



FRONTERA BIOTECNOLÓGICA



Revista Digital del IPN, CIBA Tlaxcala - No. 12 enero - abril 2019

SUSTRATOS, ENMENDADORES Y
FERTILIZANTES PARA INCREMENTAR LA
PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA, PARTE 1

ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DEL
HONGO FITOPATÓGENO *FUSARIUM*
EN EL SECTOR AGRÍCOLA: DEL
CONTROL QUÍMICO AL CONTROL
BIOLÓGICO

IMPACTO DE LA MAESTRÍA EN
BIOTECNOLOGÍA APLICADA EN
LA CONTRIBUCIÓN DE RECURSOS
HUMANOS DE CALIDAD

PRODUCCIÓN DE NEMÁTODOS
ENTOMOPATÓGENOS EN MEDIO
LÍQUIDO, PERSPECTIVAS Y RETOS A
VENCER

IPN

MARIO ALBERTO RODRÍGUEZ CASAS
DIRECTOR GENERAL

HÉCTOR LEONCIO MARTÍNEZ CASTUERA
SECRETARIO GENERAL

DR. JORGE TORO GONZÁLEZ
SECRETARIO ACADÉMICO

JUAN SILVESTRE ARANDA BARRADAS
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

LUIS ALFONSO VILLA VARGAS
SECRETARIO DE EXTENSIÓN E INTEGRACIÓN SOCIAL

MARÍA GUADALUPE VARGAS JACOBO
SECRETARIA DE SERVICIOS EDUCATIVOS

REYNOLD RAMÓN FARRERA REBOLLO
SECRETARIO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA

JORGE QUINTANA REYNA
SECRETARIO DE ADMINISTRACIÓN

ELEAZAR LARA PADILLA
SECRETARIO EJECUTIVO DE LA COMISIÓN DE OPERACIÓN
Y FOMENTO DE ACTIVIDADES ACADÉMICAS

JOSÉ CABELLO BECERRIL
SECRETARIO EJECUTIVO DEL PATRONATO DE OBRAS E
INSTALACIONES

JOSÉ JUAN GUZMÁN CAMACHO
ABOGADO GENERAL

MODESTO CÁRDENAS GARCÍA
PRESIDENTE DEL DECANATO

CIBA IPN

DIANA VERÓNICA CORTÉS ESPINOSA
DIRECTORA DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

ERIK OCARANZA SÁNCHEZ
SUBDIRECTOR DE VINCULACIÓN DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

ABDÚ ORDUÑA DÍAZ
SUBDIRECTOR DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

VÍCTOR ERIC LÓPEZ Y LÓPEZ
EDITOR EN JEFE

GONZALO PÉREZ ARAIZA
SOPORTE TÉCNICO

PEDRO RAMÍREZ CALVA
DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN FRONTERA BIOTECNOLÓGICA

ISMAEL SÁNCHEZ GONZÁLEZ
DESARROLLO WEB

LILIA ESPINDOLA RIVERA
COORDINADORA ADMINISTRATIVA

CINTILLO LEGAL

FRONTERA BIOTECNOLÓGICA, año 7, número 12, enero - abril 2019, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Politécnico Nacional a través del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 57296000, Ext. 87816. <http://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx>, Editor responsable: Dr. Víctor Eric López y López. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-120313501700-203, ISSN: 2448-8461, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Dr. Víctor Eric López y López., Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, fecha de última modificación, 29 de abril de 2019.

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

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

CONTENIDO

MENSAJE EDITORIAL 3

SUSTRATOS, ENMENDADORES Y FERTILIZANTES PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA, PARTE I 4

PRODUCCIÓN DE NEMÁTODOS ENTOMOPATÓGENOS EN MEDIO LÍQUIDO, PERSPECTIVAS Y RETOS A VENCER 10

ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DEL HONGO FITOPATÓGENO *FUSARIUM* EN EL SECTOR AGRÍCOLA: DEL CONTROL QUÍMICO AL CONTROL BIOLÓGICO 19

IMPACTO DE LA MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA APLICADA EN LA CONTRIBUCIÓN DE RECURSOS HUMANOS DE CALIDAD 27

MENSAJE EDITORIAL

Abril del 2019

Estimados lectores,

En este número y en posteriores del año 2019 en la Revista Frontera Biotecnológica hemos tenido a bien difundir una oportunidad de conocimiento para aquellos que quieran utilizar productos alternativos a los fertilizantes y plaguicidas de origen químico para obtener mayor rendimiento en cosechas. Esta información, también puede servir de base para aquellas organizaciones y/o empresas que quieran desarrollar una nueva plataforma de producción y comercializar productos inocuos para lograr una producción agrícola sustentable.

Esto con vistas de lograr una producción orgánica pero que no represente un costo mayor ni para el empresario, el productor agrícola, mucho menos para el consumidor y consecuentemente ambientalmente amigable. Imagínense amigos que organismos microscópicos que son reproducidos en un biorreactor, envasados y asperjados en campos de cultivo puedan ayudarnos en lograr una mayor producción de las cosechas. Pues sí, esto puede realizarse gracias a la Biotecnología.

Conoceremos algunos aspectos interesantes de hongos que enferman las plantas y cuáles son los organismos benéficos como bacterias del género *Bacillus* y el hongo *Trichoderma* que los combaten. Interesantemente, conoceremos como actúa y se reproduce un organismo microscópico muy interesante, un nematodo benéfico que nos ayuda a controlar insectos plaga. En otro caso, se pondrá en perspectiva la utilización de lodos residuales, cenizas de lodos, zeolitas, nanopartículas y fertilizantes minerales para conocer un poco de su contribución a la agricultura moderna. Finalmente, se expone la reseña de la Maestría en Biotecnología Aplicada del CIBA-IPN, la cual ha formado gente con múltiples capacidades científicas y tecnológicas muy importantes para implementar proyectos sobre Biotecnología como los expuestos en este número y poner el lema del Instituto Politécnico Nacional...

“LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA”.

Dr. Victor Eric López y López
Editor en jefe



USO DE FERTILIZANTES, SUSTRATOS Y ENMENDADORES PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA, PARTE I

Fabián Fernández-Luqueño ¹, Mariana Miranda-Arámbula ², Rigoberto Castro-Rivera ², Silvia Luna-Suárez ², Erick R. Bandala ³, Fernando López-Valdez ^{2,*}

1 Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Agrícola. Sustainability of Natural Resources and Energy Program. Cinvestav Unidad Saltillo. Saltillo, Coahuila. 25900. México.

2 Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Agrícola. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. 90700. México.

3 Division of Hydrologic Sciences. Desert Research Institute. Las Vegas, Nevada. 89119. USA.

* Dr. Fernando López. Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Agrícola. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional. Carr. Estatal Sta. Inés Tecuexcomac – Tepetitla, km 1.5 s/n, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, 90700. México. Tel.: +52 (55) 5729 6000 / 6300, ext. 87814. E-mail: flopez2072@yahoo.com

RESUMEN

Se han desarrollado e investigado las formas y las prácticas de fertilización que incluyen técnicas, sustratos, fertilizantes, mejoradores y estrategias de cultivo y riego, con la finalidad de incrementar la productividad de los cultivos a través del uso de fertilizantes químicos sintéticos u orgánicos, residuos, y materiales de alta tecnología como las nanopartículas y los nanomateriales. En este artículo se abordarán algunos aspectos relevantes de los fertilizantes, materiales y residuos como son los lodos residuales, las cenizas de lodos, las zeolitas, las nanopartículas (NP) y los fertilizantes minerales (N, P y K) para conocer un poco del potencial que pueden contribuir a la agricultura.

Palabras clave:

Lodos residuales, Cenizas de lodos, Zeolitas, Nanopartículas, Fertilizantes minerales.

Abstract

The forms and strategies of fertilization have been developed and researched as techniques, substrates, fertilizers, amendments, and strategies in order to increase the productivity of the crops through the application of synthetic or organic fertilizers, waste, and high technology materials such as the nanoparticles. This article will address some relevant aspects of some fertilizers, materials, and wastes such as wastewater sludge, wastewater sludge ashes, zeolites, nanoparticles (NP), and mineral fertilizers (N, P and K) in order to know a little of how much they can contribute to modern agriculture.

Keywords:

Wastewater sludge, Wastewater sludge ashes, Zeolites, Nanoparticles, Mineral fertilizers.



I. INTRODUCCIÓN

En la agricultura, la fertilización de los suelos para incrementar los rendimientos de los cultivos ha sido un tópico de suma importancia, marcadamente a partir de la segunda guerra mundial con la falta y distribución de alimentos y el restablecimiento de la economía a través de uno de los pilares de esta, la agricultura. Lo que conllevó al desarrollo e investigación de las formas y estrategias de fertilización hasta el día de hoy. Se han desarrollado diferentes técnicas, sustratos, fertilizantes, mejoradores y estrategias con la finalidad de incrementar la productividad de los cultivos a través del uso de fertilizantes sintéticos u orgánicos, residuos, métodos de irrigación, e incluso el uso de organismos nativos del suelo. Es conveniente definir a un *fertilizante: como aquellas sustancias o materiales de origen mineral o biológico que provee de un elemento o elementos esenciales para las plantas para su adecuado crecimiento y desarrollo.*

En esta primera parte se abordarán algunos aspectos relevantes de los fertilizantes, materiales y residuos como lo son: los *lodos residuales*, las *cenizas de lodos*, las *zeolitas*, las *nanopartículas* (NP) y los *fertilizantes minerales* como: N, P y K, que a continuación se discuten.

II. LOS LODOS RESIDUALES

Las plantas tratadoras de aguas residuales tienen como objetivo la depuración de las aguas residuales: industriales, domésticas y pluviales, principalmente, con la finalidad reutilizar el agua, o bien, descargarla a aguas nacionales. Las plantas tratadoras de aguas residuales se encuentran diseñadas en etapas para el tratamiento de las aguas, *el tratamiento primario* (tratamientos físicos y/o fisicoquímicos), *secundario* (generalmente biológico) y el *terciario* (químico o fisicoquímico), y en algunas ocasiones un cuarto tratamiento, el *pulimento* (tratamientos físicos). La materia orgánica contenida en las aguas residuales es el resultado de desechos orgánicos domésticos, pluviales, industriales, entre muchos otros. La separación la materia orgánica se realiza en el tratamiento primario y se separa por operaciones unitarias de coagulación, floculación y sedimentación, más comúnmente, con previa separación de los sólidos de mayor dimensión (basura). Se utilizan polímeros catiónicos, aniónicos o sin carga, frecuentemente empleados en el tratamiento de aguas (residuales y potables) por efectividad para la remoción de material coloidal y partículas finas en suspensión. El objetivo de separar la materia orgánica es evitar que el tratamiento secundario (tratamiento biológico) se sature. A este material orgánico se le conoce como *biosólidos* o *lodos residuales*. Estos lodos carecen de una utilidad o aplicación en México, por lo que habitualmente se confinan en rellenos sanitarios o se incineran.

Los lodos se caracterizan de materia orgánica que contiene

carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, diversos minerales o elementos traza, que pueden ser benéficos para las plantas como nutrientes. El carbono de la materia orgánica es útil para los suelos degradados o agotados, recuperando o restaurando la fertilidad, la estructura y las propiedades biofísicoquímicas del suelo. Dadas estas características el lodo puede ser un mejorador de suelos y una potencial fuente de nutrimentos para las plantas. Sin embargo, los lodos pueden presentar inconvenientes como un alto contenido de organismos patógenos (particularmente enteropatógenos) y metales pesados, según el origen o procedencia de los desechos. Lo que podría ser un inconveniente de salud y ecológico para su aplicación directa al suelo.

La finalidad de estudiar estos lodos, es aprovechar de manera sustentable la materia orgánica, minerales, precursores de aminoácidos, particularmente el nitrógeno (N), carbono (C), fósforo (P), azufre (S) y minerales que pueden servir como nutrimentos para las plantas, organismos del suelo, o bien, mejorando las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo, en especial suelos degradados o agotados. Asimismo, se promueve la cultura de reutilizar o reciclar los materiales (residuos) convirtiéndolos en un subproducto con valor agregado para la agricultura orgánica, convencional y de conservación, en una forma sustentable (López-Valdez *et al.*, 2011). Sin embargo, como se mencionó antes, pueden presentar metales pesados y sustancias recalitrantes o persistentes, como los medicamentos (ibuprofeno, cloranfenicol, etc.) sustancias que no es posible degradar por medios biológicos o naturales por lo que es necesario siempre tratarlos (estabilización) antes de su aplicación a suelo. Cabe mencionar que todos los lodos son distintos entre sí, por ello es necesario estudiar y caracterizar los lodos para su adecuada estabilización y aplicación, ya que representan un potencial como enmendadores o mejoradores del suelo agotado o dañado por hidrocarburos, y una importante fuente de nutrientes para las plantas.

III. LAS CENIZAS DE LODOS

Algunas plantas tratadoras de aguas residuales separan la materia orgánica contenida en el agua residual y que se separa en la primera etapa, tratamiento primario. Ocasionalmente, también se obtiene materia orgánica del tratamiento secundario. La finalidad de separar la materia orgánica es evitar la saturación del tratamiento secundario, haciendo el tratamiento más eficiente y menos costoso. Dado que los lodos no poseen un uso o aplicación directa, se utiliza la incineración como una forma de disposición final de estos residuos. Algunas plantas tratadoras optan por incinerar sus lodos por la ventaja que representa la reducción del tamaño de los residuos a cenizas (menor al 1 o 2% del volumen total) y al mismo tiempo, representa la eliminación de organismos patógenos y enteropatógenos a través de las altas temperaturas (~800 °C) de la incineración.

Dichas cenizas se caracterizan por ser minerales, que contienen elementos esenciales y no esenciales para los organismos del suelo y las plantas en forma de sales y que, por perfil o composición, muestran una variada cantidad de elementos. De acuerdo a nuestros estudios, se reveló que estas cenizas se caracterizan de elementos importantes como el sodio, potasio, magnesio, hierro, calcio, y muchos más. También presentan carbonatos, una importante y principal fuente de carbono mineral para los microorganismos del suelo; que en conjunto también son muy útiles para estimular el desarrollo y crecimiento de las plantas. La Figura 1, muestra el aspecto físico de las cenizas.



Figura 1. Aspecto de las cenizas de los lodos residuales, que en la actualidad se encuentran en estudio como fertilizante mineral por nuestro grupo de investigación.

En la actualidad, las cenizas no tienen utilidad y en ocasiones son almacenadas a cielo abierto, sin una adecuada disposición final. Por esta razón hemos realizado investigación para comprender y encontrar aplicaciones de este residuo como potencial fertilizante mineral. Hasta ahora sabemos que estas cenizas no afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas a cantidades importantes (más de 15 g por kg de suelo). Se ha demostrado que al menos no hay diferencias significativas con respecto a fertilizantes químicos. Estos resultados se han obtenido de ensayos en plantas de brócoli y frijol (datos no publicados). Sin embargo, aún falta investigación para poder definir si se alteran otros aspectos como la floración, calidad de las semillas y la evaluación de las dosis adecuadas para cada especie o cultivos de interés.

IV. LAS ZEOLITAS

Las zeolitas son grupos de formaciones cristalinas de aluminosilicatos (base de silicio y aluminio) hidratados (moléculas de agua unidas químicamente a la estructura) de cationes alcalinos (Na, K, etc.) y alcalino-térreos (Ca, Mg, etc.). Desde su descubrimiento (en 1756) a partir de yacimientos naturales, hasta a la actualidad, se tiene

capacidad para sintetizarlas a nivel industrial para diversos propósitos. Han tenido una importante participación en la industria, la agricultura y la protección al ambiente, incluso en la medicina (en filtros de amonio para las unidades de diálisis). Las propiedades e importancia de las zeolitas radican en su composición química, que determina el número de sitios activos de su superficie interna y el tamaño de las cavidades, canales y poros (Figura 2), que determinan sus propiedades de selectividad en función de la forma (Sosa-Reyes, 1997), que a su vez les confiere capacidad de adsorción única, intercambio catiónico, deshidratación/rehidratación y propiedades catalíticas. Existen factores que pueden afectar el desempeño y efectividad de las zeolitas: temperatura, grado de hidratación, estructura, tipo y tamaño del catión, principalmente.

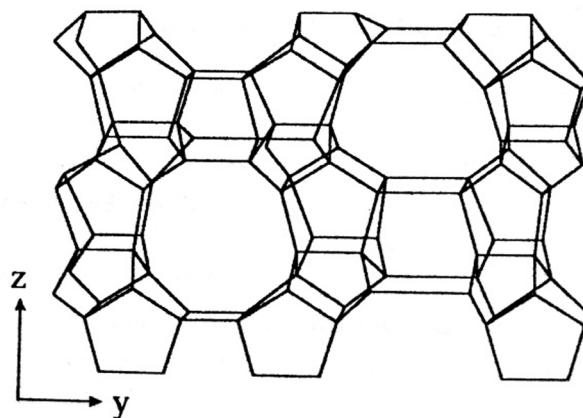


Figura 2. Ilustración de una celda unitaria de zeolita ZSM-5. Tomada de Sosa-Reyes (1997).

Las principales aplicaciones de las zeolitas naturales o sintéticas en agronomía y horticultura son como enmendadores de suelo, debido a las propiedades antes mencionadas como es el intercambio catiónico de moléculas de amonio y/o cationes alcalinos y alcalino-térreos. Por ejemplo, en Japón se han empleado las zeolitas del tipo clinoptilolita como enmendadores de suelos arenosos y arcillosos por su alta selectividad a amonio y potasio (Mumpton, 1999). En la estabilización de residuos agrícolas y toma de amonio en excretas animales. Lo que representa una alternativa en la estabilización de residuos agroindustriales y dosificación de minerales en la agricultura moderna y sustentable.

V. LAS NANOPARTÍCULAS

Las nanopartículas (NP) son materiales con dimensiones de 1 a 100 nanómetros. Considerando que un nanómetro es una mil millonésima parte de un metro, es decir, una nanopartícula es algo tan pequeño que sólo se puede ver a través de microscopios electrónicos, y estos materiales se pueden sintetizar en un laboratorio, para luego emplearlos en los campos agrícolas con el propósito de incrementar el rendimiento de los cultivos, reducir la incidencia de

enfermedades de las plantas, disminuir el ataque de plagas y mejorar la productividad agrícola.

Desde luego, no se está hablando de polvo mágico de hadas, pero sí hacemos referencia al producto de dos recientes e importantes áreas del conocimiento, la nanociencia y la nanotecnología. En la última década, científicos y tecnólogos de todo el mundo (entre ellos mexicanos), han realizado investigaciones para diseñar, sintetizar, caracterizar y evaluar NP con propiedades sobresalientes, comparadas con materiales similares, pero de dimensiones mayores. Ahora es posible emplear nanotecnologías para fertilizar mejor los cultivos, modificar sus propiedades nutricionales, incrementar su vida postcosecha y reducir el ataque de plagas o patógenos. Incluso, hoy en día, ya es posible encontrar en el supermercado algunos productos agrícolas en los que se emplearon nanotecnologías. No se está hablando de materiales súper-poderosos, pero lo cierto es que las nanopartículas tienen propiedades nunca antes vistas, las cuales pueden ser aprovechadas por el sector agroindustrial.

Es importante indicar que la mayoría de estos nanomateriales de uso agrícola (Figura 3) aún están en proceso de evaluación, por lo que no solo se debe tener cuidado al manejarlos y aplicarlos, sino que, se debe estar seguro de las ventajas reales de la aplicación de las NP en campo, así como de los daños colaterales que se podrían ocasionar. En la actualidad, nuestro grupo de trabajo está realizando investigaciones en el sentido de determinar los efectos de las NP en el suelo y en las plantas, con la finalidad de contribuir a una agricultura sustentable y productiva.

VI. LOS FERTILIZANTES MINERALES: N, P Y K.

Los fertilizantes agrícolas sintéticos que más se esparcen en terrenos de cultivo a nivel mundial son aquellos que

contienen nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Sin embargo, estos elementos no son los únicos o los más importantes, sino que son los que más se aplican y de los que las plantas requieren en mayor cantidad, considerando la rápida respuesta de asimilación que tienen en prácticamente todos los cultivos. Si bien, los cultivos agrícolas requieren de nutrientes o elementos esenciales que se comercializan como fertilizantes, estos afectan severamente el ambiente, es decir, contaminan el suelo, el agua y el aire, principalmente por su excesivo e indiscriminado uso, entre otros factores. Por ejemplo, nitrógeno en su forma de nitrato es esencial para las plantas, pero es altamente tóxico para otros organismos, como mamíferos o peces, de ahí que estos fertilizantes deban ser aplicados adecuadamente. Dentro de los fertilizantes que más se aplican se encuentran los fertilizantes nitrogenados, seguido de los fosforados y potásicos o sus combinaciones, aplicándose decenas de millones de toneladas anuales a nivel mundial.

Afortunadamente, además de los fertilizantes químicos sintéticos existe una amplia gama de materiales o fertilizantes de origen natural (fertilizantes orgánicos) como las compostas, vermicompostas, bocashi, biochar, estiércoles, residuos orgánicos (residuos agroindustriales), etc.; los cuales contienen una mayor diversidad de nutrientes que mejoran la estructura y la calidad del suelo. Cabe mencionar que algunos materiales como los estiércoles deben ser estabilizados para su mejor aprovechamiento y evitar posibles efectos nocivos por presencia de parásitos enteropatógenos, además de problemas por mal olor.

Las nuevas tecnologías como las nanopartículas u otros nanomateriales podrían suministrar de forma controlada estos fertilizantes a los cultivos, lo cual reduciría los problemas de eutrofización, es decir, disminuiría la acumulación de nitrógeno y fósforo en los ecosistemas acuáticos y contaminación de aguas nacionales: superficiales y subterráneas.

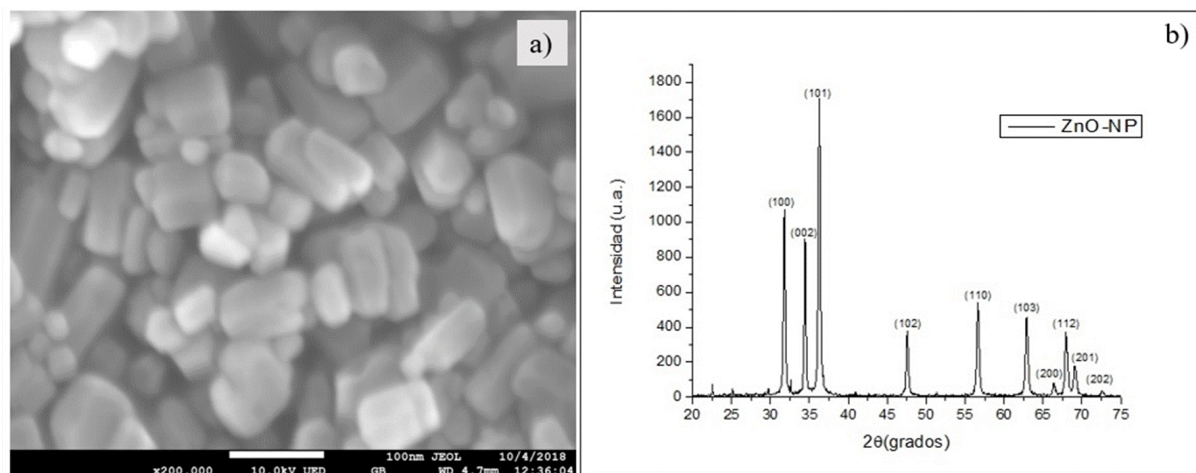


Figura 3. Caracterización de nanopartículas de ZnO (ZnO-NP) empleadas en varios cultivos. a) Micrografía por microscopio electrónico de barrido de ZnO-NP, b) Patrones de difracción de rayos X de ZnO-NP. Fuente: Imagen tomada de la Tesis de Maestría en Ciencias de Andrea Yakelin Pérez Moreno, Cinvestav Saltillo.

VII. Conclusiones.

Como se puede ver, las tecnologías para aumentar la productividad del campo están presentes, empleando NP, residuos, zeolitas o fertilizantes minerales en forma responsable e informada. Actualmente, se busca un enfoque de producción de alimentos con mínimo impacto al ambiente y a los ecosistemas, para alcanzar una alta rentabilidad agrícola y la producción de alimentos saludables y de calidad. Se aprecian las oportunidades para hacer una agricultura cada vez más sustentable, y más responsable.

Agadecimientos.

Al Instituto Politécnico Nacional, al CINVESTAV unidad Saltillo, y al CONACyT por su apoyo para la realización del proyecto CB-287225, y las líneas de investigación que aquí se presentan.

Referencias.

López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F. 2018. Agricultural Nanobiotechnology, Modern Agriculture for a Sustainable Future. Springer. ISBN 978-3-319-96718-9. Pp 218.

López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F., Luna-Suárez, S., Dendooven, L. 2011. Greenhouse gas emissions and plant characteristics from soil cultivated with sunflower (*Helianthus annuus* L.) and amended with organic or inorganic fertilizers. *Science of the Total Environment*, 412–413, 257–264.

Medina-Pérez, G., Fernández-Luqueño, F. 2018. Nanotoxicidad: Retos y Oportunidades. *Mundo Nano*. 11(20), pp. 7-16.

Mumpton, F.A. 1999. La roca mágica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(7), 3463–3470. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.7.3463>

Sosa Reyes, S. 1997 Intercambio de Cesio en Zeolita ZSM-5. Tesis de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana.

Valerio-Rodríguez, M.F., Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F. 2016. Nanopartículas en el Medio Ambiente. *Ciencia y Desarrollo (CONACyT)*. 42(281), pp 62-66.



PRODUCCIÓN DE NEMÁTODOS ENTOMOPATÓGENOS EN MEDIO LÍQUIDO, PERSPECTIVAS Y RETOS A VENCER

Sixto-Josué Pérez-Campos^a, Adriana-Inés Rodríguez-Hernández, Ma. del Rocío López-Cuellar, René Sanjuán-Galindo^b, Norberto Chavarría-Hernández.

^a Cuerpo Académico de Biotecnología Agroalimentaria, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, C.P. 43600, México.

^b Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, Instituto Tecnológico de Nuevo León. Nuevo León, C.P. 67170, México.
e-mail: sixtojosue@gmail.com

RESUMEN

En el mundo se están buscando tecnologías amigables con el ambiente que permitan minimizar el impacto del uso de compuestos químicos, que contaminan y dañan el ambiente. Una alternativa a estos problemas son los agentes de control biológico. En los próximos años, el control biológico representará una derrama económica importante a nivel mundial, alrededor de \$4'000,000,000 de dólares para 2023. El presente trabajo se presenta el rol que puede tener la utilización de nemátodos entomopatógenos en este mercado, se expone la importancia de los sistemas de producción haciendo un énfasis en el cultivo líquido y se muestra algunas áreas de oportunidad para mejorar los rendimientos de estos procesos.

Palabras clave: Bioinsecticidas; cultivo líquido; nemátodos entomopatógenos.

Abstract

There are looking for friendly technologies in the world that minimize environmental impact of the use of chemicals which contaminate and damage the environment. Biological control agents are an alternative to these problems. For the next few years, biological control will represent an important global economic impact, about 4 billion USD for 2023. This paper presents the role that the use of entomopathogenic nematodes can play in this market, the importance of production systems is highlighted, with an emphasis on liquid culture and some areas of opportunity to improve the yields of the processes are shown.

Key words: Bioinsecticides; liquid culture; entomopathogenic nematodes.



I. INTRODUCCIÓN

Los pesticidas se han utilizado para prevenir o controlar plagas, maleza o enfermedades, con la finalidad de obtener un adecuado rendimiento de los cultivos. Y aunque su uso ha sido efectivo, se han expresado preocupaciones en todo el mundo por la presencia de estos compuestos en alimentos, aire, agua potable y suelo. Además de demostrar efectos perjudiciales para la flora y fauna no objetivo. Existen programas como el “Manejo integrado de plagas” (IPM por sus siglas en inglés) propuesto por la FAO, que propone variedades de cultivos resistentes a plagas, bioinsecticidas (control biológico), trampas o la rotación de cultivos. De tal forma que los plaguicidas se seguirían usando, pero en cantidades mucho más moderadas. El uso de bioinsecticidas se ha convertido en alternativas reales en un mercado de constante crecimiento, que se estima que tendrá una participación de \$4.5 mil millones de dólares en 2023. Actualmente, el bioinsecticida más usado es la toxina purificada de *Bacillus thuringiensis*, con una participación del 75% de uso de bioinsecticidas en todo el mundo. Entre los bioinsecticidas, los nemátodos entomopatógenos (NE) se han utilizado con éxito para el control biológico de una amplia gama de plagas de insectos. En México, existen pocas empresas como Koppert México que comercializan geles de *S. carpocapsae*, por lo que México podría representar una zona importante de comercialización en los próximos años.

Los NE son capaces de ser transportados por el agua y su tiempo de acción en los cultivos es mayor (hasta 2 meses) en comparación con los productos químicos, por lo que se les considera de alto valor comercial. Los NE son seguros para ser aplicados cerca de humanos, ganado y plantas. La estrecha relación entre los nemátodos y sus contrapartes bacterianas, contribuyen a la seguridad y eficacia en su uso como agentes para el control biológico (Ehlers & Hokkanen, 1996).

Las principales familias utilizadas para el control biológico son *Steinernematidae* y *Heterorhabditidae*, estos nemátodos se asocian de manera simbiótica con bacterias como *Xenorhabdus* sp., y *Photorhabdus* sp., respectivamente (Popiel & Hominick, 1992). La presencia de las bacterias simbiotas en el medio de producción es importante debido a que funcionan como su principal fuente de alimento, y contribuyen al desarrollo y reproducción de NE. Los NE pueden producirse de forma masiva usando métodos de cultivo “*in vivo*” o “*in vitro*”. La producción “*in vitro*” en medio líquido es la forma más rentable para producir NE (Shapiro-Ilan & Gaugler, 2002). Las fermentaciones líquidas se están convirtiendo en una forma industrial común para producir diversas especies de NE (Shapiro-Ilan, Han, & Qiu, 2014).

Existen investigaciones relacionadas con la formulación de medios de cultivo, la cinética de crecimiento de población de NE, el diseño del biorreactor y las condiciones de

operación, entre otros aspectos importantes. Sin embargo, se necesitan más estudios relacionados con las propiedades fisicoquímicas de los caldos de cultivo, como son: la tensión superficial, viscosidad y evaluación de las partículas en suspensión, entre otras, esto contribuiría a esclarecer cómo estas propiedades influyen en la transferencia de oxígeno. Estudios sobre la tasa respiratoria también son necesarios para determinar los requerimientos mínimos de operación de los reactores y las condiciones de almacenamiento de estas especies. El objetivo de este trabajo es explicar generalidades de cómo es el proceso de producción de NE en medio líquido y establecer algunas áreas de oportunidad para mejorar los procesos de producción de NE.

II. FENOTIPOS DE LAS BACTERIAS SIMBIOTAS DE LOS NE.

Las bacterias simbiotas presentan dos tipos de fase, estas difieren morfológicamente y fisiológicamente. Para diferenciar las fases se puede utilizar un medio de cultivo diferencial como NBTa, constituido por agar nutritivo, azul de bromotimol y cloruro de feniltetrazolio (TTC). En este medio, la forma primaria o fase 1, absorbe el azul de bromotimol y reduce el TTC, produciendo colonias con un núcleo rojo superpuesto por un azul oscuro y rodeadas de un halo claro; la forma secundaria o fase 2, reduce el TTC pero no absorbe el azul bromotimol, produciendo un color rojo marrón. En la fase 1, las células son más grandes y tienen alta movilidad por la presencia de flagelos peritricosos. Llevan proteínas de inclusión y producen metabolitos secundarios, endoenzimas y exoenzimas como proteasas, lecitinasas y antibióticos. Para el caso de *Photorhabdus*, produce bioluminiscencia. Además, la fase 1, proporciona y protege los nutrientes esenciales para los NE, mata y metaboliza al huésped evitando la pudrición debido a la gran cantidad de antibióticos producidos. La bacteria simbiota *Xenorhabdus* coloniza la vesícula de los nemátodos del género *Steinernema*, mientras que *Photorhabdus* coloniza el extracto intestinal de los *Heterorhabditis* (Ferreira & Malan, 2014). La fase 2 de las bacterias simbiotas puede llegar a matar al huésped. Sin embargo, para ambas bacterias simbiotas, la fase 2 es menos eficaz para mantener las condiciones de crecimiento de los NE. En la fase 2, disminuye la producción de antibióticos y otros metabolitos secundarios, aumentando la producción de enzimas respiratorias y tween-esterasas (Ferreira & Malan, 2014).

III. CICLO DE VIDA DE LOS NE.

El ciclo de vida de los NE se inicia con un estadio llamado “infectivo juvenil” (Ij), este se caracteriza por no comer, debido a que están adaptados morfológicamente y fisiológicamente para sobrevivir tiempos largos en la tierra.

Cuando los IJ encuentran un huésped (larva de insecto), entran en la cavidad interior por orificios naturales como boca, ano o directamente por la cutícula (sí tiene una herida), liberan su bacteria simbiote en el hemocele del insecto, está se multiplica rápidamente y mata al insecto por septicemia, generalmente dentro de 24 a 48 h. Los tejidos del hospedero y la bacteria simbiote proporcionan un medio rico para el crecimiento de los NE. Los nemátodos empiezan a comer debido a señales que reciben de la bacteria simbiote y cambian al estadio J4, posteriormente pasan a la quinta etapa en la que se convierten en adultos de primera generación. En el caso de los NE del género *Steinernema*, se da el apareamiento y las hembras ponen huevos que eclosionan como juveniles de primera etapa (J1), posteriormente; siguen el ciclo: J1 → J2 → J3 → J4 → Adulto. Este ciclo se repite hasta que existe un agotamiento de los nutrientes por lo que se forma una generación de IJ que salen de la larva para buscar un nuevo huésped.

El ciclo de vida de *Heterorhabditis* es también similar a la de *Steinernema*, pero los adultos de primera generación son hembras hermafroditas. Para la segunda generación de adultos, la reproducción se da sexualmente, por lo que se presentan machos y hembras (Johnigk & Ehlers, 1999). La cinética de crecimiento de los NE en medio líquido es muy similar al presentado en larva, en la Figura 1, se muestran la curva de crecimiento de *S. colombiense* en medio líquido. Una vez inoculados los nemátodos en el estadio IJ (día 0), estos se recuperaron rápidamente convirtiéndose en adultos (jóvenes) al día 2, para el día 4, estos ya eran adultos bien desarrollados y en la etapa de reproducción, se pueden observar una importante cantidad de huevecillos y nemátodos en la fase J1. Al sexto día, parte de la población

total se encontraba en la fase J3/IJ. Las condiciones del medio fueron adecuadas para que los nemátodos J3 siguieran desarrollándose a J4 y adultos de segunda generación. A partir del día 8, no se presentan cambios significativos en la población de los NE. Para el día 10, la población total puede alcanzar los 60 mil individuos por mL, donde el 87% de población son IJ.

IV. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE NE.

4.1 Producción “*in vivo*”.

Los nemátodos entomopatógenos pueden ser producidos en masa usando métodos de cultivo “*in vivo*” o “*in vitro*”. El método “*in vivo*” se usa para la producción a escala laboratorio, generar material para pruebas de campo y pequeñas empresas productoras como cooperativas agrícolas (Shapiro-Ilan, Gaugler, Tedders, Brown, & Lewis, 2002). Para la producción “*in vivo*” se utiliza la trampa White (Figura 2), donde las larvas de insecto son infectadas en una bandeja o plato con papel absorbente, después de 2 a 7 días los cadáveres infectados son trasladados a un plato de cosecha que contiene agua, finalmente los IJ migran al agua y son recuperados. El insecto huésped más estudiado para el cultivo “*in vivo*” es la larva de la polilla de cera (*Galleria mellonella*), pero el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) también se ha considerado para el cultivo de nemátodos, sin embargo, se han realizado pocos estudios (Gaugler, Brown, Shapiro-Ilan, & Atwa, 2002).

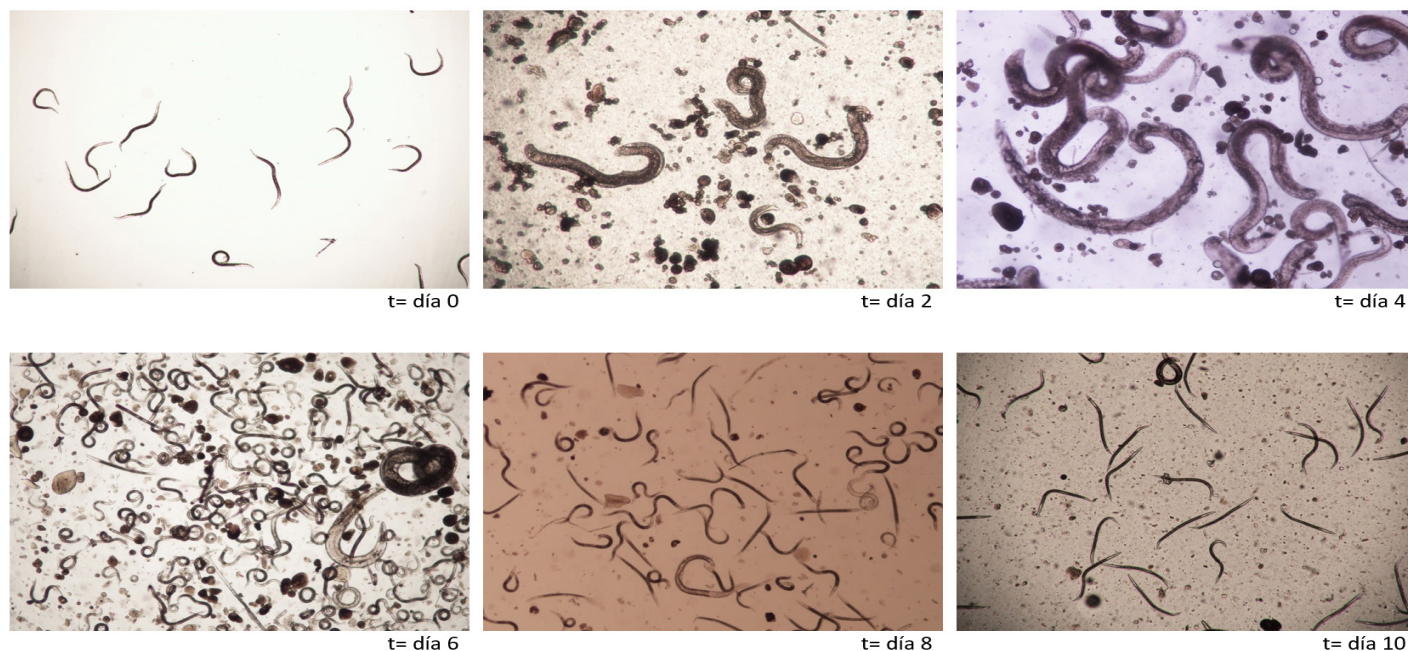


Figura 1. Evolución del crecimiento de *S. colombiense* y su simbiote *Xenorhabdus* sp. en matraces cilíndricos con agitación orbital. Condiciones de operación: 130 rpm y 28 °C. Microfotografías tomadas con objetivo 40X en un microscopio de campo claro (Nikon 80i).



Figura 2. Trampa White (*Galleria mellonella* infectada con *S. colombiense*)

4.2 Producción “*in vitro*” en medio sólido.

Para la producción de NE en medio sólido, se realiza un cultivo monóxenico, donde primero se hace una fermentación de la bacteria simbiote y posteriormente se inoculan los NE. Las ventajas del cultivo “*in vitro*” en medio sólido son similares a las del cultivo “*in vivo*”. La inversión inicial y el nivel de conocimientos técnicos son bajos comparados con otros métodos. Entre las desventajas de este método tenemos que, a escalas mayores de producción, su principal limitante es el tamaño de la autoclave para la esterilización y el área con ambiente estéril para la inoculación (Shapiro-Ilan & Gaugler, 2002).

La producción de medio sólido inició con la utilización de cajas petri con medios de producción basados en comida para perros, riñón de cerdo, sangre de res y usando agares nutritivos (Wouts, 1981). Posteriormente, se desarrolló el método Bedding (Bedding, 1981), donde se usan matraces Erlenmeyer con espuma de poliuretano, después de un tiempo, los matraces fueron reemplazados con bolsas esterilizables con un sistema de bombeo de aire estéril (Shapiro-Ilan & Gaugler, 2002). Entre los factores que son importantes a considerar en esta tecnología son la temperatura, en tamaño del biorreactor y la concentración de nutrientes.

4.3 Producción “*in vitro*” en medio líquido.

La rentabilidad de estos procesos se basa en el rendimiento (producción final de IJ $\frac{\text{producidos}}{\text{inoculados}}$), el tiempo de proceso, la capacidad de virulencia, tolerancia ambiental y capacidad de búsqueda de hospedadores; esta última conducirá a menores costos debido a que el tratamiento en campo requerirá menos NE por m² (Shapiro-Ilan et al., 2014). La producción *in vitro* en medio líquido, es el proceso más rentable para la producción de nemátodos entomopatógenos (Ehlers, 2001). El costo de producir 1 millón NE de *S. carpocapsae* es una décima parte del costo de producirlo *in vivo* usando *G. mellonella*. La eficacia de

este proceso se debe a que al ir escalando el proceso, el costo de producción por unidad disminuye (Shapiro-Ilan & Gaugler, 2002). La producción en medio líquido se realiza usando cultivos monoxénicos. La concentración de la bacteria simbiote antes de la inoculación de IJ en el medio de producción, es otro factor determinante en la productividad de IJ de *S. carpocapsae* y *S. feltiae*, hasta ahora se ha reportado que las concentraciones ideales de inóculo deben ser mayores de 10x10¹⁰ bacterias por mL (Hirao & Ehlers, 2009b). Además, entre los parámetros que favorecen el cultivo líquido de NE está el pH, la concentración de CO₂, la temperatura, la velocidad de relación de la agitación/aireación y la concentración de nutrientes; por ejemplo, la concentración de minerales no debe generar una resistencia osmótica del medio superior a 600 miliosmol por kg (Ehlers, 2001).

En la producción de NE en medio líquido como en cualquier bioproceso, se debe tomar en cuenta los requerimientos nutricionales de la especie que se desea producir, pero otro factor clave es el suministro de oxígeno al medio, esto debido a su baja solubilidad en el agua. La concentración de oxígeno disuelto depende de las propiedades fisicoquímicas del medio (viscosidad, tensión superficial, densidad, etc.), la concentración de individuos, el volumen del medio, el diseño del reactor, velocidad del agitador y los esfuerzos cortantes (García-Ochoa, Gómez, Santos, & Merchuk, 2010). Entre los reactores que se han utilizado en la producción de NE tenemos a los reactores agitados orbitalmente, los agitados mecánicamente y los Air-lift (Tabla 1). Para evitar un cambio de fase de la bacteria simbiote debe mantenerse una concentración de oxígeno disuelto de al menos el 30% (Shapiro-Ilan et al., 2014).

Aunque la producción industrial de NE de algunas especies de nemátodos ya se está realizando, ésta sigue siendo empírica. Falta un mayor entendimiento de todo el proceso, mucha de esta información se encuentra en patentes, por lo que, no está disponible para todo el público. Un ejemplo de esta problemática, es la información de la cinética de propagación de los NE en cultivos axénicos y monoxénicos, al igual que la de los requerimientos de oxígeno de los diferentes estadios de crecimiento de los nemátodos. Por otra parte, no existen publicaciones que mencionen los efectos causados a la población de los NE por las condiciones hidrodinámicas en los cultivos líquidos, así como de la transferencia de oxígeno al medio. Se sabe que la operación de un biorreactor, depende de muchos factores, entre ellos está la cinética de crecimiento, las fuerzas de cizalla generadas durante el mezclado y el coeficiente global de transferencia de oxígeno (López-y-López, Chavarría-Hernández, Sumano-Fernández, & de-la-Torre, 2000).

Todos ellos se ven afectados por las condiciones hidrodinámicas, que dependen de la geometría usada, al igual que las condiciones de operación y algunas propiedades fisicoquímicas, como la viscosidad del caldo de fermentación. Por tanto, entre los principales retos a vencer en los sistemas de producción en líquido está el costo y eficiencia del suministro de oxígeno en el sistema, así como la cizalla excesiva que pudiera dañar a los NE. Estos problemas de oxigenación y velocidad de agitación se pueden agravar debido a la viscosidad de los caldos de fermentación y la formación de espuma, debida al tipo y concentración de proteínas usadas en la formulación del medio. En la Tabla 1, se presentan los trabajos realizados en la producción de diferentes NE en medio líquido.

Tabla 1. Trabajos sobre la producción de nemátodos entomopatógenos *in vitro* en medio líquido usando biorreactores.

Especie de nemátodo	Concentración inicial (JI/mL)	Concentración final (JI/mL)	Tipo de reactor	Tiempo de proceso (días)	Oxígeno	Volumen de operación	Tipo de impulsor o recirculación	Referencia
<i>Steinernema feltiae</i>	2,000	95,000	Agitado mecánicamente (Braun series E)	10	50% de saturación	10 L	NR	Pace, Grote, Pitt, & Pitt (1986)
<i>Steinernema feltiae</i>	2,000	90,000	Air Lift (Braun series E)	10	20% de saturación	20 L	Columna de burbujeo	Pace et al. (1986)
* <i>Neoplectana carpocapsae</i>	1,000	158,000	Agitación orbital (125 rpm), frascos de 125 mL	7	NR	30 mL	NA	Friedman, Langston, & Pollitt (1991)
<i>Steinernema carpocapsae</i>	8×10^5	30×10^6	Agitación orbital (125 rpm), frascos cónicos de 500 mL	16	NR	100 mL	NA	Han (1996)
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	56×10^5	30×10^6	Agitación orbital (125 rpm), frascos cónicos de 500 mL	12	NR	100 mL	NA	Han (1996)
<i>Steinernema carpocapsae</i> CABA01	1,000	250,000	Air Lift	16	$1.9 < KLa (10^{-2} s^{-1}) < 3.5$	4 L	Recirculación interna	Chavarría-Hernández et al. (2011)
<i>Steinernema feltiae</i>	500	140,000-200,000	Agitación orbital (130 rpm), frascos (250 mL).	7	NR	50 mL	NA	Chavarría-Hernández & de la Torre (2001)
<i>Steinernema carpocapsae</i>	442	65,887	Agitación orbital (150 rpm), frascos (500 mL).	16	NR	50 mL	NA	Islas-López et al. (2005)
<i>Steinernema carpocapsae</i>	500	126,666	Agitación orbital (150 rpm), frascos (420 mL).	24	NR	50 mL	NA	Chavarría-Hernández et al. (2006)
<i>Steinernema colombiense</i>	1,000	50,895	Agitación orbital (130 rpm), frascos (500 mL).	10	NR	10 y 20 mL	NA	Pérez-Campos et al. (2018)

Neoplectana posteriormente fue clasificado a *Steinernema*.

NR: No reportado, NA: No Aplica. KLa: coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno.

V. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE NE EN MEDIO LÍQUIDO.

Aunque los nemátodos *Steinernema* y *Heterorhabditidae* comparten semejanzas en los requerimientos básicos de aeración, las estrategias para maximizar el rendimiento en las 2 familias son muy diferentes, debido a los ciclos de vida y a la biología reproductiva de cada especie. Para *Steinernema*, los nemátodos se reproducen sexualmente, por lo que a condiciones excesivas de flujo dentro del bioreactor, los nemátodos son incapaces de reproducirse, para que suceda el apareamiento, el macho debe enredarse en la hembra. Sin embargo, para los nemátodos de la familia *Heterorhabditidae* esto no es un problema, debido a que la primera generación de hembras es hermafrodita. En la segunda generación de adultos, estos nemátodos son sexuales por lo que la optimización en la producción debe centrarse en la primera generación (Shapiro-Ilan & Gaugler, 2002).

La capacidad infectiva de NE producidos en medio líquido también ha sido evaluada, para *H. Bacteriophora*, donde se ha observado que puede presentar una disminución de la capacidad infectiva debido a los ingredientes del medio de cultivo, sobre todo el contenido de lípidos. Para NE del género *Steinernema* como *S. carpocapsae* y *S. riobrave* no encontraron diferencia significativas en la capacidad infectante (Gaugler & Georgis, 1991).

Diversos factores pueden influir en la producción de nemátodos entomopatógenos del género *Steinernema*, como son temperatura, la concentración y tipo de grasas, la fuente de nitrógeno y la concentración de carbohidratos (Chavarría-Hernández & de la Torre, 2001; Hirao & Ehlers, 2009a, 2009b). La fase 2 de la bacteria simbiote, puede influir en el rendimiento de IJ; este efecto se ha observado en nemátodos del género *Heterorhabditis* (Han & Ehlers, 2001; Inman-III, Singh, & Holmes, 2012) y en NE del género *Steinernema* como *S. feltiae* y *S. Carpcapsae* (Hirao & Ehlers, 2009b).

Determinar la tasa respiratoria de los microorganismos que se están produciendo en un reactor, establece las condiciones de operación que debe tener el sistema para que estos se desarrollen adecuadamente sin condiciones de estrés que perjudique el rendimiento final o la producción de metabolitos secundarios de interés (García-Ochoa, Gómez, Santos, & Merchuk, 2010). Para el caso de la tasa respiratoria de los NE ha sido poco estudiada, existen reportes de la tasa respiratoria de *S. feltiae*, *S. carpocapsae*, *S. carpocapsae* CABA01 y *Photorhabdus luminescens* antes de producción de *Heterorhabditis* (Belur, Inman, & Holmes, 2013; Chavarría-Hernández et al., 2014). Se necesitan más trabajos que relacionen la tasa respiratoria y la transferencia de oxígeno durante la producción de NE en medio líquido. De esta forma, sabremos qué condiciones favorecen la producción final de IJ. En la Tabla 2, se muestran los trabajos que determinan la tasa respiratoria de NE.

5.1 Efecto de las propiedades fisicoquímicas en la producción de NE.

Las propiedades fisicoquímicas de los caldos de fermentación en la producción de cualquier microorganismo, son importantes ya que influyen en la transferencia de oxígeno que está definida por el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno ($K_L a$). Entre las propiedades fisicoquímicas que influyen en la producción de NE en medio líquido tenemos a la viscosidad y tensión superficial.

5.1.1 Viscosidad.

Para reactores agitados mecánicamente y reactores agitados orbitalmente, el aumento de la viscosidad provoca una disminución importante en el $K_L a$, incluso al aumentar el número de impulsores en reactores agitados mecánicamente (Ducci & Weheliye, 2014). Para reactores Air-lift, también se observó una disminución del $K_L a$ debido al aumento de la viscosidad, pero este no se vio afectado dramáticamente como en los reactores agitados mecánicamente (García-Ochoa & Gómez, 2009). La viscosidad de los caldos de fermentación de los NE ha sido poco estudiada, se reporta que debido a la fermentación de la bacteria simbiote, el crecimiento y reproducción de los NE, se obtienen fluidos no newtonianos con comportamiento pseudoplástico (Chavarría-Hernández et al., 2003; Nuñez-Ramírez et al., 2015; Young, Dunnill, & Pearce, 1998), que han sido ajustados al modelo de Oswald-de Waele ($\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$), donde se reportan dos parámetros reológicos: k (índice de consistencia, Pa sⁿ) y n (índice de flujo, adimensional) (Steffe, 1996). De forma general, los reportes sugieren que los cambios de viscosidad y comportamiento pseudoplástico se deben a la desintegración de los cadáveres de los NE y las hembras consumidas por un proceso llamado “endotokia matricida”, este consiste en que la hembra no expulsa todos los huevecillos, eclosionando dentro de ella y consumiendo su cuerpo (Chavarría-Hernández et al., 2003; Young et al., 1998), además, de la posible producción de polisacáridos

por las bacterias simbiotes (Young et al., 1998). Sin embargo, la determinación de la viscosidad en los caldos de fermentación es compleja debido a la presencia de partículas en suspensión, estas se forman principalmente por la agregación de proteínas que forman parte del medio de producción y los NE, esto último podemos definirlo como partículas cilíndricas inertes.

Estudios realizados por Albert Einstein fueron los primeros en reportar el efecto de la concentración de partículas en suspensión sobre la viscosidad, definiendo la fracción volumétrica crítica (Φ_p), ésta se caracteriza por ser la concentración de partículas, donde se observa un aumento súbito de viscosidad (Tadros, 2011). El valor de la fracción volumétrica crítica depende de la morfología, la distribución, la interacción de las partículas y la matriz reológica de la solución (Shewan & Stokes, 2015). Actualmente se han propuesto nuevos modelos para interpretar el comportamiento de las partículas en suspensión en régimen concentrado, pero el modelo de Einstein - Batchelor sigue siendo aceptado en régimen diluido ($\Phi < 0.05$) y semidiluido ($\Phi < 0.15$) (Tadros, 2011).

Para partículas esféricas rígidas como microgeles de agarosa mono y poli-dispersas, vidrio, látex y partículas de polimetilmetacrilato (PMMA), reportan valores de Φ_p que van de 0.59 a 0.71. Para suspensiones de partículas suaves como microgeles de agarosa y microgeles de poliácrlato se reportan Φ_p de 0.3 (Shewan & Stokes, 2015). De forma general, a concentraciones menores de 0.15~0.2 de la fracción volumétrica, no se observan cambios significativos en las propiedades del flujo de la fase continua donde se encuentran inmersas las partículas en suspensión. La presencia de partículas en suspensión, además de modificar la viscosidad, modifican la densidad aparente, pueden presentar una afinidad por oxígeno y ejercen efectos estéricos que modifiquen la trayectoria de las burbujas, aumentando el tiempo de residencia o causar la coalescencia, por lo que todos en conjunto pueden modificar el $K_L a$ (Pino-Herrera et al., 2018). Las partículas en suspensión propias del medio al igual que la diversidad poblacional de los NE, juegan un papel importante en el comportamiento al flujo de estos sistemas. Los NE pueden considerarse como partículas cilíndricas inertes, esto principalmente a que las interacciones moleculares entre los nemátodos y las partículas del medio se pueden considerar como despreciables.

Actualmente, no existen reportes del comportamiento al flujo de los NE, estos datos son importantes, debido a que pueden ayudar a determinar la velocidad máxima de cizalla que debe controlarse durante la producción de NE.

Existen pocos trabajos que pudieran servir como modelo para entender el comportamiento de NE al flujo, estudios realizados a partículas cilíndricas, inertes y rígidas de hematita coloidal, muestran un alineamiento de las partículas al flujo a medida que aumenta la relación largo/ancho y la velocidad de cizalla, esta alineación depende mucho de la matriz polimérica (medio continuo) en la que se encuentren y la viscosidad del medio. Otros estudios realizados a partículas cilíndricas inertes de propionato de acetato de celulosa con tamaños similares a los NE ($d: 50 \mu\text{m} \pm 2.3$ y $L: 1.18 \text{ mm} \pm 0.06$), mostraron una alineación al flujo con velocidades de cizalla de 0.1 a 10 s⁻¹ (Iso, Koch, & Cohen, 1996). Por otra parte, estudios de cizalla simple estacionaria realizados a caldos de cultivo con NE, muestran que, a concentraciones mayores de 230,000 NE por mL, se observa un aumento de la viscosidad (Nuñez-Ramírez et al., 2015). De forma general, la concentración de partículas en suspensión y la concentración NE puede ser un factor determinante en los valores de viscosidad y, por lo tanto, en la transferencia de oxígeno al medio.

5.1.2 Tensión superficial.

Otra propiedad fisicoquímica que se tiene que tomar en cuenta para la producción de sistemas biológicos es la tensión superficial; una alta tensión superficial puede generar la coalescencia de las burbujas, disminuyendo el $K_L a$ en los reactores burbujeados (Ruzicka, 2008). Estudios de la tensión superficial sobre la producción de NE no existen. En los diversos tipos de reactores esta propiedad está relacionada con el número de Weber ya que relaciona la deformación de burbujas y gotas en ascenso libre o en colisiones con un obstáculo donde los efectos dinámicos son importantes. Bajos valores del número de Weber significa baja deformación y viceversa. La tensión superficial en la producción NE se debe considerar desde la formulación del medio de producción y se debe tener en cuenta la producción de metabolitos secundarios, endoenzimas y exoenzimas como proteasas, lecitinasas por parte de la bacteria simbiote, que pudieran modificar la tensión superficial durante el proceso de producción.

VI. CONCLUSIÓN

El cultivo líquido es rentable de producir NE y aunque se tienen conocimientos técnicos de las necesidades nutrimentales (lípidos, carbohidratos, proteínas, etc.), se necesitan más estudios de las propiedades fisicoquímicas de los caldos de cultivo y su evolución durante la fermentación. Las propiedades fisicoquímicas que se deben considerar en la producción líquida, son la tensión superficial e interfacial, la viscosidad y la densidad aparente, estas dos últimas pueden ser modificadas por la concentración de partículas en suspensión, por lo que es otro factor a considerar. Estudiar

las propiedades fisicoquímicas de los caldos de cultivo durante la producción de NE, permitirá entender cómo se da el proceso de transferencia de oxígeno y obtener mejores rendimientos de IJ. Otros factores importantes para fijar las condiciones de operación más adecuados en un bioreactor, son la tasa de respiración de las bacterias simbiotes y de los NE.

VII. REFERENCIAS

- Bedding, R.A. (1981). Low cost *in vitro* mass production of *neoplectana* and *heterorhabditis* species (nematoda) for field control of insect pests. *Nematologica*, 27, 109-114.
- Belur, P.D., Inman, F.L., & Holmes, L.D. (2013). Determination of specific oxygen uptake rate of *Photobacterium luminescens* during submerged culture in lab scale bioreactor. *Biocontrol Science and Technology*. 23(12), 1458-1468.
- Chavarría-Hernández, N., & de la Torre, M. (2001). Population growth kinetics of the nematode, *Steinernema feltiae*, in submerged monoxenic culture. *Biotechnology Letters*, 23(4), 311-315.
- Chavarría-Hernández, N., Espino-García, J.J., Sanjuan-Galindo, R., & Rodríguez-Hernández, A.I. (2006). Monoxenic liquid culture of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* using a culture medium containing whey. *Journal of Biotechnology*, 125(1), 75-84.
- Chavarría-Hernández, N., Pérez-Pérez, N.C., Chavarría-Hernández, D.N., Barahona-Pérez, L.F., & Rodríguez-Hernández, A.I. (2014). Specific oxygen uptake of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* CABA01 in submerged culture. *Biocontrol Science and Technology*, 24(7), 723-733.
- Chavarría-Hernández, N., Rodríguez-Hernández, A.I., Pérez-Guevara, F., & de la Torre, M. (2003). Evolution of culture broth rheological properties during propagation of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae*, in submerged monoxenic culture. *Biotechnology Progress*, 19(2), 405-409.
- Ducci, A., & Weheliye, W.H. (2014). Orbitally shaken bioreactors-viscosity effects on flow characteristics. *AIChE Journal*, 60(11), 3951-3968.
- Ehlers, R.U., & Hokkanen, H.M.T. (1996). Insect Biocontrol with Non-endemic Entomopathogenic Nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis* spp.): Conclusions and Recommendations of a Combined OECD and COST Workshop on Scientific and Regulatory Policy Issues. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3), 295-302.

- Ferreira, T., & Malan, A.P. (2014). Xenorhabdus and Photorhabdus, Bacterial Symbionts of the Entomopathogenic Nematodes *Steinernema* and *Heterorhabditis* and their in vitro Liquid Mass Culture: A Review. *African Entomology*, 22(1), 1-14.
- García-Ochoa, F., & Gomez, E. (2009). Bioreactor scale-up and oxygen transfer rate in microbial processes: an overview. *Biotechnol Adv*, 27(2), 153-176.
- García-Ochoa, F., Gomez, E., Santos, V.E., & Merchuk, J.C. (2010). Oxygen uptake rate in microbial processes: An overview. *Biochemical Engineering Journal*, 49(3), 289-307.
- Gaugler, R., & Georgis, R. (1991). Culture method and efficacy of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae). *Biological Control*, 1(4), 269-274.
- Gaugler, R., Brown, I., Shapiro-Ilan, D., & Atwa, A. (2002). Automated technology for *in vivo* mass production of entomopathogenic nematodes. *Biological Control*, 24, 199-206.
- Han, R.C. (1996). The Effects of Inoculum Size On Yield of *Steinernema carpocapsae* and *Heterorhabditis bacteriophora* in Liquid Culture. *Nematologica*, 42(5), 546-553.
- Han, R., & Ehlers, R.U. (2001). Effect of Photorhabdus luminescens phase variants on the *in vivo* and *in vitro* development and reproduction of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema carpocapsae*. *FEMS Microbiology Ecology*, 35(3), 239-247.
- Hirao, A., & Ehlers, R.U. (2009a). Effect of temperature on the development of *Steinernema carpocapsae* and *Steinernema feltiae* (Nematoda: Rhabditida) in liquid culture. *Appl Microbiol Biotechnol*, 84(6), 1061-1067.
- Hirao, A., & Ehlers, R.U. (2009b). Influence of cell density and phase variants of bacterial symbionts (*Xenorhabdus* spp.) on dauer juvenile recovery and development of biocontrol nematodes *Steinernema carpocapsae* and *S. feltiae* (Nematoda: Rhabditida). *Appl Microbiol Biotechnol*, 84(1), 77-85.
- Inman-III, F.L., Singh, S., & Holmes, L.D. (2012). Mass production of the beneficial nematode *Heterorhabditis bacteriophora* and its bacterial symbiont *Photorhabdus luminescens*. *Indian Journal of Microbiology*, 52(3): 316-324.
- Iso, Y., Koch, D.L., & Cohen, C. (1996). Orientation in simple shear flow of semi-dilute fiber suspensions I. Weakly elastic fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 62(2-3), 115-134.
- Johnnigk, S.A., & Ehlers, R.U. (1999). Juvenile development and life cycle of *Heterorhabditis bacteriophora* and *H. indica* (Nematoda: Heterorhabditidae). *Nematology*, 1(3), 251-260.
- López-y-López, E., Chavarría-Hernández, N., Sumano-Fernández, P., & de-la-Torre, M. (2000). Fermentation processes for bioinsecticide production. An overview. *Recent Research Developments in Biotechnology & Bioengineering*, 3, 1-20.
- Nuñez-Ramírez, D.M., Medina-Torres, L., Calderas, F., & Sanchez-Olivares, G. (2015). Properties of the Entomoparasitic Nematodes (*Heterorhabditis bacteriophora*) Liquid Culture using a Helicoidal Ribbon Agitator as Rheometric System. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques* 5(207).
- Pino-Herrera, D.O., Fayolle, Y., Pageot, S., Huguenot, D., Esposito, G., van Hullebusch, E.D., & Pechaud, Y. (2018). Gas-liquid oxygen transfer in aerated and agitated slurry systems with high solid volume fractions. *Chemical Engineering Journal*, 350, 1073-1083.
- Popiel, I., & Hominick, W.M. (1992). Nematodes as Biological Control Agents: Part II. 31, 381-433.
- Ruzicka, M.C. (2008). On dimensionless numbers. *Chemical Engineering Research and Design*, 86(8), 835-868.
- Shapiro-Ilan, D., & Gaugler, R. (2002). Production technology for entomopathogenic nematodes and their bacterial symbionts. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 28, 137-146.
- Shapiro-Ilan, D., Gaugler, R., Tedders, L.W., Brown, I., & Lewis, E.E. (2002). Optimization of Inoculation for In Vivo Production of Entomopathogenic Nematodes. *Journal of Nematology*, 34(4), 343-350.
- Shewan, H.M., & Stokes, J.R. (2015). Analytically predicting the viscosity of hard sphere suspensions from the particle size distribution. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 222, 72-81.
- Shewan, H.M., & Stokes, J.R. (2015). Viscosity of soft spherical micro-hydrogel suspensions. *J Colloid Interface Sci*, 442, 75-81.
- Steffe, J.F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*: Freeman press. pp.1-50.
- Tadros, T.F. (2011). *Rheology of dispersions: principles and applications*: John Wiley & Sons. pp. 85-118.
- Wouts, W.M. (1981). Mass Production of the Entomogenous Nematode *Heterorhabditis heliothidis* (Nematoda: Heterorhabditidae) on Artificial Media. *Journal of Nematology*, 13(4), 467-469.
- Young, J.M., Dunnill, P., & Pearce, J.D. (1998). Physical properties of liquid nematode cultures and the design of recovery operations. *Bioprocess Engineering*, 19(2), 121-127.

ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DEL HONGO FITOPATÓGENO *FUSARIUM* EN EL SECTOR AGRÍCOLA: DEL CONTROL QUÍMICO AL CONTROL BIOLÓGICO

Rosina Cabrera^{1,3}, Sharon Palafox-Félix^{2,3}, Ana Isabel Valenzuela-Quintanar³

¹CONACyT-Centro de Investigación y Desarrollo en Agrobiotecnología Alimentaria. Consorcio CIAD-CIATEJ. Pachuca Ciudad del Conocimiento y la Cultura, Blvd. Circuito La Concepción 3, CP 42162 San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México

²Centro de Investigación y Desarrollo en Agrobiotecnología Alimentaria. Consorcio CIAD-CIATEJ. Pachuca Ciudad del Conocimiento y la Cultura, Blvd. Circuito La Concepción 3, CP 42162 San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México

³Coordinación de Ciencia de los Alimentos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Apartado Postal 1735, CP 83304 Hermosillo, Sonora, México

E-mail: rosina.cabrera@ciad.mx

RESUMEN

El cambio climático ha contribuido a la proliferación de plagas y enfermedades, las cuales repercuten en pérdidas económicas cercanas al 50% en países subdesarrollados como México. Las enfermedades causadas por hongos, principalmente de *Fusarium* spp. dañan raíz, vástago, hojas y fruto, produciendo y acumulando micotoxinas que afectan a granos y hortalizas de importancia económica, y generando problemas de salud en los consumidores. Para contrarrestar esta problemática, se han utilizado compuestos orgánicos (fungicidas), que por su alta aplicación generan problemas de contaminación medioambiental. El utilizar microorganismos, como agentes de control de plagas y enfermedades constituye una alternativa eficiente y ecológica para desarrollar una agricultura sustentable. El uso de microorganismos como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp., pueden ser excelente alternativa para lograr estos objetivos. Asimismo, es importante el estudio de las interacciones establecidas entre los organismos patógenos y el medio ambiente para generar estrategias que permitan un combate de plagas más eficiente.

Palabras clave: Agentes de control biológico, *Fusarium*, Fitopatógenos, Pesticidas.

Abstract

Climate change has contributed to the proliferation of pests and diseases, which have an impact on economic losses close to 50% in underdeveloped countries such as Mexico. The diseases caused by fungi, mainly *Fusarium* spp. promote damage in root, stem, leaves and fruits, producing and accumulating mycotoxins that affect grains and vegetables of economic importance. Furthermore, generating health problems in consumers. To counteract these problem, organic compounds (fungicides) have been used, which due to their high application generate problems of environmental contamination. The use of microorganisms, as agents to control pests and diseases is an efficient and ecological alternative to develop a sustainable agriculture. The use of microorganisms such as *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp., can be an excellent alternative to achieve these objectives. Likewise, it is important to study the interactions established between pathogenic organisms and the environment in order to generate strategies that allow a more efficient pest control.

Key words: Biological control agents, *Fusarium*, Phytopathogens, Pesticides.



I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global del planeta o “cambio climático”, ha traído consigo efectos de gran impacto en el sector agrícola, como la proliferación de plagas y la transmisión de vectores de enfermedades nuevas y emergentes. Las enfermedades de las plantas causan considerables pérdidas en la producción agrícola y en el almacenamiento de los productos. En países desarrollados, se estima que hasta el 25% de dichas pérdidas son consecuencia de las enfermedades de las plantas, mientras que, en países subdesarrollados, las pérdidas pueden ser de hasta 50% (Gohel, et. al, 2006). En este contexto, uno de los principales problemas actuales que enfrentan los productores en el campo, es la necesidad de aumentar sus rendimientos, de tal manera que puedan ser competitivos en el mercado.

Las enfermedades causadas por hongos, han sido uno de los principales problemas agrícolas, sobre todo en regiones subtropicales y tropicales. *Fusarium* spp. representan una de las principales comunidades de hongos fitopatógenos que afectan a los cultivos a nivel mundial. Este hongo puede ocasionar enfermedades en raíz, vástago, hojas y fruto, provocando enormes pérdidas económicas. Además, *Fusarium* produce y acumula micotoxinas directamente sobre los granos, lo cual afecta la calidad del producto y puede constituir un problema relevante de salud para humanos y el ganado (Turkington, et al. 2016).

Durante décadas, se han utilizado compuestos orgánicos para el control de plagas. A pesar de que estos han mostrado un impacto favorable en el combate de plagas, su alta tasa de aplicación ha ocasionado problemas medioambientales, pues algunos de ellos presentan falta de selectividad y una alta toxicidad (Lucas, et. al, 2015). La utilización de microorganismos para el control de enfermedades de las plantas constituye una alternativa eficiente y ecológica que contribuye al desarrollo de una agricultura sustentable, ya que disminuye los efectos inherentes al uso de plaguicidas y productos químicos que ocasionan la contaminación de los suelos y agua. Con base en lo anterior, el objetivo de la presente revisión, es comunicar las investigaciones realizadas sobre la biología y patogenicidad del hongo fitopatógeno *Fusarium*, las estrategias que han sido utilizadas para su control en campo, así como los retos actuales para el manejo ecológico de los cultivos.

I. 2. HONGOS FITOPATÓGENOS DE IMPORTANCIA AGRÍCOLA

Las enfermedades de las plantas causan reducciones significativas en la productividad agrícola a nivel mundial. Asimismo, los síntomas de las enfermedades tienen efectos perjudiciales en el crecimiento y desarrollo de las plantas de cultivo, limitando los rendimientos y haciendo que los productos agrícolas no sean adecuados para el consumo. Las plantas pueden hospedar diferentes tipos de parásitos como hongos, bacterias y virus. Específicamente, los hongos patógenos de plantas, denominados fitopatógenos, son los principales agentes responsables de las enfermedades en los cultivos agrícolas, debido a que ecológicamente han desarrollado una variedad de estrategias para colonizar a sus hospederos. Durante el proceso de co-evolución hongo-hospedero se han establecido interacciones entre la virulencia del patógeno y la resistencia del huésped, desarrollándose mecanismos de infección y defensa muy especializados (Perfect y Green, 2001).

Se ha reportado que, para una invasión exitosa de los órganos de las plantas, el desarrollo de los hongos fitopatógenos está estrechamente regulado por la formación de estructuras especializadas de infección. Además, para la colonización, los patógenos despliegan un conjunto de factores de virulencia. Con base en esto y de acuerdo a sus ciclos de vida, los hongos fitopatógenos pueden clasificarse como necrótrofos, biótropos y hemibiótropos (Doehlemann, et. al, 2016). Los hongos necrótrofos son aquellos que secretan toxinas y enzimas que causan la muerte de la célula huésped de la que toman sus nutrientes. Dicha estrategia limita la capacidad de la planta para establecer una respuesta de defensa, como la producción de moléculas antifúngicas (Mayer, et. al, 2001). Por su parte, los hongos biótropos establecen una estrecha asociación con el huésped mediante el desarrollo de hifas especializadas para la infección, llamadas haustorios, los cuales penetran la célula vegetal viva, de la que obtienen sus nutrientes. Durante este proceso, los hongos biótropos secretan moléculas efectoras que suprimen a la planta y manipulan su metabolismo a favor del patógeno. De esta forma, el hongo puede colonizar y obtener sus nutrientes causando la muerte del huésped (Koeck, et. al, 2011). Por último, los hongos hemibiótropos combinan las estrategias de necrotrofismo y biotrofismo. En la fase biotrófica inicial el sistema inmune y la muerte celular del huésped es suprimido, lo que permite la invasión de las hifas a lo largo del tejido infectado de la planta. Esta etapa es seguida por una fase necrotrofica durante la cual el patógeno secreta toxinas e induce la muerte celular del huésped (Perfect y Green, 2001; Koeck, et. al, 2011).

Actualmente, a nivel mundial se han reportado más de 8 000 especies de hongos que pueden causar enfermedades en plantas (Rodríguez-Guzmán, 2001). Los 10 principales agentes de hongos fitopatógenos son, en orden de clasificación: (1) *Magnaporthe oryzae*; (2) *Botrytis cinerea*; (3) *Puccinia* spp.; (4) *Fusarium graminearum*; (5) *Fusarium oxysporum*; (6) *Blumeria graminis*; (7) *Mycosphaerella graminicola*; (8) *Colletotrichum* spp.; (9) *Ustilago maydis*; (10) *Melampsora lini* (Dean, et. al, 2012). De estos, *Fusarium* es de gran importancia en agricultura, ya que las especies del género causan pudrición en la raíz de diversos cultivos de importancia económica, tales como, maíz, tomate, garbanzo, calabaza, agave, trigo y soya. Se ha descrito, que generalmente, son más de una, las cepas de *Fusarium* que se encuentran infectando a una misma planta (Walder, et. al, 2019), sugiriendo que la pudrición de la raíz es ocasionada por consorcios de diferentes especies de *Fusarium*.

2.1 Biología y patogenicidad del género *Fusarium*

El género *Fusarium*, descrito por primera vez en 1809 por Link, alberga diversas especies de hongos fitopatógenos y es considerado cosmopolita con especies que habitan en el suelo, aire y agua. La taxonomía de este género resulta compleja y ha sufrido diversos cambios desde su creación, pero aún se utiliza un sistema de clasificación basado principalmente en las características morfológicas de las colonias y las esporas del hongo (Figura 1). Además de la clasificación taxonómica, existen herramientas moleculares que permiten hacer una identificación más certera de las especies del género *Fusarium*, tales como, la secuenciación de marcadores moleculares como el gen 5.8S ARN ribosomal. Hasta el momento se han reconocido entre 9 y 78 especies del género, lo que muestra su complejidad taxonómica (Arbeláez, 2000).

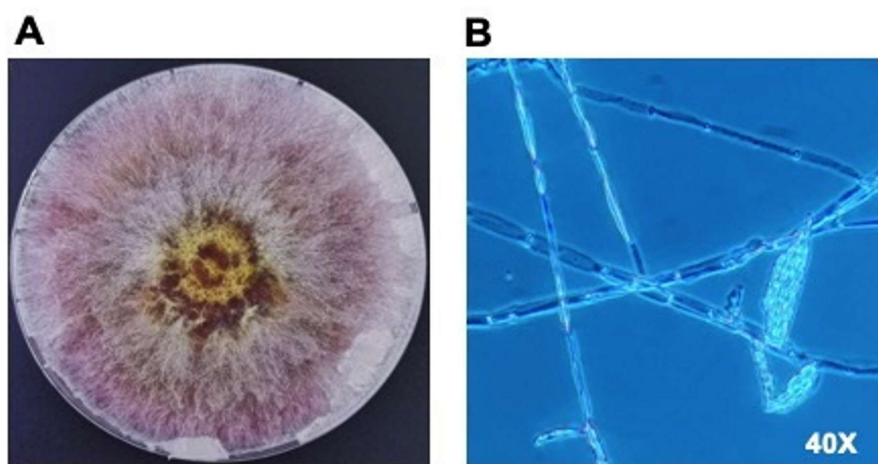


Figura 2. Morfología macroscópica y microscopía de *Fusarium* sp.
A Crecimiento de colonias en agar papa dextrosa. **B** Macroconidios.

Las enfermedades en las plantas causadas por *Fusarium* consisten en marchitamientos vasculares, manchas y añublos de las hojas, pudrición de raíces y de tallos, pudrición de frutos, granos y semillas (Arbeláez, 2000). Este hongo se encuentra naturalmente en el suelo y en ocasiones puede estar asociado a las pudriciones de raíz y tallos de una diversidad de plantas. Dentro de las especies del género que causan importantes problemas en cultivos agrícolas se encuentran *F. oxysporum* y *F. graminearum*.

Fusarium oxysporum (Schlecht) causa marchitamiento vascular en cultivos de algodón, repollo, cebolla, melón, tomate y sandía (Dita, et. al, 2018). El ciclo de vida de *F. oxysporum* inicia con una fase saprófita, cuando las clamidosporas, que se encuentran en los residuos de tejido vegetal en descomposición, germinan estimuladas por los exudados que liberan las raíces extendidas de otras plantas. Después, las hifas penetran las células epidérmicas de las raíces y, el micelio del hongo invade el sistema vascular en la planta. En etapas avanzadas, el hongo crece fuera del sistema vascular hacia células parenquimatosas adyacentes, produciendo conidios y clamidosporas. El patógeno sobrevive en restos de la planta infectada en el suelo como micelio y en todas sus formas de esporas (Dita, et. al, 2018).

Por otra parte, *Fusarium graminearum* (Schwabe) es un fitopatógeno en cereales como trigo, cebada y triticale, arroz, avena, frijol y maíz. Es importante destacar que este hongo presenta dos ciclos de vida: sexual y asexual. En el trigo, *F. graminearum* es el principal agente causal de la fusariosis de la espiga. El hongo puede desarrollarse saprófitamente sobre los residuos de plantas infectadas que permanecen en el suelo después de la cosecha. Sobre éstos, *F. graminearum* produce macroconidios (asexual) que son diseminados principalmente por aspersion en episodios de

lluvia. Cuando se presentan condiciones de temperaturas cálidas y alta humedad, el hongo forma peritecios que contienen ascosporas (*Gibberella zeae* es el estado sexual de *F. graminearum*) en su interior. Las ascosporas son expulsadas de los peritecios y son diseminadas por el aire. Las macroconidios y las ascosporas se depositan sobre las espigas florecientes del trigo e ingresan a la planta a través de las aberturas naturales, como los estomas, donde germinan e inician el proceso de infección. Las afectaciones en las plantas incluyen la destrucción de flores, producción de granos enfermos, arrugados y de menor tamaño.

Además, los cereales pueden almacenar micotoxinas producidas por el hongo, causando problemas de postcosecha (Trail, 2009; Turkington, et al. 2016).

III. ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE HONGOS FITOPATÓGENOS

3.1 Control químico

El control químico, a través del uso de fungicidas, ha sido considerado uno de los principales métodos de control de enfermedades ocasionadas por hongos en el sector agrícola. Los cultivos fueron protegidos con éxito, en un principio, con aplicaciones de sulfato de cobre y azufre. Actualmente, el número de principios activos disponibles se ha incrementado enormemente, entre los que se destacan los ftalimidas o los ditiocarbamatos de generación intermedia y caracterizados por tener múltiples sitios de acción. En los últimos años el uso intensivo, y en ocasiones desmedido, de los compuestos fungicidas ha generado diversas controversias, debido a los efectos adversos que se ha demostrado pueden causar a la salud humana y al medio ambiente (Tabla 1). Asimismo, si no se respetan las dosis, intervalos de seguridad y el uso de productos

aprobados, estos productos químicos se pueden acumular en los alimentos, suelos y aguas, lo cual ocurre con gran frecuencia. Es importante destacar que la aplicación de fungicidas provoca una disminución de las poblaciones de microorganismos antagónicos naturales presentes en el suelo, ocasionando una disminución de la diversidad microbiana y favoreciendo la persistencia de organismos patógenos que afectan a los cultivos (Laatikainen and Heinonen-Tanski, 2002). Por tanto, debido a la persistencia de especies de hongos fitopatógenos como *Phyium*, *Phytophthora*, *Botrytis*, *Sclerotinia*, *Sclerotium*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium*, hongos que han aumentado persistencia durante los últimos años, aunado a los cambios que se han presentado en las prácticas agrícolas, y al interés mostrado por la población en general, se debe realizar una búsqueda constante para de estrategias sustentables que permitan controlar plagas y enfermedades (Benítez, et. al, 2004; Lucas, et. al, 2015; Puente, et. al, 2005).

Tabla 1. Fungicidas químicos utilizados para el control de hongos fitopatógenos en el sector agrícola.

COMPUESTO ACTIVO FUNGICIDA	TIPO	CUANDO APLICAR	MODO DE ACCIÓN	EFEECTO EN SALUD Y MEDIO AMBIENTE
Azufrados: Polisulfuro de calcio	Contacto	Preventiva en períodos de alto riesgo de la enfermedad.	Detiene la germinación de esporas de los hongos.	Moderadamente dañino Clase II Perjudicial si es ingerido y nocivo en contacto con la piel.
Cúpricos: Oxicloruro de cobre, hidróxido de cúprico	Contacto	Preventiva en períodos de alto riesgo de la enfermedad.	Afecta procesos en el desarrollo del hongo y detiene la germinación de esporas.	Grupo 1 (toxicidad aguda) Mortal si se inhala. Grupo 3 (toxicidad ambiental) Persistente en suelo, agua y sedimento; muy tóxico para organismos.
Benzimidazol: Tiabendazol Fenilpirol: Fludioxonil Estrobilurina: Azoxistrobina Fenilamidas: Metalaxil-M	Sistémico y/o contacto	En períodos de alto riesgo de la enfermedad; cuando sea probable la infección y que los síntomas aun no sean visibles.	De amplio espectro para el control de enfermedades que afectan al cultivo durante la siembra y almacenamiento.	Tiabendazol: Ligeramente peligroso Clase III. Puede ser perjudicial si se ingiere y/o en contacto con la piel. Fludioxonil y azoxitrobina: No representan problema en uso normal. Metalaxil-M: Moderadamente dañino Clase II. Perjudicial si es ingerido y nocivo en contacto con la piel.
Triazol: Tebuconazole	Sistémico	En períodos de alto riesgo de la enfermedad; cuando sea probable la infección, o bien, cuando se identifiquen los primeros síntomas de la infección. Es preventivo, curativo y erradicante.	Evita la germinación de las esporas, detiene el desarrollo temprano del hongo, evita la propagación de la enfermedad, afecta la síntesis del ergosterol e impide la formación de la pared celular fúngica.	Grupo 2 (Efectos a largo plazo) Probable carcinógeno-EPA.
Triazol: Propiconazol	Sistémico	En períodos de alto riesgo de la enfermedad; cuando sea probable la infección y sin síntomas visibles. Es preventivo, curativo y erradicante.	Inhibe la síntesis del ergosterol (componentes de la célula) perturbando las funciones de las células, que afectan el crecimiento del hongo hasta su muerte.	Moderadamente dañino Clase II Perjudicial si es ingerido y nocivo en contacto con la piel.
Ditiocarbamatos: Mancozeb	Contacto	En períodos de alto riesgo de la enfermedad. Es preventivo y curativo.	Es de amplio espectro inhibidor de múltiples sitios, afecta las membranas de las células fúngicas.	Grupo 2 (Efectos a largo plazo) probable carcinógeno-EPA y perturbador endócrino.
Dicarboxamidas: Procimidone	Sistémico	En períodos de alto riesgo de la enfermedad. Es preventivo y curativo.	Afecta la división celular, inhibe la germinación de esporas y bloquea el desarrollo del micelio del hongo.	Grupo 2 (Efectos a largo plazo) probable carcinógeno-EPA y perturbador endocrino.
Estrobilurinas: Azoxitrobin	Sistémico	Preventivo y curativo. En períodos de alto riesgo de la enfermedad.	Inhibe la germinación de esporas, impide el crecimiento micelial e inhibe la síntesis del ATP.	No representan problema en uso normal.

Referencias: World Health Organization, 2010; Pesticide Action Networks International, 2016.

3.2 Control biológico

La aplicación de fungicidas y productos químicos puede controlar enfermedades en los cultivos, sin embargo, su costo y las afectaciones al medio ambiente ha llevado a buscar métodos alternativos, incluyendo el uso de microorganismos (Dhanasekaran, et. al, 2012). El control biológico ha surgido como una alternativa al control químico y se define como el uso de microorganismos o sus metabolitos, antagónicos naturales de una plaga o patógeno, con el fin de reducir o eliminar los efectos nocivos sobre las plantas. A las bacterias que reducen la incidencia o gravedad de las enfermedades en plantas se les llama agentes de control biológico, mientras que aquellas que exhiben actividad antagónica hacia un patógeno se definen como antagonistas (Beneduzi, et. al, 2012). De hecho, la razón principal por la que en ocasiones los cultivos no son destruidos completamente, una vez que son atacados por plagas y enfermedades, es precisamente por la presencia natural de poblaciones con actividad antagónica contra los agentes fitopatógenos (Serrano-Carreón y Galindo-Fentanes, 2007).

Los mecanismos generales de control biológico pueden definirse como directos o indirectos del agente de control biológico sobre el fitopatógeno. Los mecanismos directos incluyen competencia por nutrientes y espacio, producción de antibióticos y enzimas líticas, inactivación de las enzimas del patógeno y el parasitismo. Mientras que, los mecanismos indirectos corresponden a aquellos que producen cambios morfológicos y bioquímicos en la planta huésped, tales como, tolerancia al estrés, solubilización de nutrientes inorgánicos y la resistencia inducida. Los principales agentes de control biológico utilizados contra *Fusarium* corresponden al hongo *Trichoderma* y a algunas especies del género *Bacillus*. A continuación, se describen los mecanismos que utilizan estas especies para combatir al fitopatógeno.

3.2.1 *Trichoderma* spp.

Trichoderma es conocido ampliamente como agente de control biológico de diversos fitopatógenos, entre ellos *Fusarium* (Luongo et al. 2005). Se han descrito tres tipos de interacción entre ambos hongos: competencia, microparasitismo y antibiosis (Figura 2). El mecanismo de competencia de *Trichoderma* es determinante para evitar que la raíz de la planta sea colonizada por el hongo fitopatógeno, favoreciendo así su propia colonización en la zona radicular y proporcionándole a la planta la ventaja de desarrollar mayor tolerancia al estrés hídrico mediante la solubilización de minerales como fósforo y zinc. El microparasitismo, por su parte, es la principal característica de todas las especies de *Trichoderma*,

y es definido como una simbiosis antagónica entre microorganismos, que es determinada por la producción de enzimas extracelulares como quitinasas y celulasas; las cuales, degradan las paredes celulares del fitopatógeno (Carsolio, et. al, 1999). El mecanismo de microparasitismo de *Trichoderma* inicia con la detección de señales químicas del patógeno, extendiendo las hifas hacia éste. Posteriormente, el hongo se adhiere a las hifas del patógeno y se enrolla. En etapas avanzadas, *Trichoderma* degrada las paredes celulares del huésped, lo que conlleva al debilitamiento del hongo fitopatógeno (Steyaert, et. al, 2003). Por lo que respecta al mecanismo de antibiosis, *Trichoderma* es capaz de sintetizar sustancias antibióticas que actúan en el control de los fitopatógenos; este género produce más de 120 metabolitos secundarios, incluidos moléculas antifúngicas (Popiel, et. al, 2008; Woo, et. al, 2006).

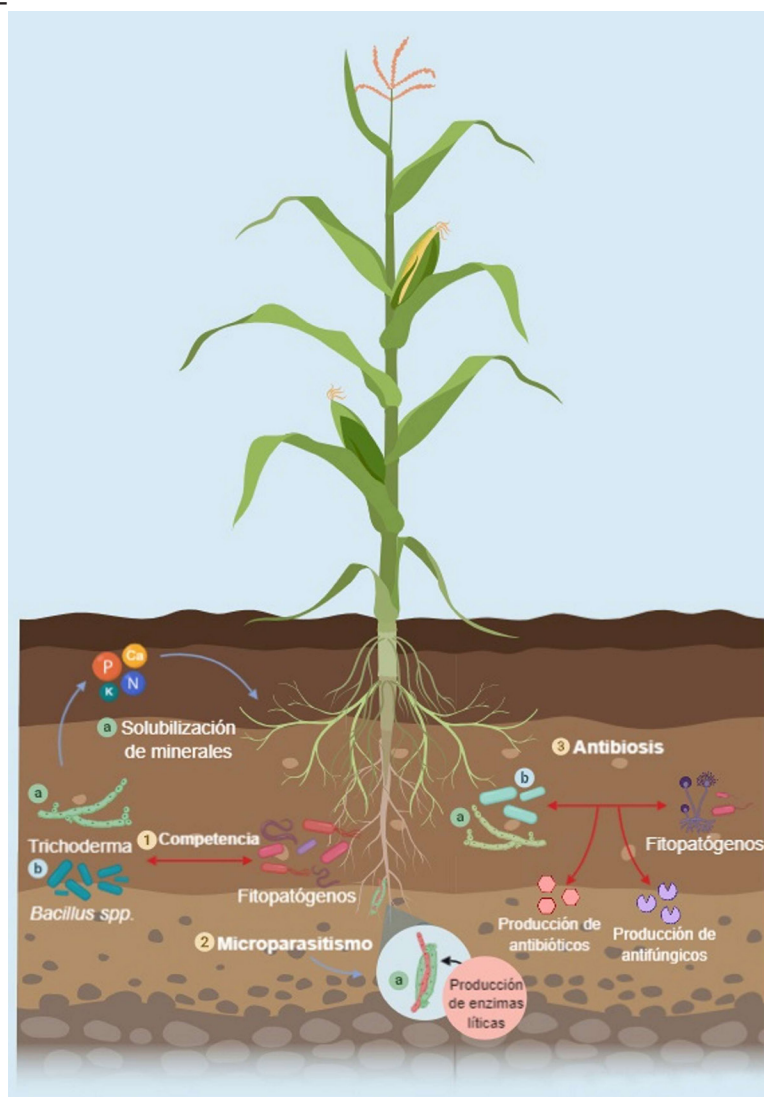


Figura 2. Mecanismos de control biológico desarrollados por *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. en un contexto de la ecología microbiana en el suelo y la planta huésped.

3.2.1 *Bacillus* spp.

Existen pocas especies bacterianas que han sido descritas como antagonistas de *Fusarium* y capaces de reducir su población (Gardener, 2004; Popiel, et. al, 2008). Dentro de éstas, se han definido a los géneros *Bacillus* y *Paenibacillus* como grupos de bacterias capaces de promover la salud de los cultivos suprimiendo fitopatógenos y plagas; algunas especies son: *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus*, *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. mycoides* y *B. pumilus*. Los mecanismos de control biológico utilizados, por estas especies, incluyen el desarrollo de competencia por alimento y espacio, estimulación de la planta huésped mediante la inducción de tolerancia o resistencia, la producción de compuestos o enzimas antifúngicas, o bien, antibiosis (Figura 2). Siendo este último, un mecanismo altamente efectivo para la prevención y control de patógenos en la rizosfera (Matar, et. al, 2009;). Algunas bacterias también pueden estimular las defensas de la planta antes de que la infección suceda, facilitando la absorción de nutrientes, fijando directamente el nitrógeno y promoviendo la simbiosis de la rizosfera y micorrizas (Gardener, 2004). Debido a que las bacterias del género *Bacillus* habitan de manera natural en el suelo, como estrategias de control biológico se recomienda el uso de aislados bacterianos obtenidos directamente de los nichos donde habita el fitopatógeno que se desea controlar. De esta manera, se pretende incrementar las poblaciones del microorganismo benéfico y controlar más efectivamente al agente fitopatógeno mediante mecanismos de antagonismo.

IV. RETOS ACTUALES EN AGRICULTURA PARA UN MANEJO ECOLÓGICO DE LOS CULTIVOS

La ecología microbiana estudia las interrelaciones entre los microorganismos y el ambiente, así como el comportamiento de éstos en su entorno natural (Frioni, 2005). En el suelo, los microorganismos son un componente fundamental, ya que desempeñan actividades importantes en el funcionamiento del ecosistema como el control de las reacciones del ciclo de nutrientes esenciales para mantener una fertilidad, contribuyendo a su génesis y mantenimiento. En un sistema ecológico en equilibrio, los microorganismos poseen capacidades para colonizar un nicho y establecerse, asimismo, interaccionan entre sí para catalizar procesos bioquímicos. Sin embargo, los agentes microbianos son susceptibles a cambios en el entorno,

por ejemplo, la aplicación de pesticidas en las prácticas agrícolas convencionales ha deteriorado la productividad y calidad de los suelos de cultivo, provocando la pérdida de comunidades beneficiosas y el deterioro del funcionamiento del ecosistema (Garbeva, et. al, 2004).

En este contexto, los principios de la ecología microbiana son fundamentales para el desarrollo de estrategias que permitan el control de plagas y enfermedades de una manera sustentable. Los principales retos actuales para el desarrollo de dichas estrategias son: i) la generación de conocimiento que permita entender las interacciones que establecen el o los agentes fitopatógenos con las plantas de cultivo y con las comunidades de microorganismos con los que co-habitan en nichos naturales, como el suelo; ii) la identificación y caracterización de nuevas cepas de hongos fitopatógenos, así como el entendimiento de sus mecanismos de patogénesis; y iii) la búsqueda de nuevos agentes biológicos con capacidad antagonista contra nuevas cepas de agentes fitopatógenos (Figura 3). Cabe destacar que, la importancia de la generación de estrategias de control biológico efectivas en campo, radica en el uso de microorganismos benéficos cuya aplicación mantenga el equilibrio microbiano del nicho donde serán aplicados. De esta manera, los agentes de control competirán con los agentes fitopatógenos causantes de las enfermedades en los cultivos, y las comunidades benéficas que co-habitan en el suelo podrán establecer interacciones benéficas con las plantas.

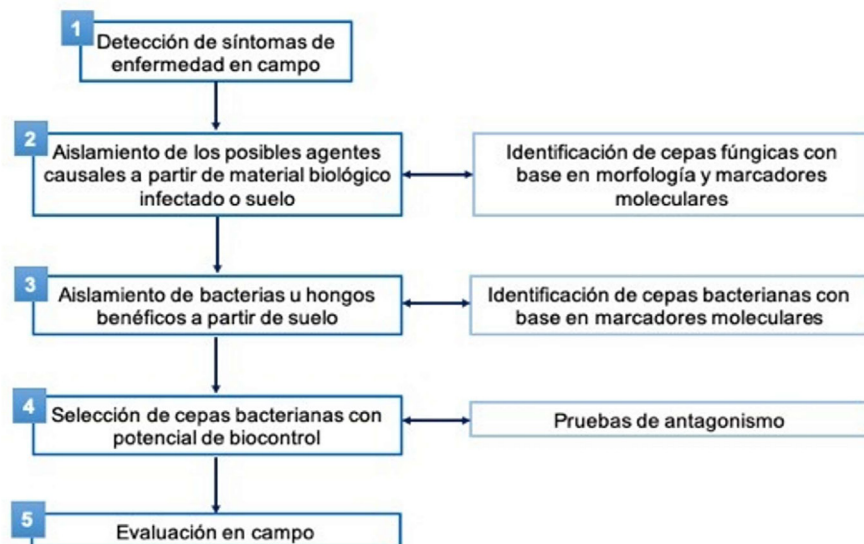


Figura 3. Estrategia para la investigación de nuevos agentes de control biológico que permitan el combate de plagas y enfermedades en cultivos agrícolas.

CONCLUSIONES

El control de enfermedades ocasionadas por hongos fitopatógenos ha dependido del uso de fungicidas. La aplicación de estos agentes ha representado un alto riesgo para la salud humana y el medio ambiente. En este contexto, en el sector agrícola ha surgido la necesidad del desarrollo y la implementación de estrategias sustentables que permitan el control de enfermedades en campo y, por ende, que contribuyan a mejorar los rendimientos agrícolas respetando el medio ambiente mediante la disminución o eliminación del uso de agentes químicos; surgiendo de esta manera el control biológico. Dicha estrategia ha demostrado tener buenos resultados en campo. Sin embargo, para enfrentar los nuevos retos que representa el combate de nuevas cepas de hongos fitopatógenos, es necesario la búsqueda de nuevos microorganismos antagónicos a partir del suelo, estudiar sus mecanismos de inhibición y establecer estrategias para su aplicación en campo.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y al Centro de Investigación y Desarrollo en Agrobiotecnología Alimentaria (CIDEA) por la beca otorgada a la estudiante SPF (Proyecto FOMIX Hidalgo 2015-01-267837).

REFERENCIAS

Arbeláez, G. 2000. Algunos aspectos de los hongos del género *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*. Agronomía colombiana. 17:11.

Beneduzi, A., Ambrosini, A., and Passaglia, L.M.P. 2012. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Their potencial as antagonists and biocontrol agents. Genet Mol Biol. 35(4): 1044-1051.

Benítez, T., Rincón, A.M., Limón, M.C., and Codón, A.C. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. Int Microbiol. 7: 249-260.

Carsolio, C., Benhamou, N., Haran, S., Cortés, C., Gutiérrez, A., Chet, I., and Herrera-Estrella, A. 1999. Role of the *Trichoderma harzianum* endochitinase gene, ech42, in mycoparasitism. Appl Environ Microbiol. 65(3): 929-935.

Dhanasekaran, D., Thajuddin, N., and Pannerselvam, A. 2012. Applications of actinobacterial fungicides in agriculture and medicine in: Dhanasekaran, D. (Ed.) Fungicides for plant and animal diseases. Intech open. pp. 29-55.

Dean, R., Van Kan, J.A.L., Pretorius, Z.A., Hammond-Kosack K.E., Di Pietro, A., Spanu, P.D., Rudd, J.J., Dickman, M., Kahmann, R., Ellis, J., and Foster, G.D. 2012. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. Mol Plant Pathol. 13(4): 414-430.

Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E.S.G., and Staver, C.P. 2018. *Fusarium* wilt of banana: current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. Front Plant Sci. 9:1468.

Doehlemann, G., Ökmen, B., Zhu, W., and Sharon, A. 2017. Plant pathogenic fungi. Microbiol Spectrum. 5(1): FUNK-0023-2016.

Frioni, L. 2005. Microbiología: Básica, ambiental y agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de la República Uruguay.

Gardener, B.B.M. 2004. Ecology of *Bacillus* and *Paenibacillus* sp in agricultural systems. Phytopathol. 94: 1252-1258.

Garbeva, J.A., van Veen, J.D., and van Elsas. 2004. Microbial diversity in soil: Selection of microbial populations by plant and soil type and implications for

disease suppressiveness. Annu Rev Phytopathol. 42:1, 243-270.

Gohel, V., Singh, A., Vimal, M., Ashwini, P., and Chhatpar, H.S. 2006. Bioprospecting and antifungal potencial of chitinolytic microorganisms. Afr J Biotechnol. 5 (2): 54-72.

Koeck, M., Hardham, A.R., and Doods, P.N. 2011. The role of effectors of biotrophic and hemibiotrophic fungi in infection. Cell Microbiol. 12(12): 1849-1857.

Lucas, J.A., Hawkins, N.J., and Fraaije, B.A. 2015. The evolution of fungicide resistance. Adv Appl Microbiol. 90: 29-92.

Luongo L., Galli, M., Corazza L., Meekes E., De Haas L., Van Der Plas C. L., and Köhl J. 2005. Potential of fungal antagonists for biocontrol of *Fusarium* sp. in wheat and maize through competition in crop debris. Biocontrol Sci Tech. 15: 229-242.

Matar, S.M., El-Kazzaz, S.A., Wagih, E.E., El-Diwany, A.I., Moustafa, Abo-Zaid, G.A., Abd-Elsalam, H.E., Hafez, E.E. 2009. Antagonistic and Inhibitory Effect of *Bacillus subtilis* Against Certain Plant Pathogenic Fungi. I. Biotechnology. 8(1): 53-61.

Mayer, A.M. Staples, R.C., and Gil-ad, N.L. 2001. Mechanisms of survival of necrotrophic fungal plant pathogens in host expressing the hypersensitive response. Phytochemistry. 58: 33-41.

Pesticide Action Networks International. 2016. PAN International List of Highly Hazardous Pesticides. Hamburg, Germany. Available from: http://www.pan-germany.org/download/PAN_HHP_List_161212_F.pdf

Parikh, L., Kodati, S., Eskelson, K.J., and Adesemoye, A.O. 2018. Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. In row crops in Nebraska. Crop Prot. 108:120-127.

Perfect, S.E., and Green, J.R. 2001. Infection structures of biotrophic and hemibiotrophic fungal plant pathogens. Mol Plant Pathol. 2(2): 101-108.

Popiel D., Kwaśna, H., Chełkowski, J., Stępień, Ł., Laskowska, M. 2008. Acta Mycol. 43 (1): 29-40.

Puente, M., Campos, A., and León, A. 2005. Efecto fungicida o fungistático de un extracto vegetal sobre plantas susceptibles al hongo fitopatógeno del suelo *Sclerotium rolfsii* Sacc. en condiciones de cultivo protegido. Memorias XVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). Varadero, Matanzas. pp. 637-643.

Rodríguez-Guzmán, M.P. 2001. Biodiversidad de los hongos fitopatógenos del suelo de México. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie). Número especial 1: 53-78.

Serrano-Carreón, L., and Galindo-Fentanes, E. 2007. Control biológico de organismos fitopatógenos: un reto multidisciplinario. Comunicaciones libres. Ciencia. pp. 77-88.

Steyaert, J.M., Ridgway, H.J., Elad, Y., and Stewart, A. 2003. Genetic basis of mycoparasitism: A mechanism of biological control by species of *Trichoderma*. New Zeal J Crop Hort. 4(31): 281-291.

Trai, F. 2009. For blighted waves of grain: *Fusarium graminearum* in the postgenomics era. Plant Physiology. 149: 103-110.

Turkington, T.K., Petran, A., Yonow, T., and Kriticos, D.J. 2016. *Fusarium graminearum*. Harvest Choice Pest Geography. St. Paul, MN: InStEPP-HarvestChoice.

Walder, F., Schlaeppli, K., Wittwer, R., Held, A.Y., Vogelgsang, S., and van der Heijden, M.G.A. 2017. Community Profiling of *Fusarium* in Combination with Other Plant-Associated Fungi in Different Crop Species Using SMRT Sequencing. Front Plant Sci. 8:2019.

World Health Organization. 2010. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2009, World Health Organization. Ginebra, Suiza. pp 1-81. Available from: https://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard_2009.pdf

Woo S. L., Scala F., Ruocco M., Lorito M. 2006 The molecular biology of interactions between *Trichoderma* sp., phytopathogenic fungi and plants. Phytopathology 96: 181-185.



IMPACTO DE LA MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA APLICADA EN LA CONTRIBUCIÓN DE RECURSOS HUMANOS DE CALIDAD

Pérez Cano, E.¹, Jiménez Montejo F. E.¹

¹Instituto Politécnico Nacional Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada.
ExHacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C. P.
90700 México fejimenezm@ipn.mx

El Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada CIBA-Tlaxcala surgió en el año 2004, a partir de lo que fue el Centro de investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), unidad Puebla. CICATA Puebla se creó en el año 2000, instalándose por un breve periodo en Acatlán 63 de la Colonia La Paz, posteriormente ocupó un espacio en la Universidad Tecnológica de Puebla y ahí inició la oferta del posgrado en Tecnología Avanzada. En el periodo 2000-2001 contó con 10 alumnos de maestría y una planta docente de 20 profesores. Dos años después, debido a cambios administrativos en la Unidad Académica y la solicitud del espacio por la Universidad Tecnológica de Puebla, llevó a las autoridades del IPN a decidir sobre la desaparición de CICATA Puebla y reubicar al personal del centro en otras instalaciones del propio instituto. Sin embargo, gracias a diversas gestiones con el gobierno del estado de Tlaxcala, se logró un terreno en comodato para la reubicación del Centro de Investigación.



En el año 2004, las autoridades del Instituto Politécnico Nacional encabezada por el Dr. José Enrique Villa Rivera en conjunto con el Gobierno del Estado de Tlaxcala encabezado por el Lic. Héctor Israel Ortiz Ortiz, firmaron el acuerdo de comodato del inmueble denominado "CASCO DE LA HACIENDA DE SAN JUAN MOLINO" ubicado al noroeste del Municipio de Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala; El 31 de agosto de 2005 se publicó en el Diario Oficial de la Federación del gobierno del estado Contrato de Donación a Título Gratuito a favor del Instituto Politécnico Nacional.²

CICATA Puebla se transformó en el CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA APLICADA (CIBA-IPN, Tlaxcala)³, cuyo objetivo principal es la generación y aplicación del conocimiento científico en el área de la Biotecnología. Aquí se desarrollan proyectos de investigación vinculados con el sector productivo del país encaminados al desarrollo, adaptación y mejora de tecnología, procesos y productos.

Los programas de posgrado que ofrecía el recién creado CIBA eran la maestría y doctorado en Tecnología Avanzada que compartía con otras unidades del IPN. En el año 2007,

el Colegio Académico de Posgrado, en su sesión ordinaria celebrada el 30 de abril de ese año, aprobó la propuesta del plan y programa de estudios de la Maestría en Biotecnología Aplicada, de conformidad con el informe presentado por la Comisión Revisora integrada para tal efecto; por lo que se acordó presentar al Consejo General Consultivo dicho programa para su análisis y discusión.

Dicho programa ofrecía una alternativa de formación de recursos humanos capacitados específicamente para hacer frente a la competencia que se ha generado a nivel mundial debido a la apertura comercial de nuestro país, adquiriendo la capacidad para desarrollar propuestas de investigación encaminadas fundamentalmente a su aplicación en la agroindustria mexicana.



Fue así como en la Gaceta Politécnica, en su edición extraordinaria número 665 Vol. 10 de septiembre de 2007, se publicó el acuerdo del Consejo General Consultivo, en su Undécima Sesión Ordinaria celebrada el 31 de agosto de 2007, la aprobación del Programa de Maestría en Biotecnología Aplicada (MBA).⁴ En la misma sesión se aprobó el Programa de Estudios, mismo que desde sus inicios se impartió en los términos de la siguiente estructura curricular: cuatro seminarios departamentales I-IV, siete materias de formación básica, tres asignaturas de formación complementaria y diecinueve asignaturas optativas.

En agosto de 2007, fungiendo como Directora la Dra. Alma Leticia Martínez Ayala y como Subdirectora Académica la Dra. Martha Dolores Bibbins Martínez, surgió la primera generación en la Maestría en Biotecnología Aplicada (MBA) con cinco estudiantes, que contaron con el apoyo de las becas Institucional y del Programa Institucional de Formación de Investigadores del IPN (PIFI). Meses después (2008) se conformó el Núcleo Académico Básico de la Maestría (NAM), integrado por diecisiete profesores del centro.

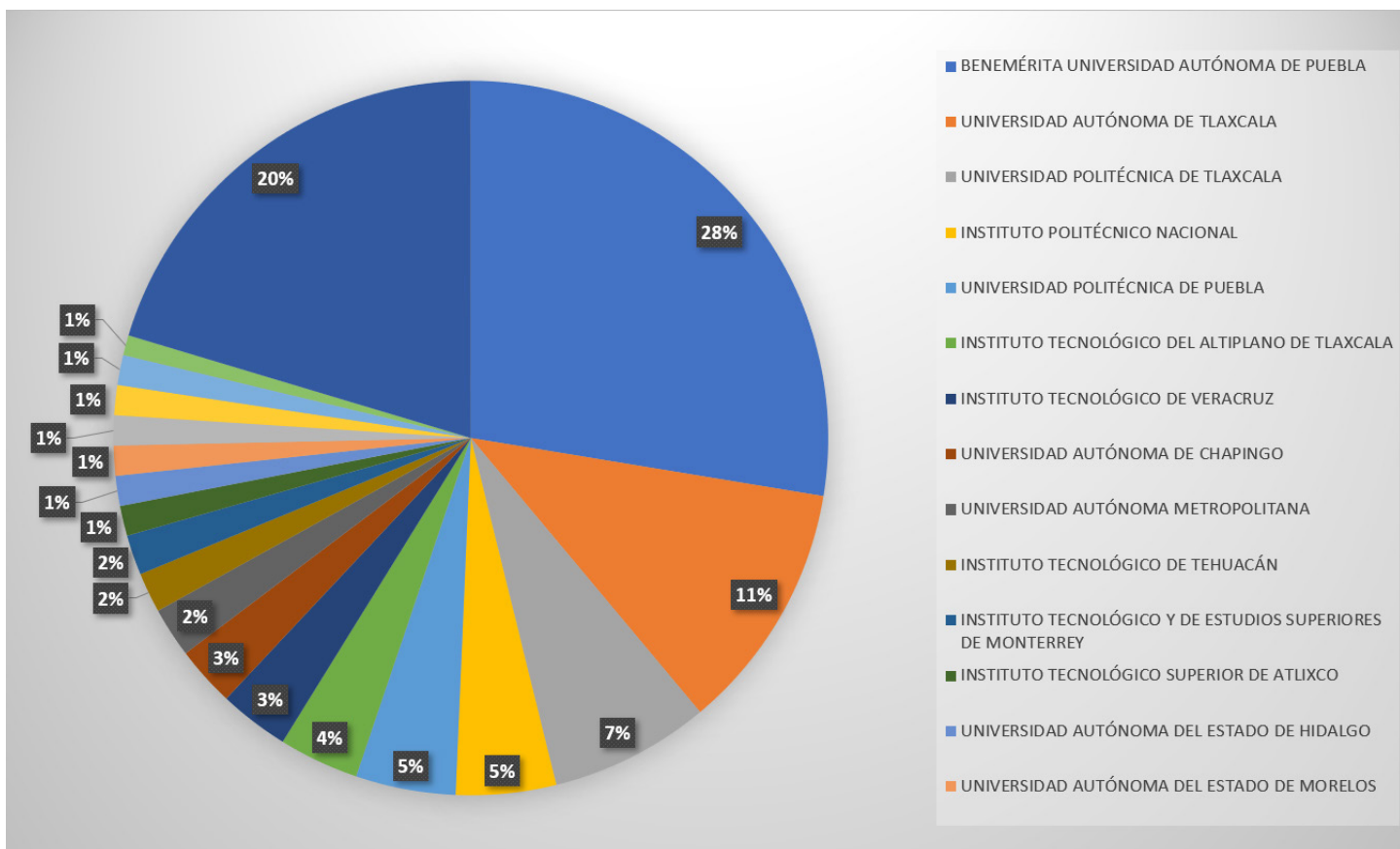
Con el trabajo y apoyo de la entonces Subdirectora Dra. Bibbins Martínez y el entonces coordinador Dr. Villalobos López y de todos los integrantes del Núcleo Académico Básico de la MBA, se logró la incorporación de la Maestría al Programa Nacional de Posgrados de Calidad ante el CONACYT el 18 de enero del 2010, recibiendo el reconocimiento como Posgrado de Calidad de Reciente Creación Profesionalizante, lo cual beneficio al programa con becas para la realización de estudios de posgrado y movilidad académica nacional o internacional.

La posibilidad de ser becario, incrementó la matrícula del programa de Maestría y a la par se incrementó el número de profesores, por lo que fue necesaria la creación de líneas de investigación; en la actualidad éstas líneas son:

- Biotecnología Genómica
- Bioprocesos
- Biotecnología Ambiental
- Biotecnología Agroindustrial
- Nanobiotecnología
- Productos Naturales

Las líneas de investigación y el reconocimiento como programa de posgrado de calidad, generó que egresados de instituciones de diferentes estados como: Tlaxcala, Puebla, Veracruz y Estado de México e incluso del extranjero principalmente de Colombia; vieran como una buena opción al posgrado de Maestría en Biotecnología Aplicada. En el gráfico se puede ver las instituciones que han alimentado a la MBA. (instituciones cuyos egresados han solicitado ingreso al programa de Maestría en Biotecnología Aplicada).

El programa de MBA, ha sido evaluado por el CONACyT en diversos periodos; siendo la más reciente en 2017, contando actualmente con el dictamen de programa consolidado en modalidad de investigación.



Con el reconocimiento al programa y aprovechando los apoyos de CONACyT, los estudiantes han realizado estancias en instituciones como: Tecnológico de Orizaba, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Centro de Investigación Biomédica del Sur (CIBIOR-Metepec), Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (Langebio), Universidad Autónoma Metropolitana, Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en Athens, GA, USA y Complex Carbohydrate Research Center (CCRC) de la Universidad de Georgia, USA, entre otras.

Desde sus inicios y hasta la fecha se han graduado 18 generaciones, la eficiencia terminal ha sido muy buena, pero además el programa ha impactado en la investigación, prueba de ello es la publicación de artículos de investigación, capítulos de libros y artículos de divulgación, por ejemplo:

- Analysis of adulteration in honey with standard sugar solutions and syrups using attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate methods. **M.A. Ríos-Corripio**, M. Rojas-López and R. Delgado-Macuil. (2012) *CyTA – Journal of Food*. 1–4, i.
- Influence of initial pH of the growing medium on the activity, production and genes expression profiles of laccase of *Pleurotus ostreatus* in submerged fermentations. **Rubén Díaz**, Maura Téllez-Téllez, Carmen Sánchez Martha D. Bibbins-Martínez, Gerardo Díaz-Godínez, Jorge Soriano-Santos (2013). *Electronic Journal of Biotechnology*. Vol. 16, No.4, 6-13.
- Behavior of Transition State Regulator AbrB in Batch Cultures of *Bacillus thuringiensis*. **Astrid Magdalena Lozano Goné, Jabel Dinorín Téllez Girón**, Fabiola Eloisa Jiménez Montejo • María Eugenia Hidalgo-Lara, Víctor Eric López y López (2014). *Current Microbiology*. Vol. 69, 725-732.
- German Zafra, **Angélica Moreno-Montaño**, Ángel E. Absalón y Diana V. Cortés-Espinosa (2015). Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil by a tolerant strain of *Trichoderma asperellum*. *Environ Sci Pollut Res*. Vol. 22: 1034-1042.

También, algunos alumnos han sido reconocidos con premios de prestigio, por mencionar uno la MBA Verónica Garrido Bazán obtuvo una Mención especial de su tesis de maestría en la categoría Investigación en ciencia de los cultivos y biotecnología agrícola, por el trabajo titulado: “Mecanismos de resistencia del maíz (*Zea Mays L.*) a *Aspergillus flavus* y a la producción de aflatoxinas”, en los Premios AgroBIO México en el año 2013.

De igual manera, alumnos egresados realizan actualmente actividades de docencia e investigación en diversas instituciones como: Universidad Tecnológica de Huejotzingo, Universidad Autónoma de Hidalgo, Universidad Politécnica de Tlaxcala, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Universidad Tecnológica de la Costa Grande de Guerrero, Tecnológico de Monterrey, Universidad Tecnológica del Choco; otros se encuentran laborando en la industria privada: Polaquímica S.A. de C.V., Altecsa S.A de C.V., Vaxbiotek A.C., FEMSA S.A.B de C.V., Nutravia S.A. de C.V. y Laboratorios Química SON´S, o bien en instituciones federales como el Instituto Mexicano de Seguro Social (IMSS) y Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) entre otros.

Cabe mencionar que un alto porcentaje de los estudiantes que egresan de la maestría, están realizando estudios de doctorado o ya culminaron con los mismos y algunos de ellos cuentan con suficiente productividad científica, lo que les ha llevado a tener el reconocimiento por parte del Sistema Nacional de Investigadores de CONACyT, en instituciones nacionales como el CINVESTAV, Instituto de Biotecnología de la UNAM o internacionales como el CCRC de la Universidad de Georgia en Estados Unidos o se encuentran haciendo estancias posdoctorales como es el caso de la exalumna Karina Gutiérrez quien se encuentra actualmente realizando un posdoctorado en la Rockefeller University en los Estados Unidos.

Por lo anterior, es claro que el programa ha formado recursos humanos que se han incorporado al sector productivo e impactan en el desarrollo de la biotecnología.

Por supuesto, se continúa trabajando en la actualización del programa, la adecuación a las necesidades actuales para lograr en un futuro el reconocimiento de Competencia Internacional por parte de CONACyT y para que un mayor número de egresados logren poner en alto una vez más el nombre del Instituto Politécnico Nacional.

Bibliografía:

1. Instituto Politécnico Nacional. (2006). *Gaceta Politécnica*. 9(0061–3848), 64.
2. Gobierno del Estado de Tlaxcala. (2005). *Diario Oficial*. 2–3.
3. Instituto Politécnico Nacional. (2003). *Gaceta Politécnica*. 7(0061–3848), 64.
4. Instituto Politécnico Nacional. (2007). *Gaceta Politécnica*. 10(0061–3848), 9–14.



Controla tus bioprocesos de manera intuitiva y flexible

Los bioprocesos pueden ser fáciles de ejecutar usando la tecnología adecuada.

Applikon tiene el sistema biorreactor ideal para tu laboratorio.

- Sistemas Biorreactores desde escalas micro hasta producción
- Automatización y Control de Bioprocesos
- Tecnologías Analíticas de Proceso
- Software de Adquisición de Datos, Control y Diseño de Experimentos
- Servicio de Instalación y Capacitación
- Servicio de Mantenimiento Preventivo y Correctivo



Engineering for Life
www.applikon-biotechnology.com

Applikon Biotechnology México
Teléfono: +52 55 58687814
Más información: omelo@applikonbio.com





INVESTIGACIÓN +

POSGRADOS

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



Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada
Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal
Tecuexcomac - Tepetitla K. 1.5, Tlaxcala, C.P. 90700, México