



# FRONTERA BIOTECNOLÓGICA



Revista Digital del IPN, CIBA Tlaxcala - No. 18 enero - abril 2021



LAS MALEZAS COMO  
UN CAMPO DE  
OPORTUNIDADES EN EL  
ESTUDIO DE LA SÍNTESIS  
VERDE

BISFENOL A: UN  
PROBLEMA DE CARÁCTER  
MUNDIAL Y EL USO  
DE HONGOS COMO  
ESTRATEGIA PARA SU  
BIORREMEDIACIÓN

FITOTÓXICOS COMO  
HERBICIDAS NATURALES Y  
OTRAS ALTERNATIVAS DE  
USO

RETROSPECTIVA DE UN  
EJEMPLO PRÁCTICO DE  
LOS BENEFICIOS DE LA  
APLICACIÓN DE TÉCNICAS  
AGROECOLÓGICAS EN UNA  
COMUNIDAD RURAL DE  
MÉXICO

## IPN

**ARTURO REYES SANDOVAL**  
DIRECTOR GENERAL

**JUAN MANUEL CANTÚ VÁZQUEZ**  
SECRETARIO GENERAL

**DAVID JARAMILLO VIGUERAS**  
SECRETARIO ACADÉMICO

**JUAN SILVESTRE ARANDA BARRADAS**  
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**RICARDO MONTEERRUBIO LÓPEZ**  
SECRETARIO DE INNOVACIÓN E INTEGRACIÓN SOCIAL

**ANA LILIA CORIA PÁEZ**  
SECRETARIO DE SERVICIOS EDUCATIVOS

**JAVIER TAPIA SANTOYO**  
SECRETARIO DE ADMINISTRACIÓN

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

**H. GUILLERMO ROBLES TEPICHÍN**  
SECRETARIO EJECUTIVO DEL PATRONATO DE OBRAS E  
INSTALACIONES

**FEDERICO ANAYA GALLARDO**  
ABOGADO GENERAL

**MODESTO CÁRDENAS GARCÍA**  
PRESIDENTE DEL DECANATO

## CIBA IPN

**DIANA VERÓNICA CORTÉS ESPINOSA**  
DIRECTORA DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

**MARÍA DEL CARMEN CRUZ LÓPEZ**  
SUBDIRECTORA ACADÉMICA DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

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

**MIGUEL ÁNGEL PLASCENCIA ESPINOSA**  
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

# CONTENIDO

MENSAJE EDITORIAL	3
LAS MALEZAS COMO UN CAMPO DE OPORTUNIDADES EN EL ESTUDIO DE LA SÍNTESIS VERDE	4
BISFENOL A: UN PROBLEMA DE CARÁCTER MUNDIAL Y EL USO DE HONGOS COMO ESTRATEGIA PARA SU BIORREMEDIACIÓN	9
RETROSPECTIVA DE UN EJEMPLO PRÁCTICO DE LOS BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS AGROECOLÓGICAS EN UNA COMUNIDAD RURAL DE MÉXICO	15
FITOTÓXICOS COMO HERBICIDAS NATURALES Y OTRAS ALTERNATIVAS DE USO	22

## CINTILLO LEGAL

FRONTERA BIOTECNOLÓGICA, año 9, número 18, enero - abril 2021, 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, 28 de abril de 2021.

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.

Abril del 2021

Estimados lectores.

Estimados lectores, a un año un mes de haber iniciado el confinamiento en México a causa del virus SARS-CoV-2, el cual ha golpeado sin piedad a aquellas personas vulnerables, muchas veces sin saber que lo eran.

Con la llegada y aplicación de las vacunas vemos una luz en el camino, nos mejora nuestro ánimo cotidiano y nos generamos la idea que podremos estar de nuevo en la normalidad, aún cuando sabemos que pasará más tiempo para llegar a esta totalmente. Sin embargo, hay que alegrarnos y seguir adelante en nuestras actividades, tomando con todo el entusiasmo el día a día.

En este número, conoceremos que las malezas o arvenses puede ser vistas desde un punto útil y de interés agronómico, gracias a la biotecnología y síntesis verde en dos lecturas. Por otro lado, te sorprenderás saber que un compuesto que se utiliza para la elaboración de muchos productos de uso cotidiano (bolsas, envases, etc.) que después de cumplir su uso, y ser dispuestos, ocasiona problemas en los ecosistemas. El villano en cuestión... Bisfenol A, pero gracias a los procesos de biorremediación con consorcios microbianos podemos degradarlo y mineralizarlo. Y, por último, conoceremos una divulgación muy interesante sobre como las comunidades rurales con grupos de mujeres manejan la agroecología para producir sus fertilizantes orgánicos que a su vez son utilizados en huertos de traspatio. A lo largo de dos años, han generado beneficios al comercializar sus productos.

Sigamos con las medidas de distanciamiento social, ya que no hay que cantar victoria todavía.

“La Técnica al Servicio de la Patria”.

Dr. Víctor Eric López y López  
Editor en Jefe

## LAS MALEZAS COMO UN CAMPO DE OPORTUNIDADES EN EL ESTUDIO DE LA SÍNTESIS VERDE

Nina Torres-Valencia<sup>1</sup>, Mariana Miranda-Arámbula<sup>1</sup>, Ada María Ríos-Cortés<sup>1</sup>, Valentín López-Gayou<sup>2</sup>, Fernando López-Valdez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Lab. de Biotecnología Agrícola y Agronobioteconología. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. 90700. México.

<sup>2</sup> Lab. de Nanobioteconología. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. 90700. México.

\* Autor para correspondencia: F. López-Valdez. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), 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: flopezva@ipn.mx

## RESUMEN

Las arvenses han registrado diferentes actividades biológicas, por lo que puede ser una fuente importante de sustancias químicas con un potencial biotecnológico, para desarrollar nuevas estrategias de interés agronómico incorporando los nuevos conocimientos derivados de la Nanotecnología y la “Síntesis verde”. Este artículo tiene como objetivo describir las malezas como un campo de oportunidades en la síntesis verde y al mismo tiempo, describimos a la síntesis verde como una subdisciplina de la Química bajo nuestra óptica y su aplicación en diversas áreas de las ciencias, entre ellas el potencial uso de los metabolitos secundarios de los extractos de plantas para la formación de nanocompuestos que brindan importantes beneficios para algunas áreas como pueden ser la medicina, la agronomía o la biorremediación.

Palabras clave: Química verde, síntesis verde, arvenses, nanopartículas, nanomateriales.

## Abstract

Weeds have registered different biological activities and this can be a source of chemical substances with significant biotechnological potential, to develop new strategies of agronomic interest incorporating new knowledge derived from Nanotechnology and “Green Synthesis”. This article aims to describe weeds as a field of opportunities in green synthesis and at the same time, we describe green synthesis as a sub-discipline of Chemistry from our perspective and its application in various areas of science, including the potential use of secondary metabolites of plant extracts for the formation of nano compounds that provide important benefits for some areas such as medicine, agronomy or bioremediation.

Keywords: Green chemistry, green synthesis, weeds, nanoparticles, nanomaterials.

## 1. INTRODUCCIÓN

Es muy conveniente aclarar dos términos que en la mayoría de las situaciones se consideran sinónimos, malezas y arvenses, este último es de poco uso, pero técnicamente es el que mejor define los propósitos de este artículo. Las plantas arvenses son todas aquellas plantas que crecen en los sembradíos, completamente ajenos al cultivo de interés, es decir, como pueda ser cualquier planta que sea distinta a la que se está cultivando. Por otro lado, el término maleza se refiere más a un término impreciso, como arbustos o abundancia de “malas hierbas”, que a su vez proviene del latín *malitia* que significa “maldad”. Por lo que, el término más apropiado será arvense. Bajo este contexto, toda planta arvense puede ofrecer un potencial para la Biotecnología, desde el punto de vista de nuestra línea de investigación, como es el aprovechamiento de los extractos vegetales

de este tipo de plantas, en el campo de la Química y en particular en la subdisciplina que se ha denominado síntesis verde.

## 2. LAS PLANTAS ARVENSES Y SU POTENCIAL IMPORTANCIA.

En realidad, ninguna planta es maleza o arvense, sólo es parte de nuestra concepción personal acerca de que no es una planta de interés, tanto en los patios como en las parcelas. En otras palabras, planta arvense, se le considera a toda especie vegetal que se desarrolla en un sitio donde su presencia no es deseada y que compite con otra especie cultivada con algún objetivo particular, cualquiera que este sea.

Desde tiempos remotos, nuestros ancestros comprendían muy bien esto, puesto que cada planta era respetada y cuidada por el alto valor que poseen, desde considerarse un miembro de un ecosistema particular hasta por sus propiedades o beneficios para el ser humano. Las plantas son por lo tanto de suma importancia para la humanidad, sólo que nuestra falta de conocimiento nos nubla la visión ante una demanda de cultivos de interés agroeconómico, dejando de lado a una vasta gama de plantas con potencial e importancia médica, por ejemplo. Sin embargo, les seguiremos llamando arvenses por el hecho de que no son de interés económico.

En la búsqueda constante del hombre por encontrar espacios para establecerse, adaptar los ecosistemas y generar asentamientos rentables que satisfagan todas sus necesidades, entre ellas alimenticias y productivas, ha traído consigo una serie de fenómenos ambientales en la interacción de subsistemas, entre los cuales destaca, la domesticación de especies vegetales como principal fuente de sustento. Adicionalmente, el crecimiento o aparición de plantas arvenses, que al competir por luz solar, agua y nutrientes con los cultivos de interés, supone un impacto en el crecimiento de los cultivos, por lo tanto, son consideradas plantas dañinas, es decir, “malas” para la agricultura, ya que desde un punto de vista productivo, representa una afectación importante en el rendimiento, dificultan la cosecha e impactan la calidad de los cultivos y de sus frutos o granos, por lo que se considera “maleza” (el cual es un término muy popular aunque muy antropocéntrico) ya que no corresponde a las características biológicas de esas plantas. Ya que estas plantas también forman parte de un agroecosistema y constituyen parte de una cadena trófica, en una forma u otra, que normalmente desconocemos. Además, estas pueden ayudar a prevenir la erosión y pérdida del suelo, incrementar la materia orgánica y la recirculación de nutrientes, mantienen la humedad por periodos más prolongados, hospedan microorganismos benéficos y la salud de la vida silvestre en general (Altieri, 1999).

La mayoría de las plantas arvenses tienen la capacidad de adaptarse y prevalecer en ambientes con cierto grado de disturbio, es decir, tienen una alta capacidad de tolerancia a condiciones ambientales adversas, con alta dispersión, crecimiento inicial rápido, habilidad competitiva en el máximo aprovechamiento de los recursos nutrimentales disponibles, mínimo nivel de dormancia de las semillas, prevalencia o resistencia ante carencia de agua, luz solar o nutrientes. Algunas son empleadas como plantas ornamentales, comestibles, medicinales, o bien, pueden tener un efecto negativo sobre otro organismo, esto debido a sus características alelopáticas que consisten en la síntesis de metabolitos secundarios que actúan como mecanismos de defensa y que la protegen de daños producidos por agentes externos como los ocasionados por otro organismo y de esta forma evitar su competencia o daño. Adicionalmente, poseen propiedades biológicas, variabilidades genéticas y fenotípicas particulares que les permiten desarrollar esas habilidades adaptativas, lo que representa un alto potencial para la Biotecnología (Anaya, 2007).

## 3. QUÉ ES LA SÍNTESIS VERDE.

La “síntesis verde” es una subdisciplina de la Química (llamada Química “verde”), la cual tiene como objetivo eliminar las prácticas y los procesos, que son considerados tóxicos y de un alto impacto ambiental, principalmente por la excesiva producción de subproductos o de desechos y/o contaminantes al ambiente, con la finalidad de evitar el uso indiscriminado de materias primas renovables y no renovables. La síntesis verde propone estrategias para realizar procesos químicos que sean más amigables con el ambiente. La formalización de la química verde como una disciplina de la ciencia, que difiere de la química ambiental, tiene su origen en la publicación del libro de Paul Anastas y John Warner titulado ‘*Green Chemistry, theory and practice*’ (Química verde, teoría y práctica) (Ivanković et al., 2017). La influencia de Anastas y Warner a través de su obra ha sido marcada, que son considerados como padres de la química verde por las aportaciones que sus estudios le dieron a esta disciplina. Ivanković et al. (2017) nos presentan doce principios básicos, que tienen mucha importancia en el desarrollo de esta disciplina y que se muestra en forma sintetizada:

## 4. IMPORTANCIA DE LA SÍNTESIS VERDE.

En 1992, se llevó a cabo la “Conference on Environment and Development (UNCED)” (Conferencia sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo) de las Naciones Unidas, donde 500 países firmaron La Declaración de Río sobre el Medio

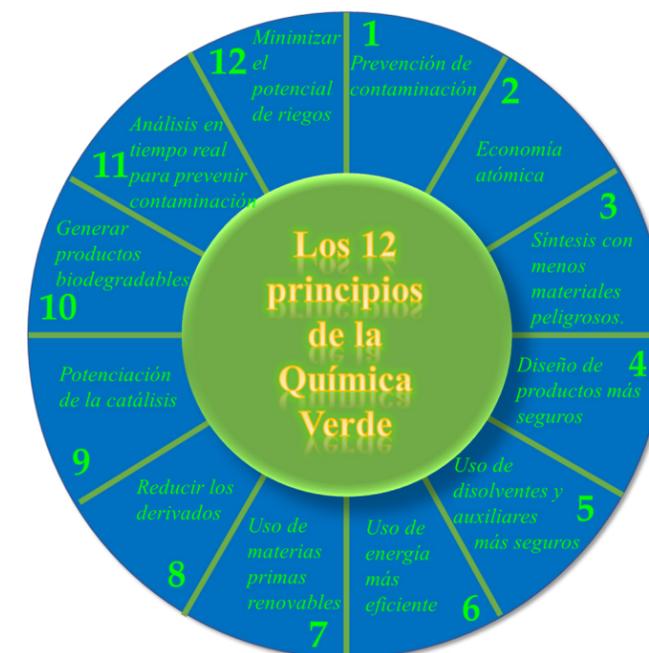


Figura 1. Los doce principios básicos de la Química verde.

Ambiente y el Desarrollo (conocida como La Declaración de Río) (ONU, 1992), que se compone de veintisiete principios que tienen como objetivo establecer una alianza entre los países participantes para lograr acuerdos internacionales entre los cuales destacan: el respeto a los intereses de las naciones para impulsar el desarrollo sostenible, el derecho de los seres humanos a una vida saludable y en armonía con la naturaleza y la responsabilidad de cada nación sobre el aprovechamiento de sus recursos naturales, así como velar por la protección a la integridad del sistema ambiental reconociendo la naturaleza integral e interdependiente de la Tierra, nuestro hogar (ONU, 1992). Esto derivó en una serie de normativas y leyes que adoptó cada país con la intención regular la emisión de contaminantes por diferentes industrias, con el objetivo de reducir el impacto ambiental que ha representado la contaminación, sin embargo, a pesar de estos esfuerzos y por estar en constantes cambios, no se ha hecho suficiente.

La investigación en síntesis verde se encuentra en búsqueda constante de nuevas metodologías y estrategias que ofrezcan un amplio potencial de investigación a través de desafíos creativos para la obtención de productos y el diseño de procesos que cumplan con los principios de la química verde. La síntesis de compuestos libres o con mínima contaminación, en ocasiones será complicado, pero bien valdrá la pena el reto y las oportunidades, ya que se podrán optimizar al máximo los recursos y las materias primas, y al mismo tiempo, apoyar a la química ambiental con soluciones a los problemas ambientales existentes.

## 5. QUÉ SE HA INVESTIGADO HASTA AHORA.

Debido al actual reconocimiento de la química verde, los estudios aún se encuentran en etapa de desarrollo, por lo que se han documentado aplicaciones de la síntesis verde (Doria-Serrano, 2009). Sin embargo, destacan los estudios que se han enfocado en los beneficios de la síntesis de compuestos en escalas muy pequeñas, es decir, el trabajo en conjunto de la síntesis verde y la nanotecnología. Esta investigación interdisciplinaria dio como resultado la aparición de metodologías cuyo principal objetivo es la obtención de nanomateriales a partir de la síntesis verde de extractos vegetales y que reciben el nombre de nanocompuestos (10 a 100 nm) pueden interactuar con otros compuestos donde una macromolécula habitualmente no llegaría por su tamaño y cumplir con una función determinada.

Los metabolitos secundarios más reportados en las plantas arvenses han sido los compuestos fenólicos y polifenólicos por ser los grupos más abundantes, como alcaloides, taninos, saponinas y glucósidos cianogénicos. Todos ellos tienen diversas funciones en las plantas, como la protección y defensa (Jaramillo-Jaramillo *et al.*, 2016). El aprovechamiento de estos compuestos se debe a su actividad reductora frente a algunos metales, principalmente, por los compuestos fenólicos presentes y sus grupos funcionales. Castañeda-Castañeda *et al.* (2008) han documentado que las células de las plantas tienden a inhibir reacciones de oxidación o reacciones entre los radicales, conocida como capacidad antioxidante, que debido a estas propiedades (reductoras en los extractos vegetales) son una excelente alternativa para la síntesis de nanocompuestos o nanopartículas vía síntesis verde.

## 6. POTENCIALES APLICACIONES DE LA SÍNTESIS VERDE.

En la actualidad, la síntesis verde se encuentra más orientada a la síntesis de nanomateriales, en particular a las nanopartículas. A continuación, se discuten algunas investigaciones acerca de la síntesis verde, nanomateriales y plantas arvenses.

### 6.1 SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS A PARTIR DE EXTRACTOS VEGETALES PARA NUEVOS TRATAMIENTOS EN MEDICINA MODERNA.

El estudio de las nanopartículas enfocadas al combate de algunas enfermedades se ha incrementado en los últimos años, esto ha dado origen a un área que se conoce como nanomedicina. Esta área se enfoca, principalmente, en el desarrollo de nanocompuestos con un potencial uso en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Como

se sabe, las bacterias resistentes a antibióticos son por el uso indiscriminado de estas sustancias y se ha convertido en un verdadero desafío. En la búsqueda de tratamientos viables y efectivos, Hussein *et al.* (2019) propusieron el uso de agentes antimicrobianos alternativos en sinergia con un antibiótico de patente como tratamiento a la resistencia bacteriana. Encontraron que el uso de los extractos acuosos de seis plantas: *Salvadora persica*, *Allium sativum*, *Allium cepa*, *Zingiber officinale*, *Mentha spicata* y *Ziziphus spina-christi* reduce efectivamente los iones metálicos de nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub>) a través de la síntesis verde y se obtienen como resultado nanopartículas de plata (NP<sub>Ag</sub>), mismas que fueron caracterizadas a través de espectrofotometría UV-Vis, microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FE-SEM), difracción de rayos X (XRD), espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDX) y espectroscopia de infrarrojos (FTIR) para asegurar la presencia de las NP<sub>Ag</sub>. Se evaluaron los efectos individuales y combinados de las NP<sub>Ag</sub> con el antibiótico tetraciclina contra dos especies bacterianas *S. aureus* y *K. pneumoniae*. A pesar de que no todos los extractos vegetales consiguieron la formación de NP<sub>Ag</sub>, el estudio determinó que las NP<sub>Ag</sub> (de los extractos que sí lograron sintetizar las nanopartículas) en combinación con la tetraciclina mostraron una alternativa útil en el tratamiento de infecciones bacterianas producidas por estas cepas, lo cual podría indicar que el antibiótico en combinación con las NP<sub>Ag</sub> es una posible alternativa en el tratamiento de infecciones producidas por *S. aureus* y *K. pneumoniae* resistentes a tetraciclina (Hussein *et al.*, 2019).

Por otra parte, Rodríguez-Pava *et al.* (2017) reportaron que los metabolitos secundarios obtenidos a través del extracto etanólico de *Sambucus nigra* (“sauco”), *Taraxacum officinale* (“diente de león”), y *Bauhinia sp.* (conocida como “pata de vaca”) poseen potencial actividad antimicrobiana frente a microorganismos patógenos de importancia clínica y que son resistentes a antibióticos. Donde *T. officinale* (diente de león) mostró mayor actividad antimicrobiana en comparación con las otras plantas y frente a microorganismos como *Streptococcus pneumoniae*, *Enterococcus faecium* (resistente a la vancomicina), *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* y *Candida albicans*. Se determinó que los metabolitos secundarios que posee, terpenos y quinonas, tienen una potencial aplicación en el tratamiento de microorganismos resistentes a antibióticos.

Un estudio relacionado con posibles tratamientos contra el cáncer, Vieira *et al.* (2017) reportaron que la síntesis verde de nanopartículas de selenio (NP<sub>Se</sub>) a partir de una solución de selenito de sodio (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>) y D-fructosa (un azúcar de origen vegetal) el cual se empleó como agente reductor, se obtuvieron NP<sub>Se</sub> mismas que fueron probadas en células cancerosas mediante estudios de citotoxicidad *in vitro*, donde los resultados mostraron que las NP<sub>Se</sub> inducen a la muerte pronunciada de células cancerosas

y aunque no mostraron ser efectivas para evitar la proliferación de estas células, si se determinó que las NP<sub>Se</sub> pueden ser buenas candidatas para la síntesis de un nuevo fármaco en el tratamiento de cáncer cervicouterino.

### 6.2 LA REMEDIACIÓN Y SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS EN LA DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA DE AZUL DE METILENO E IBUPROFENO.

El uso de agua potable ha sido una demanda constante para la humanidad. En el tratamiento de agua residuales, uno de los principales problemas es la presencia de compuestos de naturaleza recalcitrante como el fármaco ibuprofeno y su nula degradación en plantas tratadoras. Los procesos oxidativos han sido estudiados como alternativas para solucionar este problema, principalmente por su baja selectividad de moléculas y su alto poder de mineralización. La oxidación fotocatalítica heterogénea es un método eficiente y limpio para la remediación de aguas residuales. Da Silva *et al.* (2020) demostraron que las nanopartículas de cinc (NP<sub>Zn</sub>) obtenidas a partir del método de la proteína sol-gel (que es una vía de síntesis verde que consiste en sintetizar polvos nanométricos a temperaturas bajas) mostraron actividad de degradación fotocatalítica en presencia de soluciones con el colorante azul de metileno y el fármaco ibuprofeno. Los resultados mostraron una degradación del 97% del colorante y del 60% del fármaco ibuprofeno después de una hora de incidencia de luz. Las nanopartículas obtenidas a partir de un método de síntesis verde han mostrado buenos niveles de degradación de moléculas que difícilmente pueden ser removidas en las plantas tratadoras de agua, como lo son los colorantes o el fármaco ibuprofeno.

### 6.3 SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA CONTRA HONGOS FITOPATÓGENOS.

En la agricultura, una de las principales preocupaciones son las enfermedades en las plantas ocasionadas principalmente por hongos, bacterias y virus, mismas representan una merma en la producción de cultivos, afectando a un cultivo entre el 40 y 60%. Almadiy y Nenaah (2018) demostraron que el uso de los metabolitos secundarios presentes en el extracto acuoso de la planta de papa (*Solanum tuberosum*) para la síntesis verde de NP<sub>Ag</sub> y el uso de alcaloides de la planta como agente reductor, inhiben el crecimiento micelial de hongos fitopatógenos como *Alternaria alternate*, *Rhizctonia solani*, *Botrytis cinerea* y *Fusarium oxysporum* con mínimas concentraciones de NP<sub>Ag</sub>. El estudio reportó que el uso de los metabolitos secundarios que provienen de *S. tuberosum* y sus nanopartículas pueden ser una alternativa ecológica y no tóxica al uso de fungicidas sintéticos convencionales que ocasionan severos problemas en la erosión, biota, o en la fertilidad de los suelos.

## 7. CONCLUSIONES.

La química verde a través de la síntesis verde ofrece

un vasto campo de investigación que requiere ser desarrollado con la intención de modificar los procesos de producción ya existentes, y de esta forma, prevenir y reducir la contaminación a través de procesos amigables con el ambiente. También, diseñar nuevas estrategias que reduzcan el impacto ambiental con retribución económica en un futuro. A pesar de no ser un campo altamente desarrollado en la Química como en otras subdisciplinas, se requiere más investigación en esta área, para fortalecer el conocimiento sobre el verdadero potencial de las plantas arvenses (también inadecuadamente llamadas “malezas”) como un atractivo campo de investigación y aplicación en la Biotecnología y que puede ser la respuesta a otras áreas de la ciencia como lo es en la Medicina, donde hoy en día, se tiene mejor conciencia de la importancia de la salud.

### AGRADECIMIENTOS.

Al Instituto Politécnico Nacional (Proyectos SIP: 20202274, 20211596, 20211576 y 20211511).

## REFERENCIAS.

- Almadiy A A, Nenaah G E (2018) Ecofriendly synthesis of silver nanoparticles using potato steroidal alkaloids and their activity against phytopathogenic fungi. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 61: e18180013 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2018180013>.
- Altieri M A (1999) The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 74: 19-31.
- Anaya A L (2007) Allelopathy as a Tool in the Management of Biotic Resources in Agroecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences.* 18(6): 697 – 739. <http://dx.doi.org/10.1080/07352689991309450>.
- Castañeda-Castañeda B, Ramos-Llica E, Ibañez-Vásquez L (2008) Evaluación de la capacidad antioxidante de siete plantas medicinales peruanas. *Horizonte Médico.* 8(1): 31-37.
- Da Silva E C, De Moraes O S, Brito R E, Passos R R, Brambilla R F, Da Costa L P, Pocrifka L A (2020) Synthesis of ZnO nanoparticles by the Sol-Gel Protein route: A viable and efficient method for photocatalytic degradation of methylene blue and ibuprofen. *J. Braz. Chem. Soc.* 31(8): 1648-1653.
- Hussein E A M, Mohammad A A-H, Harraz F A, Ahsan M F (2019) Biologically synthesized silver nanoparticles for enhancing tetracycline activity against *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae*. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 62(3): 49-58.
- Ivanković A, Dronjić A, Martinović A, Talić S (2017) Review of 12 principles of green chemistry in practice. *International Journal of Sustainable and Green Energy.* 39-48.
- Jaramillo-Jaramillo C, Jaramillo-Espinoza A, D'Armas H, Troccoli L, Rojas-Astudillo L (2016) Concentraciones de alcaloides, glucósidos cianogénicos, polifenoles y saponinas en plantas medicinales seleccionadas en Ecuador y su relación con la toxicidad aguda contra *Artemia salina*. *Rev. Biol. Trop.* 64 (3): 1171-1184.
- ONU (1992) Declaración del Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Desarrollo Sostenible. Consultado en línea (13 de abril de 2021): <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>.
- Rodríguez-Pava C N, Zarate-Sanabria A G, Sánchez-Leal, L C (2017) Actividad antimicrobiana de cuatro variedades de plantas frente a patógenos de importancia clínica en Colombia. *Nova.* 15(27): 119-129.
- Vieira A P, Stein E M, Andregueti D X, Cebrián-Torrejón G, Doménech-Carbó A, Colepicolo P, Ferreira A M D C (2017) “Sweet Chemistry”: a green way for obtaining selenium nanoparticles active against cancer cells. *J. Braz. Chem. Soc.* 28(10): 2021-2027.
- Doria-Serrano M del C (2009) Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Educación Química.* 20(4): 412-420.

# BISFENOL A: UN PROBLEMA DE CARÁCTER MUNDIAL Y EL USO DE HONGOS COMO ESTRATEGIA PARA SU BIORREMEDIACIÓN

<sup>a</sup>Torres-García J.L., <sup>b</sup>Ahuactizin-Pérez M., <sup>a</sup>Fernández F.J., <sup>c</sup>Diana V. Cortés-Espinosa

<sup>a</sup>Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, Vicentina, C.P. 09340, México, D.F., México.

<sup>b</sup>Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Autopista Tlaxcala-San Martín Km 10.5, C.P. 90120, San Felipe Ixtacuixtla, Tlaxcala, México.

<sup>c</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Carretera Estatal San Inés Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, C.P. 90700. Tepetitla de Lardizabal, Tlaxcala, México. \*dcortes@ipn.mx

## RESUMEN

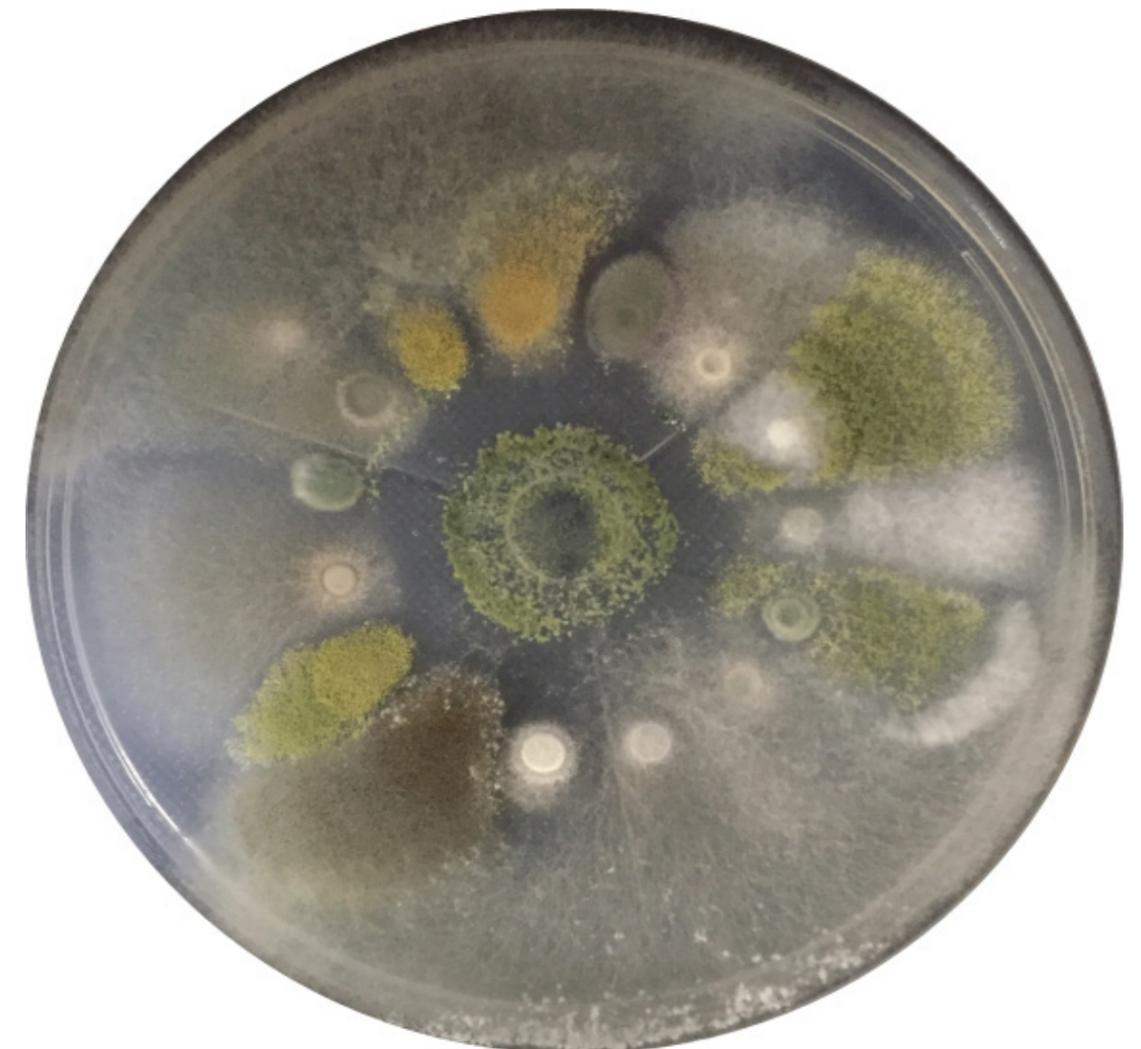
El bisfenol A es un compuesto químico, catalogado como xenobiótico, presente en una amplia variedad de productos de uso diario, por lo que al liberarse puede incorporarse fácilmente a las cadenas tróficas a través de la biomagnificación. Actúa como disruptor endócrino, afectando el sistema fisiológico de humanos y otras especies. Los hongos cuentan con una maquinaria enzimática que permite degradar BFA, por lo que se han estudiado como una alternativa en procesos de biorremediación. En la actualidad, la biotecnología ambiental trabaja en la búsqueda de procesos de biorremediación más eficientes y efectivos, siendo los consorcios fúngicos una alternativa interesante debido a que son capaces de degradar y mineralizar de forma sinérgica este compuesto. Este artículo resume de manera general los avances que hay sobre los riesgos tóxicos del BFA, como se distribuye en el ambiente y los procesos de biorremediación utilizando hongos.

**PALABRAS CLAVE:** Bisfenol A (BFA), biomagnificación, biorremediación, consorcios fúngicos, xenobióticos.

## ABSTRACT

Bisphenol A (BPA) is a chemical compound, cataloged as xenobiotic, present in a wide variety of products for daily use, so when released it can easily be incorporated into food chains through biomagnification. It acts as an endocrine disruptor, affecting the physiological system of humans and other species. Fungi have an enzymatic machinery that allows them to degrade BPA, which is why they have been studied as an alternative in bioremediation processes. Currently, environmental biotechnology works in the search for more efficient and effective bioremediation processes, with fungal consortia being an interesting alternative because they are able to synergistically degrade and mineralize this compound. This article summarizes in a general way the advances that exist on the toxic risks of BPA, as it is distributed in the environment and the bioremediation processes using fungi.

**KEY WORDS:** Bisphenol A (BPA), biomagnification, bioremediation, fungal consortia, xenobiotics.



## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el constante incremento poblacional requiere de una amplia gama de productos de uso cotidiano para cubrir nuestras necesidades tales como la alimentación, higiene, transporte, entretenimiento y salud. El desarrollo de productos envasados o manufacturados con una diversidad de sustancias químicas, han sido parte de las estrategias para facilitar y satisfacer dichas necesidades de la población, actividades que ha incrementado la liberación y acumulación de compuestos altamente xenobióticos y recalcitrantes al medio ambiente, generando problemas de contaminación y daño a la salud. Dentro de estos compuestos encontramos al bisfenol A (BFA) (Fig. 1), compuesto actualmente catalogado como altamente tóxico. El BFA es utilizado en la producción de envases de agua y latas destinadas a la conserva de alimentos, equipos electrodomésticos, autopartes, juguetes, biberones, compact disc (CD) y digital video discs (DVDs), bolsas de transfusión sanguínea y material de cirugía médica y odontológica, envases de champú, lociones y perfumes, por mencionar algunos productos de uso diario, donde se han reportado concentraciones que oscilan entre 2.6 y 730 ng/g de material (Noonan et al. 2011).

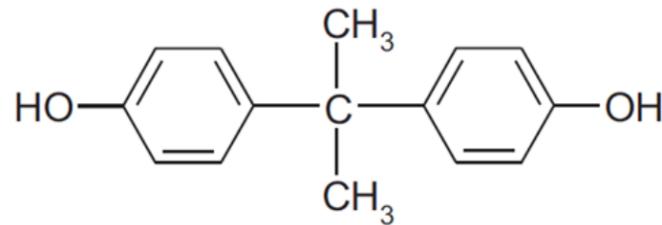


Figura 1. Estructura química del bisfenol A.

Por lo que el humano se encuentra constantemente en riesgo por exposición a través de la ingesta, vía dérmica o inhalatoria. Existen diversos estudios que reportan los efectos tóxicos del BFA en diferentes modelos de estudios, como animales de laboratorio, líneas celulares, animales silvestres, especies vegetales y particularmente, los efectos ocasionados por la presencia de altas concentraciones en sangre, orina y fluidos biológicos en humanos. A pesar estos estudios, en México no se cuenta con una norma que regula el uso y liberación de este compuesto al ambiente.

Por lo anterior, el BFA se ha vuelto un problema de salud pública que debe ser analizado de forma integral, incluyendo los avances científicos más importantes en los últimos 10 años, sobre liberación, migración y biomagnificación, así como, los principales efectos tóxicos en diferentes organismos incluido el humano y las nuevas estrategias biotecnológicas para restaurar los ambientes contaminados, haciendo referencia al uso de consorcios microbianos, donde toman relevancia los hongos por sus capacidades metabólicas.

## 2. LAS PLANTAS ARVENSES Y SU POTENCIAL IMPORTANCIA.

Existen dos formas en las que el BFA puede liberarse y migrar al ambiente, a partir de las fuentes pre-consumo, aquellas industrias donde es el BFA es utilizado como materia prima para la generación de nuevos productos (enlatados, botellas, bolsas etc.), y las fuentes post-consumo, sitios donde los empaques, envases, envolturas o botellas son depositados (basureros, rellenos sanitarios) o del proceso de reciclado de papel y plástico y que, por la exposición prolongada a altas temperaturas o cambios en la acidez o alcalinidad del suelo y agua, induce su liberación. Se ha reportado la presencia de BFA en muestras de agua subterránea, lagos, mares y principalmente en ríos en concentraciones que oscila de 1 a 30  $\mu\text{g/L}$  (Cruz-López et al. 2020). Por otra parte, se ha reportado la presencia de BFA en muestras de sedimentos de ríos o estuarios, así como en suelos destinados al cultivo agrícola en un rango de 0.1 a 198  $\mu\text{g/g}$  de suelo o sedimento seco (Sun et al. 2017). Una vez liberado, puede migrar de una matriz ambiental a otra por procesos como la lixiviación, adsorción y absorción, iniciando de esta manera el proceso de concentración en diferentes matrices ambientales y la bioacumulación en diferentes seres vivos como plantas y animales (Fig. 2) (Cortés-Arriagada 2021). Una vez que el BFA ingresa a los tejidos de organismos productores, estos organismos sirven como alimento de consumidores primarios y secundarios y así, hasta llegar al humano, favoreciendo su biomagnificación (transporte de una molécula de un organismo a otro, a través de las cadenas tróficas). Sin embargo, la concentración de BFA se va bioacumulando e incrementando la concentración en cada organismo a lo largo de la cadena trófica, por lo que el humano puede consumir una concentración mayor a la concentración que una especie productora absorbió en sus tejidos (Fig. 2) (Ben et al. 2018). Ubicado dentro de los tejidos de algún organismo, el BFA tiene dos destinos: 1) ser bioconvertido en una molécula menos tóxica (BFA-glucorónico) y lograr ser excretado o 2) ser bioacumulado en tejidos que participan en funciones fisiológicas de regulación, metabolismo y crecimiento, ocasionando una amplia variedad de patologías y efectos tóxicos (Kapustka and Ziegmann 2020).



Figura 2. Proceso de liberación y distribución del BFA en las redes tróficas.

## 2.2. TOXICIDAD Y ECOTOXICIDAD

El BFA ha sido considerado como uno de los principales xenoestrógeno por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) y diversas instancias internacionales, encargadas de la protección y cuidado del ambiente. En humanos ha sido considerado como carcinogénico, mutagénico, obesogénico, teratogénico y como disruptor endócrino (DE); es responsable de diversas enfermedades metabólicas, neurológicas y cardiovasculares (Rebolledo-Solleiro et al. 2021; Wu et al. 2021). En ratas y ratones afecta en el desarrollo embrionario y reproductivo (Alabi et al. 2021; Baralić et al. 2020). En animales silvestres afecta a nivel celular produciendo especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés) e inhibe la producción de enzimas responsables de la desintoxicación (Alabi et al. 2021; Naveira et al. 2021). En plantas se ha reportado el efecto negativo del BFA en el desarrollo radicular y la obtención de nutrientes, además de inducir la producción de ROS y lipoperoxidación, provocando daños en su ADN (Park et al. 2019; Tang y Hou 2021). Hasta la fecha, se conoce poco sobre los mecanismos de bioabsorción, bioconcentración y biotransformación del BFA en plantas de interés agrícola y silvestres, así como en plantas acuáticas. En la Tabla 1 se muestran los estudios más recientes sobre los efectos tóxicos en diferentes modelos de estudio como ratones, cultivos celulares, plantas y muy poco se sabe de los efectos en humanos, ya que el BFA forma parte de la lista de compuestos emergentes y que en los últimos años ha tomado relevancia su estudio.

Tabla 1. Toxicidad y ecotoxicidad del BFA en diferentes modelos de estudio.

estudio	estudio	estudio
Humanos	4 a 50 $\mu\text{g/kg}$ de peso por día	Asociado con el cáncer de próstata y mama, déficits neuroconductuales, enfermedades neurodegenerativas, Rebolledo-cardíacas, obesidad y diabetes tipo II. Además, puede actuar como agente de metilación en el ADN y causa una expresión génica alterada en el cerebro. (Kapustka et al. 2020; Rebolledo-Solleiro et al. 2021)
Células de placenta humana	25 – 100 $\mu\text{M}$	Activación del receptor P2X7 y condensación de la cromatina. Activación de las caspasa-1, caspasa-9 y caspasa-3, proteínas involucradas con la apoptosis (muerte celular). (Fouyet et al. 2021)
Ratones albinos machos (Mus musculus; 10-13 semanas de edad)	1 a 5 mg/kg de peso corporal	Presencia de anomalías espermáticas, así como, un aumento en las concentraciones de urea, creatinina y alanina aminotransferasa (ALT) y aspartato aminotransferasa (AST). (Alabi et al. 2021)
Diferentes especies de peces	0.1 a 1000 $\mu\text{L/kg}$ de peso	Disfunción del sistema endocrino, disminución de la calidad espermática y desarrollo de ovarios, producción de ROS, lipoperoxidación, daño genético y anomalías cromosómicas. (Liu et al. 2021; Naveira et al. 2021)
Diferentes plantas de interés agrícola y especies acuáticas	1.5 a 30 mg/L de BFA	Disminución del porcentaje de germinación, y desarrollo radicular, incremento en la producción de enzimas catalasas, superóxido dismutasa y glutatión transferasa. Producción de ROS, lipoperoxidación (Esperanza et al. 2020; Park et al. 2019; Tang y Hou 2021)

## 3. LOS HONGOS AL RESCATE DEL PLANETA

Afortunadamente, la naturaleza cuenta con una amplia variedad de microorganismos como los hongos, que se han adaptado a lo largo de un proceso evolutivo a condiciones

ambientales que ni plantas y animales podrían soportar. Una de estas condiciones de estrés en el ambiente es la presencia de compuestos tóxicos recalcitrantes, como son los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA), pesticidas, colorantes industriales y, actualmente los plastificantes o monómeros de plásticos como el BFA. Los hongos filamentosos y levaduriformes han sido poco estudiados en procesos de biorremediación de sitios contaminados con BFA (Carstens et al. 2020). Dentro del grupo de los hongos filamentosos se encuentran los hongos ligninolíticos o no ligninolíticos, los cuales son una alternativa viable y eficiente en la degradación de BFA, gracias a que cuentan con un sistema enzimático poco específico, rápido crecimiento y fácil adaptación a condiciones extremas (Carstens et al. 2020). El uso de levaduras, en procesos de biorremediación ha sido mucho más limitado. Sin embargo, existen reportes que muestran su eficiencia en la transformación de compuestos análogos al BFA, con altas tasas y porcentajes de degradación (Rajendran et al. 2017).

### 3.1. BIODEGRADACIÓN DE BFA POR HONGOS LIGNINOLÍTICOS, NO-LIGNINOLÍTICOS Y LEVADURIFORMES

Los hongos ligninolíticos más empleados en estudios de biodegradación de BFA han sido los hongos del género *Pleurotus*, *Phanerochaete* y *Trametes*, por ser excelentes productores de enzimas fenoloxidasas, como las lacasas y peroxidasas; como la manganeso péroxidasa (MnP) y la lignina peroxidasa (LiP), enzimas que han tenido un importante papel en la degradación de BFA (García-Morales et al. 2015). Actualmente, se conocen diferentes técnicas biotecnológicas aplicadas en la descontaminación de cuerpos de agua contaminados por BFA, de las cuales se mencionan algunas características a continuación. En la inmovilización de enzimas ligninolíticas (lacasas, tirosinasas y MnP), donde se han empleado diferentes polímeros como el poliacrilonitrilo, poliacrilamida, carboximetilcelulosa, pectina y gelatina, han permitido porcentajes de degradación superiores al 85%, en un rango de las concentraciones de 10-228.9 mg BPA/L (Gassara et al. 2013; Hou et al. 2014). En el uso de enzimas microencapsuladas, como biofiltros para la degradación de un rango de concentraciones que oscilan desde 2 a 34,290 mg/L, obteniendo porcentajes de degradación superiores al 90% de la concentración inicial en agua (Kresinová et al. 2018). Por otra parte, los hongos no ligninolíticos más empleados en procesos de degradación de BFA han sido los del género *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Trichoderma*, gracias a su rápido crecimiento, adaptabilidad a un amplio rango de pH y temperatura, facilidad de quelar iones metálicos y su capacidad de utilizar una amplia variedad de fuentes de carbono y energía en sus vías del metabolismo central. Se ha reportado la degradación de 200 mg/L de BFA por los hongos *Aspergillus terreus* y *Aspergillus flavus*, logrando degradar entre el 40 y 50 % de la concentración inicial, respectivamente (Fouda and Khalil 2015).

Respecto al uso de hongos levaduriformes, existe poca o nula información donde se utilicen levaduras como modelo de estudio para la degradación de BFA. La mayoría de los reportes existentes, se centran en el uso de levaduras del género *Rhodotorula*, *Saccharomyces* y *Candida* como excelentes modelos de estudio para evaluar la toxicidad del BFA, sin estudiar la biodegradación (Bereketoglu et al. 2016; Fletcher et al. 2019; Rajendran et al. 2017).

### 3.2. USO DE CONSORCIO FÚNGICOS PARA LA DEGRADACIÓN DE BFA

A pesar de los diversos estudios de degradación de BFA empleando hongos ligninolíticos y no ligninolíticos, la mayoría reporta la transformación del BFA en intermediarios, sin reportar que se alcance la mineralización total del compuesto a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Ahuactzin-Pérez et al. 2018; Zielinska et al. 2019). Por lo que el uso de consorcios fúngicos es una eficiente herramienta biotecnológica en la degradación y mineralización de BFA, ya que los microorganismos del consorcio son seleccionados cuidadosamente con la finalidad de que cada miembro del consorcio participe de forma sinérgica para lograr la mineralización a través de interacciones como el comensalismo, mutualismo y competencia (Sharma y Shukla 2020).

En nuestro grupo de investigación hemos establecido una metodología para la construcción de consorcios microbianos eficientes para su aplicación en procesos de biorremediación de sitios contaminados con diferentes compuestos xenobióticos, los cuales pueden ser fúngicos, bacterianos o mixtos dependiendo del tipo de contaminante (PAHs, plaguicidas, BPA, diésel, etc.) (Zafra et al. 2014, Zafra et al. 2016), actualmente, nos encontramos desarrollando investigaciones donde se evalúa la degradación de BFA empleando consorcios fúngicos, bacterianos y mixtos. La construcción de consorcios, conlleva una serie de pasos: 1) aislamiento, 2) preselección, 3) pruebas de tolerancia y por último 4) actividad antagónica (Fig. 3). El aislamiento de los microorganismos se realiza a partir de muestras tomadas de ambientes altamente contaminados, los microorganismos aislados son seleccionados con base en su capacidad de tolerar y degradar altas concentraciones del compuesto tóxico en cultivo superficial y en cultivo sólido respectivamente. Posteriormente, se realizan pruebas antagónicas con la finalidad de analizar que los microorganismos no se inhiban entre ellos sino por el contrario trabajen de forma sinérgica. Finalmente, los microorganismos que conforman el consorcio son identificados molecularmente y se realizan estudios a nivel molecular para hacer el seguimiento del consorcio durante el proceso de biorremediación y establecer las enzimas o rutas metabólicas que siguen los microorganismos para degradar a los contaminantes (Fig. 3) (Zafra et al. 2017, 2016, 2014).

## 4. CONCLUSIÓN

El uso indiscriminado de productos que facilitan la vida diaria, conlleva a una serie de repercusiones no sólo en la salud humana, sino, de igual forma, en la homeostasis de los ecosistemas. Ya que al ser el BFA un compuesto cosmopolita, afecta a una amplia diversidad de organismos, como plantas, animales domésticos y silvestres incluyendo al ser humano. La presencia de enfermedades como la diabetes, obesidad, enfermedades neurodegenerativas y conductuales, así como, las afecciones en el sistema

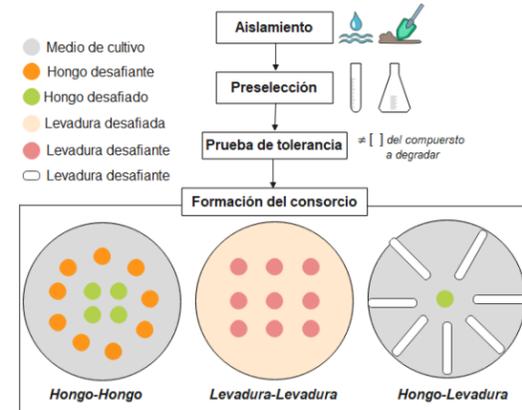


Figura 3. Esquema para la formación de consorcios fúngicos: hongo-hongo, levadura-levadura y hongo-levadura.

reproductivo de diferentes organismos, se encuentra estrechamente ligada a la presencia de BFA en diferentes matrices ambientales y alimentos. Existen microorganismos como los hongos filamentosos, quienes pueden ayudar a disminuir la presencia de este compuesto en el ambiente. Sin embargo, se requiere de la aplicación de nuevas estrategias de biorremediación como es la formación de consorcios fúngicos, construidos por hongos autóctonos, por lo que no se vería afectado el equilibrio ecológico de los ecosistemas. Además, de la exploración y aplicación de bioprocesos encaminados a la descontaminación de plantas de tratamiento de aguas residuales de industrias que utilizan al BFA durante el proceso de manufactura de sus productos, o bien, en empresas donde la liberación del BFA es consecuencia de sus procesos industriales, porque es bien sabido, que la mayor concentración de BFA se encuentra en aguas residuales de este tipo de industrias, y que es donde inicia el proceso de biomagnificación de este compuesto.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo brindado a través del proyecto SIP20212153, a la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada No. 489259.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Ahuactzin-Pérez M, Tlecuil-Beristain S, García-Dávila J, Santacruz-Juárez E, González-Pérez M, Gutiérrez-Ruiz MC, Sánchez C (2018) Mineralization of high concentrations of the endocrine disruptor dibutyl phthalate by *Fusarium culmorum*. 3 Biotech. 8(1): 42.
- Alabi OA, Ologbonjaye KI, Sorungbe AA, Shokunbi OS., Omotunwase OI, Lawanson G, Ayodele OG (2021) Bisphenol A-induced alterations in different stages of spermatogenesis and systemic toxicity in albino mice (*Mus musculus*). J. Heal. Pollut. 11: 1-12.
- Baralić K, Djordjevic AB, Živančević K, Antonijević E, Anđelković M, Jovarić D, Curčić M, Bulat Z, Antonijević B, Dukić-Cosić D (2020) Toxic effects of the mixture of phthalates and bisphenol a-subacute oral toxicity study in wistar rats. Int. J. Environ. Res. Public. Health. 17(3): 746.
- Ben S, Ben R, Le Boulanger C, Ben H (2018) Effect of bisphenol a on the extremophilic microalgal strain *Picocystis* sp. (Chlorophyta) and its high BPA removal ability. Ecotoxicol. Environ. Saf. 158: 1-8.
- Bereketoglu C, Arga KY, Eraslan S, Mertoglu B (2016) Analysis of transcriptional profiles of *Saccharomyces cerevisiae* exposed to bisphenol a. Curr. Genet. 63(2): 253-274.
- Carstens L, Cowan AR, Seiwert B, Schlosser D (2020) Biotransformation of phthalate plasticizers and bisphenol a by marine-derived, freshwater, and terrestrial fungi. Front. Microbiol. 11: 1-21.
- Cortés-Arriagada D (2021) Elucidating the co-transport of bisphenol a with polyethylene terephthalate (PET) nanoplastics: A theoretical study of the adsorption mechanism. Environ. Pollut. 270: 116192.
- Cruz-López A, Dávila-Pórcel RA, de León-Gómez H, Rodríguez-Martínez JM, Suárez-Vázquez SI, Cardona-Benavides A, Castro-Larragoitia GJ, Borelli L, de Lourdes Villalba M, Pinales-Munguía A, Silva-Hidalgo H, de la Garza R, del Socorro Espino-Valdes M (2020) Exploratory study on the presence of bisphenol a and bis(2-ethylhexyl) phthalate in the Santa Catarina River in Monterrey, N.L., Mexico. Environ. Monit. Assess. 192: 488.
- Esperanza M, Seoane M, Servia MJ, Cid Á (2020) Effects of bisphenol a on the microalga *Chlamydomonas reinhardtii* and the clam *Corbicula fluminea*. Ecotoxicol. Environ. Saf. 197: 110609.
- Fletcher E, Gao K, Mercurio K, Ali M, Baetz K (2019) Yeast chemogenomic screen identifies distinct metabolic pathways required to tolerate exposure to phenolic fermentation inhibitors ferulic acid, 4-hydroxybenzoic acid and coniferyl aldehyde. Metab. Eng. 52: 98-109.
- Fouda A, Khalil AMA (2015) Biodegradation and detoxification of bisphenol a by filamentous fungi screened from nature. 2: 123-132.
- Fouyet S, Olivier E, Leproux P, Dutot M (2021) Bisphenol a, bisphenol f, and bisphenol s: the bad and the ugly. Where Is the Good? 11: 314.
- García-Morales R, Rodríguez-Delgado M, Gómez-Mariscal K, Orón-Navar C, Hernández-Luna C, Torres E, Parra R, Cárdenas-Chávez D, Mahlknecht J, Ornelas-Soto N (2015) Biotransformation of endocrine-disrupting compounds in ground water: bisphenol a, nonylphenol, ethynylestradiol and triclosan by a laccase cocktail from *Pycnoporus sanguineus* CS43. Water Air Soil Pollut. 226: 1-14.
- Gassara F, Brar SK, Verma M, Tyagi RD (2013) Bisphenol a degradation in water by ligninolytic enzymes. Chemosphere. 92(10): 1356-1360.
- Hou J, Dong G, Ye Y, Chen V (2014) Enzymatic degradation of bisphenol-a with immobilized laccase on TiO<sub>2</sub> sol-gel coated PVDF membrane. J. Memb. Sci. 469: 19-30.
- Kapustka K, Ziegmann G (2020) Identification of health risks from harmful chemical agents-review concerning bisphenol a in workplace. 26: 45-49.
- Kapustka K, Ziegmann G, Klimecka-Tatar D, Ostrega M (2020) Identification of health risks from harmful chemical agents - review concerning bisphenol a in workplace. Prod. Eng. Arch. 26: 45-49.
- Kresinová Z, Linhartová L, Filipová A, Ezechiáš M, Mašín P, Cajthaml T

(2018) Biodegradation of endocrine disruptors in urban wastewater using *Pleurotus ostreatus* bioreactor. N. Biotechnol. 43: 53-61.

Liu J, Zhang L, Lu G, Jiang R, Yan Z, Li Y (2021) Occurrence, toxicity and ecological risk of Bisphenol A analogues in aquatic environment - a review. Ecotoxicol. Environ. Saf. 208: 111481.

Naveira C, Rodrigues N, Santos FS, Santos LN, Neves RAF (2021) Acute toxicity of bisphenol a (BPA) to tropical marine and estuarine species from different trophic groups. Environ. Pollut. 268 Part B: 115911.

Noonan GO, Ackerman LK, Begley TH (2011). Concentration of bisphenol A in highly consumed canned foods on the U.S. Market. J. Agric. Food Chem. 59: 7178-7185.

Park JH, Yoo HH, Hwang S (2019) The mechanism of root growth inhibition by the endocrine disruptor bisphenol a (BPA). Environ. Pollut. 257:113516.

Rajendran RK, Huang SL, Lin CC, Kirschner R (2017) Biodegradation of the endocrine disrupter 4-tert-octylphenol by the yeast strain *Candida rugopelliculosa* RRKY5 via phenolic ring hydroxylation and alkyl chain oxidation pathways. Bioresour. Technol. 226: 55-64.

Rebolledo-Solleiro D, Castillo-Flores LY, Solleiro-Villavicencio H (2021) Impact of BPA on behavior, neurodevelopment and neurodegeneration. Front. Biosci. (Landmark Ed. 26: 363-400.

Sharma B, Shukla P (2020) Designing synthetic microbial communities for effectual bioremediation: a review. Biocatal. Biotransformation. 38: 405-414.

Sun Q, Wang Y, Li Y, Ashfaq M, Dai L, Xie X, Yu C (2017) Fate and mass balance of bisphenol analogues in wastewater treatment plants in Xiamen City, China. Environ. Pollut. 225: 542-549.

Tang SF, Hou X (2021) Probing the toxic interactions between bisphenol a and glutathione S-transferase Phi8 from *Arabidopsis thaliana*. Ecotoxicol. Environ. Saf. 213: 112029.

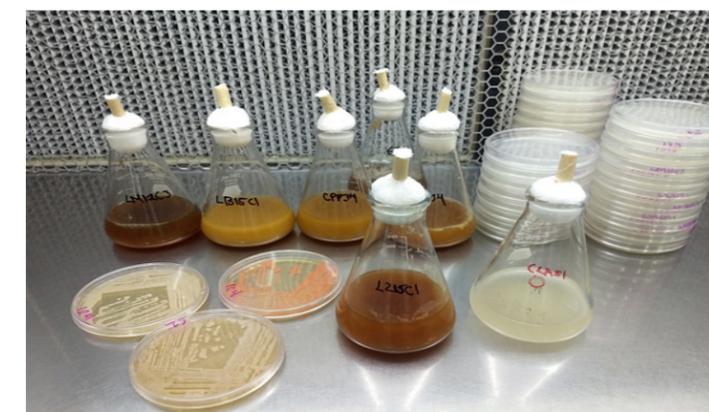
Wu M, Wang S, Weng Q, Chen H, Shen J, Li Z, Wu Y, Zhao Y, Li M, Wu Y, Yang S, Zhang Q, Shen H (2021) Prenatal and postnatal exposure to bisphenol a and asthma: a systemic review and meta-analysis. J. Thorac. Dis. 13: 1684-1696.

Zafra G, Absalón ÁE, Anducho-Reyes MÁ, Fernández FJ, Cortés-Espinosa DV (2017) Construction of PAH-degrading mixed microbial consortia by induced selection in soil. Chemosphere. 172: 120-126.

Zafra G, Absalón ÁE, Cuevas MDC, Cortés-Espinosa DV (2014) Isolation and selection of a highly tolerant microbial consortium with potential for PAH biodegradation from heavy crude oil-contaminated soils. Water. Air. Soil Pollut. 225 (2): 1826.

Zafra G, Taylor TD, Absalón AE, Cortés-Espinosa DV (2016) Comparative metagenomic analysis of PAH degradation in soil by a mixed microbial consortium. J. Hazard. Mater. 1-9.

Zielinska M, Wojnowska-Baryła I, Cydzik-Kwiatkowska A (2019) Bisphenol A removal from water and wastewater. Springer, Switzerland. 70-72 pp.



# RETROSPECTIVA DE UN EJEMPLO PRÁCTICO DE LOS BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS AGROECOLÓGICAS EN UNA COMUNIDAD RURAL DE MÉXICO

Myrna Solís-Oba<sup>1</sup>, Rosalía Vázquez Toriz<sup>2</sup>, Coral Rojas Serrano<sup>3</sup>, Rigoberto Castro Rivera<sup>1</sup>, Susana Rappo<sup>2</sup> y Gisela Aguilar Benítez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, myrobatlx@yahoo.com.mx, rigocastro4@hotmail.com. <sup>2</sup> Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Economía, Centro de Estudios del Desarrollo Económico y Social, rosaliavt@hotmail.com, susanarappo@hotmail.com. <sup>3</sup> Colegio de Posgraduados, campus Montecillo, carapacha11@hotmail.com.

<sup>4</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, gisela.aguilar@uaslp.mx.

\* Autor para correspondencia: myrobatlx@yahoo.com.mx

## RESUMEN

La agroecología es un enfoque integrado que aplica simultáneamente conceptos y principios ecológicos y sociales al diseño y la gestión de los sistemas alimentarios y agrícolas. El presente trabajo se llevó a cabo en la comunidad rural, San Simón Coatepec, Puebla, México de 2015 a 2017; donde se observó los cambios en un grupo de mujeres que recibieron capacitación para apropiarse de técnicas agroecológicas. Las mujeres prepararon fertilizantes orgánicos: composta, vermicomposta y digestato utilizando los residuos domésticos y comunitarios. Posteriormente, cada participante construyó un huerto de traspatio, para cultivar hortalizas y flores en camas bio-intensivas. Después de dos años se observó el proceso de empoderamiento de las mujeres, ahora son más independientes, con más confianza en sí mismas, además, al aplicar la técnicas agroecológicas y utilización de los residuos, están produciendo y comercializando sus propios vegetales. Las técnicas agroecológicas son una forma en que las mujeres rurales puedan empoderarse y obtener beneficios para el medio ambiente y para ellas mismas.

Palabras clave: Composta, vermicomposta, agroecología, huerto de traspatio.

## ABSTRACT

The agroecology is an integrated approach that simultaneously applies ecological and social concepts and principles to the design and management of food and agricultural systems. The present work was carried out in the rural community, San Simón Coatepec, Puebla, Mexico from 2015 to 2017; where changes were observed in a group of women who received training to appropriate some agroecological techniques. Women prepared organic fertilizers: compost, vermicompost and digestate using household and community waste. Subsequently, each participant built a backyard garden, to grow vegetables and flowers in bio-intensive beds. After two years the process of empowerment of women was observed, now they are more independent, with more confidence in themselves. In addition, by applying agroecological techniques and using waste, they are producing and marketing their own vegetables. Agroecological techniques are a way for rural women to empower themselves and gain benefits for the environment and for themselves.

Keywords: Compost, vermicompost, ago-ecology, backyard garden



## INTRODUCCIÓN

La agroecología es una forma de practicar la agricultura y utilizar técnicas que no dañan el medio ambiente (Lopes y Jomalini 2011). Según Leff (1994), la agroecología no es solo una disciplina científica para la producción orgánica, sino también una estrategia para el cambio social de las mujeres rurales. Las técnicas agroecológicas pueden impulsar el empoderamiento de las mujeres porque permiten, en el área agrícola controlar los procesos productivos, mejorar sus condiciones de trabajo agrícola y establecer alianzas o asociaciones para la comercialización, capacitación, financiación y organización política. Además, se ha vislumbrado a la agroecología como un movimiento global para la seguridad y la soberanía alimentaria (FAO).

A lo largo de la historia las mujeres han desempeñado un papel fundamental en los sistemas de producción agrícola, han manejado agroecosistemas de gran biodiversidad, con una actividad destacada en la conservación y generación de diferentes variedades. Las mujeres rurales producen, para satisfacer las necesidades de sus grupos domésticos; cultivando y promoviendo el desarrollo de especies comestibles, medicinales, forrajeras, combustibles, artesanales y ornamentales (Bandiaki-Badki 2011).

Por otro lado, el compostaje, la digestión anaerobia y vermicompostaje son ejemplos de técnicas agroecológicas. El compostaje es un tratamiento biológico para la degradación aeróbica, que involucra una serie de procesos complejos llevadas a cabo por un conjunto de microorganismos, que transforman la materia orgánica en un fertilizante orgánico llamado composta (Pereira y Zezzi-Arruda 2003). La composta mejora las características de los suelos, tales como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas y fomenta la actividad microbiana (Nieto-Garibay et al. 2002).

La descomposición de los residuos también se puede llevar a cabo con lombrices, la más usada es la roja de California (*Eisenia foetida*), las lombrices transforman los residuos en un fertilizante orgánico llamado vermicomposta; esta permite satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos hortícolas en invernadero y reduce significativamente el uso de fertilizantes sintéticos. Además, la vermicomposta contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), tiene alto contenido de ácidos húmicos, y aumenta la capacidad de retención de humedad y la porosidad, lo que facilita la aireación, drenaje del suelo y los medios de crecimiento (Rodríguez et al. 2008).

Otra tecnología ecológica para utilizar los residuos orgánicos es la digestión anaeróbica, es un proceso complejo en el cual la materia orgánica es degradada paulatinamente en ausencia de oxígeno hasta un gas (biogás) conformado principalmente de dióxido de carbono y metano. Este proceso permite la

reducción de microorganismos patógenos, del volumen del residuo y de la materia orgánica, obteniéndose el digestato como sub producto, el cual tiene la capacidad de ser empleado en la enmienda orgánica de suelos (De Francisci et al. 2015). El digestato se ha utilizado como un fertilizante orgánico debido a que contiene carbono, nitrógeno y fósforo, así como fitoreguladores.

El presente estudio se realizó de 2015 a 2017 en la comunidad de San Simón Coatepec, municipio de Mixtla, Estado de Puebla, México. Se encuentra en las coordenadas 18°54' NL y 97°52' WL. El 100% de la población se considera rural, con un grado medio de marginación (SEDESOL, 2010). En la comunidad hay tres actividades principales: agricultura, se cultiva principalmente maíz, frijoles y hortalizas; músicos y elaboración de pan. También hay ganado en pequeñas cantidades, porcino, bovino, caprino y avícola. El clima es templado húmedo con lluvia en verano, el suelo es calcáreo, se caracteriza por ser pobre en nutrientes, pero en condiciones de riego es posible la agricultura (Buol et al. 1990).

Este proyecto se llevó a cabo promoviendo la investigación participativa donde un grupo de académicos y mujeres rurales colaboraron bajo un enfoque agroecológico. El objetivo del proyecto fue registrar los beneficios que pueden traer a una comunidad rural el aprendizaje, apropiación y aplicación de técnicas agroecológicas.

## METODOLOGÍA

El proyecto consistió de manera general en que un grupo de investigadores de diferentes instituciones académicas, organizaron una serie de talleres de colaboración para enseñar a veinte mujeres de la comunidad diferentes técnicas agroecológicas, específicamente, la preparación de tres fertilizantes orgánicos: composta, vermicomposta y digestato. Posteriormente, los investigadores enseñaron a las mujeres cómo producir sus alimentos en un sistema de producción biointensivo, cómo plantar vegetales y cómo cultivarlos. Finalmente, los investigadores analizaron los beneficios que trajo a las participantes como producto del proceso participativo de aprendizaje y por la puesta en práctica de las técnicas agroecológicas. La posesión de animales y la disponibilidad de tierras para la construcción de un huerto, las actividades y prácticas agrícolas que llevan a cabo en la comunidad, así como intereses y expectativas de las participantes en el proyecto.

El proceso consistió en 3 etapas:

### ETAPA 1.

Aplicación de una encuesta de diagnóstico rápido, semiestructurada con preguntas abiertas. Esta se realizó para conocer aspectos familiares importantes para el desarrollo del proyecto, como fueron: los hábitos de consumo, hábitos alimenticios, la generación de residuos, el manejo que les dan a dichos residuos, la posesión de animales y la disponibilidad de tierras para la construcción de un huerto, las actividades y prácticas agrícolas que llevan a cabo en la comunidad, así como intereses y expectativas de las participantes en el proyecto.

### ETAPA 2.

Para esta segunda etapa primero se eligieron los residuos a utilizar para la preparación de los tres fertilizantes orgánicos y posteriormente se enseñó a las mujeres cómo construir y manejar su huerto de traspatio.

### Elaboración de composta

Para la preparación de composta se utilizaron estiércol y residuos agrícolas (hojarasca y ramas). Las pilas para la composta se prepararon de un metro de ancho, un metro de largo y un metro de alto. Las pilas se formaron alternando capas de residuos vegetales con capas de estiércol, se humedecieron y airearon cada semana. La temperatura de las pilas se registró semanalmente utilizando un termómetro de carátula con un vástago de un metro de largo. Después de cuatro meses, cuando la temperatura se estabilizó, la composta se dejó secar y se almacenó en sacos. Se tomaron muestras de la composta y se analizaron pH, conductividad, índice de germinación, contenidos de materia orgánica, N, P y K en el laboratorio del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) y éstos se compararon con la norma mexicana NADF-020-AMBT-2011 (NADF-020-AMBT-2011), que indica la especificación para la preparación y uso de composta.



### Preparación de vermicomposta

Para preparar la vermicomposta se usaron los residuos orgánicos que no se destinan para alimentar a las aves de corral. La vermicomposta se preparó en cajas de plástico de 80 x 40 x 40 cm, con lombriz roja californiana *Eisenia foetida*. Cada una de las mujeres participantes recibió una de las cajas de plástico y medio kilogramo de lombriz como pie de cría. Se les instruyó para que las alimentaran con residuos vegetales (hojas de vegetales, cáscaras, periódicos, frutas en descomposición, etc.) y humedecieran semanalmente. Aproximadamente después de dos meses, se separó el material ya descompuesto, el cual tenía una apariencia de tierra negra. Se tomó muestra para analizar en el CIBA el pH, conductividad, índice de germinación, contenidos de materia orgánica, N, P y K y compararlos con la norma mexicana NADF-020-AMBT-2011

### Producción de digestato

Para la obtención de digestato se utilizó estiércol de vaca. Se construyeron digestores utilizando recipientes de plástico de veinte litros, uno para cada participante. Se perforó un orificio de 0.5 cm de diámetro en la parte superior y se introdujo una manguera para la salida de biogás, el otro extremo de la manguera se colocó dentro de una botella llena de agua para evitar la entrada de aire. Los digestores fueron alimentados con una mezcla de estiércol de vaca y agua, al 7% de sólidos base seca. Los digestores se cerraron herméticamente y se dejaron en un lugar cálido durante dos meses, el líquido sobrenadante es el digestato. Se tomó muestra para analizar en el CIBA el pH, conductividad, índice de germinación, contenidos de materia orgánica, N, P y K y compararlos con la norma mexicana NADF-020-AMBT-2011

### Construcción de huertos de traspatio

Estos se construyeron en el espacio de terreno que cada participante determinó, se hicieron mediante camas bio-intensivas aplicando la técnica de doble excavación; se proporcionaron semillas de hortalizas que las participantes eligieron. Se instruyó de la manera para fertilizar usando composta, vermicomposta y digestato, con la finalidad de aumentar el desarrollo de las plantas y mejorar las propiedades del suelo.

### Técnicas analíticas

A la composta, vermicomposta y digestato se les hicieron análisis fisicoquímicos para determinar el pH, la conductividad eléctrica; los contenidos de carbono orgánico, fósforo y potasio, de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (NOM-021-RECNAT-2000). El índice de germinación se determinó de acuerdo con la técnica de Zucconi, Pera, Forte y De Bertoldi (1981).

**ETAPA 3.**

En la tercera etapa se realizó una encuesta de cierre para llevar a cabo el análisis retrospectivo de los beneficios que reportaron las mujeres rurales por la puesta en práctica de las técnicas agroecológicas. La aplicación de ésta encuesta se llevó a cabo en una reunión entre los académicos y todas las mujeres participantes. Se hicieron las preguntas y cada una respondió en voz alta. Los aspectos de interés fueron: opiniones sobre lo que habían aprendido, los beneficios obtenidos por la apropiación de las técnicas agroecológicas, cambios que han ocurrido en su vida familiar y en la comunidad después de su participación en el proyecto.

**RESULTADOS****ETAPA I.**

A continuación, se detalla la información más importante que se obtuvo por la aplicación de la primera encuesta, y que sirvieron para definir el residuo más adecuado a utilizar para preparar cada fertilizante.

Entre los problemas ambientales que se identificaron están:

a) La generación de residuos y su inadecuada disposición. Indicaron que el servicio de recolección de basura es semanal, por lo que se observó acumulación de basura en los campos y patios. Cada familia produjo alrededor de 24 kilos de residuos orgánicos por semana, considerando hojas, cáscaras y frutos en mal estado; además de plástico, latas y vidrio. Alrededor del 55% de los residuos orgánicos se utilizaron para alimentar animales, aves o ganado, el 33% lo arrojaron al suelo para que allí se descomponga, el resto se tiró en el camión de basura.

b) El 20% de las familias tenían vacas, y generalmente el estiércol lo almacenaron a cielo abierto o se esparció sin ningún tratamiento en los campos de cultivo, ocasionando malos olores y atracción de moscas.

c) El 67% de las familias tenía un terreno, en algunos casos este era de máximo 2 hectáreas, principalmente cultivaron maíz, frijol, tomate, cilantro, perejil, acelga y col; el 33% de ellos utilizaron fertilizantes químicos, los más comunes fueron triple 17 y urea, el resto manifestó que no utilizó fertilizante químico por los altos precios.

**ETAPA 2.**

Todas las mujeres participaron en la preparación de la pila de composta y cada una obtuvo su vermicomposta y digestato. A continuación se muestran los resultados de los análisis físicoquímicos que se hicieron a las muestras de los tres fertilizantes.

La Tabla I muestra los parámetros físicoquímicos que se midieron a la composta, la vermicomposta y el digestato, en la última columna se muestran los valores reportados en la Norma NADF-020-AMBT-2011 que indica la especificación para la preparación y uso de composta.

Tabla I. Parámetros físicoquímicos promedio medidos a la composta, vermicomposta y digestato

	Composta	Vermicomposta	Digestato	Norma NADF-020-AMBT-2011
pH	8.38	9.5	7.82	6.5-8.0
N (%)	1.3	1.6	0.4	1 to 3 %
P (mg/L)	2.54	2.64	3.85	1 to 3 %
K (%)	1.4	0.81	1.13	1 to 3 %
Carbono Orgánico (%)	47.06	27.23	32.1	> 20
Índice de Germinación (%)	94.51	89.8	96	> 75
Conductividad Eléctrica (dS/cm)	2.87	2.2	3.06	< 8

Los análisis indican que la vermicomposta, digestato y la composta tuvieron una buena cantidad de materia orgánica, más del 20%, que es el nivel mínimo indicado en la norma mexicana NADF-020-AMBT-2011; en cuanto el contenido de N fue adecuado, excepto para el digestato que fue más bajo que lo indicado en la norma, así como el contenido de K fue más bajo para la vermicomposta. En cuanto al pH, del digestato y la composta fue ligeramente básico, a diferencia de la vermicomposta, que fue básico, posiblemente debido a la formación de amoníaco. La conductividad eléctrica estuvo en los valores permitidos por la norma mexicana. El índice de germinación es una prueba para evaluar la madurez de las compostas, cuando alcanza valores superiores al 80%, significa que son susceptibles de ser utilizadas como abono (Zucconi et al, 1981). La composta, la vermicomposta y el digestato tuvieron un índice de germinación superior al 80%.

**ETAPA 3**

En la última etapa se entrevistó a las participantes para conocer cuáles fueron los beneficios que les trajeron tanto a ellas, a su familia como a la comunidad, como resultado de la apropiación de las técnicas agroecológicas. Entre los beneficios que les trajo el proyecto destacaron:

a) Ahora tienen una forma de obtener sus productos agrícolas sin el uso de agroquímicos. Esto fue algo muy valioso para ellas, ya que desafortunadamente en la comunidad ha habido algunos casos de intoxicación grave de algunos vecinos, sufrida durante la aplicación de agroquímicos. Reconocieron que las verduras que cultivan con composta, vermicomposta o digestato son más saludables que las producidas con agroquímicos.

b) Algunas participantes indicaron que las verduras cultivadas con composta y vermicomposta crecieron más que usando productos agroquímicos. Mencionaron que sus hijos prefirieron las verduras cultivadas en el huerto porque tuvieron mejor sabor. Además de eso, las verduras las obtuvieron a un costo menor, ya que recientemente los fertilizantes han aumentado su precio.



c) A la mayoría de las participantes les gustan las flores y tienen jardines. Comentaron que antes del proyecto sus plantas no crecían bien o no daban flores o sus árboles frutales no fructificaban. Estas situaciones cambiaron cuando fertilizaron con composta, vermicomposta, y el digestato, las plantas florecieron y sus árboles dieron frutos.

d) Indicaron que también tuvieron beneficios económicos, gastaron menos dinero en la compra de verduras ya que consumieron las que produjeron. Algunas de las mujeres vendieron sus verduras y las compraron fácilmente porque se cultivaron sin la adición de agroquímico. Con el conocimiento que las mujeres adquirieron durante el proyecto, dos de ellas produjeron flores para la venta, otra mujer reprodujo y vendió plantas ornamentales y otra vendió los chiles que produjo y que preparó en escabeche.

e) De manera personal, las mujeres se sintieron orgullosas de los jardines y huertos, mismos que mostraron a sus vecinos, amigas y conocidas, y compartieron sus experiencias explicando cómo utilizar las técnicas agroecológicas.

f) Reconocieron cambios en sus relaciones familiares, cinco mujeres indicaron que sus hijos y sus esposos estuvieron involucrados en el cuidado del huerto familiar, aumentado las relaciones interfamiliares.

g) Entre los cambios que han generado a nivel comunitario, organizaron a los habitantes de San Simón Coatepec para hacer la reforestación, solicitaron la donación de árboles y obtuvieron maquinaria para limpiar la tierra para reforestar. El hijo de una de las mujeres participantes invitó a sus maestras a replicar el proyecto en la escuela, y ahora los estudiantes se encargaron de una parcela escolar y vendieron las verduras que produjeron.

**Conclusiones**

La aplicación de las técnicas agroecológicas trajo diversos beneficios a las mujeres del grupo en estudio: incrementó la confianza en sí mismas, ya que adquirieron conocimientos

nuevos, familiares por el involucramiento en el huerto familiar por otros miembros de la familia y económico, ya que gastaron menos en la adquisición de vegetales. Además, el reconocer la utilidad que les aportó el aprovechamiento de los residuos, ayudó al cuidado del medio ambiente al reducir la cantidad de estos que se arrojan en el suelo ocasionando problemas de contaminación; finalmente el proyecto trajo beneficios en la salud ya que constataron las ventajas de usar fertilizantes orgánicos y

reducir el uso de agroquímicos.

Este fue un caso de estudio que podría replicarse en otras comunidades rurales, ya que es bien sabido que muchas de estas comunidades de México tienen problemas importantes de contaminación por el manejo inadecuado de sus residuos, problemas debido a la erosión del suelo, así como problemas de salud debido al uso de agroquímicos.

**Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Instituto Nacional de las Mujeres, por el financiamiento del proyecto 196660.



## Referencias

Bandiaki-Badki S (2011) Gender equity in Senegal's forest governance history: why policy and representation matter. *Internat Forestry Rev* 13(2):177-194.

Buol SW, Hole FD, McCracken RJ (1990) Génesis y clasificación de suelos, 2ª edición, Trillas, México.

Campero OR (2012) Sistema integral tratamiento de residuos de granja lechera mediante la biodigestión anaerobia en el Perú. *Delos Rev Desar Local Sostenible* 5 (14):1-9.

De Francisci D, Kougias PG, Treu L, Campanaro S, Angelidaki I (2014) Microbial diversity and dynamicity of biogas reactors due to radical changes of feedstock composition. *Biores Technol* 176:56-64.

Fao. La agroecología para la seguridad alimentaria y nutrición actas del simposio internacional de la FAO 18-19 de septiembre de 2014, Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/i4729s/i4729s.pdf>

Leff E (1994) *Ecología y Capital, racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable. siglo XXI.* México, Retrieved from file:///C:/Users/myrna/Downloads/xxxLeffExtractodeEcologiaCapital.pdf

Lopes AP, Jomalinis E (2011). Feminist perspectives towards transforming economic power Agroecology: Exploring opportunities for women's empowerment based on experiences from Brazil. *ActionAid Brazil* 2:1-14.

NADF-020-AMBT-2011. Norma ambiental para el Distrito Federal, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. <https://legislacion.vlex.com.mx/vid/compostaa-producida-distribuida-409203366>.

Nieto-Garibay A, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Larrinaga-Mayoral JA, García-Hernández JL (2002) El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción



sostenible del Chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8):417-421.

NOM-021-RECNAT-2000. NORMA Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>.



Pereira M G, Zezzi-Arruda MA (2003) Vermicomposta as a natural adsorbent material: characterization and potentialities for cadmium adsorption. *J Brazn Chem Soc* 14(1):39-47.

Rodríguez DN, Cano RP, Figueroa VU, Palomo GA, Favela Che, Álvarez RVP, Márquez HC, Moreno RA (2008) Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev Fitotec Méx* 31(3):265-272.

SEDESOL. (2010). Catálogo de localidades, Sistema de Apoyo para la Planeación del PDZP, 2010. <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/Default.aspx?tipo=clave&campo=mun&valor=17>.

Zucconi F, Pera A, Forte M, De Bertoldi M (1981) Evaluating toxicity in immature composta. *Biocycle* 22(4):54-57.

# FITOTÓXICOS COMO HERBICIDAS NATURALES Y OTRAS ALTERNATIVAS DE USO

Fernando López-Valdez<sup>1</sup>, Ada M. Ríos-Cortés<sup>1</sup>, Valentín López-Gayou<sup>1</sup>, Nina Torres-Valencia<sup>1</sup>, Sandra L. Cabrera-Hilerio<sup>2</sup>, Mariana Miranda-Arámbula<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. C.P. 90700. México.

<sup>2</sup>Fac. Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, C.P. 72570 Puebla, Pue. México.

\* Autor para correspondencia: M. Miranda-Arámbula. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), 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. 87805. E-mail: mmirandaa@ipn.mx

## RESUMEN

Es claro, que cada vez la humanidad se preocupa por lo que consume, como los alimentos. Buscando alimentos más seguros, más sanos, con mejores propiedades alimenticias y organolépticas, por mencionar algunos aspectos. Es por ello, que se debe poner atención en la forma que se cultivan y se protegen los cultivos, porque son los alimentos que consumimos. En este trabajo se abordarán temas como la importancia de los metabolitos secundarios con actividad fitotóxica y algunos ejemplos del potencial fitotóxico (herbicida) de plantas arvenses y cultivables. Adicionalmente, se pone en contexto su uso en la síntesis verde. Con la finalidad de tomar consciencia para prevenir el uso y los daños asociados u ocasionados por los herbicidas sintéticos, al mismo tiempo, prevenir enfermedades por el uso de sustancias perjudiciales a la salud y al ambiente a futuro. Y

Palabras clave: Metabolitos secundarios, fitotóxicos, herbicidas, arvenses.

## ABSTRACT

It is clear that humanity is increasingly concerned about what it consumes, such as foods. Looking for safer, healthier foods, with better nutritional and organoleptic properties, for example. That is why attention must be paid to the way crops are grown and protected, because they are the food we consume. This work will address issues such as the importance of secondary metabolites with phytotoxic activity and some examples of the phytotoxic potential (herbicide) of weed and crops. Additionally, is place in context the use of such compounds in green synthesis. In order to raise awareness to prevent the use and damage associated or caused by synthetic herbicides, at the same time, prevent diseases due to the use of substances harmful to health and the environment in the future.

Keywords: Secondary metabolites, phytotoxic, herbicides, weeds.

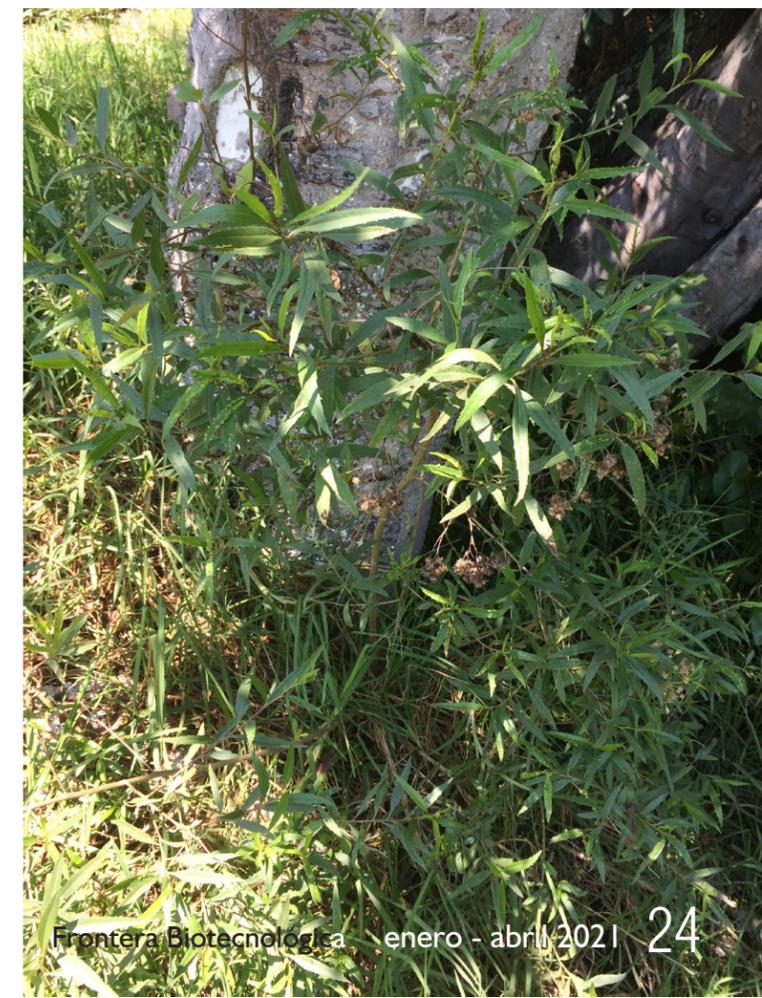
## I. Introducción.

Las plantas producen una amplia variedad de sustancias conocidas como metabolitos, primarios y secundarios. En el caso de los *metabolitos secundarios*, son aquellos que no están involucrados a procesos básicos de crecimiento y desarrollo de las células. Algunos metabolitos secundarios (MS) podemos percibirlos a través de nuestros sentidos como el olfato (una fragancia floral) y el sentido del gusto (por el sabor), y visualmente, por los colores de la especie. Las propiedades y la actividad biológica de los MS son diversas y se han aprovechado con diferentes propósitos, los que más destacan son los de interés farmacológico, los saborizantes, pigmentos y aromáticos; los que menor atención han recibido, son las propiedades antagónicas (es la interacción entre sustancias u organismos sobre otros organismos, que causan la inhibición o pérdida de actividad) como los herbicidas. Estos últimos, han cobrado importancia en las recientes décadas como posibles alternativas para la reducción y/o sustitución de la aplicación de plaguicidas sintéticos. Cabe preguntarnos ¿Por qué queremos disminuir o sustituir los plaguicidas sintéticos? Para dar respuesta, es importante señalar que estos plaguicidas sintéticos, entre las décadas de los 50 a los 90, permitieron incrementos en la producción y rendimientos de los cultivos agrícolas; sin embargo, en los últimos 30 años se han identificado una serie de problemas asociados por la aplicación masiva de estos productos. Los plaguicidas sintéticos afectan a organismos no objetivo (porque no son específicos) y tienen un impacto tóxico en organismos benéficos (polinizadores, diseminadores de semillas, microorganismos y productores primarios, etc.) para un ecosistema. Por otra parte, se han registrado patógenos resistentes a estas sustancias, dejan residuos en el ambiente y representan un riesgo para la salud humana y animal (Brakhage *et al.*, 2009). Es muy importante aclarar que, una vez aplicados los plaguicidas sintéticos sobre cultivos, organismos o suelos, se debe tomar en cuenta que no hay tecnología que pueda remover los plaguicidas sintéticos (o sus residuos) de la superficie o interior de los organismos (plantas, animales o microorganismos benéficos), salvo por el suelo, que si existen tecnologías, pero cada una de estas tecnologías de remediación es por si sola altamente costosa (remediación *in situ* o *ex situ*), por ello, lo más conveniente es prevenir, sustituir o disminuir dichas sustancias. Ante estos problemas, los productores agrícolas requieren de alternativas para aminorar los daños ocasionados por plagas y enfermedades a niveles rentables (económicos) y a la vez, que estas alternativas no representen los riesgos ya descritos.

Por otro lado, es conveniente definir los términos de arvenses y malezas, las plantas arvenses son todas aquellas plantas que crecen completamente ajenos al cultivo de interés, y el término maleza se refiere a un término impreciso: como arbustos o abundancia de “malas hierbas” (Torres-Valencia

et al., 2021). La problemática de las arvenses es que ejercen presión sobre los cultivos agrícolas ya que compiten por recursos y espacio, además, han presentado una rápida resistencia a herbicidas sintéticos (Baker y Umetsu, 2001). Algunos MS pueden tener propiedades fitotóxicas, entiéndase como *fitotóxico* como el compuesto que impide el crecimiento y desarrollo de uno o más tipos de plantas (Ronco-Campaña, 2018). De acuerdo con Hoagland (2001), define que *fitotoxicidad* es la actividad que poseen los MS sobre otras especies vegetales, y estas sustancias se pueden clasificar como herbicidas naturales, como una estrategia de control de arvenses. También pueden ser una estrategia ambientalmente viable, si consideramos que estas sustancias son biodegradables, altamente específicas, no son persistentes en el ambiente y que actúan contra diferentes organismos con actividad bactericida, nematocida, fungicida, insecticida, herbicida, entre otras.

En este trabajo se aborda brevemente algunos aspectos históricos del efecto de los MS con actividad fitotóxica (sección 2), aspectos fundamentales de las arvenses como fuente de fitotóxicos (sección 3), se mencionan algunos ejemplos de actividad fitotóxica de cultivos agrícolas (sección 4) y de arvenses (sección 5), la importancia de incorporar tecnologías como el encapsulamiento de los fitoquímicos (sección 6) y la “Síntesis verde” (sección 7), todo esto desde el punto de vista de las propiedades antagónicas de los MS como herbicidas naturales.



## 2. Aspectos históricos.

Hace 300 años a.C. aproximadamente, Theophrastus fue de los primeros en documentar efectos tóxicos entre las plantas, posteriormente Pliny II (año I d.C.) documentó el efecto tóxico entre plantas particularmente entre los cultivos agrícolas. Siglos después, en 1832, De Candolle demuestra que los efectos tóxicos entre las plantas, principalmente en los campos agrícolas, se debía a los compuestos químicos (MS) exudados al suelo, por algunos cultivos (como el sorgo) que este fenómeno fue denominando “enfermedad del suelo” y De Candolle, fue de los primeros en sugerir que este problema se resuelve con una adecuada rotación de cultivos. Este fenómeno de efecto tóxico entre especies mediado por MS, lo definió Molisch, en 1937, como *Alelopatía*, y en 1996, en el Congreso Internacional de Alelopatía (IAS, Cadiz, España), se estable su definición: “cualquier proceso que involucra MS producidos por plantas, algas, bacterias y hongos, y estas sustancias influyen en el crecimiento y desarrollo de los sistemas biológicos” (Anaya, 1999). Actualmente, alelopatía se define como el efecto directo o indirecto (benéfico y/o tóxico) de los MS producidos por organismos (plantas, bacterias, hongos, etc.) que influyen en procesos de crecimiento y desarrollo de los sistemas biológicos y agrícolas (Anaya, 1999; Vyvyan, 2002). En recientes fechas, el estudio de diferentes especies con potencial alelopático ha cobrado un importante interés en diferentes disciplinas, no tan solo por la identificación y descubrimiento de nuevos compuestos de interés farmacológico, sino también, por que representan un recurso de nuevos plaguicidas naturales, destacando la actividad fitotóxica (herbicida), fungicida, bactericida, entre otras.

## 3. Aspectos fundamentales de las arvenses como fuente de fitotóxicos

Para maximizar la producción y los rendimientos de los cultivos agrícolas, se han aplicado masivamente plaguicidas sintéticos para controlar el crecimiento de las poblaciones de diferentes organismos, en especial plantas arvenses (plantas no deseadas) que crecen entre los cultivos y que supone afectan la producción y los rendimientos de los mismos, ya que compiten por recursos como el agua, nutrientes y espacio (Vyvyan, 2002). En lo general, se han registrado más de 7 mil especies de arvenses, de las cuales 200 a 300 especies, aproximadamente, se han identificado como hierbas no deseables para su control en los campos agrícolas; lo que llevó a aplicaciones masivas de herbicidas sintéticos como el glifosato. El glifosato (N-fosfonometilglicina, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>NO<sub>5</sub>P, CAS 1071-83-6) elimina todo tipo de plantas (no es un producto selectivo), afecta directamente a la diversidad biológica como son los polinizadores, genera resistencia

en las hierbas no deseables dando lugar a “super malezas”, es tóxico para los microorganismos del suelo y organismos acuáticos, así también, se considera que tiene implicaciones en la aparición y el aumento de tumores en mamíferos de vida silvestre. En 2015, esta sustancia fue reclasificada por la Agencia Internacional de Investigación de Cáncer (IARC) como probable carcinógeno para la especie humana (Bejarano-Gonzalez, 2017). Como ya se mencionó, una alternativa para el control de arvenses ha sido el uso de MS o *aleloquímicos* (aquellos metabolitos secundarios que afectan crecimiento, desarrollo y reproducción de organismo o de células, Chaïb *et al.* 2021) que se obtienen de plantas y pueden suprimir o controlar a diferentes especies, ganando especial atención porque pueden inhibir el crecimiento de estas y a la vez estimular algunos procesos biológicos de los cultivos, incrementando la producción y sus rendimientos, o incluso, pueden estimular la germinación temprana o tardía de algunas arvenses. Ejemplos de algunas especies con potencial herbicida son *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium mucunoides*, *Cassia rotundifolia*, *Centrosema pubescens*, entre otras especies (Teasdale *et al.*, 2007). Los aleloquímicos o metabolitos secundarios en el ambiente, pueden ser liberados por las plantas por diferentes mecanismos: como volátiles, exudados de raíz, lixiviados de la parte aérea de la planta y en los procesos de descomposición del material vegetal que los contienen (Vyvyan, 2002). Los MS pueden presentar más de un modo de acción afectando la división celular, los procesos de fotosíntesis, estructura de las membranas, entre otros. Además, en su mayoría son específicos a organismos blanco, biodegradables, frecuentemente no afectan a organismos benéficos y en algunos casos las mezclas de los MS liberados al ambiente pueden registrar efectos sinérgicos incrementando su bioactividad. Los herbicidas sintéticos no poseen estas características, a mediano y largo plazo inducen resistencia en organismos objetivo, por lo que, los MS son una prometedora vía de herbicidas naturales y eficientes, y sin riesgos para el ambiente y la salud humana (Vyvyan, 2002).



## 4. Cultivos agrícolas con actividad fitotóxica.

Como se mencionó en la sección 2 (aspectos históricos), el cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) libera MS al ambiente, los cuales tienen un efecto como fitotóxicos naturales. De acuerdo a Farooq *et al.* (2011), estos MS inhiben entre el 17% al 50% la densidad total de arvenses presentes en los cultivos de algodón, trigo, soya, girasol, entre otros, con la ventaja que estos MS incrementan los rendimientos (11 – 60%) en los cultivos mencionados. Por otro lado, en cultivos de *Brassica napus* (canola) con extractos acuosos del sorgo (15 L · ha<sup>-1</sup>) combinados con extractos acuosos de canola (15 L · ha<sup>-1</sup>), incrementaron la actividad herbicida, registrando una inhibición del 60 al 100%, sobre la densidad de las arvenses *Trianthema portulacastrum* L., *Cyperus rotundus* L., *Chenopodium album* L. y *Coronopus didymus* (L) Sm., en los cultivos de canola. Además, se observó un efecto positivo de los extractos combinados (de sorgo más canola) sobre el rendimiento de la propia canola, registrando un incremento hasta el 40% (Farooq *et al.*, 2011). Otras investigaciones han mostrado similar actividad en otros cultivos de interés agrícola como lo reportado por Xuan y colaboradores (2003), resaltando que el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en campos de arroz, reduce el 90% de las arvenses del cultivo e incrementa un 10% más los rendimientos del grano de arroz (1 a 2 toneladas más de rendimiento por hectárea). Otro ejemplo, por los mismos autores, es el inter-cultivo de trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench) con el cultivo de arroz, y se observó que, esta estrategia le confiere ventajas al cultivo, porque controlan las malezas de forma eficiente y se incrementan los rendimientos del grano de arroz a dos toneladas por hectárea, aproximadamente.

## 5. Arvenses con actividad fitotóxica.

Como ya se mencionó anteriormente, las arvenses contienden con el ambiente y han desarrollado diferentes MS que por medio de la evaluación biológica se puede elucidar la posible actividad fitotóxica (o herbicida), por ejemplo, el material deshidratado de *Ophiopogon japonicus* K., mezclado en el suelo, inhibe el 100% del crecimiento de las arvenses como *Cyperus difformis* L. y *Bidens biternata* L. (Farooq *et al.*, 2011). La arvense *Ageratum conyzoides* L. reduce el crecimiento de *Achinochloa cruz-galli* L. a un 70%, y para *Monochoria vaginalis* L. y *Aeschynomene indica* L. al 100%. Otra estrategia exitosa, es la aplicación de *Brassica nigra* L. en forma de “mulch” (ligera capa del material vegetal sobre el suelo o “acolchado”) que controló el 68% de la arvense *Avena fatua* L. (Farooq *et al.*, 2011). Los extractos acuosos (10 g L<sup>-1</sup>) de las arvenses *Baccharis salicifolia* L., y *Lepidium*

*virginicum* L., mostraron 100% de inhibición sobre tres especies modelos (*Amaranthus* sp., *Lactuca sativa*, y *Solanum lycopersicum*) y se observó un ligero incremento (1 - 5%) en los rendimientos de biomasa del cultivo de jitomate (Miranda-Arámula *et al.*, 2021). Estos son sólo algunos ejemplos, de una amplia investigación referente al tema, lo que representa una oportunidad para ampliar y elucidar los mecanismos involucrados en estos fenómenos.

## 6. Encapsulamiento de fitotóxicos.

Los fitotóxicos tienen características como potenciales herbicidas, sin embargo, hay aspectos que no se han mencionado y que son importantes a considerar, estos factores son la sensibilidad a la temperatura, la luz, la humedad, el pH y al oxígeno, principalmente, que dificultan la formulación de productos, conservación y su aplicación a campo. Por ejemplo, los carotenoides son fácilmente oxidados cuando se exponen a la luz, algunos compuestos como las betalainas son inestables en presencia de humedad y/o agua, los polifenoles se oxidan al polimerizarse, y los taninos son insolubles y reaccionan con otros fenoles. Estos compuestos al igual que los aceites esenciales inician reacciones de oxidación y degradación durante los procesos de extracción y/o por los factores ya descritos. Todas estas reacciones generalmente pueden reducir o perder completamente la actividad de los fitotóxicos de interés, por ello, el encapsulamiento mejora la estabilidad de estos, ya que actúan como barreras físicas entre los fitotóxicos y el ambiente. Con la tecnología de los microencapsulados se puede proteger a los fitotóxicos de los factores externos, son liberados de forma más controlada y en menor cantidad, con la posibilidad de liberarse y distribuirse de forma más eficiente. Teniendo claro que los materiales utilizados para los microencapsulados son materiales inertes (no reaccionen con los fitotóxicos), deben ser estables durante el almacenamiento y relativamente económicos. Algunas técnicas para el encapsulamiento son el secado por aspersión, el liofilizado y el electro-spray (Labuschagne, 2018), siendo el más económico el secado por aspersión.



## 7. Síntesis verde y sus potenciales aplicaciones en la Biotecnología agrícola.

La "síntesis verde" como parte de la Química, es una disciplina que tiene el objetivo de disminuir y/o eliminar prácticas y procesos que son considerados tóxicos y con alto impacto ambiental, por la producción de desechos y/o productos contaminantes. Originalmente la síntesis verde se ha concebido para realizar procesos y productos, donde se eliminen tipo de riesgos (tanto los ambientales como a la salud) y los contaminantes como parte de los procesos de elaboración, para lograr una síntesis con estrategias que cumplan con algunos de los doce principios básicos que se proponen para la química verde (Ivanković et al., 2017), enfocado en un equilibrio ecológico. En la actualidad la síntesis verde se ha orientado casi en su totalidad a la síntesis de nanopartículas, pero no es exclusiva para estas. Por otro lado, aprovechando la búsqueda de nuevas nanopartículas funcionalizadas, se pueden utilizar los extractos vegetales de plantas arvenses vía síntesis verde para desarrollar diversas aplicaciones como sensores, nanomateriales, o bien, características biológicas como herbicidas (fitotóxicos) de interés agronómico. Por ejemplo, se han sintetizado nanopartículas de silicio que tienen el potencial para aplicarse como fertilizante en cultivos específicos y actúan como vehículos para suministrar herbicidas y fertilizantes en las plantas (Rastogi et al., 2019). Que se pueda contribuir a una agricultura más amigable y sustentable con el ambiente.

## 8. Conclusiones.

Las propiedades y actividad biológica de los metabolitos secundarios son diversas y se están tratando de aprovechar para diferentes propósitos. De las propiedades, resalta la actividad plaguicida contra bacterias, insectos, arvenses, entre otras. Los metabolitos secundarios como fitotóxicos, pueden conferir protección con más de una actividad, i.e., actúan contra insectos y contra fitopatógenos e incrementan la producción y rendimiento del cultivo de interés. Tienen las ventajas de ser específicos, biodegradables, y eficientes, sin embargo, son fotosensibles, no son termoestables, etc., por lo que, en combinación con otras tecnologías como los encapsulados, se subsanan estas desventajas. Además, la "síntesis verde" puede mejorar los procesos de extracción y producción, cuidando que se generen estrategias ambientalmente viables y económicas. De esta forma, prevenir o evitar enfermedades asociadas al uso de plaguicidas sintéticos en la producción de nuestros alimentos que representan riesgos para la salud y el ambiente.

## Agradecimientos.

Al Instituto Politécnico Nacional (Proyectos SIP: 20202274, 20211596, 20211576 y 20211511). Al CONACyT, por la beca y los estímulos recibidos, NT-V, VL-G, y FL-V.

## Referencias.

- Anaya AL (1999). Allelopathy as a tool in the management of biotic resources in agroecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 18(6): 697-739.
- Baker DR, Umetsu NK (2001). Modern Agrochemical Discovery. In *Agrochemical discovery: Insect, Weed, and Fungal Control*. Baker DR, Umetsu NK Eds. American Chemical Society. Pp. 1-6.
- Bejarano González F (2017). Los plaguicidas altamente peligrosos en México. *Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A.C.* Pp. 364.
- Brakhage A, Gierl A, Hartmann T, Strack D (2009). Evolution of metabolic diversity. *Phytochemistry*. 70(15/16): 1611-1909. DOI: 10.1016/j.phytochem.2009.07.007.
- Chaïb S, Pistevos JC, Bertrand C, Bonnard I (2021). Allelopathy and allelochemicals from microalgae: An innovative source for bio-herbicide compounds and biocontrol research. *Algal Research*. 54: 102213. doi.org/10.1016/j.algal.2021.10221
- Farooq M, Jabran K, Cheema ZA, Wahid A, Siddique KH (2011). The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Management Science*. 67(5): 493-506.
- Hoagland R E (2001). Bioherbicides: Phytotoxic Natural Products. In *Agrochemical discovery: Insect, Weed, and Fungal Control*. Baker DR & Umetsu NK, Eds. American Chemical Society. Pp. 72-90.
- Ivanković A, Dronjić A, Martinović A, Talić S (2017) Review of 12 principles of green chemistry in practice. *International Journal of Sustainable and Green Energy*. 39-48.
- Labuschagne, P. (2018). Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. *Food Research International*. 107, 227-247.
- Miranda-Arámbula M, Reyes-Chilpa R; Anaya LAL (2021). Phytotoxic Activity of Aqueous Extracts of Ruderal Plants and its Potential Application to Tomato Crop. *Botanical Sciences*. 99(3): 487-498. DOI: 10.17129/botsci.2727.

Rastogi A, Tripathi DK, Yadav S, Chauhan DK, Živčák M, Ghorbanpour M, Brestic M (2019). Application of silicon nanoparticles in agriculture. *3 Biotech*. 9(3): 1-11. https://doi.org/10.1007/s13205-019-1626-7.

Ronco-Campaña A (2018). Fitotóxicos como alternativa a herbicidas contaminantes. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*. (30): 71-74.

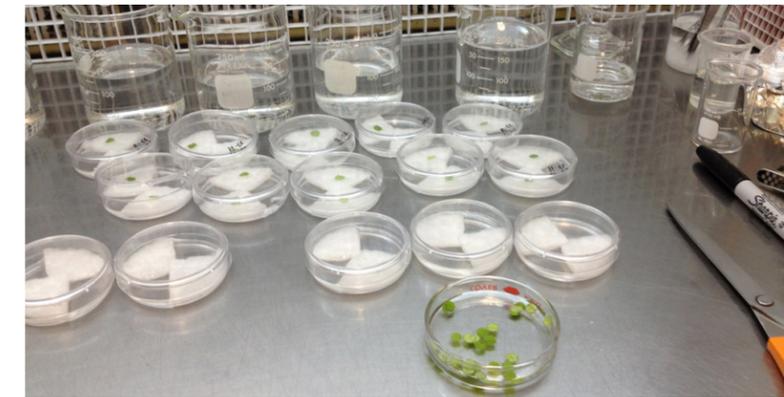
Teasdale JR, Brandsaeter LO, Calegari A, Neto FS, Upadhyaya MK, Blackshaw RE (2007). Cover crops and weed management. *Non chemical weed management principles. Concepts and Technology*, CABI, Wallingford, UK, 49-64.

Torres-Valencia N, Miranda-Arámbula M, Ríos-Cortés AM, López-Gayou V, López-Valdez F (2021) Las malezas como un campo de oportunidades en el estudio de la síntesis verde. *Frontera Biotecnológica*. 18(1). *In press*.

Vyvyjan JR (2002). Allelochemicals as leads for new herbicides

and agrochemicals. *Tetrahedron*. 58(9): 1631-1646.

Xuan TD, Yuichi O, Junko C, Tsuzuki E, Hiroyuki T, Mitsuhiro M, Khanh TD, Hong NH (2003). Kava root (*Piper methysticum* L.) as a potential natural herbicide and fungicide. *Crop Protection*. 22(6): 873-881. DOI:10.1016/S0261-2194(03)00083-8



# INVESTIGACIÓN +

## POSGRADOS

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



Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada

Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal

Tecuemac - Tepetitla K. 1.5, Tlaxcala, C.P. 90700, México

[www.cibatlaxcala.ipn.mx](http://www.cibatlaxcala.ipn.mx)