *P. chrysosporium* es un hongo filamentoso con capacidad para degradar lignina y una gran diversidad de fenilpropanos relacionados a componentes poliméricos de la madera. Estos organismos también degradan un rango verdaderamente sorprendente de compuestos xenobióticos utilizando enzimas intra y extracelulares. Como ejemplos, el hongo tiene la capacidad de degradar benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (también llamados compuestos BTEX); compuestos clorados, tales como 2,4,5-tricloroetileno (TCE), y triclorofenoles. Como podemos ver, el hongo *P. chrysosporium* posee una gran capacidad degradativa.

Una nueva tecnología de inmovilización es el empleo de la técnica de sol-gel con microorganismos, con la finalidad de que a futuro se estudie la producción de sus enzimas en este sistema inmovilizado. En la literatura se ha trabajado con encapsulación de enzimas y proteínas, pero no hay trabajos que indiquen la encapsulación o inmovilización de hongos filamentosos.

Este tipo de tecnología nos permite tener una visión más amplia del futuro del sol-gel en la biotecnología, la intención de este estudio es que con el tiempo se obtengan resultados que puedan ser aplicados a la naturaleza y al sector productivo.

1. H. H. Weetall; B. Robertson; D. Cullin; J. Brown and M. Walch, "Bacteriorhodopsin immobilized in sol-gel glass", *Biochim. Biophys. Acta*, 1142, 1993, pp. 211-213.

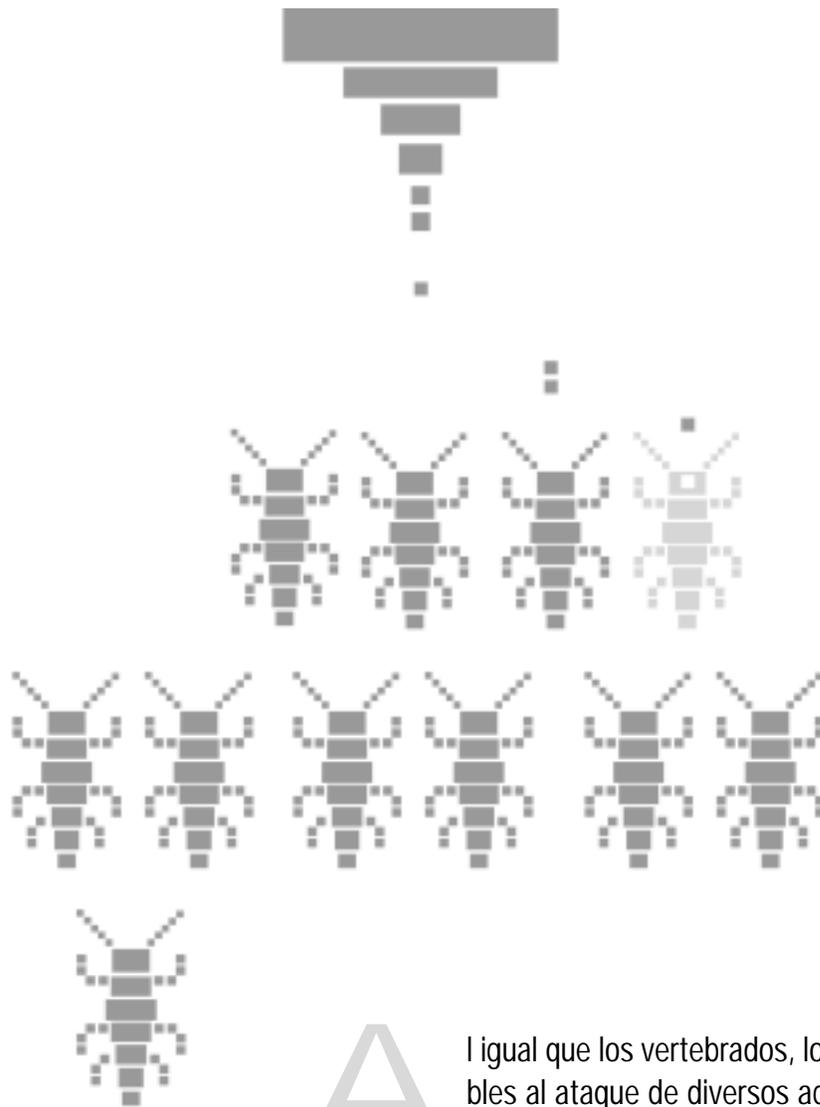
2. Jyh-Ping Chen, Wei-Shin Lin, "Sol-gel powders and supported sol-gel polymers for immobilization of lipase in ester synthesis", *Enzyme and Microbial technology* 32, 2003, pp. 801-811.

3. L. M. Ellerby; C.R. Nishida; F. Nishida; S. A. Yamanaka; B. Dunn; J. S. Valentine and J. I. Zink, "Encapsulation of proteins in transparent porous silicate glasses prepared by the sol-gel method", *Science*, 255, 1992, pp. 1113-1115.

4. M. T. Reetz, "Entrapment of Biocatalysts in Hydrophobic Sol-Gel Materials for Use in Organic Chemistry", *Adv. Mater.* 1997, 9, No.12, pp. 943-954.

5. P. Audebert; C. Demaille and C. Sanchez, "Electrochemical probing of the activity of glucose oxidase embedded sol-gel matrices", *Chem. Matter.*, 5, 1993, pp. 911-913.

6. Shuguang Wu; Lisa M. Ellerby; J. S. Cohan; Bruce Dunn; M.A. El-Sayed; J. Selverstone, Valentine and Jeffrey I. Zink, "Bacteriorhodopsin Encapsulated in Transparent Sol-Gel Glass: A New Biomaterial", *Chem. Matter.*, 5, 1993, pp. 115-120.



**A**l igual que los vertebrados, los insectos son también susceptibles al ataque de diversos agentes patógenos, entre éstos se cuenta a diversos organismos infecciosos, tales como virus, bacterias, hongos, protozoarios, nemátodos, etcétera. El conocer que este amplio espectro de organismos tienen la posibilidad de causar enfermedad y muerte dentro de las poblaciones de insectos, ha permitido plantear estrategias de control y combate natural (*control biológico*) sobre diversas especies, que en algún momento se hayan constituido en plagas dañinas.

Lograr el combate de algún insecto-plaga mediante control biológico, requiere propiciar el contacto entre el agente microbiano entomopatógeno y el insecto hospedero, posibilitando así la enfermedad y muerte de este último. Este contacto suele darse en forma natural en un pequeño porcentaje de la población de insectos, pudiendo ocurrir un decremento importante de individuos cuando ocurre una epidemia. Sin embargo, el control de plagas no puede estar supeditado a que en un momento determinado suceda una epidemia natural, por lo que el control efectivo de insectos-plaga, sólo puede lograrse con la liberación masiva y periódica de agentes entomopatógenos obtenidos en cultivos *in vitro*.

#### Acerca de los autores...

- 1 Profesor de la División de Posgrado de Ingeniería Química e investigador en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental.
- 2 Profesor de la División Posgrado de Ingeniería Bioquímica e investigador en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental.

# Nemátodos entomopatógenos

## I. Biología y ciclo de vida

M. en C. Juan Suárez Sánchez<sup>1</sup>  
y Dra. Josefina Pérez Vargas<sup>2</sup>

### Manejo integrado y control biológico de insectos plaga

Dentro de la teoría del control biológico, una adecuada regulación y supresión de plagas de insectos, debe involucrar el manejo integrado de las mismas. El Manejo Integrado de Plagas (MIP) implica la aplicación, al mismo tiempo, de varios métodos de control, que finalmente establezcan un equilibrio poblacional, a niveles en que no puedan afectar adversamente el entorno que habitan (Smith y van den Bosch, 1967; Huffaker, 1972; Bottrell, 1979).

Por su parte, el control biológico es una ciencia que nace como tal a mediados del siglo XIX, y se define operacionalmente como: "la acción de enemigos naturales que mantienen las poblaciones de insectos que constituyen plagas en niveles más bajos de los que serían observados en ausencia de dichos enemigos naturales" (Ehler, 1990). Entre los enemigos naturales de éstos, se incluyen varios géneros de insectos parasitoides, artrópodos depredadores y patógenos microbianos (virus, bacterias, hongos, protozoarios y nemátodos).

Los entomólogos dividen el control biológico en dos grandes áreas de investigación (Ehler, 1990): 1) "Control biológico natural", siendo éste el que se efectúa por enemigos naturales nativos, 2) "Control biológico aplicado", en el que

existe la intervención del hombre. Éste presenta, a su vez, subsecuentes divisiones, surgiendo así el "control biológico clásico" (introducción de especies exóticas de parasitoides y depredadores provenientes del lugar donde es originaria la plaga) y "control biológico por aumento" (liberación masiva y periódica de entomófagos, conocida como inundación, o la liberación de unos pocos individuos que sobrevivirán por varias generaciones, llamada inoculación).

Debido a la gran cantidad de organismos que se pueden usar como agentes de control de insectos, la división del control biológico se maneja generalmente como: "control macrobiológico", en el que quedarían clasificados parasitoides y depredadores; y "control microbiológico o microbiano", contemplando en éste a toda la diversidad de microorganismos entomopatogénicos.

Un tipo de microorganismos clasificados dentro del control microbiológico que han dado excelentes resultados en la supresión de plagas de insectos, cuando se les ha utilizado como bioinsecticidas, son los *nemátodos entomopatógenos*. Sin embargo a pesar de la comprobada efectividad entomopatogénica de estos organismos, su uso intensivo está restringido por la dificultad que representa tratar de propagarlos a gran escala, en procesos *in vitro*. Esto se debe fundamentalmente a su gran complejidad estructural y bio-

lógica. Son precisamente estos aspectos los que se exponen en seguida.

### Generalidades sobre nemátodos entomopatógenos

Los nemátodos son en general organismos translúcidos, usualmente de forma alargada y más o menos cilíndrica. El cuerpo se encuentra cubierto por una cutícula elástica no-celular. La superficie del cuerpo de los nemátodos presenta una apariencia de estrías transversas o de anillos externos. Estas estructuras no son segmentaciones verdaderas sino superficiales dado que se localizan en la cutícula.

Poseen sistemas excretorio, nervioso, digestivo, reproductivo y muscular; pero carecen de sistemas circulatorio y respiratorio. El canal alimentario consiste de una boca localizada terminalmente, seguida por el estoma o cavidad bucal, un esófago, intestino y recto con el ano abierto ventralmente. Los nemátodos son usualmente organismos unisexuados. (Brown, 1977).

Estos organismos incluyen muchas especies de vida parásita y libre. Las formas de vida libre se distribuyen ampliamente en el agua y el suelo. Las especies parásitas lo son de plantas, moluscos, anélidos, artrópodos y vertebrados. Como ya se menciono resultan de particular interés los nemátodos parásitos de insectos (*entomopatógenos*), ya que esta propiedad les

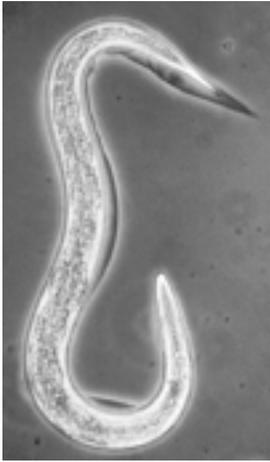


Figura 1.

Imagen de un infectivo juvenil de *Steinernema* spp. (nematodo entomopatogeno).

confiere características bioinsecticidas para el combate de plagas de insectos.

Los nemátodos más importantes con características entomopatógenas se localizan en el orden Rhabditida, dentro de ella las familias más importantes debido al número de géneros entomopatógenos que albergan son *Steinernematidae* y *Heterorhabditidae*.

*Steinernema* y *Heterorhabditis* (Figura 1) son los géneros de nemátodos entomopatógenos que debido a sus características biológicas se han empleado con mucho éxito junto con otros agentes insecticidas, en el Manejo Integrado de Plagas (MIP). Los nemátodos de ambos géneros a pesar de que son en la naturaleza parásitos obligados, ya que completan su ciclo de vida solo en el interior de diversas clases de insectos, han sido cultivado exitosamente *in vitro*, potenciando con ello su empleo como bioinsecticidas, dada la factibilidad de producirlos a gran escala.

En la naturaleza steinernemátidos y heterorhabdítidos invariablemente se encuentran ligados a un simbiote de naturaleza bacteriana (Forst et al., 1997). Dicha bacteria pertenece a la familia *Enterobacteriaceae*, identificándose los géneros *Xenorhabdus* spp. (en el caso de steinernemátidos) y *Photorhabdus* spp. (en el caso de Heterorhabditidos). Además del mutualismo que en la naturaleza les une para sobrevivir, se ha encontrado que los cultivos *in vitro* —al menos en el

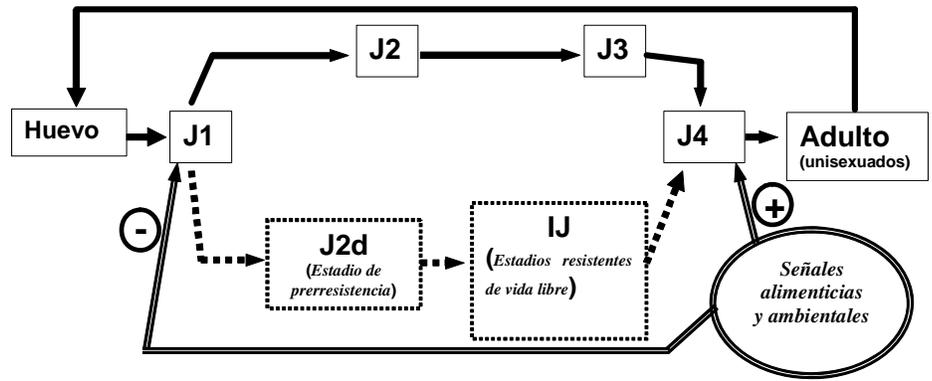


Figura 2.

Ciclo de vida de *Steinernema* spp. Mostrando las vías alternas de desarrollo.

caso de *Steinernema*—, mejoran sustancialmente cuando se realizan en un sustrato en donde previamente haya crecido su simbiote bacteriano específico *Xenorhabdus* (Akhurts, 1980).

### Ciclo de vida de los nemátodos entomopatógenos del género *Steinernema*

La mayoría de los nemátodos tienen ciclos de vida en los que experimentan tres importantes estados de desarrollo: huevo, estadio juvenil (a las formas inmaduras de nemátodos se les denomina preferentemente como "formas juveniles" o simplemente "juveniles", para evitar confusiones con el término "larval" el cual es propio de insectos) y adulto (Chitwood y Chitwood, 1974). La hembra grávida deposita los huevos en el medio ambiente que la rodea, la forma juvenil usualmente experimenta una transformación estando dentro del huevo y emerge de éste como una forma juvenil de segundo estadio. La mayoría de las especies de nemátodos se transforman hasta en cuatro ocasiones antes de convertirse en adultos. Estos cambios los puede sufrir la juvenil aún estando dentro del huevo, libre en el medio ambiente o dentro del insecto huésped. Algunos nemátodos parásitos de insectos producen formas resistentes, las cuales se designan como "juveniles resis-

tentes", "resistentes", "infectivas juveniles", "dauer" ó "IJ".

Las formas juveniles resistentes son el tercer estadio del nemátodo, estas formas usualmente se encuentran encapsuladas en la cutícula del segundo estadio. Este fenómeno se observa frecuentemente en los rhabditidos a los cuales pertenece *Steinernema* spp. Muchos nemátodos de vida libre producen también juveniles resistentes (Poinar, 1990).

Específicamente en el caso de los steinernemátidos, cuando estadios IJ -de resistencia- alcanza el interior del cuerpo de un insecto, se desarrollan rápidamente alcanzando pronto el estadio J4 -preadulto-. La madurez completa de adultos bien diferenciados y unisexuados se tiene a las 48-72 hrs. Después de copular las hembras una vez grávidas, ovipositan, liberando fases juveniles en menos de 96 hrs. Estas fases juveniles repiten el ciclo de desarrollo y reproductivo si es que encuentran en el medio alimento suficiente —esta parte del ciclo se presenta en el diagrama con una línea continua—. Se especula que son "señales" de naturaleza química asociadas precisamente con la cantidad de alimento aún disponible y la densidad poblacional las que intervienen en la bifurcación -nodo- que *Steinernema* presenta en su ciclo de vida. Haciendo caso a dichas señales es que *Steinernema* detecta que el medio ambiente ya no es fa-

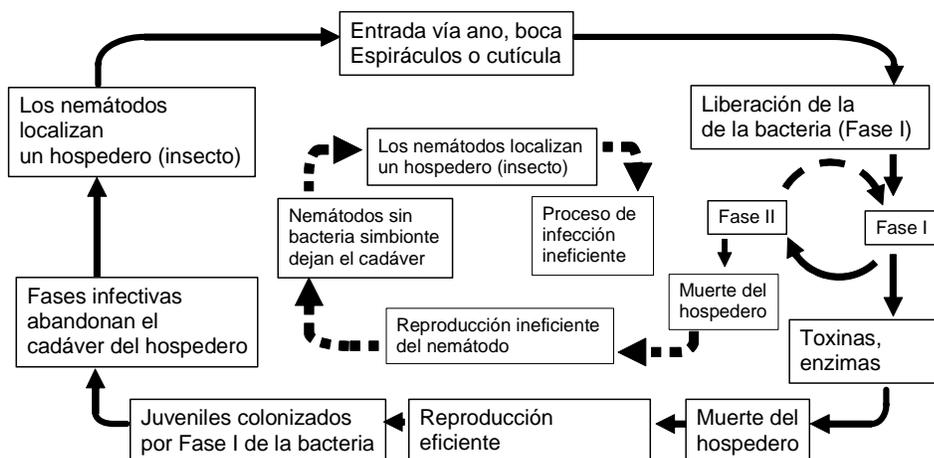


Figura 3.

Ciclo de vida de los nemátodos entomopatógenos del género *Steinernema spp* en la que se ilustra la participación de su simbiote bacteriano *Xenorhabdus spp.*

vorable y después de eclosionar dirige su desarrollo a un estadio juvenil de prerresistencia -J2d- para transformarse finalmente en un organismo de resistencia II infectiva juvenil—esta parte del ciclo se presenta en el diagrama con una línea discontinua— el cual abandona el cadáver de su hospedero, iniciando una vez más un lapso de vida libre en la cual busca otro hospedero en el que pueda volver a repetir su ciclo vital (Figura 2). La causa de la transformación en fases juveniles de resistencia II, es aparentemente, la alta densidad poblacional de nemátodos, relacionándose además con la presencia de una feromona y la baja cantidad de nutrientes disponibles en el cadáver (Popiel et al., 1989)

### Interacción nemátodo-bacteria

El ciclo de vida de *Steinernema*, solo se puede cumplir debido a la participación de su simbiote bacteriano. Distintas especies de *Steinernema* se han asociado con infecciones naturales de insectos y todas ellas forman asociaciones mutualistas con bacterias (Dutki 1959; Thomas y Poinar, 1979). La bacteria, en cuestión se clasifica dentro del género *Xenorhabdus* (Poinar y Thomas 1965, 1966; Akhurst, 1980, 1982, 1986).

Diversas variedades de *Steinernema* han sido aislado de diferentes áreas geográficas (Poinar, 1979, 1990). El tercer

estadio del nemátodo II es infectivo y de vida libre. Durante su etapa de vida libre, el nemátodo no come y lleva consigo dentro del intestino a su bacteria simbiote *Xenorhabdus spp.*

Cuando una infectiva juvenil II de *Steinernema spp.* localiza un insecto hospedero, logra la infección penetrando al interior del mismo por las aberturas naturales, como son la boca, el ano o los espiráculos, aunque esta última vía de entrada no parece factible (Poinar y Himsforth, 1967). El nemátodo penetra mecánicamente hasta el hemocele y una vez ahí libera a su simbiote *Xenorhabdus spp.* La bacteria liberada prolifera y causa la muerte del insecto por septicemia en un lapso de entre 24 y 48 horas, estableciendo condiciones de desarrollo favorables para el nemátodo, debido a la lisis de los tejidos del hospedero y la inhibición de otros microorganismos por la liberación de ciertos antibióticos (Maxwell et al., 1993). Al morir el hospedero, los nemátodos se reproducen pasando por varias generaciones (Figura 3). Eventualmente formas infectivas del nemátodo llevando en su intestino células de *Xenorhabdus spp.*, emergen del cadáver del hospedero, 8 a 14 días después de la infección. Las infectivas juveniles pueden permanecer vivas por un largo periodo de tiempo en el suelo, y bajo condiciones

de laboratorio, algunas pueden vivir incluso por 5 años (Suárez 1997).

El nemátodo puede matar a su hospedero sin estar presente la bacteria simbiote, pero es incapaz de reproducirse, mientras que la bacteria no puede invadir el hemocele del insecto hospedero, sin la ayuda del nemátodo (Han & Ehlers, 2000). *Xenorhabdus spp.* presenta dos fases (Akhurst y Boemare, 1986), designadas como: fase I (forma primaria) y fase II (forma secundaria). La fase primaria es aislada de nemátodos infectivo y tiende a ser inestable, pasando rápidamente a la fase II. La fase secundaria es aislada de cadáveres viejos de insectos o de cultivos de nemátodos *in vitro*. Las diferencias entre las dos fases de la bacteria pueden ser detectadas por pruebas bioquímicas y por la producción de metabolitos, además de la facultad de soportar la reproducción eficiente de nemátodos *in vitro* que se logra cuando esta presente la fase primaria (Woodring y Kaya 1988, Akhurst y Boemare 1990).

### Especificidad por el hospedero

La especificidad por el hospedero en los nemátodos entomopatógenos tiene diversos rangos. Existen nemátodos que se asocian con sólo una especie de insectos, otros en cambio tienen un rango de hospederos bastante amplio. En base a su especificidad se clasifican en

tres grupos: monógenos (altamente específicos), oligógenos (moderadamente específicos o con un rango de hospederos restringido) y polígenos (poco específicos o con un gran rango de hospederos).

Los nemátodos que son parásitos obligados de insectos, en general son monógenos u oligógenos. Por ejemplo, el mermithido *Perutilimermis culicis* (*Aganomermis culicis*) parasita específicamente a *Aedes sollicitans*; mientras que el tetradonematido *Tetradonema plicans* ha sido encontrado solamente en algunos tipos de moscas (sciaridos). Como ejemplo de especies oligógenas, tenemos al mermithido *Mermis nigrescens*, el cual infecta varias especies de chapulines, el allantonemátido *Heterotylenchus autumnalis*, que ha sido identificado sólo en pocas especies de moscas (muscidos), y el mermithido, *Romanomermis cucilivorax*, que infecta en la naturaleza a 17 especies de mosquitos y en condiciones controladas de laboratorio se ha logrado que infecte a 40 especies diferentes. El parásito facultativo, *Deladenus spp* es oligogénico e infecta polillas (siricidos), a un escarabajo asociado a las polillas, y a varias especies del género *Rhyssa*, los cuales son himenópteros parasitoides de polillas. En contraste algunos steinernematidos y heterorhabditidos, parásitos obligados en la naturaleza, son poligénicos. Por ejemplo *Steinernema carpocapsae* infecta a más de 250 especies de insectos de diferentes ordenes bajo condiciones de laboratorio. *Heterorhabditis bacteriophora* es otro nemátodo entomopatógeno que se encuentra en un amplio rango de hospederos. Un steinernematido que tiene un rango restringido de hospederos es *Steinernema kushidae* (Stoffolano 1973).

Finalmente es muy importante mencionar, que debido las características biológicas y de comportamiento que poseen los nemátodos entomopatógenos justifican ampliamente el motivo de ser considerados como agentes potenciales de control biológico. De entre estas características destacan las siguientes:

- I) Pueden tener capacidad de infección sobre varias clases de insectos.**
- II) Llevan a cabo un búsqueda activa de sus hospederos.**
- III) Pueden persistir durante largos periodos de tiempo en el suelo (su reservorio natural).**
- IV) Son totalmente inoocuos para todo tipo organismos de vertebrados y plantas.**

## Referencias bibliográficas...

Akhurst, R. J., Morphological and functional dimorphism in *Xenorhabdus spp.* bacteria symbiotically associated with the insect pathogenic nematodes *Neoplectana* and *Heterorhabditis*, J. Gen. Microbiol., 121, 303, 1980.

Akhurst, R. J., Antibiotic activity of *Xenorhabdus spp.*, bacteria symbiotically associated with insect pathogenic nematodes of the families *Heterorhabditidae* and *Steinernematidae*, J. Gen. Microbiol. 128, 3061, 1982.

Akhurst, R. J., *Xenorhabdus nematophilus* subsp. *beddingii* (Enterobacteriaceae): a new subspecies of bacteria mutualistically associated with entomopathogenic nematodes, Int. J. Syst. Bacteriol., 36, 454, 1986.

Akhurst, R. J., and Boemare, M. E., A non-luminescent strain of *Xenorhabdus luminescens*, J. Gen. Microbiol., 132: 1917, 1986.

Akhurst, R. J., and Boemare, M. E., Biology and taxonomy of *Xenorhabdus*. In: Entomopathogenic nematodes in biological control (R. Gaugler and H.K. Kaya, ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 75, 1990.

Bottrell, D. G., Integrated Pest Management. Rpt. For Council Environ. Quality. U. S. Government Printing Office No. 041-011-00049-1, Washintong, DC, 1979.

Brown, H. W., Parasitología clínica, cuarta edición. Interamericana, México, D.F. 320 pp. 1977.

Chitwood, B. G., and Chitwood, M. B., Introduction to nematology. University Park Press, Baltimore, Maryland. 334 pp. 1974.

Dutky, S. R., Insect microbiology, Adv. Appl. Microbiol., 1, 175, 1959.

Ehler L. E., Some contemporary issues in biological control of insects and their relevance to the use of entomopathogenic nematodes. In: Entomopathogenic nematodes in biological control (R. Gaugler and H.K. Kaya, ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida, 1-18., 1990.

Forst, S., Dowds, B., Boemare, N., and Stackebrandt, E., *Xenorhabdus* and *Photorhabdus spp.* bugs that kill bugs. Ann. Rev. Microbiol. 51: 47, 1997.

Han, R., and Ehlers R., Pathogenicity, development and reproduction of *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema carpocapsae* under axenic in vivo conditions, J. Invertebr. Pathol., 75: 55, 2000.

Huffaker, C. B., Ecological management of pest system. In J. A. Behnke, ed. Challenging Biological Problems: Directions Toward Their Solution. Oxford University

Press, New York, 313-342, 1972.

Maxwell, P. W., Chen, G., Webster, J. M., and Dunphy, G. B., Stability and activities of antibiotics produced during infection of the insect *Galleria mellonella* by two isolates of *Xenorhabdus nematophilus*, Appl. Environ. Microbiol., 60: 715, 1993.

Poinar, G.O., Jr., Nematodes for biological control of insects, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1979.

Poinar, G. O., Jr., Taxonomy and biology de *Steinernematidae* and *Heterorhabditidae*. In: Entomopathogenic nematodes in biological control (R. Gaugler and H.K. Kaya, ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida, 23-61., 1990.

Poinar O.G., Jr., and Himsworth, P. T., *Neoplectana* parasitism of larvae of the greater wax moth, *Galleria mellonella*, J. Parasitol., 9, 241, 1967.

Poinar, O. G. Jr., and Thomas, G. M., A new bacterium, *Achromobacter nematophilus* sp. nov. (*Achromobacteriaceae: Eubacteriales*) associated with a nematode, Int. Bull. Bacteriol. Nomen. Taxon., 15, 249, 1965.

Poinar, G. O., Jr., and Thomas, G. M., Significance of *Achromobacter nematophilus*, Poinar and Thomas (*Achromobacteriaceae: Eubacteriales*) in the development of the nematode, DD-136 (*Neoplectana spp. Steinernematidae*), Parasitology, 56, 385, 1966.

Popiel, I., Grove, D. L., and Friedman, M. J., Infective juvenile formation in the insect parasitic nematode *Steinernema feltiae*, Parasitology, 99, 77, 1989.

Smith, R. F., and van den Bosch R., Integrated control. In: W. W. Kilgore and R. L. Douth, eds. Pest Control-Biological, Physical, and Selected Chemical Methods. Academic Press, New York, 295-350, 1967.

Stoffolano, J. G., Jr., Host specificity of entomophilic nematodes - a review. Exp. Parasitol. 33, 263, 1973.

Thomas, G. M., and Poinar, G. O., Jr., *Xenorhabdus* gen. nov., a genus of entomopathogenic, nematophilic bacteria of the family *Enterobacteriaceae*, Int. J. Syst. Bacteriol., 29, 352, 1979.

Suárez, J. S., Caracterización cinética de un cultivo monoxénico en medio sumergido para la propagación masiva del nemátodo entomopatógeno *Steinernema feltiae* (*Rhabditida: Steinernematidae*), Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Tesis Profesional, 1997.

Woodring, J. L., and Kaya, H. K., Steinernematid and Heterorhabditid Nematodes: A Handbook of Biology and Techniques, South. Coop. Ser. Bull. 331, Arkansas Agric. Exp. Stat., 1988.